ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
«АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 10 2013
Часть 15

Научный журнал

Электронная версия
www.fr.rae.ru
12 выпусков в год
Импакт фактор
РИНЦ – 0,193

Журнал включен в Перечень ВАК ведущих рецензируемых научных журналов

Журнал основан в 2003 г.
ISSN 1812-7339

Учредитель – Академия Естествознания
123557, Москва,
ул. Пресненский вал, 28
Свидетельство о регистрации
ПИ №77-15598
ISSN 1812-7339

АДРЕС РЕДАКЦИИ
440026, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 3
Тел/Факс редакции 8 (8452)-47-76-77
e-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать 26.12.2013

Формат 60x90 1/8
Типография
ИД «Академия Естествознания»
440000, г. Пенза,
ул. Лермонтова, 3

Технический редактор
Кулакова Г.А.
Корректор
Песчаскина Ю.А.

Усл. печ. л. 30.
Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2013/10
Подписной индекс
33297

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
д.м.н., профессор Ледванов М.Ю.
д.м.н., профессор Курзанов А.Н.
д.ф.-м.н., профессор Бичурин М.И.
д.б.н., профессор Юров Ю.Б.
д.б.н., профессор Ворсанова С.Г.
к.ф.-м.н., доцент Меглинский И.В.

Директор
к.м.н. Стукова Н.Ю.

Ответственный секретарь
к.м.н. Бизенкова М.Н.

ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
«АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Медицинские науки

д.м.н., профессор Бессмельцев С.С. (Санкт-Петербург)
д.м.н., профессор Гальцева Г.В. (Новороссийск)
д.м.н., профессор Гладилин Г.П. (Саратов)
д.м.н., профессор Горькова А.В. (Саратов)
д.м.н., профессор Каде А.Х. (Краснодар)
д.м.н., профессор Казимирова Н.Е. (Саратов)
д.м.н., профессор Ломов Ю.М. (Ростов-на-Дону)
д.м.н., профессор Лямина Н.П. (Саратов)
д.м.н., профессор Максимов В.Ю. (Саратов)
д.м.н., профессор Молдавская А.А. (Астрахань)
д.м.н., профессор Пятакович Ф.А. (Белгород)
д.м.н., профессор Редько А.Н. (Краснодар)
д.м.н., профессор Романцов М.Г. (Санкт-Петербург)
д.м.н., профессор Румш Л.Д. (Москва)
д.б.н., профессор Сентябрев Н.Н. (Волгоград)
д.фарм.н., профессор Степанова Э.Ф. (Пятигорск)
д.м.н., профессор Терентьев А.А. (Москва)
д.м.н., профессор Хадарцев А.А. (Тула)
д.м.н., профессор Чалык Ю.В. (Саратов)
д.м.н., профессор Шейх-Заде Ю.Р. (Краснодар)
д.м.н., профессор Щуковский В.В. (Саратов)
д.м.н., Ярославцев А.С. (Астрахань)

Педагогические науки

к.п.н. Арутюнян Т.Г. (Красноярск)
д.п.н., профессор Голубева Г.Н. (Набережные Челны)
д.п.н., профессор Завьялов А.И. (Красноярск)
д.филос.н., профессор Замогильный С.И. (Энгельс)
д.п.н., профессор Ильмушкин Г.М. (Димитровград)
д.п.н., профессор Кирьякова А.В. (Оренбург)
д.п.н., профессор Кузнецов А.С. (Набережные Челны)
д.п.н., профессор Литвинова Т.Н. (Краснодар)
д.п.н., доцент Лукьянова М. И. (Ульяновск)
д.п.н., профессор Марков К.К. (Красноярск)
д.п.н., профессор Стефановская Т.А. (Иркутск)
д.п.н., профессор Тутолмин А.В. (Глазов)

Химические науки

д.х.н., профессор Брайнина Х.З. (Екатеринбург)
д.х.н., профессор Дубоносов А.Д. (Ростов-на-Дону)
д.х.н., профессор Полещук О.Х. (Томск)

Технические науки

д.т.н., профессор Антонов А.В. (Обнинск)
д.т.н., профессор Арютов Б.А. (Нижний Новгород)
д.т.н., профессор Бичурин М.И. (Великий Новгород)
д.т.н., профессор Бошенятов Б.В. (Москва)
д.т.н., профессор Важенин А.Н. (Нижний Новгород)
д.т.н., профессор Гилёв А.В. (Красноярск)
д.т.н., профессор Гоц А.Н. (Владимир)
д.т.н., профессор Грызлов В.С. (Череповец)
д.т.н., профессор Захарченко В.Д. (Волгоград)
д.т.н., профессор Кирьянов Б.Ф. (Великий Новгород)
д.т.н., профессор Клевцов Г.В. (Оренбург)
д.т.н., профессор Корячкина С.Я. (Орел)
д.т.н., профессор Косинцев В.И. (Томск)
д.т.н., профессор Литвинова Е.В. (Орел)
д.т.н., доцент Лубенцов В.Ф. (Ульяновск)
д.т.н., ст. науч. сотрудник Мишин В.М. (Пятигорск)
д.т.н., профессор Мухопад Ю.Ф. (Иркутск)
д.т.н., профессор Нестеров В.Л. (Екатеринбург)
д.т.н., профессор Пачурин Г.В. (Нижний Новгород)
д.т.н., профессор Пен Р.З. (Красноярск)
д.т.н., профессор Попов Ф.А. (Бийск)
д.т.н., профессор Пындак В.И. (Волгоград)
д.т.н., профессор Рассветалов Л.А. (Великий Новгород)
д.т.н., профессор Салихов М.Г. (Йошкар-Ола)
д.т.н., профессор Сечин А.И. (Томск)

Геолого-минералогические науки

д.г.-м.н., профессор Лебедев В.И. (Кызыл)

Искусствоведение

д. искусствоведения Казанцева Л.П. (Астрахань)

Филологические науки

д.филол.н., профессор Гаджиахмедов Н.Э. (Дагестан)

Физико-математические науки

д.ф-м.н., профессор Криштоп В.В. (Хабаровск)

Экономические науки

д.э.н., профессор Безрукова Т.Л. (Воронеж)
д.э.н., профессор Зарецкий А.Д. (Краснодар)
д.э.н., профессор Князева Е.Г. (Екатеринбург)
д.э.н., профессор Куликов Н.И. (Тамбов)
д.э.н., профессор Савин К.Н. (Тамбов)
д.э.н., профессор Щукин О.С. (Воронеж)

Иностранные члены редакционной коллегии

Asgarov S. (Azerbaijan)
Alakbarov M. (Azerbaijan)
Babayev N. (Uzbekistan)
Chiladze G. (Georgia)
Datskovsky I. (Israel)
Garbuz I. (Moldova)
Gleizer S. (Germany)
Ershina A. (Kazakhstan)
Kobzev D. (Switzerland)
Ktshanyan M. (Armenia)
Lande D. (Ukraine)
Makats V. (Ukraine)
Miletic L. (Serbia)
Moskovkin V. (Ukraine)
Murzagaliyeva A. (Kazakhstan)
Novikov A. (Ukraine)
Rahimov R. (Uzbekistan)
Romanchuk A. (Ukraine)
Shamshiev B. (Kyrgyzstan)
Usheva M. (Bulgaria)
Vasileva M. (Bulgaria)

ИД «АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ» 2013

THE PUBLISHING HOUSE «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

THE FUNDAMENTAL RESEARCHES

№ 10 2013
Part 15
Scientific journal

The journal is based in 2003

The electronic version takes place on a site www.fr.rae.ru
12 issues a year

EDITORS-IN-CHIEF

Ledvanov M.Yu. *Russian Academy of Natural History (Moscow, Russian Federation)*
Kurzanov A.N. *Kuban' Medical Academy (Krasnodar Russian Federation)*
Bichurin M.I. *Novgorodskij Gosudarstvennyj Universitet (Nizhni Novgorod, Russian Federation)*
Yurov Y.B. *Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet (Moscow, Russian Federation)*
Vorsanova S.G. *Moskovskij Gosudarstvennyj Universitet (Moscow, Russian Federation)*
Meglinskiy I.V. *University of Otago, Dunedin (New Zealand)*

Senior Director and Publisher
Bizenkova M.N.

THE PUBLISHING HOUSE
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

THE PUBLISHING HOUSE «ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

EDITORIAL BOARD

Medical sciences

Bessmeltsev S.S. (St. Petersburg)
Galtsev G.V. (Novorossiysk)
Gladilin G.P. (Saratov)
Gorkova A.V. (Saratov)
Cade A.H. (Krasnodar)
Kazimirova N.E. (Saratov)
Lomov Y.M. (Rostov-na-Donu)
Ljamina N.P. (Saratov)
Maksimov V.Y. (Saratov)
Moldavskaia A.A. (Astrakhan)
Pjatakovich F.A. (Belgorod)
Redko A.N. (Krasnodar)
Romantsov M.G. (St. Petersburg)
Rumsh L.D. (Moscow)
Sentjabrev N.N. (Volgograd)
Stepanova E.F. (Pyatigorsk)
Terentev A.A. (Moscow)
Khadartsev A.A. (Tula)
Chalyk J.V. (Saratov)
Shejh-Zade J.R. (Krasnodar)
Shchukovsky V.V. (Saratov)
Yaroslavtsev A.S. (Astrakhan)

Technical sciences

Antonov A.V. (Obninsk)
Aryutov B.A. (Lower Novrogod)
Bichurin M.I. (Veliky Novgorod)
Boshenyatov B.V. (Moscow)
Vazhenin A.N. (Lower Novrogod)
Gilyov A.V. (Krasnoyarsk)
Gotz A.N. (Vladimir)
Gryzlov V.S. (Cherepovets)
Zakharchenko V.D. (Volgograd)
Kiryanov B.F. (Veliky Novgorod)
Klevtsov G.V. (Orenburg)
Koryachkina S.J. (Orel)
Kosintsev V.I. (Tomsk)
Litvinova E.V. (Orel)
Lubentsov V.F. (Ulyanovsk)
Mishin V.M. (Pyatigorsk)
Mukhopad J.F. (Irkutsk)
Nesterov V.L. (Ekaterinburg)
Pachurin G.V. (Lower Novgorod)
Pen R.Z. (Krasnoyarsk)
Popov F.A. (Biysk)
Pyndak V.I. (Volgograd)
Rassvetalov L.A. (Veliky Novgorod)
Salikhov M.G. (Yoshkar-Ola)
Sechin A.I. (Tomsk)

Pedagogical sciences

Arutyunyan T.G. (Krasnoyarsk)
Golubev G.N. (Naberezhnye Chelny)
Zavialov A.I. (Krasnoyarsk)
Zamogilnyj S.I. (Engels)
Ilmushkin G.M. (Dimitrovgrad)
Kirjakova A.V. (Orenburg)
Kuznetsov A.S. (Naberezhnye Chelny)
Litvinova T.N. (Krasnodar)
Lukyanov M.I. (Ulyanovsk)
Markov K.K. (Krasnoyarsk)
Stefanovskaya T.A. (Irkutsk)
Tutolmin A.V. (Glazov)

Art criticism

Kazantseva L.P. (Astrakhan)

Economic sciences

Bezruqova T.L. (Voronezh)
Zaretskij A.D. (Krasnodar)
Knyazeva E.G. (Ekaterinburg)
Kulikov N.I. (Tambov)
Savin K.N. (Tambov)
Shukin O.S. (Voronezh)

Philological sciences

Gadzhiahmedov A.E. (Dagestan)

Chemical sciences

Braynina H.Z. (Ekaterinburg)
Dubonosov A.D. (Rostov-na-Donu)
Poleschuk O.H. (Tomsk)

Geologo-mineralogical sciences

Lebedev V.I. (Kyzyl)

Physical and mathematical sciences

Krishtop V.V. (Khabarovsk)

Foreign members of an editorial board

Asgarov S. (Azerbaijan)
Alakbarov M. (Azerbaijan)
Babayev N. (Uzbekistan)
Chiladze G. (Georgia)
Datskovsky I. (Israel)
Garbuz I. (Moldova)
Gleizer S. (Germany)
Ershina A. (Kazakhstan)
Kobzev D. (Switzerland)
Ktshanyan M. (Armenia)
Lande D. (Ukraine)
Makats V. (Ukraine)
Miletic L. (Serbia)
Moskovkin V. (Ukraine)
Murzagaliyeva A. (Kazakhstan)
Novikov A. (Ukraine)
Rahimov R. (Uzbekistan)
Romanchuk A. (Ukraine)
Shamshiev B. (Kyrgyzstan)
Usheva M. (Bulgaria)
Vasileva M. (Bulgaria)

THE PUBLISHING HOUSE
«ACADEMY OF NATURAL HISTORY»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ИСХОДНЫХ ДАТ ПОВТОРНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Волков В.И., Волкова Т.Н., Вершинина Ю.В. *3285*

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ РЕСУРСАМИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОВНЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТДЕЛЬНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНОК БИОПРОДУКТИВНОСТИ И ОБЩЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТОИМОСТИ ЛЕСНЫХ БЛАГ
Воронов М.П., Часовских В.П. *3289*

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА ШТАМПОВАННЫХ НА МОЛОТЕ И ПРЕССЕ ЛИСТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ЭИ 878
Галкин В.В., Пачурин В.Г., Пачурин Г.В. *3294*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАСЕЛ
Гарифуллин М.Ш. *3299*

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ-СОВЕТЧИКА ДИСПЕТЧЕРА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ
Глущенко А.И., Еременко Ю.И., Цуканов М.А. *3305*

ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКНАХ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОГРАММ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ
Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю. *3310*

О ПРИМЕНЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ АЛГОРИТМОВ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
Еременко Ю.И., Цуканов М.А., Соловьев А.Ю. *3316*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ-УТИЛИЗАТОРЕ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ
Жаров А.В., Павлов А.А., Фавстов В.С., Горшков Р.В. *3321*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОУДАРЕНИЙ И КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ БАЛАНСОВ НЕОДИНАКОВОГО ДИАМЕТРА В КОРООБДИРОЧНОМ БАРАБАНЕ
Колесников Г.Н., Доспехова Н.А. *3328*

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ТЕХНОЛОГИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ»
Королева Л.А., Подшивалова А.В., Панюшкина О.В. *3332*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ
Лебедев А.Е., Зайцев А.И. *3338*

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ГРАНУЛЯЦИИ
Лимонов Н.Ф., Глушанкова И.С., Фарберова Е.А., Зорина Е.И. *3342*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНОК РИСКА ДОСТИЖЕНИЯ ДОПУСКОВЫХ ГРАНИЦ В ПРОЦЕССЕ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
Львович Я.Е., Каширина И.Л. *3347*

МЕТОД ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ
Львович Я.Е., Каширина И.Л. *3352*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ
Матвеев А.Г., Якубайлик О.Э. *3358*

РАСЧЕТ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РЕЛЬСОТРОНОВ
Носов Г.В., Лусс А.А. *3363*

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА
Панюшкина О.В., Королева Л.А., Подшивалова А.В., Шевчук К.О. *3368*

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНСТРУКТИВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С МЕТОДАМИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
Плаксин А.М., Грищенко А.В. *3373*

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САПР ОДЕЖДЫ С ЦЕЛЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
Подшивалова А.В., Королева Л.А, Панюшкина О.В., Бушко Д.А., Пашин С.С. *3378*

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ АНАЛОГОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ЖЕЛАТИНА
Просеков А.Ю., Ульрих Е.В., Бабич О.О., Сухих С.А. *3384*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШАРНИРНЫХ СТЕРЖНЕЙ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ
Смирнов Д.А., Тежикова Н.П. *3389*

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ
Староконь И.В. *3394*

ПРОТИВОРЕЧИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЕ ПРИ РЕМОНТЕ РЕЗЕРВУАРОВ
Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко Д.А. *3400*

МОДЕЛЬ РЕЗЕРВУАРА В СРЕДЕ ANSYS WORKBENCH 14.5
Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В., Тарасенко Д.А. *3404*

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ НАРУЖНОГО КОНТУРА ДНИЩА
Тарасенко А.А., Чепур П.В., Чирков С.В. *3409*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КРИВОШИПНОМ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНОМ ПРЕССЕ
Телегин И.В. *3414*

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ
Умнов В.П., Егоров И.Н. 3419

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ
Федорович Н.Н., Федорович А.Н., Нагерняк М.Г., Сухачева А.И. 3423

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ
Халилов А.И. 3428

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОДБОРА КОЛЛЕКТИВА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИННОВАЦИОННЫХ НАУКОЁМКИХ ПРОЕКТОВ
Хэбе Н.А., Ковшов Е.Е. 3435

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВЫСТУПА ОКРАЙКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ НАРУЖНОГО КОНТУРА ДНИЩА
Чепур П.В., Тарасенко А.А., Тарасенко Д.А. 3441

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОРПУСА БУРАВА ВОЗРАСТНОГО НА ПРОЧНОСТЬ
Шегельман И.Р., Суханов Ю.В., Васильев А.С., Клюев Г.В., Лукашевич В.М. 3446

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ФЕРРИТНО-ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ, НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ
Яковлева С.П., Махарова С.Н., Винокуров Г.Г., Мордовской П.Г., Стручков Н.Ф. 3451

Физико-математические науки

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ВЕДУЩИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ НА ОСНОВЕ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ 2013 ГОДА
Арефьев В.П., Михальчук А.А. 3456

УДАРНАЯ И ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ РАЗРЫВОВ – ЗАДАЧА КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ УДАРНЫХ И ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН
Булат П.В. 3462

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА ПРИ ПОМОЩИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА GAS REACTION CONTROLLER LP
Кудияров В.Н., Лидер А.М. 3466

Фармацевтические науки

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ АНИЛОКАИНА В МЕДИЦИНСКУЮ ПРАКТИКУ
Алексеева И.В., Панцуркин В.И. 3472

СИНТЕЗ 1,6-БИС[(БЕНЗИЛОКСИ)МЕТИЛ]ПРОИЗВОДНЫХ УРАЦИЛА И ИХ 1-АЛКОКСИМЕТИЛЬНЫХ АНАЛОГОВ
Гейсман А.Н., Озеров А.А., Новиков М.С. 3477

Филологические науки

ПОНЯТИЙНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СЛОВА «ИГРА» В ПРАКТИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ИГРОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ
Волкова И.И. *3481*

КОММУНИКАТИВНО-ПРАГМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОНИМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РОМАНА В. СКОТТА «АЙВЕНГО»
Волкова О.А., Серебряков А.А. *3486*

ГРАММАТИЧЕСКАЯ КАТЕГОРИЯ ПРОСТОГО ВРЕМЕНИ В ДРЕВНЕАНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ
Гурова Ю.И. *3491*

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ *3497*

CONTENTS

Technical sciences

THE SELECTION OF INITIAL DATES OF REPEATED MINE SURVEYING AND GEODESIC OBSERVATIONS ON GEODYNAMIC POLYGONS OF OIL AND GAS FIELDS
Volkov V.I., Volkova T.N., Vershinina Y.V. 3285

THE CONCEPT OF FOREST MANAGEMENT AND BUSINESS PLANNING AT THE LEVEL OF MUNICIPALITIES AND TIMBER ENTERPRISES ON THE BASE OF BIO-PRODUCTIVITY ESTIMATES AND FOREST TOTAL ECONOMIC VALUE
Voronov M.P., Chasovskykh V.P. 3289

STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND FATIGUE IN STAMPED HAMMERS AND PRESSES THE CORRUGATED PLATE SHEET ALLOY ЭИ 878
Galkin V.V., Pachurin V.G., Pachurin G.V. 3294

USE OF METHODS OPTICAL SPECTROSCOPY FOR DIAGNOSIS OF MINERAL INSULATING OILS
Garifullin M.S. 3299

MULTIAGENT TECHNOLOGY AS THE BASIS OF DESIGN SYSTEM MANAGER ENERGY-ADVISOR
Glushenko A.I., Eremenko Y.I., Tsukanov M.A. 3305

RELIABILITY OF CONTROL OF NANOPARTICLES OF SILVER ON POLYESTER FIBRES ON COMPONENTS OF THE RAMAN SPECTROGRAMS TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION UNCERTAINTY
Emelyanov V.M., Dobrovolskaya T.A., Emelyanov V.V., Orlov E.Y. 3310

ON THE APPLICATION OF MULTI-AGENT ALGORITHMS ANT COLONIES TO SOLVE THE PROBLEM OF STRUCTURAL OPTIMIZATION IN POWER SYSTEMS
Eremenko Y.I., Tsukanov M.A., Solovyev A.Y. 3316

RESEARCH OF HEAT EXCHANGER UTILIZERS FULFILLED GASES OF DIESEL COGENERATION UNIT VEHICLE METHOD OF COMPUTER FLUID DYNAMICS
Zharov A.V., Pavlov A.A., Favstov V.S., Gorshkov R.V. 3321

LAWS OF INTERACTION AND THE QUALITY DEBARKING OF PULPWOOD OF UNEQUAL DIAMETER IN THE DEBARKING DRUM
Kolesnikov G.N., Dospehova N.A. 3328

THE ALGORITHMIZATION OF FUNCTIONING PROCESS OF THE INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM «TECHNOLOGY OF CLOTHING»
Koroleva L.A., Podshivalova A.V., Panyushkina O.V. 3332

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE FORMATION OF A DISPERSED FLOWS
Lebedev A.E., Zaytsev A.I. 3338

PREPARATION CARBON SORBENTS FROM PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS OVAL GRANULATION
Limonov N.F., Glushankova I.S., Farberova E.A., Zorina E.I. 3342

MATHEMATICAL MODELING OF RISK ASSESSMENTS
OF THE ACHIEVEMENTS OF TOLERANCE BORDERS
IN THE PROCESS OF TESTING OF TECHNICAL SYSTEMS
Lvovich Y.E., Kashirina I.L. 3347

METHOD OF BRANCH AND BOUND FOR MULTI-CRITERIA PROBLEM
OF INCREASING THE RELIABILITY RESERVATION
Lvovich Y.E., Kashirina I.L. 3352

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND TECHNOLOGIES
FOR GEOSPATIAL WEB APPLICATIONS
Matveev A.G., Yakubailik O.E. 3358

CALCULATION OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD OF RAILGUNS
Nosov G.V., Luss A.A. 3363

FORMALIZATION OF THE DESCRIPTION OF PROJECTED PRODUCTS
ON THE BASIS OF ONTOLOGIC APPROACH
Panyushkina O.V., Koroleva L.A., Podshivalova A.V., Shevchuk K.O. 3368

THE RELATIONSHIP OF CONSTRUCTIVE IMPROVEMENT OF MOBILE POWER
TOOLS WITH METHODS OF DIAGNOSING THEIR TECHNICAL CONDITION
Plaksin A.M., Gritsenko A.V. 3373

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MODEL OF THE INTEGRATED CAD
OF CLOTHES FOR REALIZATION OF PROCESS OF ADOPTION
OF TECHNOLOGICAL DECISIONS
Podshivalova A.V., Koroleva L.A., Panyushkina O.V., Bushko D.A., Pashin S.S. 3378

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PLANT ANALOGS
OF PHARMACEUTICAL GELATIN
Prosekov A.Y., Ulrikh E.V., Babich O.O., Sukhikh S.A. 3384

STUDY ON KINETICS OF TWO-DEGREE-OF-FREEDOM
HINGED ARMS MATERIAL SYSTEM
Smirnov D.A., Tezhikova N.P. 3389

TECHNIQUE OF RESEARCH OF STRESSED STATE OF WELDED JOINTS
OF THE BEARING UNIT OF MARINE STATIONARY PLATFORMS
Starokon I.V. 3394

CONTRADITIONS OF CURRENT LAW-TECHNICAL BASE
IN REPAIRING STEEL STORAGE TANKS
Tarasenko A.A., Silnitsky P.F., Tarasenko D.A. 3400

STEEL STORAGE OIL TANK SIMULATED USING ANSYS WORKBENCH 14.5
Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V., Tarasenko D.A. 3404

THE RECEARCH OF CHANGES IN STRESS-STRAIN STATE VERTICAL
STEEL STORAGE TANKS WITH DEVELOPMENT OF DIFFERENTIAL
SETTLEMENT OUTDOOR CIRCUIT BOTTOM
Tarasenko A.A., Chepur P.V., Chirkov S.V. 3409

COMPUTER SIMULATIONOF DYNAMICPROCESSES INHOT-CRANK PRESS
Telegin I.V. 3414

THE FORMATION OF THE SPACE OF THE STATES CONTROL
OF EXECUTIVE SYSTEMS OF MANIPULATION ROBOTS
Umnov V.P., Egorov I.N. 3419

DRINKING WATER QUALITY MONITORING
Fedorovich N.N., Fedorovich A.N., Nagernyak M.G., Sukhacheva A.I. 3423

SOME PROPERTIES OF DIALOG SYSTEMS FOR COLLECTIVE USE
Khalilov A.I. 3428

THE USE OF GENETIC ALGORITHMS TO STREAMLINE SELECTION
OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL STAFF COLLECTIVE
FOR HIGH PERFORMANCE INNOVATION PROJECTS
Khebe N.A., Kovshov E.E. 3435

THE STRESS-STRAINED STATE RESEARCH OF STEEL STORAGE
TANKWITH A LIP PROTRUSIONINFLUENCE LINKED OUTER CIRCUIT
BOTTOM DIFFERENTIAL SETTLEMENT
Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A. 3441

METHOD OF STRENGTH CALCULATION OF AN INCREMENT BORER BODY
Shegelman I.R., Sukhanov Y.V., Vasilev A.S., Klyuev G.V., Lukashevich V.M. 3446

INCREASING OF WEAR RESISTANCE AND RELIEF OF THE FRICTION
SURFACE OF THE FERRITE-PEARLITIC STEEL NANOSTRUCTURED
BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION
Yakovleva S.P., Maharova S.N., Vinokurov G.G., Mordovskoy P.G., Struchkov N.F. 3451

Physical and mathematical sciences

CLUSTERING OF LEADING COMPETITIVE RUSSIAN HIGH SCHOOLS
ON THE BASIS OF INTRODUCTORY TRIALS OF 2013
Arefyev V.P., Mihalchuk A.A. 3456

SHOCK AND DETONATION WAVE IN TERMS OF VIEW OF THE THEORY
OF INTERFERENCE GAS DYNAMIC DISCONTINUITIES –
THE TASK OF DESIGNING THE OPTIMAL CONFIGURATION
OF SHOCK AND DETONATION WAVES
Bulat P.V. 3462

INVESTIGATION OF HYDROGEN SORPTION AND DESORPTION PROCESSES
WITH THE HELP OF AUTOMATED COMPLEX GAS REACTION CONTROLLER LP
Kudiiarov V.N., Lider A.M. 3466

Pharmaceutical sciences

STATE AND PROSPECTS OF INTRODUCTION OF MEDICINAL
FORMS ANILOCAINE IN MEDICAL PRACTICE
Alekseeva I.V., Pantsurkin V.I. 3472

THE SYNTHESIS OF 1,6-BIS[(BENZYLOXY)METHYL]URACIL DERIVATIVES
AND THEIR 1-ALKOXYMETHYL ANALOGS
Geysman A.N., Ozerov A.A., Novikov M.S. 3477

Philological sciences

THE CONCEPTUAL TRANSFORMATIONS OF THE WORD «GAME» IN STUDIES OF PLAY INTERACTION
Volkova I.I. *3481*

COMMUNICATIVE AND PRAGMATIC FEATURES OF ANTHROPONIMICS IN THE NOVEL «IVANHOE» BY W. SCOTT
Volkova O.A., Serebryakov A.A. *3486*

HISTORIC ASPECT OF THE INDEFINITE TENSES IN THE OLD ENGLISH LANGUAGE
Gurova Y.I. *3491*

RULES FOR AUTHORS.....*3497*

УДК 528.01/.06

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ИСХОДНЫХ ДАТ ПОВТОРНЫХ МАРКШЕЙДЕРСКО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

[1]Волков В.И., [2]Волкова Т.Н., [1]Вершинина Ю.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: 9385228@gmail.com;

[2]Научно-производственное объединение «Энергогазизыскания», Санкт-Петербург

Показано, что в настоящее время при постановке маркшейдерско-геодезических наблюдений за современными вертикальными движениями земной коры (СВДЗК) на территориях разрабатываемых нефтегазовых месторождений отсутствует научно-обоснованный подход к выбору начала координат (исходного геодезического знака), что исключает возможность получения достоверных, релевантных и репрезентативных сведений относительно количественных параметров техногенных сдвижений и деформаций земной коры и ее поверхности. Авторами разработана новая методика установления исходных дат для повторных наблюдений за природными и техногенными деформациями приповерхностных слоев земной коры, получившими развитие в результате эксплуатации месторождений углеводородного сырья. Предложен способ оценки устойчивости исходной геодезической основы, предусматривающий вычисление скоростей СДЗК и скоростей техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры с достаточной степенью надежности и достоверности.

Ключевые слова: современные вертикальные движения земной коры (СВДЗК), повторные маркшейдерско-геодезические наблюдения, «исходная» высотная геодезическая основа, тектонические движения, техногенные деформации земной поверхности, нефтегазовые месторождения

THE SELECTION OF INITIAL DATES OF REPEATED MINE SURVEYING AND GEODESIC OBSERVATIONS ON GEODYNAMIC POLYGONS OF OIL AND GAS FIELDS

[1]Volkov V.I., [2]Volkova T.N., [1]Vershinina Y.V.

[1]Saint-Petersburg State Architectural and Construction University, St.-Petersburg, e-mail: 9385228@gmail.com;

[2]Science & Production Firm «Energogaziziskanija» ltd., St.-Petersburg

It is shown that there isn't the science-based approach of selection of origin of coordinates (an original geodesic sign) in mine surveying and geodesic observations of current vertical movements of the earth's crust (CMEC) in areas of developed oil and gas fields, that eliminates the possibility to obtain the reliable, relevant and representative information of the quantitative measurements of technogenic earth crust deformation and displacement. The new methodology of determination of the initial dates for repeated observations of natural and man-caused deformations of near-surface layers of the earth's crust which began to develop as a result of oil-and-gas-field operation is developed by the authors. The way of estimating stability of the original geodesic foundation is proposed. This method envisions the calculation of CMEC's velocity and the speed of man-caused deformations of near-surface layers of the earth's crust with a sufficient degree of reliability and validity.

Keywords: current vertical movements of the earth's crust (CMEC), repeated mine surveying and geodesic observations, the original geodesic foundation, tectonic movements, man-caused deformations of the earth surface, oil and gas fields

Одним из фундаментальных вопросов изучения современных движений земной коры (СДЗК) в региональном масштабе на техногенных геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений является выбор начала координат (исходного геодезического знака), относительно которого определяются кинематические характеристики эндогенных процессов и техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры. Классически [5, 6] исходный геодезический знак располагают за пределами горного отвода месторождения на расстоянии 2–3 км от его границ. Известно [1, 2], что основным требованием, предъявляемым к исходным геодезическим знакам, является сохранение ими стабильного положения в пространстве и во времени на протяжении выполнения повторных маркшейдерско-геодезических наблюдений. Однако многочисленные исследования [7, 9] в области изучения современных вертикальных движений земной коры (СВДЗК) показывают, что земная поверхность практически повсеместно подвергается сложнодифференцированным в пространстве и во времени смещениям и деформациям, которые являются итогом совместного протекания в ее приповерхностных слоях эндогенных и экзогенных геомеханических процессов [2, 4, 10], что неизбежно приводит к дестабилизации геодезических знаков. Кроме этого, следует обратить внимание на то, что отбор углеводородов на разрабатываемых месторождениях приводит к перетоку подземных вод из приповерхностных

слоев земной коры, удаленных более чем на 2–3 км от границ горного отвода, которые вследствие изменения уровня подземных вод претерпевают деформации [10]. Следовательно, традиционный подход [5, 6] к выбору начала координат на техногенных геодинамических полигонах исключает возможность строгого решения задачи определения кинематических характеристик техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры и границ их проявления на земной поверхности.

Программно-целевой подход к изучению СДЗК и ее приповерхностных слоев на территориях нефтегазовых месторождений [3] предусматривает на контрольных кустах реперов наблюдательных систем геодинамических полигонов использование в качестве исходных геодезических знаков глубинные реперы (разведочные скважины, оборудованные под реперы), основания которых заложены в горные породы, расположенные ниже коллекторов, из которых производится отбор углеводородов. Таким образом, на месторождении имеется сеть исходных геодезических знаков, на устойчивость которых не влияют экзогенные природные и антропогенные факторы, однако их устойчивость нарушается под воздействием тектонических факторов. Поэтому нами предлагается на первом этапе обработки результатов повторных геодезических наблюдений оценить устойчивость глубинных (исходных) реперов по отношению к эндогенным факторам и определить скорости СВДЗК в пределах геодинамического полигона, которые в дальнейшем будут использоваться для вычисления кинематических характеристик техногенных деформаций приповерхностных слоев земной коры и ее поверхности с учетом тектонической составляющей дестабилизации опорного геодезического знака, выбранного в качестве исходного.

Для этого при обработке результатов повторных геодезических наблюдений, в частности, повторного нивелирования, принимая поочередно за исходный все опорные *i-e* реперы геодинамического полигона вычисляют отметки *j-x* остальных, после сопоставления которых в двух циклах повторных измерений получают *n* рядов расхождений отметок Δij ($i = 1, \ldots n$; $j = 1 \ldots n$). Полученные расхождения сводят в квадратную матрицу:

$$Bn = \begin{vmatrix} 0 & \Delta_{12} & \Delta_{12} & \ldots & \Delta_{1n} \\ \Delta_{21} & 0 & \Delta_{23} & \ldots & \Delta_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ \Delta_{n1} & \Delta_{n2} & \Delta_{n3} & \ldots & 0 \end{vmatrix}.$$

Сумму столбцов S_j матрицы *Bn* делят на *n* и получают средние смещения *j-x* реперов относительно всех остальных нивелирных знаков за период времени τ между циклами повторных наблюдений, обусловленных тектоническими факторами. Средняя «точечная» скорость вертикальных движений земной коры на участке между *j* и *j + 1* знаками может быть получена из выражения

$$V = \frac{S_{j+1} - S_j}{\tau}. \qquad (1)$$

Скорости СВДЗК для районов закладки опорных геодезических знаков также можно определить по картам СВДЗК [9], которые составлены для европейской территории России.

Для определения скоростей СВДЗК на заданный район по картам СВДЗК выполняется интерполирование скоростей, представленных на картах СВДЗК изолиниями, и оценка погрешности площадного интерполирования по точечным значениям скоростей.

При интерполировании скоростей СВДЗК по площади *P* задаются структурой СВДЗК и точностью получения скоростей СВДЗК, сведения о которой представлены на картах СВДЗК. Интерполяционные веса определяются на основании сведений о статистической структуре СВДЗК и точности получения скоростей СВДЗК таким образом, чтобы средняя квадратическая погрешность нивелирования была минимальной по сравнению с ее значениями при любом другом выборе весов.

Принимая гипотезу с нулевым значением скорости СВДЗК в $n = 1 \ldots i$ точках (x_i, y_i), считаем вычисленные по результатам повторного нивелирования скорости СВДЗК V_i отклонениями от истинных значений. Тогда справедливо следующее уравнение:

$$V_{\text{ср}} = \frac{1}{P} \iint_{(P)} V(x, y) dxdy \qquad (2)$$

или в линейном виде

$$V_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{n} a_i v_i, \qquad (3)$$

где a_i – веса, определяемые из условия, чтобы средний квадрат погрешности замены величины (2) величиной (3) с учетом ошибок нивелирования δ_i был минимальным:

$$M = \left[\sum_{i=1}^{n} a_i (v_i + \delta_i) \frac{1}{P} \iint_{(P)} V(x, y) dxdy \right]^2. \qquad (4)$$

В формуле (4) черта сверху указывает на осреднение, осуществляемое, строго говоря, в вероятном смысле, но на некоторой ограниченной выборке.

Используя структурную функцию и принимая во внимание свойства случайных ошибок:

а) ошибки δ_v в различных точках не коррелированы ни с истинными значениями величин скоростей

$$\delta_v(x_1, y_1)\, v(x_2, y_2) = 0; \quad (5)$$

б) ни между собой

$$\delta_v(x_1, y_1)\delta_v(x_2, y_2) = \begin{cases} 0 \\ m_v^2(x_1, y_1) \quad \text{при } d_{12} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где m_v^2 – средняя квадратическая погрешность определения скорости СВДЗК; d_{12} – расстояние между точками 1 и 2.

Определяем случайную ошибку измерения скоростей СВДЗК методами повторных геодезических наблюдений. Такое обобщение допустимо, поскольку мы имеем уравненные значения скоростей СВДЗК, представленных на картах СВДЗК.

Представим значения скоростей в точках (x_1, y_1) для конкретного региона в виде последовательного ряда измерений. Принимая наряду с однородностью и изотропией СВДЗК для платформенного района, что не противоречит природе нетектонических движений земной коры, условие зависимости m_v от координат, можем определить значения m_v в каждой из точек (x_1, y_1). Структурная функция скоростей v по двум последовательно расположенным точкам в ряде измерений представляют собой средний квадрат разности

$$Sv = (x_1, y_1;\ x_1 + 1,\ y_1 + 1) = \left[v_i` - \frac{[V`]}{n} \quad \left(v_i` + 1 - \frac{[V`]}{n} \right) \right]^2. \quad (7)$$

Структурная функция Sv завышена на сумму средних квадратов ошибок в точках. Это верно для всех расстояний d, кроме $d = 0$, при котором функция $Sv = 0$.

$$Sv`(x_1, y_1;\ x_1 + 1, y_1 + 1) \begin{cases} Sv(x_1, y_1;\ x_1 + 1,\ y_1 + 1) + m_v{}^2(x_1, y_1) + m_v{}^2(x_1 + 1,\ y_1 + 1) \\ Sv(x_1, y_1;\ x_1 + 1, y_1 + 1) = 0 \quad \text{при } di + 1 = 0 \end{cases}$$

Принимая во внимание данное свойство структурной функции, экстраполируя функцию $Sv`$ к $d_i + 1$, получаем $2m_v^2$.

Определение ковариационной функции и свойства (5) и (6) позволяют записать

$$V = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i a_j t_v(x_i, y_i, x_j, y_j) + \sum_{i=1}^{n} a_i m_v^2(x_i, y_i) - 2\sum_{i=1}^{n} a_i t_v(x_i, y_i, x_o, y_o) + Dv(x_o, y_o) \quad (8)$$

Приняв обозначения:

Ковариационная функция

$$t_v(x_i, y_i, x_j, y_j) = t_{ij}$$

$$m_v^2(x_i, y_i) = m^2$$

и дисперсия среднего значения скоростей СВДЗК по площади P через

$$E = D_v(x_o, y_o) = \left[\frac{1}{P} \iint\limits_{(P)} v(x, y)\, dxdy \right]^2$$

перепишем уравнение (8)

$$M = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_i a_j t_v + \sum_{i=1}^{n} a_i{}^2 m_v^2 - 2\sum_{i=1}^{n} a_i k_i + E, \quad (9)$$

где k_i – значение взаимной ковариационной функции, описывающей статистическую связь точечных значений с осредненной по площади величиной.

Веса a_i определяются из условий минимума M. Для этого приравниваются производные от M по весам a_i к нулю. Получается система n линейных уравнений

$$\sum_{i=1}^{n} t_{ij} a_j + m_i^2 a_i = k_i, (i = 1 \ldots n), \quad (10)$$

где $k_i = v`(x_i, y_i) \frac{1}{P} \iint\limits_{(P)} v`(x_i, y_i) dxdy.$ (11)

Согласно изложенному выше,

$$E = \frac{1}{P}\iint_{(P)}\iint_{(P)} t(x, y, x`, y`)dxdydx`dy`; \quad (12)$$

$$k_i = \frac{1}{P}\iint_{(S)} t(x, y, x_i, y_i)dxdy. \quad (13)$$

Принимая однородность и изотропность для ковариационной функции и разбивая район на прямоугольники (квадраты) в формулах (2), (12) и (13) без труда вычисляется интеграл при определении величин $V_{ср}$, E и k_i с использованием линейных алгебраических уравнений (3), (9) и (10). При этом следует иметь в виду, что отношение $k/t = R$ представляет собой коэффициент корреляции, характеризующий связь между значениями $V_{ср}$ скоростей СВДЗК. По коэффициентам корреляции R можно судить о региональном поднятии (опускании) групп реперов. Следовательно, данная методика обработки результатов повторного нивелирования также может успешно применяться для анализа устойчивости реперов исходной основы в условиях воздействия на них как эндогенных, так и экзогенных геомеханических процессов.

Список литературы

1. Буланже Ю.Д. К вопросу об исследованиях современных движений земной коры // Современные движения земной коры: морфоструктура, разломы, сейсмичность. – М.: Наука, 1987. – С. 6–9.

2. Волков В.И. Проблемы изучения СДЗК // Инженерно-геодезические работы в строительстве. – М.: АН СССР, 1991. – С. 3–9.

3. Волков В.И., Волкова Т.Н., Вершинина Ю.В. Программно-целевой подход к постановке наблюдений за современными движениями земной поверхности на нефтегазовых месторождениях // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 1. – С. 45–48.

4. Волков В.И., Вершинина Ю.В. К вопросу об исследованиях кинематики приповерхностных слоев земной коры // Инженерно-экологические системы: материалы междунар. научн.-практич. конф. (СПб, 10-12 октября 2012 г.). – СПб., 2012. – С. 194–198.

5. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2004. – 244 с.

6. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). – М.: ГУП «НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. – 120 с.

7. Кафтан В.И., Серебрякова Л.И. Современные движения земной коры: Геодезия и аэросъемка, т.28 // Итоги науки и техники. ВИНИТИ АН СССР. – М., 1990. – 151 с.

8. Научно-технический сборник по геодезии. Серебрякова Л.И. Геодинамические исследования. – М.: ФГУП «ЦНИИГАиК», 2011. – 150 с.

9. Современные движения земной коры. Теория, методы, прогноз. Результаты исследований по международным геофизическим проектам. – М.: Наука, 1980. – 200 с.

10. Цытович Н.А., Тер-Мартиросян З.Г. Основы прикладной геомеханики в строительстве: учеб. пособие. – М.: Высш. школа, 1981. – 317 с.

References

1. Bulanzhe Ju.D. K voprosu ob issledovanijah sovremennyh dvizhenij zemnoj kory // Sovremennye dvizhenija zemnoj kory: Morfostruktura, razlomy, sejsmichnost'. M.: Nauka, 1987. pp. 6–9.

2. Volkov V.I. Problemy izuchenija SDZK // Inzhenerno-geodezicheskie raboty v stroitel'stve. M.: AN SSSR, 1991. pp. 3–9.

3. Volkov V.I., Volkova T.N., Vershinina Ju.V. Programmno-celevoj podhod k postanovke nabljudenij za sovremennymi dvizhenijami zemnoj poverhnosti na neftegazovyh mestorozhdenijah // Markshejderskij vestnik. 2013. no. 1. pp. 45–48.

4. Volkov V.I., Vershinina Ju.V. K voprosu ob issledovanijah kinematiki pripoverhnostnyh sloev zemnoj kory // Inzhenerno-jekologicheskie sistemy: materialy mezhdunar. nauchn.-praktich. konf. (SPb, 10-12 oktjabrja 2012 g.). SPb., 2012. pp. 194–198.

5. Instrukcija po nivelirovaniju I, II, III i IV klassov. M.: Kartgeocentr-Geodezizdat, 2004. 244 p.

6. Instrukcija po proizvodstvu markshejderskih rabot (RD 07-603-03). M.: GUP «NTC «Promyshlennaja bezopasnost'», 2003. 120 p.

7. Kaftan V.I., Serebrjakova L.I. Sovremennye dvizhenija zemnoj kory: Geodezija i ajeros#emka, t.28 // Itogi nauki i tehniki. VINITI AN SSSR. M., 1990. 151 p.

8. Nauchno-tehnicheskij sbornik po geodezii. Serebrjakova L.I. Geodinamicheskie issledovanija. M.: FGUP «CNIIGAiK», 2011. 150 p.

9. Sovremennye dvizhenija zemnoj kory. Teorija, metody, prognoz. Rezul'taty issledovanij po mezhdunarodnym geofizicheskim proektam. M.: Nauka, 1980. 200 s.

10. Cytovich N.A., Ter-Martirosjan Z.G. Osnovy prikladnoj geomehaniki v stroitel'stve: ucheb. posobie. M.: Vyssh. shkola, 1981. 317 p.

Рецензенты:

Волков С.А., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург;

Елистратов В.В., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 338.984

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ РЕСУРСАМИ И ПЛАНИРОВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УРОВНЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ И ОТДЕЛЬНЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ОСНОВЕ ОЦЕНОК БИОПРОДУКТИВНОСТИ И ОБЩЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СТОИМОСТИ ЛЕСНЫХ БЛАГ

Воронов М.П., Часовских В.П.

ГОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет», Екатеринбург, e-mail: mstrk@yandex.ru

В статье представлена модель оптимизации ассортимента продукции из лесных благ для 3-х случаев: муниципальное образование является производителем продукции и самостоятельно определяет номенклатуру; арендатор является производителем и самостоятельно определяет номенклатуру; арендатор является производителем и муниципальное образование определяет номенклатуру. В качестве основных ограничений модели используются чистая экосистемная продукция, общая экономическая стоимость экосистемы, объем спроса на виды лесной продукции. Представлен алгоритм планирования лесоводственных мероприятий, объемов заготовки древесных и не древесных ресурсов, производственных мощностей. Модель может быть использована при проектировании информационно-коммуникационных систем муниципальных образований, позволяющих проводить оценку и влиять на хозяйственную деятельность, не нарушая при этом экологического баланса и используя лесные ресурсы с максимальной эффективностью.

Ключевые слова: лесная экосистема, экономическая оценка, информационные системы, планирование хозяйственной деятельности

THE CONCEPT OF FOREST MANAGEMENT AND BUSINESS PLANNING AT THE LEVEL OF MUNICIPALITIES AND TIMBER ENTERPRISES ON THE BASE OF BIO-PRODUCTIVITY ESTIMATES AND FOREST TOTAL ECONOMIC VALUE

Voronov M.P., Chasovskykh V.P.

Ural state forest engineering university, Ekaterinburg, e-mail: mstrk@yandex.ru

Within the article there is a model for optimization of forest production range for 3 cases: a municipality is a producer and determines the range, a tenant is a producer and determines the range, a tenant is a producer and a municipality determines the range. Net ecosystem production, ecosystem total economic value, the demand for forest products of different types are used as the main limitations within the model. The algorithm for planning of silvicultural operations, the volume of wood and non-wood resources harvested and production capacity is presented. The model can be used at designing of municipalities information and communication systems, which allow to evaluate and force the economic activity without disrupting the ecological balance and using forest resources with maximum efficiency.

Keywords: forest ecosystems, economic evaluation, information systems, business planning

В разрезе Киотского протокола и предрекаемого в связи с ним в будущем глобального процесса торговли квотами на эмиссию парниковых газов, повышается роль оценки углерододепонирующей способности лесов. Более того, становится необходимым оперативное получение информации о текущем состоянии лесов на всех административно-территориальных уровнях. В условиях обеспечения определенного уровня эмиссии газов или определенного уровня депонирования углерода, хозяйственная деятельность как субъектов и муниципальных образований РФ, так и отдельных предприятий лесной промышленности оказывается взаимозависимой, и возникает необходимость ее централизованного планирования. И одной из самых приоритетных задач такого планирования является определение ассортимента и объемов выпуска каждого из видов лесной промышленности таким образом, чтобы суммарный экономический эффект в масштабах страны оставался максимальным при условии обеспечения максимального превышения депонирования углерода над его эмиссией.

Цель исследования – разработать методику планирования хозяйственной деятельности в лесной промышленности на уровне региона, области и отдельного лесопромышленного предприятия, позволяющую совместить получение максимального экономического эффекта при одновременномобеспечениии устойчивогоразвития экосистемы.

Материалы и методы исследования

В деревообрабатывающей, целлюлозно-бумажной и лесохимической промышленностях для производства одного продукта могут использоваться различные фракции древесины различных пород [5].

Необходимо ограничить суммарный объем производства таким образом, чтобы суммарная

фитомасса древесины всех пород и фракций, предполагаемая к использованию для производства всех видов продукции, на предстоящий год не превышала прогнозируемый уровень чистой экосистемной продукции.

В вышеобозначенных условиях задача определения оптимального ассортимента сводится одному из следующих видов:

– муниципальное образование является производителем продукции из лесных благ:

$$\sum_{j=1}^{k} PR_j = \sum_{j=1}^{k} q_j \cdot (p_j - e_j) + \sum_{m=1}^{y} q_m \cdot (p_m - e_m) - \sum_{l=1}^{r} SC_l + \Delta TEV \to \max \quad (1)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} q_j \le Dnp_j \\ \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n} Q_{ji} \le \sum_{i=1}^{n} \frac{NEP_i}{k_i} \\ q_j \ge a_j \\ q_j = \sum_{i=1}^{n} Q_{ji} \cdot kн_{ji} \\ q_m = \sum_{m=1}^{y} QNF_m \cdot kн_m \\ QNF_{mj} \le knf \cdot Q_{ji}, \quad m = 9,13,16,17,18,19,26 \\ QNF_m \le BH_m, \quad m = 1,2,3,4,8,10,11,12,13,14,15,20,21,22,23,27 \\ QNF_m \le QNF'_m, \quad m = 5,6,7,10,22,23,24,25 \end{cases} \quad (2)$$

– производителем продукции назначается арендатор с предоставлением ему самостоятельности в выборе номенклатуры и объемов производимой продукции:

$$PR = \sum_{d=1}^{w} R_d - \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{s} Q_{ji} \cdot c_i - \sum_{m=1}^{y} QNF_m \cdot c_m - \sum_{l=1}^{r} SC_l + \Delta TEV \to \max \quad (3)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{s} Q_{ji} \le \sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{s} \frac{NEP_i}{k_i} \\ \Delta TEV \ge 0 \\ QNF_m \le BH_m, \quad m = 1,2,3,4,8,10,11,12,13,14,15,20,21,22,2327 \\ QNF_m \le QNF'_m, \quad m = 5,6,7,10,22,23,24,25 \end{cases} \quad (4)$$

– производителем продукции назначается арендатор без предоставления ему самостоятельности в выборе номенклатуры и объемов производимой продукции:

$$PR = \sum_{d=1}^{w} R_d - \sum_{j=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\sum_{p=1}^{s} Q_{ji} \cdot c_i - \sum_{m=1}^{y} QNF_m \cdot c_m - \sum_{l=1}^{r} SC_l + \Delta TEV \to \max \quad (5)$$

при следующих ограничениях:

$$\begin{cases} Q_{ji} = Q'_{ji} \\ q_j = \sum_{i=1}^{n} Q'_{ji} \cdot kн_{ji} \\ q_m = \sum_{m=1}^{y} QNF_m \cdot kн_m \\ QNF_{mj} \le knf \cdot Q'_{ji}, \quad m = 9,13,16,17,18,19,26 \\ QNF_m \le BH_m, \quad m = 1,2,3,4,8,10,11,12,13,14,15,20,21,22,2327 \\ QNF_m \le QNF'_m, \quad m = 5,6,7,10,22,23,24,25 \end{cases} \quad (6)$$

где k – количество видов выпускаемой продукции; n – количество пород, используемых в производстве; s – количество фракций, используемых в производстве; PR_j – прибыль от реализации j-го продукта в количестве q_j; PR – прибыль от сдачи лесного участка в аренду; q_j – объем производства j-го продукта из древесных ресурсов; p_j – среднерыночная цена j-го продукта, произведенного из древесных ресурсов; e_j – суммарные издержки производства единицы j-го продукта, произведенного из древесных ресурсов; q_m – объем производства m-го продукта из недревесных ресурсов; p_m – среднерыночная цена m-го

продукта, произведенного из недревесных ресурсов; e_m – суммарные издержки производства единицы m-го продукта, произведенного из древесных ресурсов; R_d – арендная плата за пользование лесным участком; Q_{ji} – количество древесных ресурсов i-й породы, используемых для производства j-го продукта; Q'_{ji} – регламентируемое муниципальным образованием количество древесных ресурсов i-й породы, используемой для производства j-го продукта; QNF_{mj} – количество недревесных ресурсов, являющихся побочными продуктами или отходами от основных рубок древесных ресурсов i-й породы, используемых при производстве j-го продукта (для таких ресурсов, как CNT_9 – живица; CNT_{13} – технологическая щепа; CNT_{16} – листья, почки, цветы, хвоя, лапка; CNT_{17} – кора; CNT_{18} – сокопродуцирующие растения; CNT_{19} – пневой осмол; CNT_{26} – дрова); QNF_m – количество недревесных ресурсов, используемой для производства m-го продукта; QNF'_m – регламентируемое муниципальным образованием количество недревесных ресурсов (для таких ресурсов, как CNT_5 – редкие и исчезающие виды животных и растений; CNT_6 – охотничьи ресурсы; CNT_7 – рыбные ресурсы; CNT_{10} – редкие виды лекарственных растений; CNT_{22} – лесная подстилка; CNT_{23} – редкие виды лишайников; CNT_{24} – песок, гравий, глина; CNT_{25} – торф); c_i – стоимость древесных ресурсов i-й породы; SC_l – стоимость проведения l-го лесоводственного мероприятия; ΔTEV – изменение общей экономической стоимости; Dnp_j – прогнозируемый объем спроса на j-й продукт; NEP_i – чистая экосистемная продукция, i-й породы; BH_m – биологическая урожайность или продуктивность m-го недревесного ресурса (применяется для ресурсов – CNT_1 – орехоплодные; CNT_2 – грибы; CNT_3 – ягоды; CNT_4 – плоды; CNT_8 – пищевые растения; CNT_{10} – лекарственные растения; CNT_{11} – пряноароматические растения; CNT_{12} – кормовые растения; CNT_{13} – технические растения; CNT_{14} – пчеловодство; CNT_{15} – медоносные; CNT_{20} – лесное семеноводство; CNT_{21} – лесосеменные плантации; CNT_{22} – подстилка, CNT_{23} – лишайники; CNT_{27} – выпас скота); ΔP_i – годичный прирост фитомассы i-й породы; a_j – минимальное количество j-го продукта, необходимое для поддержания жизненно важных функций в обществе (устанавливается государством или муниципальным образованием); kн$_{ji}$ – коэффициент, отражающий нормированное количество i-й породы, необходимой для производства единицы j-го продукта; kн$_m$ – коэффициент, отражающий нормированное количество недревесного ресурса, необходимого для производства единицы m-го продукта; knf – коэффициент, отражающий долю количества недревесных ресурсов, являющихся побочными продуктами или отходами от основных рубок древесных ресурсов в объеме заготовленных древесных ресурсов; k_i – коэффициент, отражающий количество фитомассы в p-й фракции, i-й породы, используемой для получения полуфабриката (сортимента) в количестве Q_i.

$$k_{ip} = \frac{P_i}{M_i} \qquad (7),$$

где P_i – фитомасса p-й фракции, i-й породы; M_i – запас стволовой древесины.

Изменение общей экономической стоимости:

$$\Delta TEV = TEV_t - TEV_0, \qquad (8)$$

где TEV_t – конечная общая экономическая стоимость экосистемы (за текущий год), руб.; TEV_0 – начальная общая экономическая стоимость экосистемы (за предыдущий год), руб.

В случае, когда муниципальное образование является производителем продукции из лесных благ, его прибыль складывается из выручки от продаж продукции, произведенной из древесных и недревесных ресурсов, за вычетом суммарных затрат на производство, и изменения общей экономической стоимости экосистемы за вычетом затрат на проведение лесоводственных мероприятий (формула (1)). Общая экономическая стоимость выступает в качестве индикатора, показывающего ущерб, наносимый экосистеме (отрицательный знак), или развитие экосистемы в результате хозяйственной и лесоводческой деятельности (положительный знак).

Поскольку арендаторы далеко не всегда заинтересованы в том, чтобы вести рациональное лесопользование, а также развивать экосистемы и восстанавливать и преумножать истощаемые и редкие виды древесных и недревесных ресурсов, проведение лесоводственных мероприятий предлагается оставить за муниципальными образованиями независимо от того, являются ли они лесопользователями или производителями продукции из лесных благ, или отдают лесные участки в аренду.

Моделью предусматриваются 2 типа взаимоотношений муниципальных образований с арендаторами – с предоставлением самостоятельности в выборе ассортимента и объемов производимой продукции и без предоставления таковой. В случае сдачи лесных участков в аренду прибыль муниципального образования складывается из суммы арендных платежей за вычетом стоимости заготовленных арендатором древесных и недревесных ресурсов и изменения общей экономической стоимости экосистемы за вычетом затрат на проведение лесоводственных мероприятий (формулы (3) и (5)).

Для того чтобы в условиях сдачи лесных участков в аренду обеспечить выполнение принципов устойчивого управления и рационального многоцелевого лесопользования, предлагается ввести ряд ограничений.

Для случаев, когда производителем продукции является муниципальное образование или арендатор с предоставлением самостоятельности в выборе ассортимента и объемов продукции. основными ограничениями объемов заготавливаемых ресурсов выступают чистая экосистемная продукция (для древесных ресурсов) и биологическая урожайность или продуктивность (для возобновимых недревесных ресурсов) – формулы (2) и (4). Если производитель продукции – муниципальное образование, предлагается ввести дополнительное ограничение на объем выпуска продукции – прогнозируемый объем спроса. Поскольку сдача лесных участков в аренду с предоставлением самостоятельности в выборе ассортимента и объемов продукции производится с целью предоставить арендатору свободу в ведении целевого лесопользования, данное ограничение в рамках этого вида взаимоотношений снимается; предполагается, что арендатор самостоятельно будет определять потребность в том или ином виде продукции (формула (4)). В этом случае основным ограничением, накладываемым на деятельность арендатора, является положительный знак изменения общей экономической стоимости экосистемы (формула (4)).

В случае, когда производителем продукции назначается арендатор без предоставления самостоятельности в выборе номенклатуры и объемов

производимой продукции муниципальное образование регламентирует объемы заготовки древесных и недревесных ресурсов, а также ассортимент и объемы производства (формула (6)), которые рассчитывает на основе значений чистой экосистемной продукции и общей экономической стоимости.

Также для некоторых позиций недревесных ресурсов (редкие виды животных и растений, рыбные ресурсы и прочие) предусматривается наложение запрета или жестких ограничений на использование (формулы (2), (4), (6)).

Данную модель предлагается использовать для планирования хозяйственной и лесоводческой деятельности на уровнях:

– Федерального округа.
– Административного образования.
– Лесхоза.
– Лесничества.
– Квартала.
– Выдела.

Схема планирования показана на рисунке.

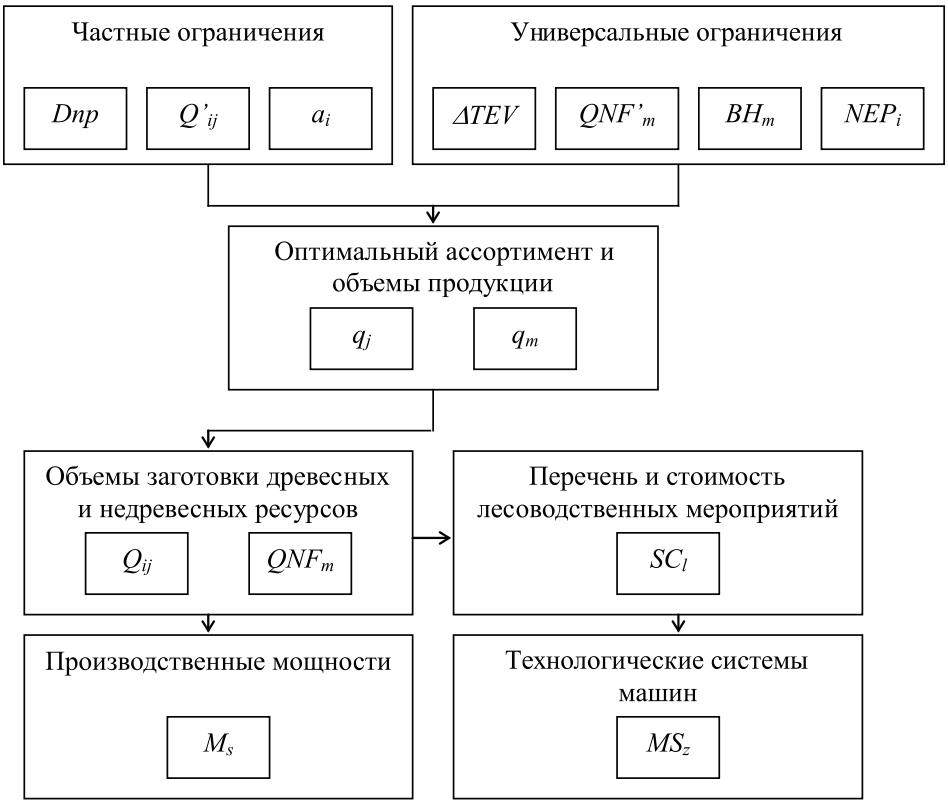


Схема планирования хозяйственной и лесоводственной деятельностей на основе ограничений, вводимых муниципальным управлением

В настоящее время имеются методики, позволяющие осуществлять расчет показателей, используемых в рамках модели. Так, методика расчета стоимости древесных ресурсов представлена в [2], методика расчета стоимости недревесных ресурсов представлена в [1], методика расчета стоимости средоформирующих функций леса представлена в [3], методика формирования оптимального плана лесоводственных мероприятий представлена в [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Лес – это сложная экосистема, включающая множество сложных процессов. Для управления лесными экосистемами необходимо как можно более четко представлять, какие процессы происходят внутри экосистемы и как они влияют на состояние экосистемы. Концепция устойчивого управления лесами, возникшая как реакция на проблему истощения лесных ресурсов более 350 лет назад, практически единогласно признается учеными наиболее прогрессивной в современных условиях. Ведущими учеными России и зарубежья концепция устойчивого управления, рассматривающая лес как единую систему во всем многообразии протекающих в нем процессов, признается единственно возможной в условиях сохранения биосферы и леса в частности.

На сегодняшний день нет комплексного подхода к оценке леса и управлению лесными ресурсами, обеспечивающего экономическую оценку всех его компонентов с учетом взаимосвязей между ними и позволяющего выработать оптимальный план лесопользования и лесоводственных мероприятий, обеспечивающий получение максимальной прибыли от использования

лесных ресурсов при одновременном устойчивом развитии экосистемы. Многими авторами в качестве одного из основных принципов устойчивого развития цивилизации рассматривается ограничение уровня потребления ресурсов с одновременной оптимизацией их использования.

Для решения поставленной задачи первоочередным является определение значений основных ограничивающих факторов:

– Оценка стоимости древесных ресурсов c_i, недревесных ресурсов c_m и общей экономической стоимости экосистемы TEV, а также ее изменения ΔTEV.

– Оценка чистой экосистемная продукция NEP_{ik}, как основного ограничивающего фактора модели.

– Объем спроса Dnp_j.

Заключение

Предлагаемая модель построена на принципах устойчивого управления, рассматривает лес как сложную систему и учитывает все его компоненты и взаимосвязи между ними. Модель позволяет увязать оптимальный уровень заготовки лесных ресурсов, оптимальный ассортимент продукции, производимый из заготавливаемых ресурсов, и оптимальный план лесоводственных мероприятий.

Список литературы

1. Воронов М.П. Методика экономической оценки недревесных ресурсов леса / Сборник научных трудов ученых и специалистов факультета экономики и управления. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. – Вып. 3. – С. 79–88.

2. Воронов М.П., Максимова Е.А., Рыбакова А.С. Расчет стоимости древесных ресурсов в рамках экономической оценки лесной экосистемы (на примере Шалинского лесхоза) / Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. VIII Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2013. – Ч.2. – С. 261–263.

3. Воронов М.П., Часовских В.П. Методика экономической оценки средоформирующих функций леса // Эко-потенциал, 2013. – № 1–2. –С. 13–23.

4. Воронов М.П., Часовских В.П. Формирование оптимального плана лесоводственных мероприятий // Естественные и технические науки. – М.: ООО «Издательство «Спутник+», 2012. – № 6(62) – С. 416–421.

5. Иванюта В.М., Кожухов Н.И., Моисеев Н.А. Экономика лесного хозяйства. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 272 с.

References

1. Voronov M.P. Metodika ekonomicheskoy otsenki nedrevesnykh resursov lesa / Sbornik nauchnykh trudov uchenykh i spetsialistov fakul'teta ekonomiki i upravleniya. Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2012. Vyp. 3 pp. 79–88.

2. Voronov M.P., Maksimova Ye.A., Rybakova A.S. Raschet stoimosti drevesnykh resursov v ramkakh ekonomicheskoy otsenki lesnoy ekosistemy (na primere Shalinskogo leskhoza) / Nauchnoye tvorchestvo molodezhi lesnomu kompleksu Rossii: mater. VIII Vseros. nauch.-tekhn. konf. Yekaterinburg: Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet, 2013. CH.2. pp. 261–263.

3. Voronov M.P., Chasovskikh V.P. Metodika ekonomicheskoy otsenki sredoformiruyushchikh funktsiy lesa // Eko-potentsial, 2013. no. 1–2. pp. 13–23.

4. Voronov M.P., Chasovskikh V.P. Formirovaniye optimal'nogo plana lesovodstvennykh meropriyatiy // Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. M.: OOO «Izdatel'stvo «Sputnik+», 2012. no. 6(62) pp. 416–421.

5. Ivanyuta V.M., Kozhukhov N.I., Moiseyev N.A. Ekonomika lesnogo khozyaystva. M.: Lesnaya promyshlennost', 1983. 272 p.

Рецензенты:

Лабунец В.Г., д.т.н., профессор кафедры теоретических основ радиотехники Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург;

Доросинский Л.Г., д.т.н., профессор, зав. кафедрой АСУ Радиотехнического института Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

620.178.3:620.194.8

СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И УСТАЛОСТНЫЕ СВОЙСТВА ШТАМПОВАННЫХ НА МОЛОТЕ И ПРЕССЕ ЛИСТОВЫХ ГОФРИРОВАННЫХ ПАНЕЛЕЙ ИЗ СПЛАВА ЭИ 878

Галкин В.В., Пачурин В.Г., Пачурин Г.В.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: PachurinGV@mail.ru, http://www.famous-scientists.ru/1238

Представлены результаты исследования усталостных свойств сплава *ЭИ* 878 (12Х17Г9АН4) листовых гофрированных панелей, изготовленных на гидравлическом прессе на форм-блоке эластичной средой в холодном состоянии и на листоштамповочном молоте в металлическом штампе с нагревом. Испытания на циклическую долговечность проводились на плоских образцах, вырезанных из зоны рифтов и недеформированных участков панелей, по схеме консольного изгиба (ГОСТ 25502-76). Металл гофрированных панелей, отштампованных на прессе эластичной средой, показал лучшие результаты, хотя при этом при обеих технологиях изготовления сопротивление усталости материала повысилось по сравнению с исходным состоянием поставки. Обсуждение полученных результатов выполнено на основании комплексной методики, включившей анализ деформированного состояния и изменение структурно-механических характеристик материала, полученных в процессе обработки давлением. Установлено, что при штамповке на гидравлическом прессе на форм-блоке эластичной средой имеет место меньшее и более равномерное утонение материала, а прочностные характеристики материала в зоне рифтов панели за счет упрочнения достигают требуемой величины.

Ключевые слова: листовая гофрированная панель, штамповка на молоте и гидропрессе, структура, механические свойства, циклическая долговечность, конструктивный элемент панели – рифт

STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES AND FATIGUE IN STAMPED HAMMERS AND PRESSES THE CORRUGATED PLATE SHEET ALLOY ЭИ 878

Galkin V.V., Pachurin V.G., Pachurin G.V.

FGBOU VPO «Novgorod State Technical University. R.E. Alekseev», Nizhny Novgorod, e-mail: PachurinGV@mail.ru, http://www.famous-scientists.ru/1238

The results of the study of fatigue properties of the alloy EI 878 (12H17G9AN4) corrugated sheet metal panels made in a hydraulic press to form a block elastic medium in a cold state and sheet-metal hammer in a metal die with heating . The tests were carried out on the cyclic durability on flat specimens cut from the rift zone and the non-deformed sections of panels , the scheme cantilever bending (GOST 25502-76) . Corrugated metal panels, stamped on the press elastic medium , showed the best results, although in this case , with both the technologies of production , increased fatigue resistance compared with the initial state of delivery. Discussion of the results is made on the basis of a comprehensive methodology including : the analysis of strain state and alteration of structural and mechanical characteristics of the material obtained in the process of forming . Found that when a hydraulic forging press to form an elastic unit holds minimal medium and a more uniform thinning of the material and the strength characteristics of the material in the area of the panel through the rifts hardening reaches the desired value.

Keywords: sheet corrugated board, stamping on the hammer and hydraulic press, structure, mechanical properties, the cyclic durability, structural relief – the rift

Результаты, представленные в данной работе, являются продолжением исследований, в которых был выполнен анализ деформированного состояния и определены структурно-механические характеристики сплава *ЭИ* 878 (12Х17Г9АН4) в зоне конструктивных рельефов – рифтов листовых гофрированных панелей (рис. 1), изготовленных штамповкой на гидравлическом прессе на форм-блоке эластичной средой в холодном состоянии и на листоштамповочном молоте в металлическом штампе с нагревом [2, 9].

Химический состав сплава *ЭИ* 878 (ГОСТ 5632-61) приведен в таблице.

Листовые гофрированные панели (далее по тексту изделия) используются в ответственных агрегатах, в частности, летательных аппаратов. Условия их эксплуатации характеризуются постоянным нагружением с периодически повышаемым уровнем нагрузки и соответствуют области малоцикловой усталости. Основным конструктивным элементом гофрированной панели, определяющим ее прочность, является рельеф в виде рифта, который в поперечном сечении может иметь различный профиль, в частности, для исследуемого изделия он имеет синусоидальную форму.

При разработке технологии на этапе контроля усталостные испытания металла формованных изделий на усталость не закладываются. Принятие решения о запуске технологии в серийное производство проводится по результатам натурных испытаний агрегата или узла, деталями которого они являются. Испытания производятся на специальных стендах по программе нагружения, которую предоставляют разработчики конструкции агрегата. При этом производятся замеры напряженного состояния металла панелей методом тензометрирования.

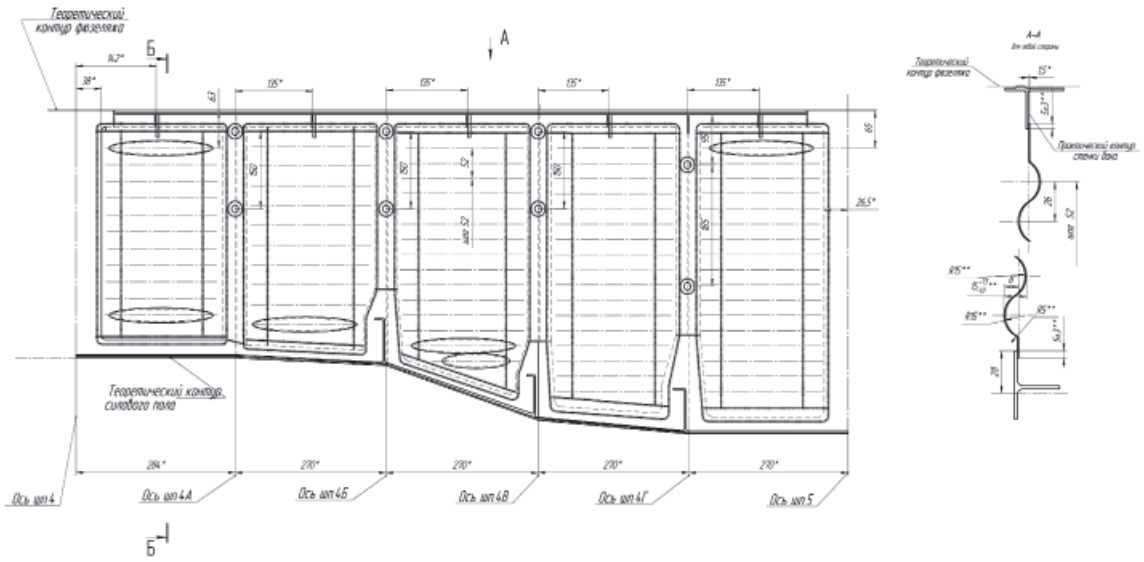


Рис. 1. Эскиз листовой гофрированной панели с рифтами синусоидальной формы

Химический состав сплава *ЭИ* 878 (12Х17Г9АН4)

Материал	Основные компоненты в процентах							
	C	Mn	Cr	Ni	Si	S	P	N
ЭИ 878	≤0,12	8,0-10,5	16-18	3,5-4,5	≤0,8	0,02	0.035	0,15-0,25

Практика стендовых испытаний и эксплуатации свидетельствует о сложном и многопричинном характере условий возникновения и роста усталостных трещин в листовых гофрированных панелях [1]. В частности, усталостные повреждения могут возникать в местах выхода рифта на плоскую поверхность панели, т.е. там, где практически отсутствует пластическая деформация и концентраторы напряжений, определяемые малыми радиусами закруглений. В местах же максимальной степени деформации, находящейся по вершине сечения рифтов и достигающей ~ 15 %, никаких признаков усталостного повреждения не обнаруживалось [5, 6]. В общем случае это не противоречит положениям теории усталости, согласно которым условия технологического передела: степень деформации, температурно-скоростные условия и схема деформации, неоднозначно влияют на усталостную долговечность материала [7].

До настоящего времени обе технологии изготовления панелей из сплава *ЭИ* 87*8*: на гидравлическом прессе с применением форм – блока с эластичной средой в холодном состоянии (далее по тексту – на прессе), и на листоштамповочном молоте в металлическом штампе **с** нагревом (далее по тексту – на молоте), применяются в производстве. Первая технология появилась сравнительно недавно, постоянно совершенствуется, требует специализированного оборудования и является более эффективной в отношении снижения себестоимости изготовления изделия. Вторая существует достаточно давно, но более простая в технологическом отношении. Однако сравнительная их оценка по эксплуатационным характеристикам, то есть по циклической долговечности сплава, полученным при испытании образцов материала формованных панелей, до настоящего времени не проводилась.

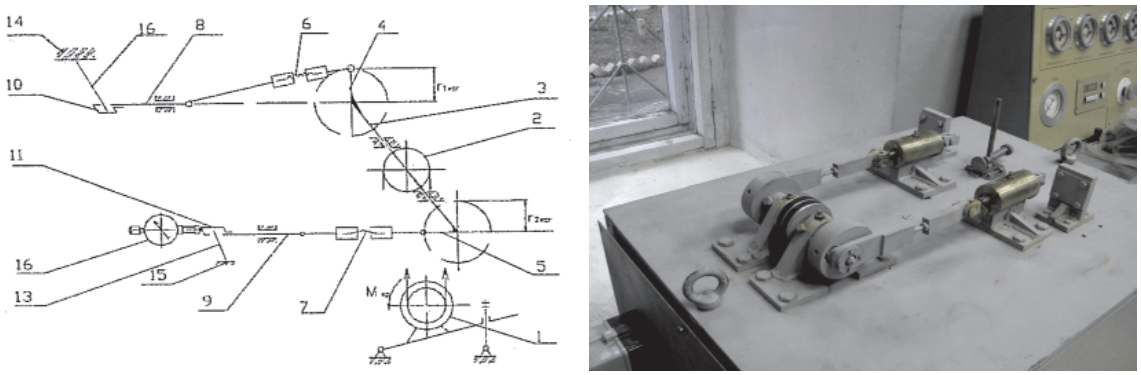
Исходя из вышесказанного, **целью данного исследования** стало сравнение циклической долговечности сплава *ЭИ* 878 листовых гофрированных панелей, изготовленных штамповкой на гидравлическом прессе с использованием форм-блока с эластичной средой и на листоштамповочном молоте в металлическом штампе.

Методика проведения эксперимента

Оценка циклической долговечности металла проводилась по схеме консольного изгиба плоских образцов (ГОСТ 25.502-73) при симметричном цикле с частотой 1500 цикл/мин по «жесткой» схеме на двухпозиционной машине [3] (рис. 2).

Места вырезки заготовок в штампованных изделиях для изготовления образцов механических и усталостных испытаний включали зоны гофрированных элементов – рифтов, а также недеформированные поля заготовки – вдоль и поперек ее прокатки.

Для объективной оценки результатов исследований была применена комплексная методика исследований свойств металла, которая, кроме усталостных испытаний, включила оценку деформированного состояния, механические испытания на одноосное растяжение (ГОСТ 1497-61), микроструктурный и фрактографический анализ.



а б

Рис. 2. Двухпозиционная установка для усталостных испытаний плоских образцов на консольный изгиб по жесткой схеме: а – принципиальная схема: 1 – электродвигатель, 2 – шкив ведомый, 3 – вал распределительный, 4, 5 – кривошипы с регулируемым радиусом (0–10 мм), 8, 9 – ползуны, 10, 11 – захваты, 12,13- образцы, 14, 15 – неподвижные захваты, 16 – микрометрический индикатор часового типа; б – фотография установки

Результаты экспериментов и их обсуждение

Результаты усталостных испытаний представлены кривыми усталости (рис. 3). Из них следует, что металл гофрированных панелей, изготовленных на прессе эластичной средой, имеет лучшие результаты по сопротивлению усталостному разрушению (циклической долговечности) по сравнению с металлом панелей, отштампованных на молоте в металлическом штампе. При этом в обеих технологиях сопротивление усталости материала повысилось по сравнению с его исходным состоянием.

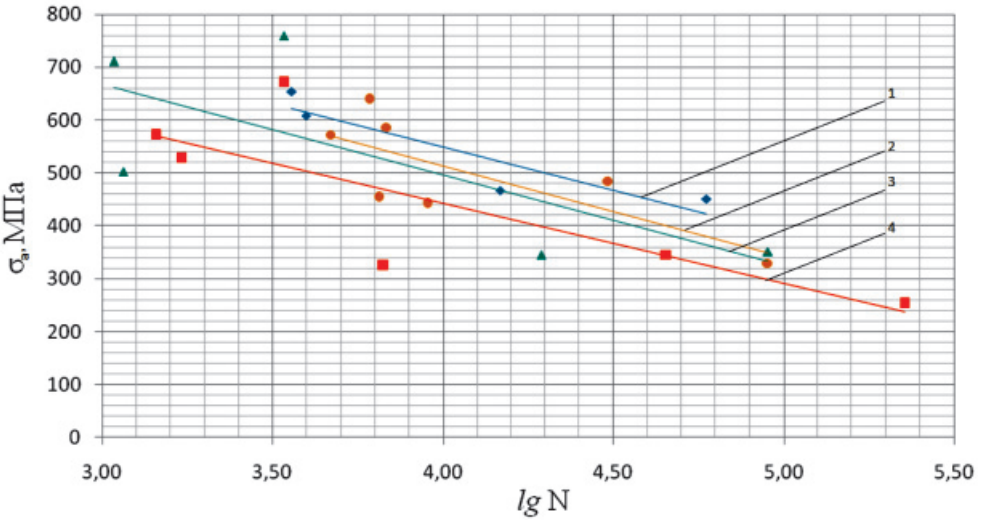


Рис. 3. Кривые усталости сплава ЭИ 878 (12Х17Г9АН4): 1 – деформация на прессе, $\varepsilon_{пр.д}$ = 20%; 2 – деформация на молоте, $\varepsilon_{пр.д}$ = 20%; 3, 4 – состояние поставки материала в продольном и поперечном направлениях (соответственно)

Объяснение полученных результатов проведено на основании комплексной методики исследований, включившей определение структурно-механических характеристик металла штампованных изделий.

При холодной деформации повышение сопротивлению усталости вполне закономерно и соответствует положению теории усталости, согласно которому при уменьшении размера зерен по их границам

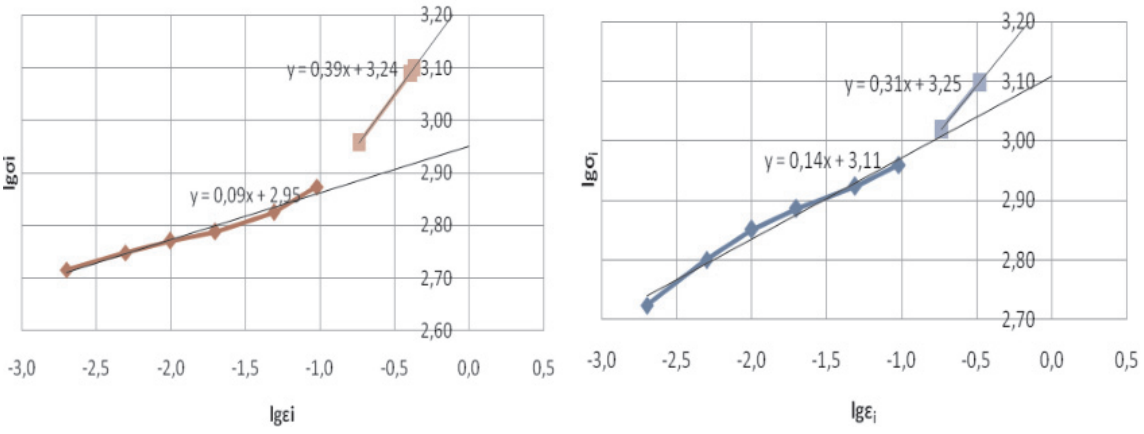
увеличивается сопротивление распространению трещин [4]. Данное положение подтверждается анализом микроструктур, приведенных на рис. 4. В частности для высокопрочного сплава ЭИ 878 определяющим структурным фактором является размер субзерна.

а б в

Рис. 4. Микроструктура сплава ЭИ 878:
а – состояние поставки; б, в – листовых гофрированных панелей,
изготовленных на прессе и на молоте (соответственно по фото) с утонением 15%

Штамповка на молоте с нагревом имеет более сложную картину. С одной стороны, металл нагревается до температур его рекристаллизации, что уменьшает сопротивление усталости. С другой, скорость деформации на молоте на два порядка выше скорости деформации на гидравлическом прессе. Тем самым процесс рекристаллизации металла гофрированных панелей может произойти не в полной мере. Это согласуется с результатами работ Гусляковой Г.П., Пачурина Г.В. и других ученых, согласно которым большей скорости деформации соответствуют более высокие показатели сопротивления усталости [4, 8, 10].

Зависимости характера упрочнения металла, полученные при механических испытаниях, подтверждают полученные результаты. Так, например, на рис. 5 представлены зависимости, которые соответствуют зонам наибольшего упрочнения: а – при формовке на прессе (зоны гребней), *б* – при штамповке на молоте – (зоны впадин).



а б

Рис. 5. Зависимости упрочнения сплава ЭИ 878 листовых
гофрированных панелей, изготовленных по технологиям:
а – формовка на прессе (зоны гребней); б – штамповка на молоте (зоны впадин)

Установлено, что при обеих технологиях имеет место упрочнение металла изделий. При этом упрочнение в результате штамповки на прессе (уравнение кривой деформационного упрочнения: $y = 0{,}14\ x + 3{,}14$) больше, чем при штамповке на молоте ($y = 0{,}09\ x + 3{,}01$). Это подтверждает вывод, что при горячей штамповке на молоте металл изделий имеет неполную рекристаллизацию.

Следует отметить, что результаты проведенных механических и усталостных испытаний являются усредненными из-за неоднородности деформации в рифтах как

в поперечном, так и в продольном направлениях. Однако в целом они согласуются с данными технологического производства и с учетом повышения механических и усталостных показателей за счет упрочнения металла в штампованных изделиях подтверждают правомерность применения сплава *ЭИ* 878 для изготовления листовых гофрированных панелей.

Выводы

1. Металл гофрированных панелей, отштампованных на прессе эластичной средой по сравнению с панелями, изготовленными на молоте в металлическом штампе, показал лучшие результаты на циклическую долговечность, хотя при этом при обеих технологиях изготовления сопротивление усталости материала повысилось по сравнению с его исходным состоянием.

2. При обеих технологиях имеет место упрочнение металла изделий, при этом упрочнение при изготовлении на прессе (уравнение кривой деформационного упрочнения: $y = 0{,}14\ x + 3{,}14$) больше, чем при штамповке на молоте ($y = 0{,}09\ x + 3{,}01$).

3. Прочностные характеристики листового материала из сплава *ЭИ* 878 в зоне элемента жесткости (рифта) гофрированной панели при штамповке на гидравлическом прессе на форм-блоке в полиуретановом контейнере за счет упрочнения достигают требуемой разработчиками величины $\sigma_b = 900$ МПа.

Список литературы

1. Галкин В.В. Циклическая долговечность листовых титановых сплавов ВТ20 и ОТ4-1 // Заготовительные производства в машиностроении. – 2007. – № 3. – С. 28–29.

2. Галкин В.В. Использование сплава ЭИ 878 при изготовлении листовых гофрированных панелей // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. Н. Новгород. – 2011. – № 3. – С. 43–45.

3. Пачурин Г.В, Гуслякова Г.П. Двухпозиционная установка для усталостных испытаний тонколистовых сварных образцов // Заводская лаборатория. – 1980. – № 10. – С. 969.

4. Пачурин Г.В., Гуслякова Г.П. Оптимизация режимов технологической обработки с целью повышения сопротивления коррозионно-усталостному разрушению металлических материалов. – Нижний Новгород: ВСНТО Машпром, 1991. – 72 с.

5. Пачурин Г.В. Долговечность листовых штампованных материалов на воздухе и в коррозионной среде // Материаловедение. – 2003. – № 7. – С. 29–32.

6. Пачурин Г.В. Повышение долговечности листовых штампованных деталей из высокопрочных сталей и сплавов // КШП. ОМД. – 2003. – № 11. – С. 7–11.

7. Пачурин Г.В. Долговечность штампованных конструкционных материалов на воздухе и в коррозионной среде // Заготовительные производства в машиностроении. – 2003. – № 10. – С. 35–38.

8. Pachurin G.V. Ruggedness of structural material and working life of metal components // Steel in Translation. – 2008. – № 3. – Т. 38. – P. 217–220.

9. Пачурин Г.В., Галкин В.В., Власов В.А., Меженин Н.А. Усталостное разрушение при разных температурах и долговечность штампованных металлоизделий: монография / Г.В. Пачурин [и др.]; под общей ред. Г.В. Пачурина; НГТУ. – Н. Новгород, 2010. – 169 с.

10. Пачурин Г.В. Теоретические основы повышения коррозионной долговечности упрочненных металлов и сплавов // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 2. – С. 95–99.

References

1. Galkin V.V. Cyclic durability of sheet titanium alloy VT20 and OT4-1 // Provision of industrial manufacture. 2007. Number three. pp. 28–29.

2. Galkin VV Using EI 878 alloy in the manufacture of corrugated sheet metal panels // Proceedings of the NSTU them. R.E. Alekseyev. Nizhny Novgorod, 2011. Number 3. pp. 43–45.

3. Pachurin GV, Guslyakova GP On-off machine for fatigue testing of thin-walled welded samples // Factory laboratory. 1980. Number 10. pp. 969.

4. Pachurin G.V, Guslyakova GP Optimization of processing to improve the resistance to corrosion fatigue failure of metal materials. – Nizhny Novgorod VSNTO Mashprom, 1991. 72 p.

5. Pachurin G.V. The durability of stamped sheet metal materials in air and in a corrosive environment // Materials Science. 2003. Number 7. pp. 29–32.

6. Pachurin G.V. Increased durability of stamped sheet metal parts made of high-strength steels and alloys // CSE. OMD. 2003. Number 11. pp. 7–11.

7. Pachurin G.V. The durability of structural materials stamped on the air and in a corrosive environment // Provision of industrial manufacture. 2003. Number 10. pp. 35–38.

8. Pachurin G.V. Ruggedness of structural material and working life of metal components // Steel in Translation. 2008. Number three. T. 38. pp. 217–220.

9. Pachurin G.V., Galkin V.V., Vlasov V.A., Mezhenin N.A. Fatigue failure at different temperatures and durability of stamped metal: monograph / GV Pachurin [etc.], under the general editorship. G.V. Pachurin; NSTU. N. Novgorod, 2010. 169 p.

10. Pachurin G.V. The theoretical basis for improving the corrosion durability of reinforced metals and alloys // Successes of modern science. 2011. Number 2. pp. 95–99.

Рецензенты:

Гаврилов Г.Н., д.т.н., профессор кафедры «Материаловедение и технологии новых материалов», Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород;

Панов А.Ю., д.т.н., профессор, директор Института промышленных технологий машиностроения (ИПТМ), зав. кафедрой ПБиЭ, Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева (НГТУ), г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.314

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ОПТИЧЕСКОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ МИНЕРАЛЬНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАСЕЛ

Гарифуллин М.Ш.

ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический университет», Казань, e-mail: g_marsels@mail.ru

Рассмотрены возможности методов оптической спектроскопии для исследования состояния изоляционных масел. Показано, что по спектру поглощения изоляционного масла в видимой области спектра возможно идентифицировать термические и разрядные дефекты в электрооборудовании. Использование процедуры двукратного дифференцирования спектров оптической плотности позволяет анализировать слабые и перекрывающиеся полосы поглощения. Показано, что по полосе 958 нм можно определять концентрацию в масле ингибитора окисления. Экспресс-анализ в ближней ИК-области спектра позволяет определять тип изоляционного масла по соотношению метильных и метиленовых групп в углеводородной основе масла. Исследования в фундаментальной ИК-области позволяют определять степень деградации масел, производить количественный и качественный анализ продуктов окисления масел, определять концентрацию в масле ингибитора окисления (сработавшего и оставшегося). Высокая диагностическая ценность оптических исследований изоляционных масел показывает перспективность внедрения различных методов оптической спектроскопии в практику лабораторий энергосистем.

Ключевые слова: изоляционное масло, диагностика, оптическая спектроскопия

USE OF METHODS OPTICAL SPECTROSCOPY FOR DIAGNOSIS OF MINERAL INSULATING OILS

Garifullin M.S.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, e-mail: g_marsels@mail.ru

Discussed the possibility methods of optical spectroscopy to research the state of insulating oils. It is shown that by using the absorption spectrum of the insulating oil in the visible region of the spectrum it is possible to separately identify defects thermal character and electrical discharges in electrical equipment. Using the procedure double differentiation of optical density spectra allows us to analyze weak and overlapping absorption bands. It is shown that by using an absorption band near 958 nm can determine the concentration of the oxidation inhibitor in insulating oils. Rapid analysis in the near-infrared region of the spectrum allows to determine the type of insulating oil by the relation methyl and methylene groups in the hydrocarbon-based mineral oils. Research in the fundamental infrared region allow the determine the extent of degradation of oils, produce quantitative and qualitative analysis of the oxidation products of oils, determine the concentration of the oil oxidation inhibitor (the reacted and the remainder). High diagnostic value of optical studies of insulating oils show advisability introduction of various methods of optical spectroscopy in the laboratory practices of power systems.

Keywords: insulating oil, diagnostics, optical spectroscopy

Силовое маслонаполненное трансформаторное оборудование является одним из ключевых звеньев задачи обеспечения надежного электроснабжения потребителей.

Известно, что наиболее тяжелые последствия аварийных повреждений трансформаторов, как правило, связаны с дефектами в изоляции. В маслонаполненном трансформаторном оборудовании основу изоляционной системы составляют изоляционная бумага и минеральное изоляционное масло.

Качество изоляционного масла нормируется набором показателей качества, определяемых согласно нормам испытания электрооборудования (РД 34.45-51.300-97), различными физико-химическими, а также электрическими методами. Принципиальным недостатком большинства таких методов является необходимость проведения сложных лабораторных анализов, которые невозможно (или очень сложно) реализовать в виде экспресс-анализа и в системах on-line мониторинга трансформаторов. Кроме того, по результатам традиционных исследований характер и глубина деструктивных изменений углеводородной основы масел остается невыясненной.

Минеральное изоляционное масло является узкой нефтяной фракцией, однако углеводородный состав его представлен практически всеми компонентами, присутствующими в нефтях. В области исследования нефти в последние годы произошли серьезные изменения, что привело к рождению новой науки – петролеомики [5]. Задачей петролеомики является изучение особенностей химического состава нефти, что в итоге позволяет предсказывать ее физические свойства, такие как образование отложений, возможности смешения разных нефтей и пр. Все исследования в петролеомике основываются на спектральных методах. Поскольку изоляционное масло, как и нефть, является сложной дисперсной системой, спектральные методы должны иметь первоочередное значение при исследованиях изоляционных масел.

Среди различных спектральных методов наибольший интерес для исследовательских лабораторий энергетических предприятий представляют методы оптической спектроскопии, обладающие такими достоинствами, как точность, простота и высокая скорость проведения исследований. Дополнительными преимуществами оптических методов исследований являются возможность реализации различных вариантов экспресс-анализа в полевых условиях, а также организации on-line мониторинга на действующем оборудовании.

В данной работе приведены результаты спектральных исследований минеральных изоляционных масел в видимой, а также в ближней и фундаментальной ИК-областях спектра.

Материалы и методы исследования

Для проведения исследований были использованы следующие спектральные диапазоны.

1. Область 350–1000 нм. Использованный спектрофотометр – СФ-56. Спектральное разрешение – 1 нм; длина кюветы – 25 мм.

Данный спектральный диапазон удобен для экспресс-анализа состава масел, а также on-line мониторинга при использовании волоконно-оптических зондов. Часть этого диапазона (380–780 нм) использовалась для определения цветовых характеристик изоляционных масел. Кроме того, в диапазоне 350–450 нм удобно проводить люминесцентные исследования масел [1].

2. Область 7500–1600 см$^{-1}$ (ближняя ИК и фундаментальная ИК). Использованный ИК-Фурье-спектрометр TENSOR-27. Спектральное разрешение – 1 см$^{-1}$; длина кюветы – 2 мм.

Данный спектральный диапазон использовался для исследования глубоких изменений в углеводородном составе масел, а также исследования количественного и качественного состава отдельных продуктов окисления масел. В результате сильного поглощения излучения в толстом слое масла значительная часть спектрального диапазона оказывается вне зоны чувствительности ИК-Фурье-спектрометра. Однако при этом появляется возможность исследовать полосы поглощения, которые при «классических» исследованиях в тонкой кювете обычно очень слабые для практического использования. Дополнительным преимуществом толстой кюветы является упрощение процедуры пробоподготовки. Было получено, что наиболее информативными областями спектра являются следующие интервалы: 4750–4550 см$^{-1}$ (ближняя ИК), 3700–3600 и 2000–1550 см$^{-1}$ (фундаментальная ИК).

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе старения в электрооборудовании происходит уменьшение абсолютного коэффициента пропускания масел в видимой области спектра, что связано с накоплением в нем продуктов деградации. При этом влияние термоокислительных и разрядных процессов в масле на кривую коэффициента пропускания масла принципиально различается. Наиболее наглядно это проявляется при нормировке кривой коэффициента пропускания на длину волны 850 нм, где углеводородные молекулы масел не имеют полос поглощения.

На рис. 1 слева показаны нормированные спектры пропускания $T_{\text{ОТН}}$ изоляционных масел, подвергнутых искусственной термоокислительной деструкции. Степень термодеструкции (окисленность) масел последовательно увеличивается в ряду 1–5. Существенное снижение коэффициента пропускания с уменьшением длины волны объясняется рассеянием излучения на сконденсированных продуктах окисления масла (коллоидных частицах). Поскольку размеры этих коллоидных частиц меньше длины волны, рассеяние подчиняется закону Рэлея – чем короче длина волны, тем больше рассеяние.

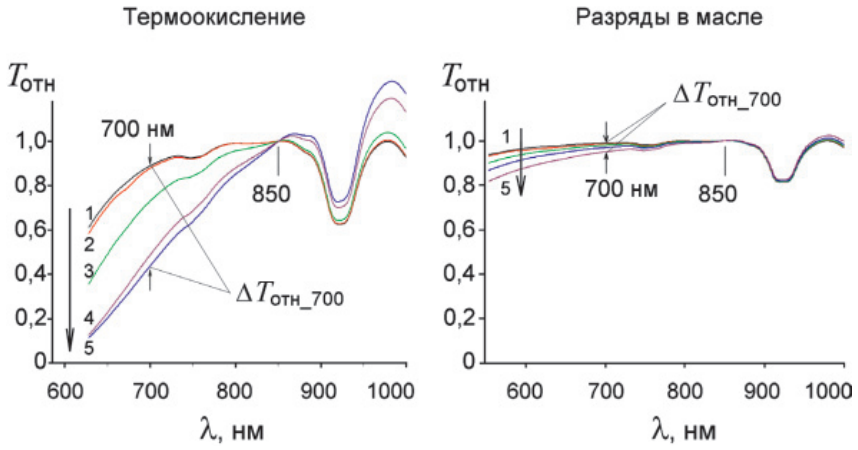


Рис. 1. Влияние термических и разрядных процессов на спектры пропускания изоляционных масел (точка нормировки – 850 нм)

Справа на рис. 1 представлены нормированные спектры пропускания масел, подвергнутые воздействию высоковольтных электрических разрядов. Интенсивность воздействия разрядных явлений на масла увеличивается в ряду 1–5. При разрядно-дуговых процессах продукты горения масла имеют размеры, сопоставимые и больше длины волны, что приводит к практически равномерному уменьшению коэффициента пропускания в рассматриваемом спектральном диапазоне.

Для практического использования рекомендуется использовать длину волны 700 нм в качестве аналитической и контролировать в процессе эксплуатации коэффициент пропускания на этой длине волны – $T_{\text{ОТН_700}}$. Одновременное снижение абсолютного коэффициента пропускания масла на длине волны 850 нм (T_{850}) и уменьшение величины $T_{\text{ОТН_700}}$ свидетельствует о термоокислительных процессах. Если же при снижении абсолютного коэффициента пропускания масел величина $T_{\text{ОТН_700}}$ уменьшается незначительно, наиболее вероятной причиной уменьшения коэффициента пропускания масел являются разрядно-дуговые процессы в оборудовании.

Для повышения разрешения спектров в рассматриваемой области необходимо применять процедуру двойного дифференцирования. Предварительно рекомендуется использовать взамен коэффициента пропускания $T(\lambda)$ кривые оптической плотности $D(\lambda)$: $D = \lg(1/T)$.

На рис. 2 представлены графики $D''(\lambda)$ – второй производной от кривых оптической плотности изоляционных масел марок ВГ, ГК, а также для сравнения вазелинового масла. Пики около 913 и 932 нм относятся к 3-му обертону валентных колебаний метильных (CH_3) и метиленовых (CH_2) групп соответственно. Различие в интенсивности этих пиков обусловлено нефтяным сырьем, используемым для производства изоляционного масла определенной марки – ВГ, ГК, ТКп и пр. По интенсивности и соотношению пиков D''_{913} и D''_{932} можно определить, к какому типу относится исследуемое масло, либо смесь каких масел используется в оборудовании. Для определения в масле концентрации присадки ионол необходимо использовать интенсивность пика в районе 958 нм – D''_{958} [2].

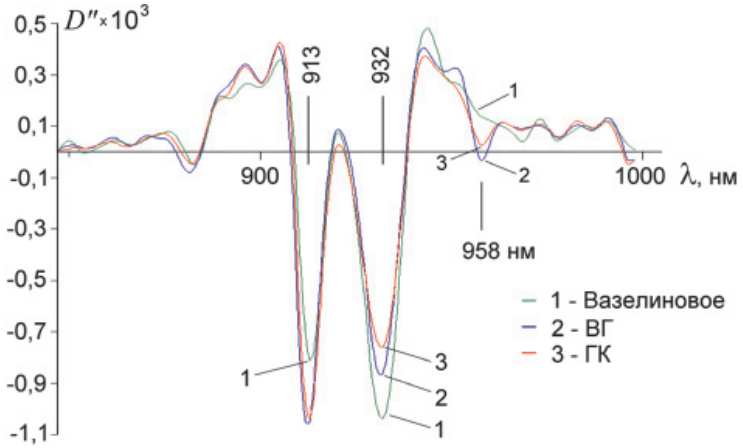


Рис. 2. Кривые D''(λ) – второй производной от оптической плотности изоляционных масел марки ВГ и ГК, а также вазелинового масла

Как уже было отмечено, для глубокого анализа процессов деструкции изоляционных масел необходимо использовать фундаментальную и ближнюю ИК-области спектра.

Для исследований были взяты 6 образцов масел, краткая характеристика которых приведена в таблице.

Характеристики исследованных в ИК-области образцов изоляционных масел

№ п/п	Описание	Кислотное число, мг КОН/г
1	ТКп, из оборудования	0,0465
2	ТКп, из оборудования	0,15
3	ТКп, из оборудования	0,026
4	ТКп, из оборудования	0,055
5	ГК, из оборудования, очищенное	–
6	ГК, свежее с завода	–

Наиболее подробную информацию о продуктах окисления масел можно получить по поглощению в фундаментальной ИК-области спектра около 2000–1550 см$^{-1}$ (рис. 3).

По интенсивности пиков поглощения можно определить содержание в масле большинства продуктов окисления, а также изменение концентрации некоторых соединений. Так, по поглощению карбонильной группы C = O кислот (1710 см$^{-1}$) однозначно определяется кислотное число масел. У образца № 2 кислотное число самое высокое, чему соответствует наибольшая интенсивность поглощения в районе 1710 см$^{-1}$. Показательным является образец № 3, кислотное число которого имеет низкое значение (так же, как и поглощение около 1710 см$^{-1}$). При этом для данного масла характерно интенсивное поглощение в районе 1735 см$^{-1}$. Поглощение в этой области относят к карбонильной группе альдегидов и сложных эфиров [4]. Поскольку альдегиды сравнительно легко окисляются до кислот, можно сделать вывод, что при благоприятных условиях возможен быстрый рост значения кислотного числа у масла № 3. Исходя из этого, становится очевидным, что определяемый титрованием показатель качества масел «кислотное число» носит однобокий характер и в отличие от спектрального анализа не позволяет делать выводы о характере окисления и дальнейшем изменении свойств масла.

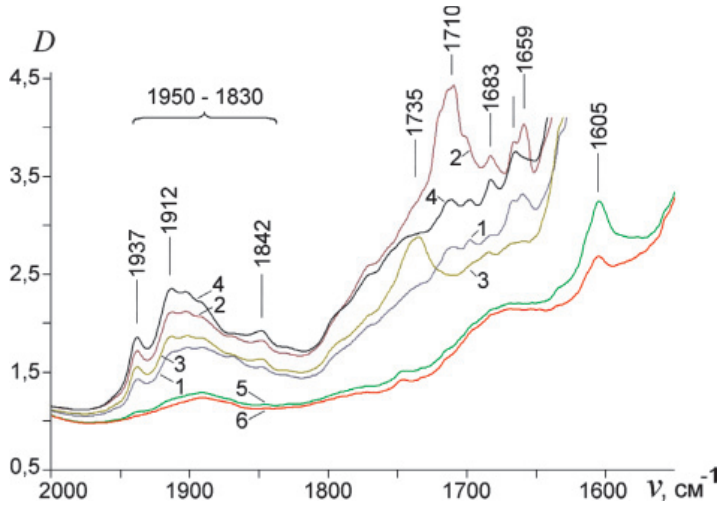


Рис. 3. Влияние продуктов окисления масел на их спектральные характеристики (образцы масел 1–6 согласно таблице)

Для точного определения в масле концентрации присадки ионол (2,6-дитретичный бутил-4-метилфенол) используется известная полоса поглощения 3650 см$^{-1}$. Использование толстой кюветы позволило впервые определить, что сработавший ионол, превращающийся в соединение класса хинолей, имеет полосу поглощения на частоте 1659 см$^{-1}$. Совместное использование интенсивностей полос поглощения на указанных частотах позволяет определять общее количество ионола, добавленного в конкретное масло.

В процессе эксплуатации масел происходит увеличение их ароматичности, что можно легко обнаружить по выделенной на рис. 3 области 1950–1830 см$^{-1}$. В этой области все ароматические соединения имеют группу полос (обертона и составные частоты), число и положение которых определяются типом замещения бензольного кольца [4]. Так, для группы масел марки ТКп наибольшее поглощение ароматическими соединениями характерно для масел № 4 и № 2, имеющих наибольшее кислотное число.

Для масла № 5 (ГК), некоторое время проработавшего в оборудовании, изменение концентрации ароматических углеводородов относительно свежего масла № 6 более наглядно демонстрирует изменение в поглощении на частоте 1605 см$^{-1}$ – скелетные колебания C-C цикла ароматических углеводородов [4].

Сопоставление областей поглощения непредельных (около 4700–4500 см$^{-1}$) и ароматических углеводородов (1950–1830 см$^{-1}$) (рис. 4) свидетельствует о высокой корреляции между изменением в масле этих соединений. Такую взаимосвязь можно объяснить тем, что процесс преобразования нафтеновой, а также парафиновой фракций масел в ароматическую идет через промежуточную стадию образования непредельных углеводородов.

Идентичность кривых поглощения в области 1950–1830 см$^{-1}$ свидетельствует об одинаковом наборе образующихся в маслах ароматических соединений. В частности, интенсивная полоса поглощения около 1937 см$^{-1}$ позволяет говорить об образовании при окислении моно- и 1, 2-дизамещенных бензолов [4].

Появление в маслах непредельных и ароматических углеводородов, которые далеко не полностью убираются при очистке, доказывает, что при регенерации не восстанавливается исходный углеводородный состав, и склонность к окислению у регенерированного масла будет выше, нежели у нового масла.

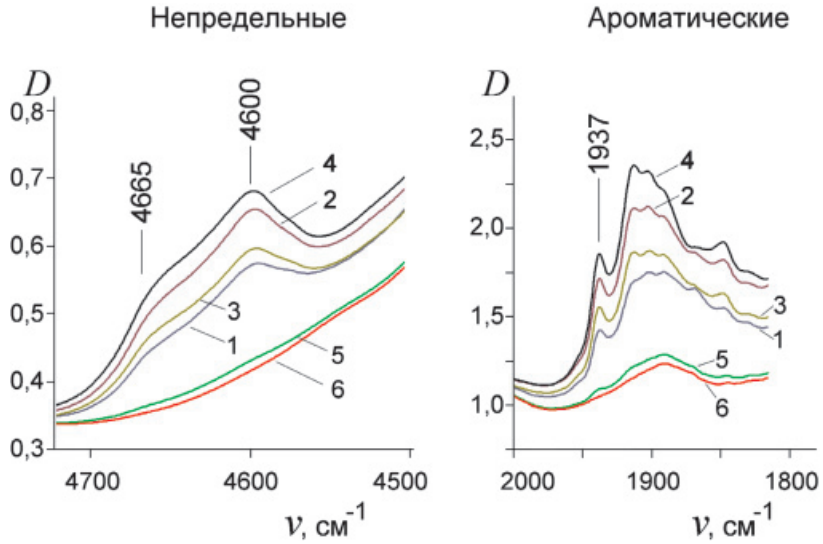


Рис. 4. Сравнение областей поглощения непредельными и ароматическими углеводородами (образцы масел 1–6 согласно таблице)

Люминесцентные методы позволяют по спектрам флуоресценции и возбуждения флуоресценции масел контролировать изменения в их составе.

При возбуждении флуоресценции масел излучением с длиной волны 360 нм происходит возбуждение антраценовой фракции масел. При этом наиболее легко определяется общее количество полярных продуктов окисления масел: с их увеличением интенсивность флуоресценции падает по причине рассеяния излучения на коллоидных частицах. В процессе деградации масел количество антраценовых молекул уменьшается, поэтому снижение интенсивности флуоресценции масла является показателем не только окисленности, но и деградации в целом углеводородной основы масел [3].

Поскольку продукты окисления вызывают неравномерное рассеяние излучения в видимом диапазоне, цвет масел при окислении меняется. Следовательно, цветовые измерения также позволяют оценить общее содержание в масле продуктов окисления. Было получено, что в процессе окисления масла происходит увеличение координаты цветности x. При этом выявлена высокая корреляция между этой координатой цветности и кислотным числом масла [3].

При использовании кюветы толщиной 25 мм критическим следует считать значение координаты цветности $x \geq 0{,}7$. В полевых условиях спектральный прибор удобно заменить колориметром, что позволит быстро определять общую окисленность масел по их цветовым характеристикам.

Выводы

Показано, что оптический экспресс-анализ масел позволяет определить окисленность масел и оценить глубину термоокислительной деструкции масел, выявить и дифференцировать термические и разрядно-дуговые процессы в оборудовании, определить концентрацию в масле присадки ионол.

Оптические исследования изоляционных масел в фундаментальной ИК-области позволяют определять отдельные продукты окисления в маслах, оценить деградацию углеводородной основы масел, определить концентрацию сработавшего ионола.

Регенерированные масла всегда будут окисляться быстрее свежих вследствие изменения углеводородной основы масел.

Окисленность изоляционных масел, а также степень деградации их углеводородной основы можно также определять с помощью люминесцентного анализа и цветовых измерений.

Список литературы

1. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш., Туранов А.Н. Люминесценция трансформаторного масла марки ГК // Химия и технология топлив и масел. – 2012. № 6. – С. 54–56.

2. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Определение концентрации ионола и кислотного числа в трансформаторных маслах спектральным методом // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2001. – № 5–6. – С. 85–96.

3. Козлов В.К. Методы оптической спектроскопии в диагностике состояния изоляции маслонаполненного электрооборудования / В.К. Козлов, М.Ш. Гарифуллин. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2013. – С. 131–138.

4. Сильверстейн Р., Басслер Г., Морил Т. Спектрометрическая идентификация органических соединений. – М.: Мир, 1977. – 592 с.

5. Asphaltenes, Heavy Oils, and Petroleomics / O.C. Mullins, E.Y. Sheu, A. Hammami, A.G. Marshall (Eds.) Springer, New York, 2007. – 670 p.

References

1. Kozlov V.K., Garifullin M.Sh., Turanov A.N. Ljuminescencija transformatornogo masla marki GK [Luminescence of GK transformer oil] // Himija i tehnologija topliv i masel. 2012. no. 6. pp. 54–56.

2. Kozlov V.K., Garifullin M.Sh. Opredelenie koncentracii ionola i kislotnogo chisla v transformatornyh maslah spektral'nym metodom [Determination of the concentration of ionol in transformer oils and acid number a spectral method] // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. 2001. no. 5-6. pp. 85–96.

3. Kozlov V.K. Metody opticheskoj spektroskopii v diagnostike sostojanija izoljacii maslonapolnennogo jelektrooborudovanija [Methods for of optical spectroscopy in the diagnosis of the state of the insulation oil-filled electrical equipment] / V.K. Kozlov, M.Sh. Garifullin. Kazan': Kazan. gos. jenerg. un-t, 2013. pp. 131–138.

4. Sil'verstejn R., Bassler G., Moril T. Spektrometricheskaja identifikacija organicheskih soedinenij [Spectrometric identification of organic compounds]. M.: Mir, 1977. 592 p.

5. Asphaltenes, Heavy Oils, and Petroleomics / O.C. Mullins, E.Y. Sheu, A. Hammami, A.G. Marshall (Eds.) Springer, New York, 2007. 670 p.

Рецензенты:

Валеев И.М., д.т.н., зав. кафедрой «Электрические станции» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань;

Ваньков Ю.В., д.т.н., зав. кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и системы теплоснабжения» Казанского государственного энергетического университета, г. Казань.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 001.891.57:519.711

МУЛЬТИАГЕНТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ-СОВЕТЧИКА ДИСПЕТЧЕРА ЭНЕРГОСИСТЕМЫ

Глущенко А.И., Еременко Ю. И., Цуканов М.А.

Старооскольский технологический институт (филиал) ФГОУ ВПО «Национальный исследовательский технологический университет МИСиС (СТИ НИТУ МИСиС), e-mail: tsukanov_m_a@mail.ru

Современные условия развития промышленного комплекса определяют высокую динамику как самого комплекса, так поставки энергоресурсов. В то же время управленческая деятельность в сфере электроснабжения, как правило, базируется на использовании стационарных моделей. При таком подходе принятие управленческих решений в результате произошедших изменений в системе осуществляется с задержкой. Время задержки может быть существенным и зависит от сроков выявления самих изменений и нормативов для различных объектов промышленности. Поэтому разработка автоматизированной системы и электроснабжения, является в настоящее время актуальной задачей, что позволит ликвидировать отставание в объеме и уровне использования ИТ в экономике, государственном управлении и повысить конкурентоспособность отечественных ИТ-продуктов на отечественном и мировом рынках. Для достижения поставленной цели требуется разработка методики построения интеллектуальной интегрированной системы управления распределительной электрической сетью, включающей: а) структурные и поведенческие модели интеллектуальных агентов системы, б) модель взаимодействия агентов на основе популяционных роевых интеллектуальных алгоритмов, в) модель идентификации источников утечки электроэнергии в рамках распределенной архитектуры системы.

Ключевые слова: распределительная сеть, система-советчик, мультиагентная система, агенты, иммунный алгоритм, сети Петри, агрегат Бусленко

MULTIAGENT TECHNOLOGY AS THE BASIS OF DESIGN SYSTEM MANAGER ENERGY-ADVISOR

Glushenko A.I., Eremenko Y.I., Tsukanov M.A.

Oskol institute of technology branch of the «National University of Science and Technology «MISiS», Oskol, e-mail: tsukanov_m_a@mail.ru

Modern conditions of the industrial complex as determined by high dynamics of the complex , so the energy supply . At the same time , management activities in the field of electricity, as a rule, based on the use of stationary models . With this approach, management decisions as a result of the changes in the system is carried out with a delay. The delay time can be significant , depending on the timing of the changes themselves and identify standards for various industrial facilities . Therefore, development of an automated system and electricity is now an urgent task , which will eliminate the backlog in the volume and level of IT use in the economy, public administration and improve the competitiveness of domestic IT products for the domestic and international markets . To achieve this goal requires the development of techniques for constructing integrated intelligent control electricity distribution network, comprising: a) structural and behavioral models of intelligent agents system; b) the model of the interaction of agents based on population swarm intelligent algorithms in; c) model identification of the sources of leakage power in a distributed architecture system.

Keywords: distribution network, system-counselor, multiagent system, agents, immune algorithm, Petri nets, the unit Buslenko

Одна из важнейших проблем в управлении энергосистемами сегодня заключается в необходимости научной организации труда в вопросе функционирования диспетчерских вахт в непрерывном цикле диспетчерского управления.

Стратегия оперативного диспетчерского управления энергосистемами заключается в принятии решений по контролю и оптимизации основных показателей системы человеком-оператором. Так как управление производится по модели-пульту, лишь гомоморфно отображающему исходную систему, то значительная часть информации с объектов воспринимается диспетчером системы по телефону. В силу того, что время восприятия информации даже одного характера может меняться в значительных пределах в зависимости от подготовки, усталости, настроения персонала, то достоверность этой информации весьма вариативна [4].

Существенную помощь в обеспечении контроля работы энергосистем, особенно в темпе процесса управления, могут оказать интеллектуальные системы-советчики диспетчера, имеющие доступ к той же информации, что и диспетчер, и предназначенные для помощи в процессе принятия решений, в случае если уровень подготовки, усталости или настроения персонала влияет на качество управления.

В таких условиях необходимо искать новый подход к реализации алгоритмов управления как самим предприятием в целом и объектами его основного производства, так и коммуникационной средой между ними. Так, например, авторами [3] разработана нейростевая надстройка для управления

печами нагрева, оптимизирующая подбор коэффициентов ПИД-регулятора, а в статье [5] описываются алгоритмы структурной оптимизации сетей связи, которые могут быть использованы для построения интеллектуальных промышленных сетей.

Основные задачи диспетчера по контролю состояния энергосистемы

Основные функции диспетчера во время дежурства заключаются в ведении режима и производстве переключений.

Используя язык теории массового обслуживания, диспетчеру поступает поток заявок от n объектов в дискретные моменты времени.

Относительно потока заявок *i*-го объекта системы можно сделать следующие предположения:

1. Он является одинарным, т.е. вероятность одновременного поступления двух или более числа требований является бесконечно малой величиной.

2. Он является нестационарным в течение суток, но на меньших интервалах времени (в пределах часа) его можно считать стационарным.

Таким образом, поступающий диспетчеру энергосистемы поток заявок можно разделить на несколько подпотоков:

1. По выработке электроэнергии:
   - ● регулирование режима;
   - ● отключение (включение) котлагрегатов;
   - ● отключение (включение) гидро- и турбоагрегатов и т.д.
2. По распределению электроэнергии:
   - ● отключение (включение) линий;
   - ● отключение (включение) трансформаторов;
   - ● переключение на шинах станций, подстанций;
   - ● изменение автоматики и уставок релейной защиты и т.д.

Поток заявок по выработке электроэнергии образуется тем потоком заявок, которые возникают из-за несоответствия реального потребления электроэнергии и прогнозируемого. Задача диспетчера заключается в том, чтобы поддерживать в заданных пределах частоту или перетоки мощности по межсистемным линиям связи и следить за напряжением в контрольных точках энергосистемы в том случае, когда диапазон регулирования активной и реактивной мощности на регулирующих станциях и синхронных компенсаторах исчерпан.

Распределение электроэнергии связано с различного рода операциями по включению и отключению ЛЭП, трансформаторов, переключениями на шинах станций и подстанций, изменением автоматики и уставок релейных защит и т.д. Это может выполняться по заранее поданным заявкам или в процессе текущей эксплуатации.

Для повышения эффективности решения этой проблемы предлагается система-советчик на основе мультиагентных технологий (МАТ), которая базируется на комплексе моделей и алгоритмов оптимизации распределения электроэнергии в темпе процесса управления.

Блок принятия решений концептуальной схемы системы-советчика (рис. 1) представлен агентом-супервизором, блок анализа проблем – агентом-анализатором, имитационная модель распределительной сети – агентами-распределителями и агентами-потребителями.

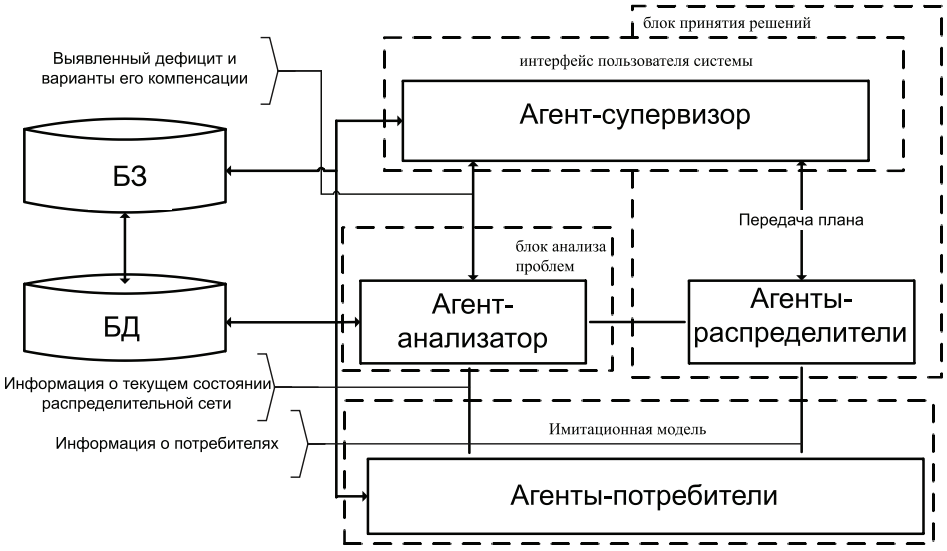


Рис. 1. Концептуальная схема системы-советчика для диспетчера системы управления энергосистемами

Агент-супервизор – интерфейсный агент, решающий задачу взаимодействия агентов МАС и связи с пользователем. Он выдает отчет по анализу «узких мест» в системе энергоснабжения и варианты их корректировки, формирует задания нижестоящим агентам-распределителям по распределению электроэнергии в соответствии с определенными заданиями.

Агент-анализатор – гибридный агент, который осуществляет распределение ограниченных энергомощностей энергосистемы в условиях оперативно возникающего дефицита.

Агент-распределитель – партнерский агент, задачей которого является слежение за работой конкретного энергораспределительного агрегата, входящего в состав распределительной сети.

Агент-потребитель – партнерский агент, задачей которого является слежение за потреблением энергоресурса конкретным потребителем.

Координация агентов в системе осуществляется на основе непрямого взаимодействия соответственно распределению функциональных задач МАС. Агент-супервизор формирует технологическое задание по распределению электроэнергии с учетом текущей ситуации, которое в виде входного сообщения поступает агенту-реализатору, идентифицирующему состояние распределительной сети и определяющему группы агентов-распределителей. Он же анализирует степень готовности агентов-распределителей принять задание на основе данных о режимах нагрузки, оцененной по состоянию агентов-потребителей и формирует и посылает агенту-супервизору сообщение о возможности выполнения заданий каждым из распределителей и/или возникшем дефиците.

Супервизор на основе информации о готовности агентов-распределителей и о возникшем дефиците корректирует план распределения электроэнергии и направляет откорректированный план агенту-анализатору для проверки возможности его реализации.

Формирование плана по распределению энергетического ресурса

Задача формирования и плана распределения электроэнергии относится к классу задач составления расписаний. Наличие многих распределителей и потребителей, многовариантность их взаимодействия, последовательно-параллельные и перекрестные схемы потоков распределения электроэнергии определяют эту задачу как NP-сложную. Время ее решения с использованием комбинаторных и эвристических методов оптимизации и известных методов искусственного интеллекта (генетического алгоритма, алгоритма муравьиных колоний) не удовлетворяет требованиям оперативного в темпе процесса управления.

Для формирования и оптимизации плана распределения электроэнергии и внесения в него необходимых корректировок в режиме реального времени предлагается математический аппарат одной из модификаций алгоритма иммунных сетей, обеспечивающего эффективный параллельный поиск оптимального решения на основе принципа клональной селекции, предложенного De Castro [6].

Оптимизация расписания осуществляется путем выбора одного или нескольких распределителей для обслуживания группы потребителей i, минимизирующей суммарные приведенные потери R_{ij}, связанные с отключением (включением) линий, отключением (включение) трансформаторов, переключением на шинах станций, подстанций, изменением автоматики и установок релейной защиты и т.д.

$$F = \sum_i \sum_j R_{ij} \to \min; \quad (1)$$

$$R_{ij} = C_{\text{ср}} \cdot \rho_{ij} \cdot \Delta D_{ij}, \quad (2)$$

где $C_{\text{ср}}$ – средняя себестоимость электроэнергии; ρ_{ij} – производительность j-го распределителя по обслуживанию i-й группы потребителей; ΔD_{ij} – изменение уставки релейной защиты или сведения о включении (1) или отключении (0) линии.

Проверка плана по распределению энергетического ресурса

Алгоритм проверки составленного плана на реализуемость осуществляется с использованием математического аппарата вложенных сетей Петри [2], в которой каждая позиция-вершина системной сети представлена как группа агентов-потребителей, обслуживаемая конкретным распределителем.

Сеть описывается формально множествами переходов и вершин сети. Функционирование сети задается правилами срабатывания переходов.

Математически сеть описывается кортежем:

$$S = \left\langle P, T, F, \tau_T, C, \{V_S\}, K, M_0 \right\rangle, \quad (3)$$

где P – множество позиций, представленных моделями отдельных единиц-распределителей электроэнергии; T – множество переходов между распределителями и потребителями; F – функция инцидентностей позиций и переходов, определяющая соответствие потребителя распределителю; C – функция цвета маркера, сигнализирующая

о принадлежности перехода к определенному распределителю; τ_T – модельное время, отнесенное ко всем компонентам сети *P, T, F,* M_0; $\{V_s\}$ – условия выполнения переходов, отнесенных к компонентам сети, входным и выходным позициям; *K* – емкость маркеров в позициях с учетом *C;* M_0 – вектор начальной маркировки, компоненты которого помечают закрытые позиции.

Срабатывание каждого перехода из множества $T\{t_1, t_2, ..., t_{11}\}$ определяется наличием сигнала на выходе определенной технологической установки. Возможность осуществления перехода в одну из позиций *P* определяется с учетом значений параметров сети $F(A_{lk}, A_{(l+1)(k+1)})$, идентифицирующих агрегат-исполнитель следующего требования, и вектора M_0, компоненты которого помечают закрытые позиции при поступлении требования на обслуживание. Аргументы функции A_{lk}, $A_{(l+1)(k+1)}$ представляют соответственно агрегат-источник и агрегат-приемник требования на обслуживание. Вектор M_0 характеризуется переменной размерностью, которая зависит от этапа обработки и определяет общее число агрегатов-приемников технологического требования. Закрытые позиции помечаются как 0, допустимые – как 1.

Объединённые в группы потребители имеют соответствующее входное и выходное условие работы (переход), что представлено на сети множеством стрелок. Согласно этим условиям проверяется занятость агрегата. В случае успешной проверки, т.е., когда агрегат-распределитель имеет запас производительности ($p_{lk} = 0$), на время $D_{\phi lk}$ ему присваивается значение 1.

В случае, если план признан невыполнимым, на основе недоступных позиций или неосуществимых переходов базой знаний формируется набор рекомендуемых корректировок с целью устранения дефицита электроэнергии при перепланировке плана агентом-реализатором.

Имитационная модель распределительной сети

Для имитационного моделирования отдельных моделей распределителей и потребителей предлагается агрегативная модель Н.П. Бусленко [1]. Агрегат A_j (рис. 2) характеризуется набором координат $x_m^{(m)}, \left(l = \overline{1,M}\right)$, которые описывают его состояние: для основных агрегатов – простой, ожидание продукта, операция обработки и передачи, операция ожидания; для агрегатов-накопителей – простой, ожидание продуктов до обработки; для агрегатов-транспортных средств – простой, операция транспортировки, операция ожидания, $z_l^{(1)} \ldots z_l^{(n_i)}$ – управляющие сигналы, $\overline{y_{l-1,k}}$ вход агрегата, поступающий с выхода предыдущего агрегата, $\overline{y_{l,k}}$ – выход текущего агрегата и вход следующего.

Агрегат реализует алгоритм выходов G_n (окончание обработки на одном агрегате и передача другому) и алгоритм переходов H_n (изменение состояния агрегата в процессе работы). Параметры агрегата β_n характеризуют его работоспособность.

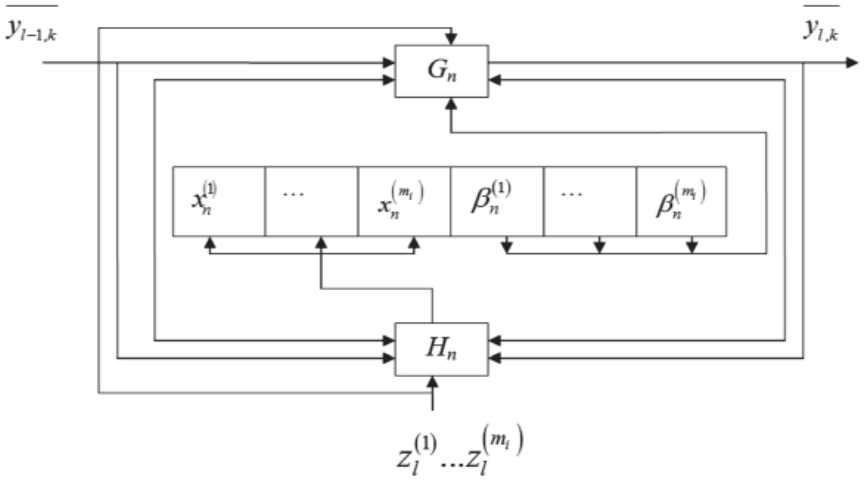


Рис. 2. Схема агрегата Бусленко

Агрегативные модели оборудования реализуются на нижнем уровне МАС агентами-исполнителями.

Связная агрегативная модель всего технологического процесса цеха представляется партнерской агентной системой.

Ее работа направлена на отслеживание этапов плана распределения электроэнергии. Последовательно анализируется возможность каждого из назначенных в плане распределителей отработать технологическое задание по бесперебойному обеспечению всех потребителей электроэнергией. В случае возникновения рассогласования планового и фактического расписания агентом-анализатором формируется запрос агенту-оптимизатору на корректировку плана.

Заключение

На основе разработанных моделей и алгоритмов возможна реализация интеллектуальной системы-советчика диспетчеру системы управления энергораспределением на основе МАС, которая отслеживает текущее состояние распределительной сети и обеспечивает эффективное выполнение плана по обеспечению потребителей энергоресурсом с высокой эффективностью за счет упреждения нерациональных, а порой и ошибочных действий оперативно-диспетчерского персонала в темпе процессе управления.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательских проектов по государственному контракту № 14.516.11.0103.

Список литературы

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 355 с.

2. Бодянский Е.В., Кучеренко В.Е., Кучеренко Е.И. Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах. – Днепропетровск: Системные технологии, 2008. – 357 с.

3. Еременко Ю.И., Полещенко Д.А., Глущенко А.И. Об условиях применения ПИД-нейрорегулятора для управления объектами, описываемыми апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. – 2013. – №6. – С. 39–45.

4. Меркурьев Г.В. Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами. – СПб.: Издание Центра подготовки кадров энергетики, 2002. – 116 с.

5. Семенов М.Е., Соловьев А.Ю., Тимченко О.В. Алгоритмы структурной оптимизации сетей связи // Системы управления и информационные технологии. – 2009. − № 3.1(37). − С. 195–199.

6. De Castro L.N., Von Zuben F.J. (2000a), The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, submitted to GECCO'00.

References

1. Buslenko N.P. simulation of complex systems. M. Science, 1968. pp. 355.

2. Bodyanskiy E.V., Kucherenko V.E., Kucherenko E.I. hybrid neuro-fuzzy model and multi-agent technology in complex systems // Dnepropetrovsk System Technology, 2008. 357 p.

3. Eremenko Y.I., Poleschenko D.A., Gluschenko A.I. On conditions for the application of PID control for neyroregulyatora objects described aperiodic link second order delay // devices and systems. Management. Control. Diagnostics. 2013. no. 6. pp. 39–45.

4. Merkur'ev G.V. of the supervisory control power systems // SPB Edition Training Center Energy 2002. 116.

5. Semenov M.E., A. Soloviev, Oleg Timchenko Algorithms for structural optimization of communication networks // Control Systems and Information Technology, 2009. no. 3.1 (37). pp. 195–199.

6. De Castro L.N., Von Zuben F.J. (2000a), The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications, submitted to GECCO'00.

Рецензенты:

Семенов М.Е., д.ф-м.н., профессор кафедры цифровых технологий Воронежского государственного университета, г. Воронеж;

Кургалин С.Д., д.ф-м.н., профессор, заведующий кафедрой цифровых технологий Воронежского государственного университета, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 51-74:677.03

ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ НАНОЧАСТИЦ СЕРЕБРА НА ПОЛИЭФИРНЫХ ВОЛОКНАХ ПО СОСТАВЛЯЮЩИМ РАМАНОВСКИХ СПЕКТРОГРАММ С УЧЕТОМ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю.

ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», Курск, e-mail: dobtatiana74@mail.ru

Представлены результаты моделирования рамановских спектрограмм полиэфирных волокон при нанесении на них наночастиц серебра. В результате проведенного моделирования были выделены: исходные спектры, фоновые составляющие и рамановские спектры без учета фоновых составляющих. Для упрощения процедур математического моделирования было выбрано 7 информативных резонансных пиков полученных спектрограмм. Дальнейшая обработка проводилась только по координатам резонансных пиков. Для выявления достоверности контроля наночастиц серебра по составляющим компонентам рамановских спектров при использовании условий информационной неопределенности в работе предложен метод оценки многомерной достоверности по совместной вероятности пересечения разбросов нормальных распределений интенсивностей рамановских спектрограмм без наночастиц и с наночастицами на волокнах в зависимости от волновых чисел по всему диапазону их изменений. В результате были получены значения достоверности контроля по составляющим компонентам рамановских спектрограмм и выявлен наиболее точный метод для проведения контроля наночастиц серебра на поверхности волокон.

Ключевые слова: полиэфирное волокно, наночастицы серебра, рамановские спектры, информационная неопределенность, математическое моделирование, фоновые люминесцентные составляющие, достоверность контроля, вероятность пересечения разбросов нормальных распределений

RELIABILITY OF CONTROL OF NANOPARTICLES OF SILVER ON POLYESTER FIBRES ON COMPONENTS OF THE RAMAN SPECTROGRAMS TAKING INTO ACCOUNT INFORMATION UNCERTAINTY

Emelyanov V.M., Dobrovolskaya T.A., Emelyanov V.V., Orlov E.Y.

Southwest State University, Kursk, e-mail: dobtatiana74@mail.ru

Results of modeling of the Raman spectrograms of polyester fibers are presented when drawing nanoparticles of silver on them. As a result of the carried-out modeling were allocated: initial ranges, background components and the Raman ranges without background components. For simplification of procedures of mathematical modeling it was chosen 7 informative resonant peaks of the received spectrograms. Further processing was carried out only on coordinates of resonant peaks. For detection of reliability of control of nanoparticles of silver on making components of the Raman ranges when using conditions of information uncertainty in work the method of an assessment of multidimensional reliability on joint probability of crossing of dispersions of normal distributions of intensivnost of the Raman spectrograms without nanoparticles and with nanoparticles on fibers depending on wave numbers on all range of their changes is offered. Values of reliability of control on making components of the Raman spectrograms were as a result received and the most exact method for monitoring procedure of nanoparticles of silver on a surface of fibers is revealed.

Keywords: polyester fiber, silver nanoparticles, the Raman ranges, information uncertainty, mathematical modeling, background luminescent components, reliability of control, probability of crossing of dispersions of normal distributions

Для обеспечения медико-биологических, лечебных и защитных свойств необходима разработка инновационной технологии производства текстильных материалов, модифицированных наночастицами серебра. Для повышения достоверности контроля присутствия малого количества наночастиц серебра на текстильных волокнах в работе использован рамановский спектрометр с последующим выделением информативных спектральных составляющих и обработкой по математическим моделям в условиях информационной неопределенности. При этом учитывался физический эффект гигантского комбинационного рассеяния света (SERS) [1-2]. Кроме этого, применен поляризационный эффект лазерного луча, который обеспечивает дополнительное усиление комбинационных и фоновых составляющих. **Цель исследования** – разработка метода выявления наночастиц серебра, нанесенных на полиэфирные волокна, с применением рамановской спектроскопии.

Материал и методы исследования

При проведении эксперимента выбраны полиэфирные (ПЭ) волокна, на которые были нанесены наночастицы серебра из коллоидного раствора наночастиц серебра АgБион (ТУ 2499-003-44471019-2006, концерн «Наноиндустрия»). Получены следующие виды образцов волокон: образцы 0, 1, 2 – без наночастиц при различной поляризации луча; образцы 3, 4, 5 – с наночастицами серебра, высушенные в естественных условиях при различной поляризации луча; образцы 7, 8, 9 – с наночастицами серебра, высушенные в сушильном шкафу при различной поляризации луча. Измерения были проведены на сканирующем зондовом микроскопе (СЗМ).

На первом этапе моделирования был осуществлен перевод цифровой части рамановских спектрограмм из программы Spekwin 32 в Mathcad и произведено математическое моделирование фоновых составляющих

по минимальным значениям данных спектрограмм рамановского спектра [3–5]. Для примера на рис. 1, представлены результаты моделирования для ПЭ волокна с наночастицами серебра для образца 4.

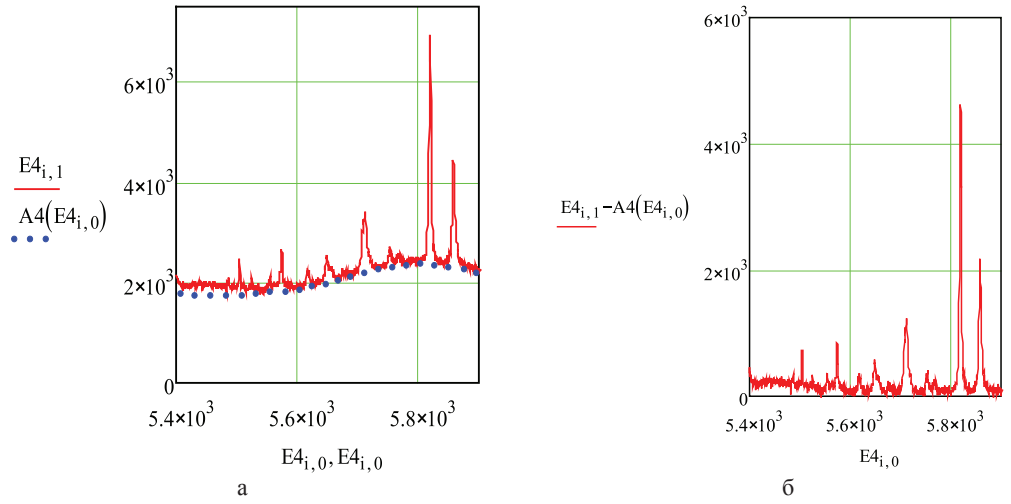


Рис. 1. Спектрограммы рамановского комбинационного рассеяния света в системе MathCad для образца 4 ПЭ волокна с наночастицами серебра: а – исходная спектрограмма (E4) и смоделированная фоновая составляющая (A4(E4)); б – спектрограмма без фоновых люминесцентных составляющих

Результаты исследования и их обсуждение

Проведем оцифровку полученных спектрограмм по пикам и отдельно по фоновым составляющим спектрограмм волокон в программе Mathcad и представим эти данные в виде матриц (1) и (2).

$$V0 = \begin{pmatrix} 5401.9 & 2040.5 \\ 5505.8 & 2123.3 \\ 5575.4 & 2165.6 \\ 5650 & 2453.1 \\ 5712.5 & 2748.3 \\ 5820.8 & 3165.6 \\ 5859.6 & 3159.3 \end{pmatrix} \quad V1 = \begin{pmatrix} 5400 & 2622.7 \\ 5505.3 & 2511.6 \\ 5574.5 & 2430.3 \\ 5649.6 & 2645.6 \\ 5712.1 & 3126.5 \\ 5819.9 & 3450.3 \\ 5857.8 & 3374.1 \end{pmatrix} \quad V2 = \begin{pmatrix} 5401.4 & 2485.3 \\ 5505.3 & 2805.2 \\ 5575.4 & 3071.3 \\ 5650 & 3627 \\ 5712.5 & 4133.9 \\ 5820.4 & 4524 \\ 5858.7 & 4308.2 \end{pmatrix}$$

$$W0 := \begin{pmatrix} 5401.9 & 2359.1 \\ 5505.8 & 2558.2 \\ 5575.4 & 2855.0 \\ 5650 & 2903.9 \\ 5712.5 & 3519.8 \\ 5820.8 & 5851.4 \\ 5859.6 & 4569.3 \end{pmatrix} \quad W1 := \begin{pmatrix} 5400.0 & 3131.1 \\ 5505.3 & 3260.7 \\ 5574.5 & 3389.7 \\ 5649.6 & 3320.1 \\ 5712.1 & 4393.9 \\ 5819.9 & 8402.1 \\ 5857.8 & 5714.8 \end{pmatrix} \quad W2 := \begin{pmatrix} 5401.4 & 3101.0 \\ 5505.3 & 3720.7 \\ 5575.4 & 4505.5 \\ 5650.0 & 4591.8 \\ 5713.4 & 6124.8 \\ 5820.4 & 11513 \\ 5858.7 & 7507.7 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$S0 := \begin{pmatrix} 5401.9 & 318.6 \\ 5505.8 & 434.9 \\ 5575.4 & 689.4 \\ 5650 & 450.8 \\ 5712.5 & 771.5 \\ 5820.8 & 2685.8 \\ 5859.6 & 1410.0 \end{pmatrix} \quad S1 := \begin{pmatrix} 5400.0 & 508.4 \\ 5505.3 & 749.1 \\ 5574.5 & 959.4 \\ 5649.6 & 674.5 \\ 5712.1 & 1267.4 \\ 5819.9 & 4951.8 \\ 5857.8 & 2340.7 \end{pmatrix} \quad S2 := \begin{pmatrix} 5401.4 & 615.7 \\ 5505.3 & 915.5 \\ 5575.4 & 1434.2 \\ 5650.0 & 964.8 \\ 5712.5 & 1990.9 \\ 5820.4 & 6989.0 \\ 5858.7 & 3199.5 \end{pmatrix}$$

В матрицах W0, W1, W2 (1) и W3, W4, W5 (2) приведены данные координат пиков исходных начальных спектрограмм с учетом фоновых составляющих образцов 0, 1, 2 волокон без наночастиц серебра и образцов ПЭ волокон 3, 4, 5 с наночастицами серебра (рис. 1а- Е4). В первых столбцах приведены волновые числа пиков, а во вторых столбцах приведены интенсивности пиков совместно с фоновыми составляющими по исходным начальным спектрограммам. Всего выбрано 7 информативных пиков на каждой спектрограмме.

В матрицах S0, S1, S2 (1) и S3, S4, S5 (2) приведены данные координат только пиков без фоновых составляющих образцов 0, 1, 2 волокон без наночастиц серебра и образцов ПЭ волокон 3, 4, 5 с наночастицами серебра (рис. 1б). В первых столбцах приведены волновые числа пиков, а во вторых столбцах приведены интенсивности пиков без фоновых составляющих спектрограмм.

$$V3 = \begin{pmatrix} 5400.9 & 9242.2 \\ 5505.8 & 12741.7 \\ 5575.4 & 13551.9 \\ 5649.6 & 14232.6 \\ 5713 & 14447.5 \\ 5820.4 & 13582.8 \\ 5858.1 & 12840.6 \end{pmatrix} \quad V4 = \begin{pmatrix} 5400 & 15343.8 \\ 5505.8 & 18187 \\ 5574.9 & 16321.3 \\ 5649.6 & 14255.4 \\ 5712.1 & 12593.6 \\ 5819.5 & 10625.8 \\ 5857.8 & 9950 \end{pmatrix} \quad V5 \begin{pmatrix} 5400.9 & 6468.4 \\ 5504.8 & 6302.3 \\ 5574.5 & 5980.1 \\ 5648.7 & 6179.7 \\ 5712.1 & 6653.9 \\ 5819.5 & 7055 \\ 5857.8 & 6798.4 \end{pmatrix}$$

$$W3 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 9786.3 \\ 5505.8 & 14271 \\ 5575.4 & 16274 \\ 5649.6 & 15752 \\ 5713.0 & 16965 \\ 5820.4 & 22285 \\ 5858.1 & 17497 \end{pmatrix} \quad W4 := \begin{pmatrix} 5401.9 & 16123 \\ 5504.8 & 19281 \\ 5574.9 & 17876 \\ 5649.6 & 14873 \\ 5712.1 & 14120 \\ 5819.5 & 16683 \\ 5857.8 & 12720 \end{pmatrix} \quad W5 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 7362.2 \\ 5504.8 & 7741.4 \\ 5574.5 & 8580.1 \\ 5648.7 & 7699.7 \\ 5712.1 & 10069 \\ 5819.5 & 19594 \\ 5857.8 & 12773 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$S3 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 544.1 \\ 5505.8 & 1529.3 \\ 5575.4 & 2722.1 \\ 5649.6 & 1519.4 \\ 5713.0 & 2517.5 \\ 5820.4 & 8702.2 \\ 5858.1 & 4656.4 \end{pmatrix} \quad S4 := \begin{pmatrix} 5400.0 & 779.2 \\ 5505.8 & 1094.0 \\ 5574.9 & 1554.7 \\ 5649.6 & 617.6 \\ 5712.1 & 1526.4 \\ 5819.5 & 6057.2 \\ 5857.8 & 2770.0 \end{pmatrix} \quad S5 := \begin{pmatrix} 5400.9 & 893.8 \\ 5504.8 & 1439.1 \\ 5574.5 & 2600.0 \\ 5648.7 & 1520.0 \\ 5712.1 & 3415.1 \\ 5819.5 & 12539.0 \\ 5857.8 & 5974.6 \end{pmatrix}$$

В матрицах V0, V1, V2 (1) и V3, V4, V5 (2) представлены фоновые люминесцентные составляющие спектрограмм образцов 0, 1, 2 волокон без наночастиц серебра и образцов ПЭ волокон 3, 4, 5 с наночастицами серебра (рис. 1, а – А4(Е4)). В первых столбцах приведены волновые числа, указывающие расположение пиков спектрограмм по оси $E_{i,0}$. Во вторых столбцах приведены интенсивности фоновых составляющих под пиками спектрограмм которые были получены вычитанием интенсивности пиков без фоновых составляющих S из интенсивности пиков совместно с фоновыми составляющими W по формулам

$$V0_{i,1} := W0_{i,1} - S0_{i,1}; V1_{i,1} := W1_{i,1} - S1_{i,1}; V2_{i,1} := W2_{i,1} - S2_{i,1} \quad (3)$$

$$V3_{i,1} := W3_{i,1} - S3_{i,1}; V4_{i,1} := W4_{i,1} - S4_{i,1}; V5_{i,1} := W5_{i,1} - S5_{i,1} \quad (4)$$

Аналогичным образом были получены матрицы W7, W8, W9; S7, S8, S9; V7, V8, V9 для образцов с наночастицами серебра, высушенных в шкафу.

Оценка параметров полученных матриц проведена по:

$$YYV_i := (V0_{i,1} + V1_{i,1} + V2_{i,1})/3;$$

$$YYYV1_i := (V3_{i,1} + V4_{i,1} + V5_{i,1})/3; \quad YYYV2_i := (V7_{i,1} + V8_{i,1} + V9_{i,1})/3;$$

$$\sigma\Delta 012V_i := \{[(V0_{i,1} - YYV_i)^2 + (V1_{i,1} - YYV_i)^2 + (V2_{i,1} - YYV_i)^2]/3\}^{0.5};$$

$$\sigma\Delta 345V_i := \{[(V3_{i,1} - YYYV1_i)^2 + (V4_{i,1} - YYYV1_i)^2 + V5_{i,1} - YYYV1_i)^2]/3\}^{0.5};$$

$$\sigma\Delta 789V_i := \{[(V7_{i,1} - YYYV2_i)^2 + (V8_{i,1} - YYYV2_i)^2 + V9_{i,1} - YYYV2_i)^2]/3\}^{0.5}. \quad (5)$$

$$YYW_i := (W0_{i,1} + W1_{i,1} + W2_{i,1})/3;$$

$$YYYW1_i := (W3_{i,1} + W4_{i,1} + W5_{i,1})/3; \quad YYYW2_i := (W7_{i,1} + W8_{i,1} + W9_{i,1})/3;$$

$$\sigma\Delta 012W_i := \{[(W0_{i,1} - YYW_i)^2 + (W1_{i,1} - YYW_i)^2 + (W2_{i,1} - YYW_i)^2]/3\}^{0.5};$$

$$\sigma\Delta 345W_i := \{[(W3_{i,1} - YYYW1_i)^2 + (W4_{i,1} - YYYW1_i)^2 + (W5_{i,1} - YYYW1_i)^2]/3\}^{0.5};$$

$$\sigma\Delta 789W_i := \{[(W7_{i,1} - YYYW2_i)^2 + (W8_{i,1} - YYYW2_i)^2 + (W9_{i,1} - YYYW2_i)^2]/3\}^{0.5}. \quad (6)$$

$$YYS_i := (S0_{i,1} + S1_{i,1} + S2_{i,1})/3;$$

$$YYYS1_i := (S3_{i,1} + S4_{i,1} + S5_{i,1})/3; \quad YYYS2_i := (S7_{i,1} + S8_{i,1} + S9_{i,1})/3;$$

$$\sigma\Delta 012S_i := \{[(S0_{i,1} - YYS_i)^2 + (S1_{i,1} - YYS_i)^2 + S2_{i,1} - YYS_i)^2]/3\}^{0.5};$$

$$\sigma\Delta 345S_i := \{[(S3_{i,1} - YYYS1_i)^2 + (S4_{i,1} - YYYS1_i)^2 + (S5_{i,1} - YYYS1_i)^2]/3\}^{0.5};$$

$$\sigma\Delta 789S_i := \{[(S7_{i,1} - YYYS2_i)^2 + (S8_{i,1} - YYYS2_i)^2 + (S9_{i,1} - YYYS2_i)^2]/3\}^{0.5}. \quad (7)$$

По формулам (5)-(7) получены значения математических ожиданий интенсивностей каждого пика спектрограмм волокон без наночастиц YYV_i, YYW_i, YYS_i и с наночастицами $YYYV1_i$, $YYYW1_i$, $YYYS1_i$; $YYYV2_i$, $YYYW2_i$, $YYYS2_i$. Также оценены по формулам (5)-(7) средние квадратические отклонения интенсивностей каждого пика спектрограмм волокон без наночастиц $\sigma\Delta 012V_i$, $\sigma\Delta 012W_i$, $\sigma\Delta 012S_i$ и с наночастицами $\sigma\Delta 345V_i$, $\sigma\Delta 345W_i$, $\sigma\Delta 345S_i$; $\sigma\Delta 789V_i$, $\sigma\Delta 789W_i$, $\sigma\Delta 789S_i$.

Оценку достоверности контроля наличия наночастиц серебра было предложено проводить по вероятности соприкосновения распределений интенсивностей спектрограмм с учетом информационной неопределенности (нечеткой логики) при принятии решения о наличии наночастиц. Параметры распределений интенсивностей пиков (для примера пика 1 с $i = 0$) спектрограмм волокна как с наночастицами, высушенного в естественных условиях, так и без наночастиц, приведены на рис. 2.

Здесь видно, что математические ожидания интенсивностей спектрограмм ПЭ волокон по пикам с $i = 0…6$ при влиянии наночастиц серебра линии 1 превышают линии 7 математических ожиданий пиков спектрограмм ПЭ волокон без наночастиц во всем диапазоне изменений $i = 0…6$.

Также не пересекаются линии 3 минимальных значений интенсивностей пиков с $i: = 0…6$ фоновых составляющих с наночастицами серебра: а – $V5_{i,1}$ и исходных б – $W5_{i,1}$ с линиями 6 максимальных значений интенсивностей пиков с i: = 0…6 фоновых составляющих без наночастиц золота: а – $V2_{i,1}$ и исходных б – $W2_{i,1}$.

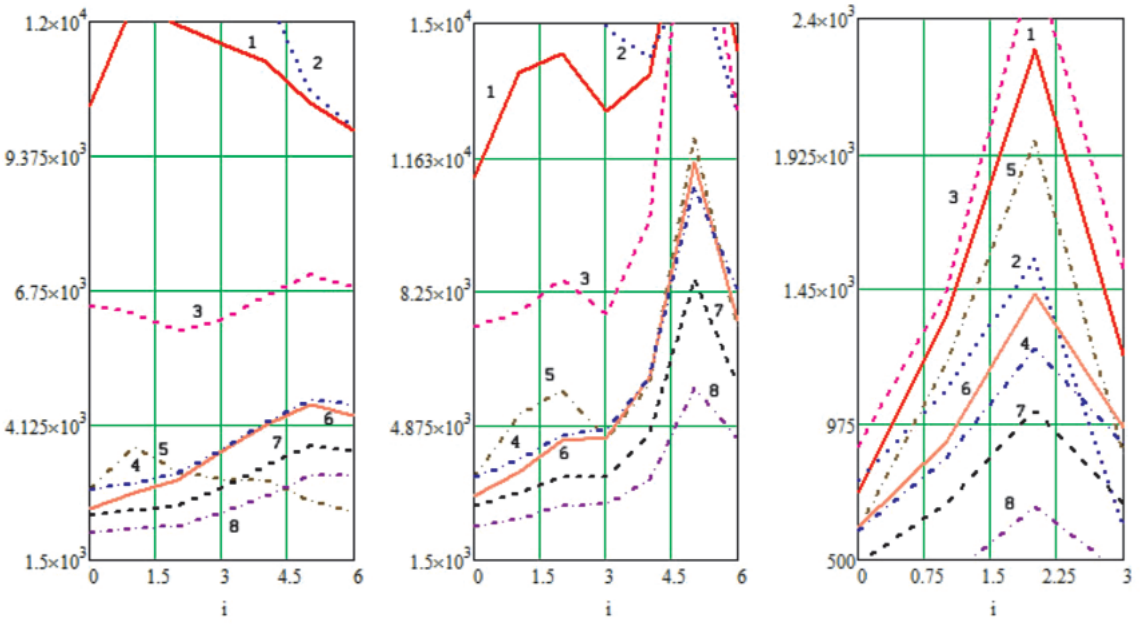
Оценка многомерной достоверности контроля наночастиц серебра на поверхности ПЭ волокна осуществлялась определением точки пересечения смоделированной линии максимального разброса интенсивностей пиков 4 при соприкосновении с линией минимального разброса распределения интенсивностей 5 для каждого пика.

Для определения коэффициента y_i, используемого при вычислении точки пересечения линий 4 и 5, был предложен метод, реализованный в системе MathCAD:

$$Y_{v1i} := \frac{YYYV1_i - YYVi}{\sigma\Delta 345V1_i + \sigma\Delta 012V_i};$$

$$Y_{w1i} := \frac{YYYW1_i - YYWi}{\sigma\Delta 345W1_i + \sigma\Delta 012W_i};$$

$$Y_{s1i} := \frac{YYYS1_i - YYSi}{\sigma\Delta 345S1_i + \sigma\Delta 01}. \quad (8)$$



а б в

Рис. 2. Графики зависимостей интенсивностей параметров пиков спектрограмм, построенные по матрицам (1), (2) и по моделям (5)-(7) для пика с i = 0: а – фоновых составляющих; б – исходных спектрограмм; в – спектрограмм без фоновых составляющих: 1 – линия математических ожиданий интенсивностей пиков с i: = 0…6 с наночастицами серебра: а – $YYYV1_i$, б – $YYYW1_i$, в – $YYYS1_i$; 2 – линия максимальных значений интенсивностей пиков с i: = 0…6 с наночастицами серебра: а – $V3_{i,I}$, б – $W3_{i,I}$, в – $S3_{i,I}$; 3 – линия минимальных значений интенсивностей пиков с i: = 0… с наночастицами серебра: а – $V4_{i,I}$, б – $W4_{i,I}$, в – $S4_{i,I}$; 4 – смоделированная линия максимального разброса распределения интенсивностей пиков с i: = 0…6: а – $YYV_i + y_i\sigma\Delta012V_i$; б – $YYW_i + y_i\sigma\Delta012W_i$; в – $YYS_i + y_i\sigma\Delta012S_i$; 5 – смоделированная линия минимального разброса распределения интенсивностей пиков с i: = 0…6: а – $YYYV_i - y_i\sigma\Delta345V_i$; б – $YYYW - y_i\sigma\Delta345W_i$; в – $YYYS_i - y_i\sigma\Delta345S_i$; 6 – линия максимальных значений интенсивностей пиков с i: = 0…6 без наночастиц серебра: а – $V2_{i,I}$, б – $W2_{i,I}$, в – $S2_{i,I}$; 7 – линия математических ожиданий интенсивностей пиков с i: = 0…6 без наночастиц серебра: а – YYV_i, б – YYW_i, в – YYS_i; 8 – линия минимальных значений интенсивностей пиков с i: = 0…6 без наночастиц серебра: а – $V0_{i,I}$, б – $W0_{i,I}$, в – $S0_{i,I}$; y_i – коэффициент максимального разброса нормального распределения интенсивностей

Оценка достоверности в системе MathCAD проводится по следующим выражениям:

$$p1_i = 1 - pnorm(YYYV_i - y_i\sigma\Delta101112V_i, YYYV_i, \sigma\Delta1011V1_i),$$

$$p2_i = pnorm(YYV_i + y_i\sigma\Delta012V_i, YYV_i, \sigma\Delta012V_i). \quad (9)$$

По выражениям (8)–(9) были получены значения y_i, $p1_i$, $p2_i$ для всех составляющих рамановских спектрограмм. Результаты оценки достоверности контроля наночастиц золота на ПЭ волокнах по (9) приведены на рис. 3.

Данные достоверности контроля наличия наночастиц серебра по фоновым составляющим приведены на рис. 2, а. Диапазон значений достоверности меняется от 0.93 для пика с $i = 6$ до 0.98 для пика с $i = 5$. Эти значения показывают очень высокую достоверность контроля наличия наночастиц серебра на ПЭ волокнах.

Оценка достоверности контроля наличия наночастиц серебра по исходным спектрограммам с учетом пиков и фоновых составляющих приведена на рис. 2, б. Диапазон значений достоверности меняется от 0.965 для пика с $i = 6$ до 0.989 для пика с $i = 5$. Эти значения показывают очень высокую достоверность контроля наличия наночастиц серебра.

Контроль наличия наночастиц серебра только по пикам спектрограмм без учета фоновых составляющих дает самую низкую достоверность, и значения приведены на рис. 2, в. Диапазон значений достоверности меняется от 0.816 для пика с $i = 3$ до 0.988 для пика с $i = 2$.

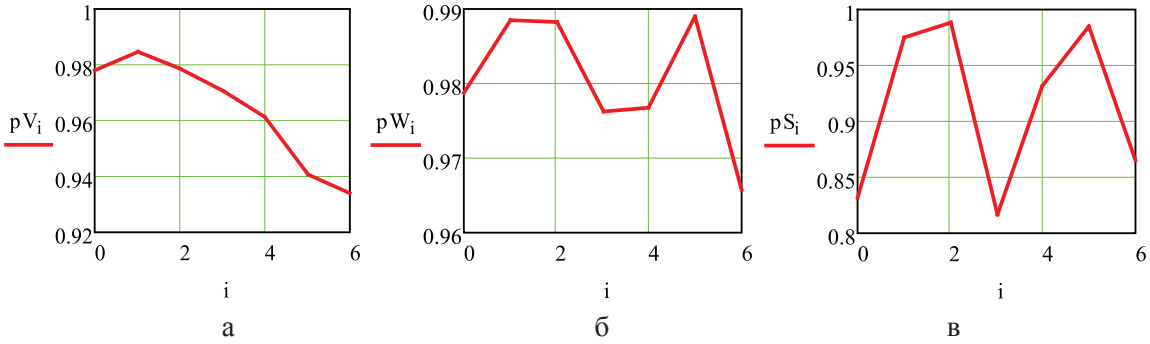


Рис. 3. Достоверность контроля наличия наночастиц серебра: а – по фоновым составляющим спектрограмм; б – по пикам с фоновыми составляющими спектрограмм; в – по пикам без фоновых составляющих спектрограмм

Были определены значения достоверностей контроля по обобщенным значениям параметров общих для $i = 0…6$ распределений, которые по фоновым составляющим, по исходным спектрограммам и только по пикам имеют следующие значения: $P\xi v = 0.975$, $P\xi w = 0.98$, $P\xi s = 0.753$.

Из этих обобщенных данных видно, что наибольшую достоверность имеет метод контроля по фоновым составляющим, а самая низкая достоверность получена при контроле по пикам спектрограмм без учета фоновых составляющих.

Выводы

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в качестве методики контроля наночастиц серебра можно рекомендовать определение многомерной достоверности по фоновым составляющим на основе построенных математических моделей, на базе которых следует проводить разработку автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Работа выполнена в рамках гранта по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (соглашение № 14.B37.21.0063) в НОЦ-Наноэлектроника на оборудовании регионального центра нанотехнологий ЮЗГУ и института физики твердого тела РАН.

Список литературы

1. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю. Математическое моделирование составляющих рамановских спектрограмм при контроле процесса нанесения наночастиц золота 10 нм Au // «Нанотехнологии-производству 2013»: тезисы докладов IX-й научно-практической конференции. – М.: Концерн «Наноиндустрия», 2013. – С. 105–109.

2. Емельянов В.М., Добровольская Т.А., Емельянов В.В., Орлов Е.Ю. Математическое моделирование составляющих рамановских спектрограмм при контроле процесса нанесения наночастиц золота 10 нм Au // Нанотехника. – 2013. – № 2. – С. 81–87.

3. Emeljanov V.M., Dobrovol'skaja T., Danilova S., Emeljanov V., Orlov E. Identification of silver nanoparticles on polyester fiber on Raman spectrograms of the in the conditions of information uncertainty // Open Journal of Metal. – 2013 – Vol. 3. – № 3. – P. 29–33. URL: http://www.scirp.org/journal/ojmetal.

4. Novoselov and A.C. Ferrari. Surface Enhanced Raman Spectroscopy of Graphene / F. Schedin, E. Lidorikis, A. Lombardo, V.G. Kravets, A.K. Geim, A.N. Grigorenko, K.S.. URL: http://www-g.eng.cam.ac.uk/nms/publications/pdf/Schedin_Arxiv_2010.

5. Jin Wang, Ling Tao Kong, Zheng Guo, JingYao Xu and JinHuai Liu. Synthesis of novel decorated one-dimensional gold nanoparticle and its application in ultrasensitive detection of insecticide// Journal of Materials Chemistry. – 2010. – Vol. 20. – Issue 25. P. 5271http://www.scirp.org/journal/ojmetal/5279. URL: http://www.rsc.org/Publishing/Journals/jm/index.asp.

References

1. Emelyanov V.M., Dobrovolskaya T.A., Emelyanov V.V., Orlov E.Yu. Mathematical modeling of making Raman spectrograms at control of process of drawing nanoparticles of gold of 10 nanometers of Au. «Nanotechnologies Productions 2013». Theses of reports at the IX-th Scientific and practical conference. Moscow, Concern «Nanoindustry», 2013, pp. 105-109.

2. Emelyanov V. M., Dobrovolskaya T.A., Emelyanov V.V., Orlov E.Yu. Mathematical modeling of making Raman spectrograms at control of process of drawing nanoparticles of gold of 10 nanometers of Au. Nanoequipment, 2013, no 7, pp. 81–87.

3. Emeljanov V.M., Dobrovol'skaja T., Danilova S., Emeljanov V., Orlov E. Identification of silver nanoparticles on polyester fiber on Raman spectrograms of the in the conditions of information uncertainty. Open Journal of Metal, 2013, vol. 3, no. 3, pp. 29–33. URL: http://www.scirp.org/journal/ojmetal.

4. F. Schedin, E. Lidorikis, A. Lombardo, V.G. Kravets, A.K. Geim, A.N. Grigorenko, K.S. Novoselov and A.C. Ferrari. Surface Enhanced Raman Spectroscopy of Graphene. URL: http://www-g.eng.cam.ac.uk/nms/publications/pdf/Schedin_Arxiv_2010.

5. Jin Wang, Ling Tao Kong, Zheng Guo, JingYao Xu and JinHuai Liu., Synthesis of novel decorated one-dimensional gold nanoparticle and its application in ultrasensitive detection of insecticide. Journal of Materials Chemistry, 2010, vol. 20, issue 25, pp. 5271–5279. URL: http://www.rsc.org/Publishing/Journals/jm/index.asp.

Рецензенты:

Сизов А.С., д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФГУП 18 ЦНИИ НИЦ МО РФ, г. Курск;

Кузьменко А.П., д.ф.-м.н., профессор, директор регионального центра нанотехнологий Юго-Западного государственного университета, г. Курск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 004.8: 519.1

О ПРИМЕНЕНИИ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ АЛГОРИТМОВ МУРАВЬИНЫХ КОЛОНИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТРУКТУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Еременко Ю.И., Цуканов М.А., Соловьев А.Ю.

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова, филиал НИТУ МИСиС, Старый Оскол, email: solovyov.anton@gmail.com

В статье излагается подход для структурной оптимизации энергетических систем. Выявлены основные задачи структурной оптимизации энергетических сетей. В частности, были предложены задача с ограниченным числом подключаемых потребителей и задача с ограниченным числом объектов энергораспределения. Обе эти задачи относятся к классу дискретных задач оптимизации и являются трудноразрешимыми при использовании классическими методами и алгоритмами. Поэтому в данной работе предлагается оригинальный подход на основе методов искусственного интеллекта. Подход основан на применении метода имитации поведения муравьев, названный алгоритмом муравьиных колоний. Данный модифицированный алгоритм муравьиных колоний был разработан для всех выявленных задач структурной оптимизации энергетических сетей. В работе рассматривается его реализация, а также сравнение результатов моделирования для задач различных размерностей с работой генетического алгоритма.

Ключевые слова: структурная оптимизация, задачи размещения, алгоритм муравьиных колоний

ON THE APPLICATION OF MULTI-AGENT ALGORITHMS ANT COLONIES TO SOLVE THE PROBLEM OF STRUCTURAL OPTIMIZATION IN POWER SYSTEMS

Eremenko Y.I., Tsukanov M.A., Solovyev A.Y.

Stary Oskol Technological Institute. AA Ugarov branch NITU «MISiS», Stary Oskol, email: solovyov.anton@gmail.com

The paper outlines an approach for the structural optimization of energy systems . The basic problem of structural optimization of energy networks . In particular the proposed task with a limited number of connected consumers and the problem with a limited number of power distribution facilities . Both of these tasks are related to a class of discrete optimization problems and are intractable using classical methods and algorithms. Therefore, this paper proposes a novel approach based on artificial intelligence techniques . The approach is based on the method of simulating the behavior of ants , called ant colony algorithm . This modified ant colony algorithm has been developed for all identified problems of structural optimization of energy networks. We consider its implementation as well as comparison of simulation results for problems of different dimensions to the work of the genetic algorithm.

Keywords: structural optimization, location problem, ant colony algorithm

Сокращение расходов на строительство энергетических систем является важной и актуальной задачей. Так, при проектировании подобных систем необходимо решить ряд важных задач, связанных с минимизацией затрат, а именно минимизацией расходов на строительство, минимизацией длины силового кабеля, минимизацией общей стоимости строительства и т.д.

Решение задач минимизации сводится к задаче структурной оптимизации, которая относится к классу задач дискретной оптимизации и, как следствие, имеет комбинаторный характер, что затрудняет ее решение при больших размерностях.

При анализе различных комбинаций ограничений и реальных ситуаций в энергетических системах был сделан вывод, что поставленная задача структурной оптимизации сводится к задачам размещения и в некоторых случаях к транспортным задачам и задачи коммивояжера. Все эти задачи имеют ярко выраженный комбинаторный характер и являются как минимум NP-трудными в сильном смысле слова.

Алгоритмы муравьиных колоний для решения задач размещения

Основными задачами структурной оптимизации являются задачи размещения с различными ограничениями, решение которых достаточно трудоемко при больших размерностях.

Обозначим через $I = (1,...,n)$ множество конечных потребителей, каждое из которых должно быть подключено только к одному объекту энергораспределения; $J = (1,..., m)$ – множество мест, в которых можно разместить объект энергораспределения; $b_{ij} \geq 0$, $i \in I$, $j \in J$ – стоимость подключения j-го объекта энергораспределения к i-му конечному потребителю. Стоимость прямо пропорциональна стоимости укладки кабеля, стоимости кабеля и расстоянию между объектом и потребителем; $q_j > 0$, $j \in J$ – емкость объекта

энергораспределения, выраженная в допустимом количестве подключаемых к нему конечных потребителей; $c_j \geq 0$, $j \in J$ – стоимость установки объекта энергораспределения на j-м месте-кандидате; $x_{ij} \in \{0, 1\}$ принимает свои значения в зависимости от того, к какому объекту энергораспределения подключен текущий конечный потребитель; $y_j \in \{0, 1\}$ принимает значения в зависимости от того, установлен ли объект энергораспределения в текущем месте.

Задача с ограниченным числом подключаемых конечных потребителей. Эта задача формализуется следующим образом:

$$\left[\sum_{i\in I}^{n}\sum_{j\in J}^{m} b_{ij}x_{ij} + \sum_{j\in J}^{m} c_j y_j\right] \to \min; \qquad (1)$$

$$\sum_{i\in I}^{n} x_{ij} \leq q_j y_j,\ j \in J. \qquad (2)$$

Ограничение (2) означает, что возможное число подключаемых потребителей к объекту энергораспределения не будет превышать заданного значения.

Задача с ограниченным числом объектов энергораспределения. Имея множество мест возможной установки объектов энергораспределения $J \in \{1, ..., m\}$, из всех возможных множеств, формирующих структуру системы, необходимо выбрать такое множество $S \subseteq J$, чтобы суммарная функция затрат была минимальной, и все конечные потребители, принадлежащие множеству $I \in \{1, ..., n\}$, были подключены, но при этом число объектов энергораспределения не должно превышать заданного числа p. Теперь задачу можно сформулировать так:

$$\sum_{i\in I}^{n} \min b_{ij} \to \min; \qquad (3)$$

$$<S \subseteq J,\ S \neq \varnothing,\ \sum_{j\in J}^{m} y_j \leq p. \qquad (4)$$

Для обеих задач выполняется ограничение

$$\sum_{i\in I}^{n}\sum_{j\in J}^{m} x_{ij} = n;$$
$$\sum_{j\in J}^{m} x_{ij} = 1,\ i \in I. \qquad (5)$$

Ограничения (5) гарантируют, что все конечные потребители будут подключены, и один конечный потребитель может быть подключен только к одному объекту энергораспределения.

Для поставленной задачи были разработаны алгоритмы, основанные на классическом алгоритме муравьиной колонии, предложенные М. Дориго [3, 4]. В силу специфики задачи классический алгоритм муравьиных колоний был модифицирован.

На рисунке приведена блок-схема предложенных алгоритмов.

Перечислим основные отличия разработанного алгоритма от классического муравьиного алгоритма:

1. В отличие от классического алгоритма муравьиных колоний в предложенных алгоритмах маршрут не строится постепенно в течение нескольких циклов. Единовременно выбранное муравьем-агентом в течение одного цикла множество объектов энергораспределения и подключенных к ним конечных потребетилей определяют маршрут для задачи с ограниченным числом конечных пользователей. Для задачи же с ограниченным числом объектов энергораспределения маршрутом является множество выбранных объектов энергораспределения.

2. Формула оценки количества феромона имеет вид

$$\Delta\tau_{ij}^{k} = \begin{cases} \dfrac{Q}{R_k}, & R_k < F \\ 0, & R_k > F \end{cases}, \qquad (6)$$

здесь $\Delta\tau_j^k$ – количество наносимого виртуального феромона на итерации муравья k; Q – регулируемый параметр, значение которого выбирают одного порядка с длиной оптимального маршрута; F – текущее оптимальное решение; R_k – стоимость маршрута, выбранного k-м муравьем-агентом.

В отличие от классического муравьиного алгоритма в (6) введен критерий оценки количества наносимого феромона. Если стоимость маршрута k-го муравья больше текущего значения целевой функции, то количество наносимого феромона равно нулю.

3. Кроме того, иначе определяется сама формула расчета количества наносимого феромона. Отметим, что первоначально, следуя идее классического муравьиного алгоритма, количество наносимого феромона рассчитывалось по формуле

$$\Delta\tau_{ij}^{k} = \frac{Q}{L_{ij}^{k}}, \qquad (7)$$

где L_{ij}^{k} есть расстояние между i-м конечным потребителем и j-м объектом энергораспределения. Соблюдая данное условие, алгоритм показывает хорошие результаты в задаче, где стоимость установки объекта энергораспределения не включается. При включении же стоимости целесообразней пользоваться формулой из (6). То есть параметр L_{ij}^{k} был заменен на R_k – стоимость маршрута k-го муравья.

4. Для задачи с ограниченным числом объектов энергораспределения формула

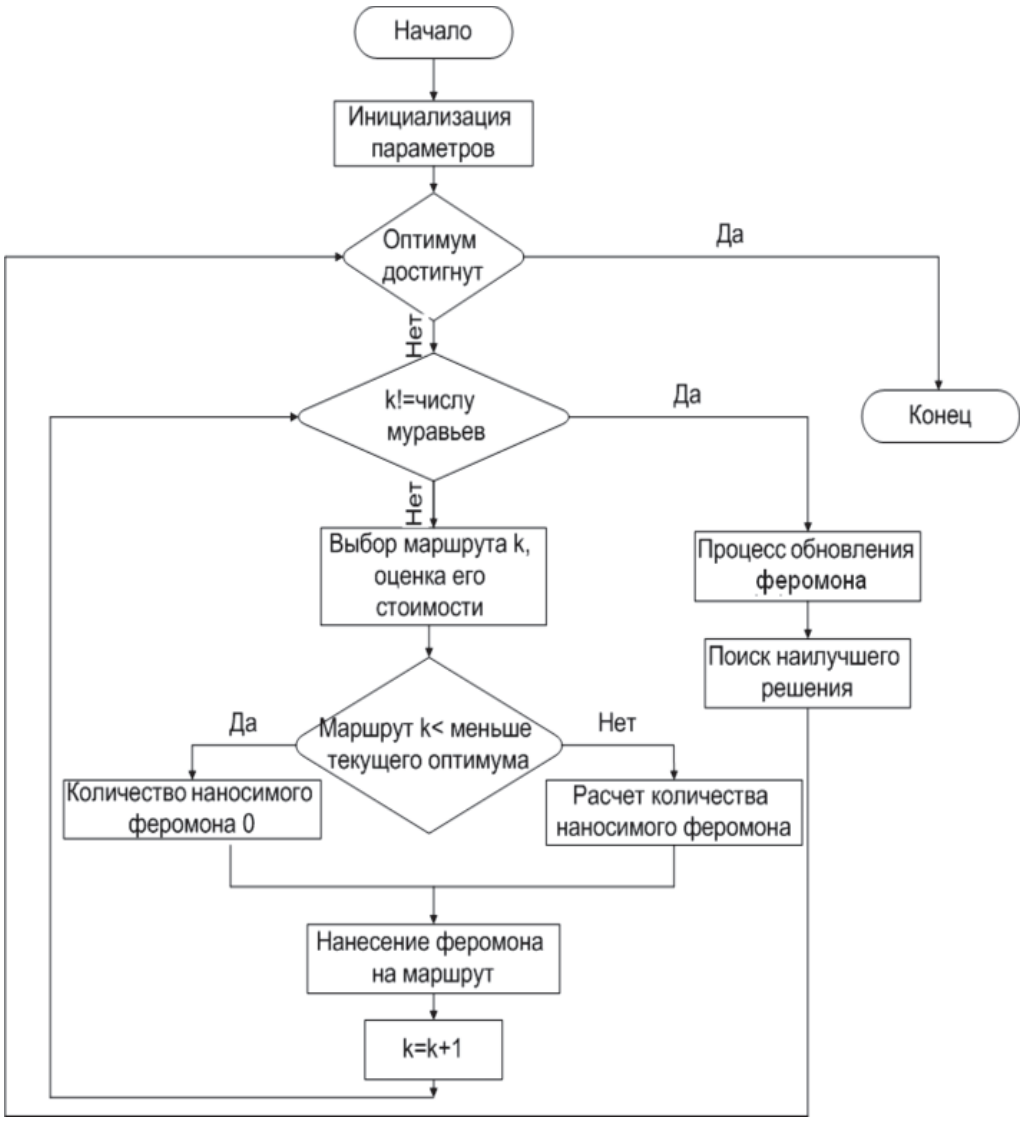
вероятности выбора мест установки объектов энергораспределения выглядит следующим образом

$$P_j = \tau_j^{\alpha} \Big/ \sum \tau_j^{\alpha}, \quad (8)$$

тогда как в классическом муравьином алгоритме и в модифицированном алгоритме для задачи с ограниченным числом подключаемых конечных потребителей формула вероятности имеет вид

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}{\sum \tau_{ij}^{\alpha} \eta_{ij}^{\beta}}, \quad (9)$$

где η_{ij} – величина, обратная расстоянию, или так называемая *видимость* муравья, α и β – два регулируемых параметра, задающие веса следа феромона и видимости при выборе маршрута. Как видим из (8), в формуле вероятности были убраны параметры η_{ij} и β. В самом классическом алгоритме данные параметры играли косвенную роль в минимизации расстояния, и их включение было необходимо. Для данной задачи эти параметры не являются обязательными, также исключение этих параметров позволило сократить время на поиск наилучшего решения при работе алгоритма.



Блок-схема алгоритмов для задач размещения

Такие этапы, как нанесение количества феромона и процедура испарения феромона, остались без изменений. Обозначим коэффициент испарения феромона через $\rho \in [0, 1]$. Тогда правило обновления феромона примет вид

$$\tau_j = \tau_j(1 - \rho). \quad (10)$$

Проведение экспериментальных тестирований

Для проведения численных экспериментов и моделирования полученных алгоритмов, в частности, алгоритма муравьиной колонии (ACO) использовалась среда для имитационного моделирования AnyLogic.

Наиболее важными параметрами в алгоритме муравьиной колонии помимо числа муравьев являются параметры α, β, ρ. Параметры α и β отвечают за веса следа феромона, тогда как параметр ρ отвечает за скорость испарения феромона. Выбор ключевых параметров излишне большим или, наоборот, маленьким может привести к слишком быстрому вырождению алгоритма и получению одного субоптимального решения.

Для каждой из поставленных задач помимо муравьиного алгоритма использовался генетический алгоритм(GA). Данный алгоритм, как и многие другие направления и методы искусственного интеллекта, такие как иммунные сети [1], нейросети, алгоритмы имитации отжига уже хорошо зарекомендовали себя при решении подобного рода задач и задач дискретной оптимизации.

Алгоритмы тестировались на матрицах одинаковых размерностей, которые были сгенерированы случайным образом. Координаты точек расположения объектов энергораспределения и конечных потребителей были идентичны для обоих алгоритмов.

Что касается таких параметров, как α, β, ρ, коэффициента мутации, уровня кроссинговера, то для работы алгоритмов мы старались придерживаться единых параметров всегда. Подбор оптимальных значений параметров проводился на различных тестовых задачах с различной размерностью путем увеличения или уменьшения их значений и дальнейшим сравнением результатов работы алгоритмов с заданными параметрами.

При решении задач малой размерности сравнение целевой функции проводилось с решениями, которые были получены методом точного перебора. При увеличении размерности матриц проводить сравнение результатов работы генетического и муравьиного алгоритмов с полным перебором уже не представляется возможным.

В табл. 1–2 приведены результаты работ обоих алгоритмов для обеих задач. Для величин целевых функций приведены наилучшие значения, полученные в течение 100 запусков обоих алгоритмов.

Таблица 1

n	*m*	Ограничение мощности	Целевая функция		Время, с	
			ACO	GA	ACO	GA
12	8	3	976,023	976,023	0,05	0,05
20	15	3	1297,307	1297,307	0,07	0,08
20	20	3	1345,097	1345,097	1,02	1,06
40	20	3	2854,353	2932,598	2,36	4,52
50	20	3	3707,201	3824,268	15,14	36,43
70	30	4	4629,368	4849,276	20,02	114,47
100	50	4	5240,651	5371,423	25,97	151,79
200	60	4	17040,116	19574,281	37,45	202,17
300	80	5	25867,954	26033,17	43,39	231,68

Таблица 2

m	*n*	*p*	Целевая функция		Время, с	
			ACO	GA	ACO	GA
1	2	3	4	5	6	7
20	20	5	1574,653	1603,88	0,01	0,01
30	30	5	2564,182	2591,275	0,4	0,73
40	40	5	3173,654	3264,975	1,03	3,15
50	50	5	4234,961	4452,086	6,31	10,18
60	60	5	4924,604	5049,322	8,52	16,39
70	70	5	5573,454	5761,855	17,48	31,11
80	80	5	7034,218	7215,051	23,95	40,54
90	90	5	7875,932	8183,22	29,67	48,75
100	100	5	8812,972	9134,676	36,24	58,43
110	110	5	9867,511	10137,726	41,71	66,14

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
120	120	5	10959,295	11060,058	53,12	87,51
130	130	5	11395,606	12052,505	61,36	101,49
30	30	10	1880,427	1887,564	1,09	7,22
40	40	10	2386,928	2395,599	3,25	15,43
50	50	10	3052,7832	3138,52	7,13	20,28
60	60	10	3554,071	3660,551	15,82	32,43
70	70	10	4100,488	4233,996	23,47	47,19
80	80	10	5052,326	5336,506	29,03	60,38
90	90	10	5679,951	5822,671	33,81	72,15
100	100	10	6261,307	6571,38	37,92	86,09
110	110	10	6870,509	6979,492	44,55	112,11
120	120	10	7364,765	7693,327	59,48	136,1
130	130	10	8132,323	8406,671	62,94	153,72
140	140	10	8643,922	9355,775	66,39	184,63

Как видим, на матрицах малых размерностей результаты работы обоих алгоритмов идентичны, но с увеличением размерности результаты работы муравьиного алгоритма превосходят генетический алгоритм как в скорости нахождения оптимального решения, так и в значении целевой функции. С увеличением размерности задач муравьиный алгоритм дает на выходе меньшее значение целевой функции, нежели генетический алгоритм.

Заключение

Таким образом, мы показали эффективность работы предложенных модифицированных муравьиных алгоритмов при решении задач структурной оптимизации энергетических сетей. Существенным плюсом подобных алгоритмов является их быстродействие, а также легкость реализации. Но также имеется ряд недостатков, например, таких как подбор параметров. В дальнейшем планируются исследования по нейтрализации этих недостатков и улучшению работы алгоритмов в целом.

Список литературы

1. Еременко Ю.И., Глущенко А.И. О решении неформализуемых и плохоформализуемых задач методами иммунных алгоритмов // Информационные технологии. – 2011. – № 7. – С. 2–7

2. Семенов М.Е. Алгоритмы структурной оптимизации сетей связи / М.Е. Семенов, А.Ю. Соловьев, О.В. Тимченко // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3.1 (37). – С. 195–199.

3. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2003. – № 4. – С. 70–75.

4. Меркурьев Г.В. Оперативно-диспетчерское управление энергосистемами. – СПб.: Издание Центра подготовки кадров энергетики, 2002. – 116 с.

5. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by Ant Colonies. Proceedings of the First European Conference on Artifical Life. – Paris, France, 1991. – P. 134–142.

References

1. Eremenko Yu.I, Gluschenko A.I. The solution of non-formalizable and plohoformalizuemyh problems by immune algorithms // Information Technology. 2011. no. 7. pp. 2–7

2. Semenov M.E.Algorithms for structural optimization of communication networks / M.E. Semenov, A.Yu. Solovev, O.V. Timchenko // Control Systems and Information Technology, 2009. no. 3.1 (37). pp. 195–199.

3. Shtovba S.D. Ant Algorithms // Exponenta Pro. Mathematics in Applications, 2003. no. 4. pp. 70–75.

4. Merkur'ev GV of the supervisory control power systems / / SPB Edition Training Center Energy 2002. pp. 116.

5. Colorni A., Dorigo M., Maniezzo V. Distributed optimization by Ant Colonies. Proceedings of the First European Conference on Artifical Life. Paris, France, 1991. pp. 134–142.

Рецензенты:

Семенов М.Е., д.ф-м.н., профессор кафедры цифровых технологий Воронежского государственного университета, г. Воронеж;

Кургалин С.Д., д.ф-м.н., профессор, заведующий кафедрой цифровых технологий Воронежского государственного университета, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 62-685

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ-УТИЛИЗАТОРЕ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОЙ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА МЕТОДАМИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ

Жаров А.В., Павлов А.А., Фавстов В.С., Горшков Р.В.

ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, e-mail: pavlovaa@list.ru

Основными теплогенерирующими элементами компактной дизельной когенерационной установки являются система охлаждения дизельного двигателя внутреннего сгорания и теплообменник-утилизатор теплоты отработанных газов. В качестве теплообменника-утилизатора теплоты отработанных газов используется специально разработанная для этих целей компактная и эффективная его конструкция, создание которой невозможно без многовариантного расчетного исследования. В связи с этим целью работы является исследование гидрогазодинамических и теплообменных процессов, протекающих в полостях теплообменника-утилизатора теплоты отработанных газов для формирования его наиболее совершенной конструкции. В результате применения методов компьютерной гидрогазодинамики выполнен комплекс исследовательских работ и приведены их результаты по изучению особенностей теплообмена и течений теплоносителей в полостях теплообменника-утилизатора теплоты отработанных газов. Обоснован наиболее эффективный его конструктивный вариант исполнения.

Ключевые слова: когенерационная установка, теплообменник-утилизатор, компьютерная гидрогазодинамика, гидрогазодинамическое моделирование, теплообмен

RESEARCH OF HEAT EXCHANGER UTILIZERS FULFILLED GASES OF DIESEL COGENERATION UNIT VEHICLE METHOD OF COMPUTER FLUID DYNAMICS

Zharov A.V., Pavlov A.A., Favstov V.S., Gorshkov R.V.

FGBOU VPO «The Yaroslavl state technical university», Yaroslavl, e-mail: pavlovaa@list.ru

The major heat-producing elements of compact diesel cogeneration unit are cooling system of diesel engine of internal combustion and heat exchanger-utilizer of exhaust gases. As the heat exchanger-utilizer of the heat of exhaust gases is used specially developed for these purposes, compact and efficient unit. The development of such design is impossible without multivariant computations. Therefore, the aim of the research is the investigation of gas dynamics and heat transfer processes taking place in the cavities of the heat exchanger- utilizer of the heat of exhaust gases to produce the most perfect construction. All the calculations were done by the method of computational gas dynamics. The article presents the results of studying the peculiarities of heat exchange and flows of heat carrier in the exchanger-utilizer of the heat of exhaust gases. Substantiated the most effective of its constructive version/

Keywords: cogeneration unit, waste heat exchanger, computer fluid dynamics, hydro gas dynamic modeling, heat transfer

В работе [1] была предложена теплоэнергетическая установка для снабжения различных транспортных средств (ТС) тепловой и электрической энергией во время длительных стоянок, когда основной двигатель внутреннего сгорания (ДВС) не функционирует. В таких случаях для зарядки аккумуляторных батарей ТС, прогрева кабины ТС и основного ДВС предлагается использовать компактную когенерационную установку (КГУ) с дизельным ДВС, вырабатывающую тепловую и электрическую энергию. Главной отличительной чертой предлагаемой КГУ является то, что для наземного транспорта её мощность должна находиться в диапазоне 10…15 кВт. Основными теплогенерирующими устройствами такой КГУ будут являться система охлаждения дизельного ДВС и теплообменник-утилизатор теплоты отработанных газов (ОГ). В качестве теплообменника-утилизатора теплоты ОГ (далее теплообменник) используется специально разработанная для этих целей компактная и эффективная его конструкция. При его разработке следует учитывать условия работы теплообменника, а именно сильную вибрацию и воздействие высоких температур от 250 до 400 °С. Выполнить все вышеуказанные требования для теплообменника КГУ без детального исследования протекающих в его полостях процессов представляет собой достаточно трудоемкую задачу со значительным многовариантным расчетно-экспериментальным исследованием. В связи с этим **целью работы** является исследование гидрогазодинамических и теплообменных процессов, протекающих в полостях теплообменника, для формирования его наиболее совершенной конструкции.

Широко применяемые в настоящее время методы проектирования теплообменных аппаратов [3, 4, 5], в частности, определение коэффициентов теплоотдачи, базируются целиком на опытных данных и теории подобия в форме эмпирических уравнений,

обобщающих эти данные. Имеется возможность расчетного определения для рекуперативных теплообменников коэффициентов теплоотдачи от горячего газа к тепловоспринимающим стенкаь, а на основании этих значений вычислить передаваемые тепловые потоки или, напротив, для заданного передаваемого теплового потока определить необходимую площадь теплообмена. Но с активным развитием технологий математического моделирования, в основе которых лежат численные методы решения фундаментальных систем дифференциальных уравнений гидрогазодинамики [3, 4, 5] появилась возможность определять характеристики течения жидких и газообразных сред с выявлениями особенностей теплообмена между ними и твердыми поверхностями. В результате для каждой точки исследуемой области определяются скорости газа (вычисляются величины и направления), давление жидкой или газообразной среды, их температуры, а также коэффициенты теплопередачи от одного теплоносителя к другому, и передаваемые в результате теплообмена тепловые потоки. Описываемый метод в современной терминологии инженерного анализа имеют международную аббревиатуру CFD, что в буквальном переводе на русский язык означает «компьютерная гидрогазодинамика». В результате для исследования процессов течения жидкости и газа в полостях рекуперативного теплообменника утилизатора теплоты ОГ выбран инструмент, реализующий технологии компьютерной гидрогазодинамики, а именно программный продукт «Autodesk Simulation CFD».

Перед исследованием теплообменных и гидрогазодинамических процессов в полостях теплообменника были выполнены: выбор типа теплообменника и размеров трубок его теплопередающего элемента, гидравлические расчеты жидкостного тракта КГУ (методика расчета и их результаты изложена в работе [2]). Выбран тип теплообменника – трубчатый кожухотрубный с перекрестно-точным течением теплоносителей. Внутренний диаметр трубок теплопередающего элемента теплообменника – 6 мм, наружный 8 мм, их длина – 350 мм. Количество трубок в теплопередающем элементе теплообменника – 6. Внутри трубок теплопередающего элемента теплообменника течет охлаждающая жидкость (ОЖ), в качестве которой используется вода, а в межтрубном пространстве течет ОГ. Массовый расход ОЖ через теплообменник составляет 0,367 кг/с, расход ОГ составляет – 0,008 кг/с [2]). Начальные температуры теплоносителей: ОЖ – 80 °С; ОГ – 500 °С. Для придания поперечного характера обтекания ОГ трубок теплопередающего элемента теплообменника используются 4 разделительные пластины толщиной 0,5 мм. Расстояние между разделительными пластинами теплообменника выбрано в соответствии с практическими рекомендациями [3, 4].

Используя вышеприведенные конструктивные данные теплообменника, разработана модель исследуемой области. Исследуемая область теплообменника представляет собой его трехмерную модель, принципиальная схема которой изображена на рис. 1. В качестве граничных условий для расчета процессов в теплообменнике заданы физические свойства ОЖ и ОГ, их массовые расходы, а также температуры на входах в соответствующие его полости.

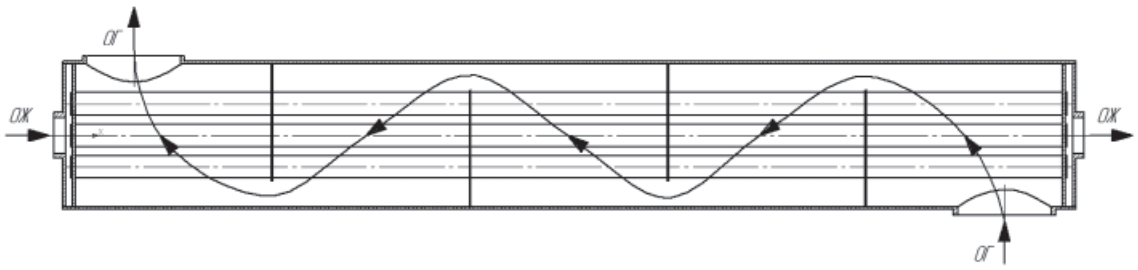


Рис. 1. Схема рекуперативного теплообменника утилизатора теплоты ОГ

Интенсификация теплообменных процессов в межтрубном пространстве теплообменника осуществляется применением вышеуказанных разделительных пластин толщиной 0,5 мм. Соответствующей установкой разделительных пластин обеспечивается различный характер течения ОГ в межтрубном пространстве теплообменника (рис. 2), что в конечном итоге сказывается на его эффективности. В исследовании этого влияния заключается одна из задач настоящей работы. Конструктивно рассматриваются три варианта расположения проходных сечений разделительных пластин в теплообменнике (рис. 2).

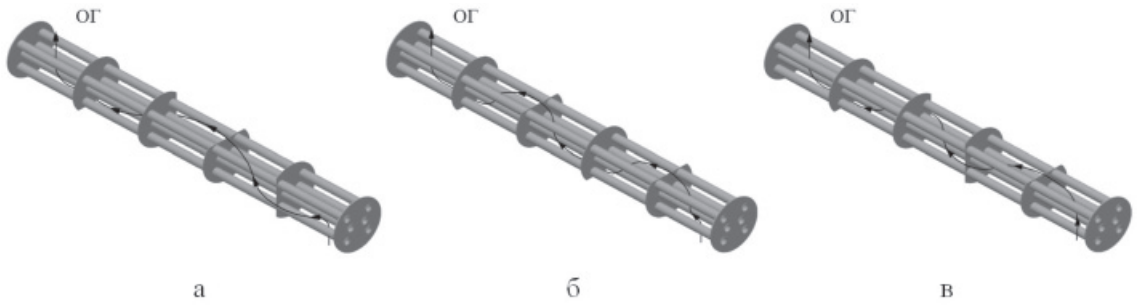


Рис. 2. Варианты расположения проходных сечений разделительных пластин в теплообменнике-утилизаторе теплоты ОГ

Далее для исследования процессов в теплообменнике решалась стационарная задача теплопроводности применительно к трем его конструктивным вариантам (рис. 2) с одинаковыми граничными условиями и сеткой конечных элементов. При расчете не учитывался теплообмен с наружной поверхностью теплообменника.

Оценку эффективности различных конструктивных вариантов теплообменника будем оценивать коэффициентом полезного действия (КПД). КПД теплообменника определяется согласно методике, приведенной в работе [5]:

$$\eta = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_1'}, \qquad (1)$$

где t_1 – начальная температура ОГ, °С; t_2 – конечная температура ОГ, °С; t_1' – начальная температура ОЖ, °С.

Кроме КПД, применим для сравнительной оценки конструктивных вариантов теплообменника такой параметр, как тепловая мощность, кВт [5]:

$$Q'_{\text{ТЕП}} = G' \cdot c'_p \cdot \left(t'_2 - t'_1 \right), \qquad (2)$$

где G' – массовый расход ОЖ, кг/с; c'_p – удельная теплоемкость ОЖ, кДж/(кг·°С); t'_2 – конечная температура ОЖ, °С.

По результатам исследования протекающих процессов в теплообменнике для трех его конструктивных вариантов, представленных в табл. 1, можно сделать предварительную сравнительную оценку эффективности каждого из них.

Таблица 1

Результаты исследования процессов в теплообменнике для трех конструктивных вариантов теплообменника-утилизатора теплоты ОГ

Параметры теплоносителей	Конструктивные варианты теплообменника		
	а	б	в
Начальная температура ОГ, °С	500		
Конечная температура ОГ, °С	101,7	106,8	122,9
Начальная температура ОЖ, °С	80		
Конечная температура ОЖ, °С	81,2	81,2	81,6
Удельная теплоемкость ОЖ, кДж/(кг·°С)	4,195		
Тепловая мощность, кВт	1,847	1,847	2,463
КПД	0,95	0,94	0,90

Из табл. 1 следует, что конструктивный вариант «в» теплообменника имеет большую тепловую мощность при меньшем КПД, чем варианты «а» и «б». Вероятная причина этого результата заключается в лучшей равномерности распределения температурных полей ОГ (рис. 3), что создает большую плотность теплового потока. Кроме того, из рис. 3 следует, что наибольшее падение температуры ОГ, а, следовательно, и интенсивность теплообмена между ОГ в межтрубном пространстве и ОЖ внутри трубок теплообменника осуществляется на первых трех его секциях (относительно входа ОГ в теплообменник), образованных разделительными пластинами. На основании выявленной особенности теплообменника можно сделать вывод о том, что применение двух последних его секций нерационально. С целью определения целесообразности применения теплообменника без последних секций, образованных разделительными пластинами, было выполнено специальное исследование.

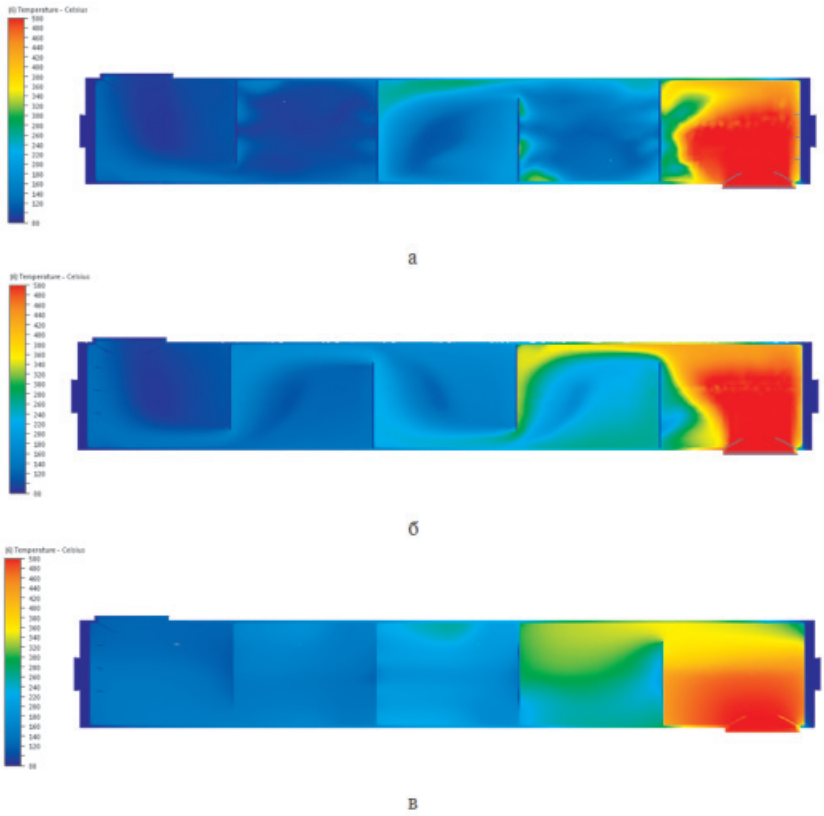


Рис. 3. Картины распределения температурных полей ОГ трех конструктивных вариантов теплообменника-утилизатора теплоты ОГ

Для исследования процессов в теплообменнике были рассмотрены три его исследуемые области, согласно конструктивным вариантам, представленным на рис. 2. Результаты исследования процессов в теплообменнике, имеющем три секции, образованные разделительными пластинами, представлены в табл. 2 и на рис. 4.

Таблица 2

Результаты исследования процессов в трех конструктивных вариантах трехсекционного теплообменника

Параметры теплоносителей	Конструктивные варианты теплообменника		
	а	б	в
Начальная температура ОГ, °С	500		
Конечная температура ОГ, °С	180,9	159,3	191
Начальная температура ОЖ, °С	80		
Конечная температура ОЖ, °С	81	81,1	81,3
Удельная теплоемкость ОЖ, кДж/(кг·°С)	4,195		
Тепловая мощность, кВт	1,540	1,694	2,001
КПД	0,76	0,81	0,74

При проектировании кожухотрубных рекуперативных теплообменников по методикам [3, 4, 5] основным расчетным параметром является площадь поверхности теплообмена, т.е. площадь поверхности трубок, омываемых ОГ. Отношение тепловой мощности к этому показателю дает величину, которую можно использовать в качестве теплогабаритной сравнительной оценки эффективности пятисекционного и трехсекционного теплообменников, которая несет несколько иную характеристику, чем КПД (табл. 3). Исходя из данных по теплогабаритной сравнительной оценке, трехсекционный теплообменник утилизации теплоты ОГ при трех конструктивных

вариантах более эффективен, чем аналогичный пятисекционный. Это объясняется наибольшей интенсивностью процесса теплопередачи от ОГ к ОЖ на первых секциях от входа ОГ теплообменника. Также среди исследуемых конструктивных вариантов теплообменника как для пяти секций, так и для трех, наилучшие показатели тепловой мощности у варианта «в», несмотря на самый низкий КПД.

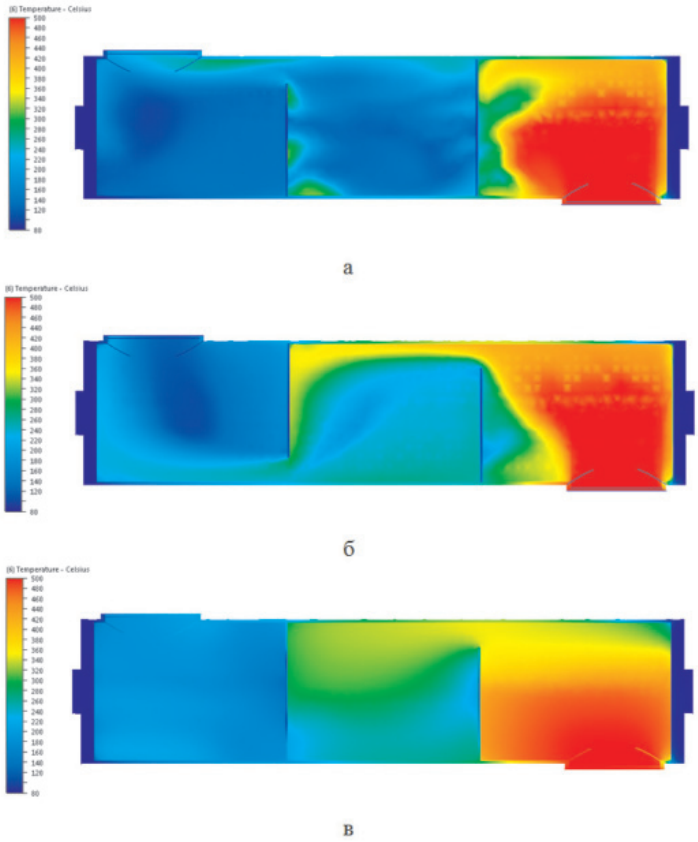


Рис. 4. Картины распределения температурных полей трех конструктивных вариантов трехсекционного теплообменника

При исследовании теплообменника методом CFD установлено неравномерное распределение массового расхода ОЖ по полостям трубок (на рис. 5 показано расположение трубок, в табл. 4 приведен результат анализа).

Таблица 3

Сравнительная оценка эффективности пятисекционного и трехсекционного теплообменников при трех конструктивных вариантах

Параметры теплообменника	Конструктивные варианты теплообменника		
	а	б	в
Тепловая мощность пятисекционного теплообменника, кВт	1,847	1,847	2,463
Площадь поверхности теплообмена в пятисекционном теплообменнике, м^2	0,054		
Отношение тепловой мощности к площади поверхности теплообмена для пятисекционного теплообменника, кВт/м^2	34,20	34,20	45,61
Тепловая мощность трехсекционного теплообменника, кВт	1,540	1,694	2,001
Площадь поверхности теплообмена в трехсекционном теплообменнике, м^2	0,030		
Отношение тепловой мощности к площади поверхности теплообмена для трехсекционного теплообменника, кВт/м^2	51,33	56,47	66,7

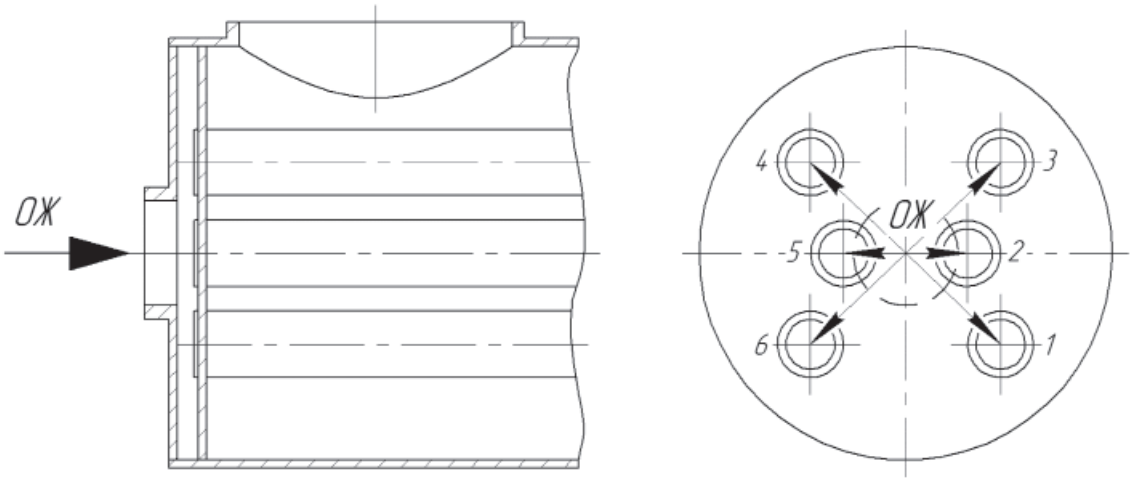


Рис. 5. Схема расположения трубок в теплопередающем элементе теплообменника

Таблица 4

Распределение массовых расходов ОЖ по полостям трубок теплообменника

Номер трубки теплопередающего элемента теплообменника	Конструктивные варианты теплообменника		
	а	б	в
	Расход, кг/с	Расход, кг/с	Расход, кг/с
1	0,051	0,055	0,054
2	0,066	0,068	0,070
3	0,067	0,058	0,057
4	0,055	0,057	0,056
5	0,068	0,069	0,070
6	0,056	0,058	0,057

Анализ данных, представленных в табл. 4, указывает на неравномерность расходов ОЖ по разным трубкам теплопередающего элемента теплообменника. В трубках 2 и 5 теплопередающего элемента теплообменника, расположенных вблизи центральной его оси, наблюдается больший расход ОЖ в отличие от трубок, расположенных на периферии. Соответственно, процесс теплообмена через стенки трубок 2 и 5 будет более интенсивным по сравнению с трубками, расположенными на периферии. Неравномерность расхода ОЖ по трубкам теплопередающего элемента теплообменника относится к вторичным эффектам в теплообменных аппаратах. Из практики создания теплообменных аппаратов известно, что даже незначительная неравномерность расхода теплоносителей (в несколько процентов) существенно снижает их эффективность. Неравномерность потоков ОЖ по разным трубкам теплопередающего элемента теплообменника обусловлена конструкцией подводного коллектора. Таким образом, чтобы добиться лучшей равномерности распределения расходов ОЖ по всем трубкам теплопередающего элемента теплообменника, необходимо либо расширить входной канал, либо как можно ближе к центральной оси расположить трубки. Возможны оба варианта вместе.

В итоге в представленной работе методом компьютерной гидрогазодинамики исследованы гидрогазодинамические и теплообменные процессы, протекающие в полостях теплообменника. При исследовании выявлена неравномерность расходов ОЖ между трубками теплопередающего элемента теплообменника. Установлена эффективность различных конструктивных вариантов исполнения теплопередающего элемента теплообменника. Выявлено, что у пятисекционного теплопередающего элемента теплообменника две последние секции имеют низкую эффективность. В результате предложена более компактная конструкция теплообменника, состоящая из трех секций, образованных разделительными пластинами.

Список литературы

1. Павлов А.А., Жаров А.В., Лебедев А.Е. Установка для выработки тепловой и электрической энергии на борту АТС // Автомобильная промышленность. – М.: Машиностроение, 2012, октябрь. – С. 13–14.

2. Павлов А.А., Ломов А.А., Жаров А.В., Лебедев А.Е. Определение величин расходов жидкости в гидравлических элементах когенерационной установки, предназначенной для транспортного средства // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3 (3). – С. 628–632.

3. Справочник по теплообменникам. В 2-х т. / пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 1. – 560 с., ил.

4. Справочник по теплообменникам. В 2-х т. / пер. с англ. под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – Т. 2. – 352 с., ил.

5. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе: пер. с нем. – М.: Энергоиздат, 1981. – 384 с., ил.

References

1. Pavlov A.A., Zharov A.V., Lebedev A.E. *Ustanovka dlya vyrabotki teplovoy i elektricheskoy energii na bortu ATS* (Installation for development of thermal and electric energy onboard the automobile vehicle). Automotive industry, Moscow: Machine industry, 2012, october, pp. 13–14.

2. Pavlov A.A., Lomov A.A., Zharov A.V., Lebedev A.E. *Opredeleniye velichin raskhodov zhidkosti v gidravlicheskikh elementakh kogeneratsionnoy ustanovki, prednaznachennoy dlya transportnogo sredstva* (Determination of sizes of expenses of liquid in hydraulic elements of the cogeneration installation intended for the vehicle). Basic researches, 2012, no. 3 (3), pp. 628–632.

3. *Spravochnik po teploobmennikam. V 2-kh t. T 1* (Directory on heat exchangers. In 2 vol. Vol. 1). Per. s angl. pod red. O.G. Martynenko i dr. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 560 p.

4. *Spravochnik po teploobmennikam. V 2-kh t. T 2* (Directory on heat exchangers. In 2 vol. Vol. 2). Per. s angl. pod red. O.G. Martynenko i dr. Moscow: Energoatomizdat, 1987. 352 p.

5. Khauzen Kh. *Teploperedacha pri protivotoke, pryamotoke i perekrestnom toke. Per. s nem.* (Heat transfer at a countercurrent, a direct flow and cross current. Translation from German) **M**oscow: Energoizdat, 1981. 384 p.

Рцензенты:

Мурашов А.А., д.т.н., зав. кафедрой математических и естественно-научных дисциплин Московского финансово-юридического университета МФЮА, г. Москва;

Пархин О.М., д.т.н., профессор, Ярославский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ), г. Ярославль.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 519.876.5

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОУДАРЕНИЙ И КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ БАЛАНСОВ НЕОДИНАКОВОГО ДИАМЕТРА В КОРООБДИРОЧНОМ БАРАБАНЕ

Колесников Г.Н., Доспехова Н.А.

ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: kgn@persu.ru

Цель работы – обзор исследований по очистке круглых лесоматериалов от коры и уточнение закономерностей соударений балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане. Знание этих закономерностей необходимо для совершенствования технологии очистки балансов от коры в целях уменьшения потерь древесины. Как и в монографии Бойкова С.П., соударения балансов в корообдирочном барабане с учетом стохастичности рассматриваются как независимые повторяющиеся испытания по схеме Бернулли. Приняты во внимание геометрические и механические аспекты задачи. Результаты выполненного исследования показывают, что при совместной обработке в корообдирочном барабане балансов неодинакового диаметра более интенсивному воздействию подвергаются балансы меньшего диаметра по сравнению с балансами большего диаметра. Установлена закономерность: уменьшение степени очистки от коры пропорционально квадрату увеличения диаметра. Адекватность результатов исследования подтверждена экспериментальными данными, известными по литературе. Обоснована практическая рекомендация: в целях уменьшения потерь древесины необходимо сортировать балансы по диаметру до загрузки в корообдирочный барабан и обрабатывать балансы в барабане группами, чтобы минимизировать различие диаметров балансов, которые соударяются друг с другом в барабане.

Ключевые слова: балансовая древесина, неодинаковый диаметр, корообдирочный барабан

LAWS OF INTERACTION AND THE QUALITY DEBARKING OF PULPWOOD OF UNEQUAL DIAMETER IN THE DEBARKING DRUM

Kolesnikov G.N., Dospehova N.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: kgn@persu.ru

In this paper, a brief review researches of debarking of pulpwood in a drum and clarifying the patterns of collisions of pulpwood in case unequal diameter of pulpwood are presented. Knowledge of these patterns is necessary to improve the technology of debarking in order to reduce the wood losses. As in the monograph of S.P. Boikov, impact balance sheets in the drum, taking into account the stochasticity, are treated as independent repetitive tests on the Bernoulli scheme. The geometrical and mechanical aspects of the problem are considered. The results of the study show that the in case co-processing of pulpwood with unequal diameters, pulpwood of smaller diameter receive more collisions per unit area compared to the pulpwood of larger diameter. Found, that the change in the degree of purification of the cortex in proportion to the square of the diameter changes. The adequacy of the results of the study confirmed the experimental data known from the literature. Sound practical advice: in order to reduce the wood losses, sorting round wood by diameter is recommended before to loading in the drum. Respectively, pulpwood must be processed by groups, in order to minimize the difference of diameter pulpwood's, which collide with each other in debarking drum.

Keywords: pulpwood, unequal diameter, debarking drum

По определению, балансовая древесина (балансы) – круглые лесоматериалы в виде отрезков ствола дерева, имеют длину, например, 1–3 м и диаметр 8–24 см. Балансы необходимы для производства целлюлозы.

В данной работе используется геометрическая модель баланса в виде прямого кругового цилиндра.

Очистка от коры является необходимым звеном в технологии подготовки круглых лесоматериалов к их дальнейшему использованию. Крупным потребителем круглых лесоматериалов является целлюлозно-бумажная промышленность, где требуется наиболее высокая степень очистки от коры. Развитие технологий очистки круглых лесоматериалов от коры отражено в работах [1, 8–12]. В целлюлозно-бумажной промышленности технология очистки древесины в корообдирочных барабанах остаётся доминирующей [8–12, 20–22], развиваясь параллельно с роторной [1, 6] и другими технологиями окорки [7, 17].

Большой объем экспериментальных и теоретических исследований по очистке древесины от коры был выполнен в 1970-е годы [21]. Обобщение полученных в эти годы результатов с учетом выполненных до 1980 г. работ, начиная с работы Б.Г. Залегаллера (1949), приведено в монографии С.П. Бойкова [1].

В данной работе рассматривается одна из проблем, источник которой – объективно существующее противоречие требования высокой степени очистки от коры, с одной стороны, и, с другой стороны, необходимости уменьшения потерь древесины при окорке.

Высокая степень очистки балансов от коры достигается увеличением продолжительности их обработки в барабане. Однако

в этом случае с течением времени возрастает число ударов по очищенной от коры поверхности баланса, что ведет к разрушению и потерям древесины. Поэтому необходим компромисс между потерями древесины и степенью очистки от коры [1, 5, 7–9].

Согласно [21], потери древесины при очистке в корообдирочных барабанах могут составлять от 1 до 4 %. Это больше, чем при хранении круглых лесоматериалов (от 0,1 до 0,5 %), измельчении на щепу и сортировке щепы (от 0,5 до 2,5 %), транспортировке щепы (от 0 до 0,5 %), хранении щепы (от 0,1 до 1,5 %). Некоторые предложения по уменьшению потерь древесины рассмотрены в статьях [10, 13, 15].

Цель данной работы – исследование закономерностей соударений и качества очистки от коры круглых лесоматериалов неодинакового диаметра в корообдирочных барабанах.

Материалы и методы исследования

Многочисленные факторы, влияющие на качество очистки от коры, можно свести к двум параметрам – количеству ударов и силе контактного взаимодействия при соударениях балансов. Соударения балансов, с учетом стохастичности, рассматриваются в [1] как независимые повторяющиеся испытания по схеме Бернулли. При этом вероятность удара по случайно выбранному участку поверхности баланса равна

$$p = \frac{\Delta S}{S}. \qquad (1)$$

Здесь ΔS – площадь участка (пятна контакта соударяющихся балансов); S – площадь поверхности баланса. С использованием распределения Пуассона в [1] получена формула для определения вероятности ударов по участку:

$$p(m \geq 1) = 1 - e^{-\lambda t}. \qquad (2)$$

Здесь λ – интенсивность соударений (среднее количество ударов по одному участку за единицу времени); t – продолжительность процесса.

Степень очистки от коры принято определять в процентах [21]. Если сила однократного контактного взаимодействия балансов достаточна для разрушения и удаления коры по пятну контакта, то формула (1) определяет зависимость качества окорки от продолжительности обработки и интенсивности соударений λ [1]:

$$C_{deb} = (1 - e^{-\lambda t}) \cdot 100\,\%. \qquad (3)$$

Если для разрушения и удаления коры на рассматриваемом участке необходимо не менее b ударов, то вероятность окорки участка, как показано в [1], равна

$$p\left(m \geq b\right) = 1 - e^{-\lambda t} \sum_{i=0}^{b-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}. \qquad (4)$$

Качество (степень) окорки в этом случае $C_{deb} = p(m \geq b) \cdot 100\,\%$.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим геометрические аспекты задачи. В приведенных выше формулах (1)–(4) по умолчанию предполагается, что площадь окоряемой поверхности соударяющихся балансов, а значит, и диаметры одинаковы (если балансы не различаются по длине). Рассмотрим соударение балансов 1 и 2 одной и той же длины L, но неодинакового диаметра, D_1 и D_2 соответственно. Очевидно, в формуле (1) величина ΔS будет одной и той же для каждого из этих балансов. При этом $S_1 = \pi D_1 L$ и $S_2 = \pi D_2 L$. Согласно (1)

$$p_1 = \frac{\Delta S}{S_1}; \quad p_2 = \frac{\Delta S}{S_2}. \qquad (5)$$

Тогда

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{S_2}{S_1} = \frac{D_2}{D_1}; \quad p_2 = p_1 \frac{D_1}{D_2}. \qquad (6)$$

Обозначим $k_D = D_1/D_2$ и перепишем формулу для p_2 (6) в виде

$$p_2 = p_1 k_D. \qquad (7)$$

С помощью коэффициента k_D моделируется влияние только геометрических характеристик и ΔS (5). Формула (6) показывает, что с увеличением диаметра баланса степень его очистки от коры линейно уменьшается. Однако в реальных технологических ситуациях с увеличением диаметра баланса степень очистки уменьшается нелинейно [12]. Это несоответствие указывает на то, что не приняты во внимание некоторые существенные характеристики. Предположим, что такой характеристикой является интенсивность соударений λ в формулах вида (2)–(4). Влияние только изменений интенсивности соударений учтем с помощью некоторого коэффициента k_λ. Тогда, моделируя совместное влияние геометрических и физических характеристик на p_2 (7), запишем:

$$p_2 = p_1 k_D k_\lambda. \qquad (8)$$

Чтобы определить k_λ, обратимся к работе [3], в которой показано, что с уменьшением диаметра балансов количество соударений в единицу времени возрастает (примерно линейно). На этом основании можем записать:

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{D_2}{D_1}; \quad \lambda_2 = \lambda_1 \frac{D_1}{D_2} = \lambda_1 k_\lambda. \qquad (9)$$

Таким образом, коэффициент $k_\lambda = D_1/D_2$ равен указанному выше коэффициенту k_D. Тогда

$$p_2 = p_1 k_D k_\lambda = p_1 \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2. \qquad (10)$$

Правомерность такого подхода к учету влияния интенсивности соударений с помощью коэффициента k_λ можно обо-

сновать следующим образом. Примем во внимание, что

$$e^{-x} = 1 - \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} - \frac{x^3}{3!} + \ldots \qquad (11)$$

Тогда зависимости вида (2) можно аппроксимировать линейными соотношениями:

$$p_1(m \geq 1) = 1 - e^{-\lambda_1 t} \approx \lambda_1 t;$$

$$p_2(m \geq 1) = 1 - e^{-\lambda_2 t} \approx \lambda_2 t. \qquad (12)$$

Учитывая (9) и (12), получим:

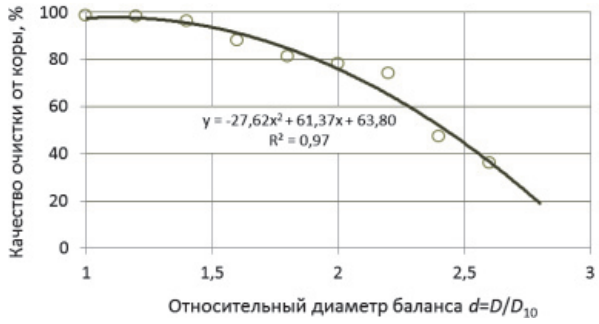
$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2};$$

$$p_2 = p_1 \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = p_1 \frac{\lambda_1 D_1}{\lambda_1 D_2} = p_1 \frac{D_1}{D_2} = p_1 k_\lambda. \qquad (13)$$

Формула (13) моделирует влияние только физических характеристик балансов на вероятность их соударений. Совместное влияние изменений геометрических и физических характеристик учитывается произведением коэффициентов k_D и k_λ в формулах (8), (10).

Необходимо подчеркнуть, что формулы (8) и (10) не предназначены для вычисления вероятности соударений и степени очистки балансов. Эти формулы отражают только качественные характеристики (закономерности) рассматриваемого процесса.

Результаты экспериментов по исследованию влияния диаметра лесоматериалов на качество окорки приведены в [12]. Эти данные с достаточной точностью аппроксимируются полиномом второй степени (рисунок), что подтверждает адекватность формулы (10).



Влияние диаметра баланса на качество очистки от коры, D_{10} = 10 см

Обсуждение и заключение

Выполненное исследование подтверждает существование закономерности: уменьшение степени очистки от коры пропорционально квадрату увеличения диаметра баланса (10). Поэтому при совместной обработке в корообдирочном барабане балансов неодинакового диаметра более интенсивному воздействию подвергаются балансы меньшего диаметра по сравнению с балансами большего диаметра. Эта закономерность подтверждается известными экспериментальными данными [12] и результатами численного моделирования [3].

Если все балансы будут иметь одинаковый диаметр, то процесс очистки от коры будет наиболее эффективным по затратам времени и по критерию потерь древесины. Объясняется это тем, что площадь боковой поверхности балансов малого диаметра меньше, и, согласно (6) и (7), эти балансы будут освобождены от коры за меньшее число соударений. Очистка же от коры балансов большего диаметра требует, соответственно, большего числа соударений. Если в соударениях участвуют уже очищенные от коры балансы малого диаметра, то разрушается древесина этих балансов. Отсюда следует, что необходимо сортировать балансы по диаметру до загрузки в корообдирочный барабан и обрабатывать балансы в барабане группами, чтобы минимизировать различие диаметров загруженных в барабан балансов.

Работа выполнена в рамках реализации комплекса мероприятий Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг.

Список литературы

1. Бойков С.П. Теория процессов очистки древесины от коры. – Л.: Издательство Ленинградского университета. – 1980. – 152 с.

2. Васильев С.Б., Девятникова Л.А., Колесников Г.Н. Влияние технологии раскроя балансовой древесины на фракционный состав щепы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2011. – № 195. – С. 125–133.

3. Васильев С.Б., Доспехова Н.А., Колесников Г.Н. Численное моделирование взаимодействия еловых балансов неодинакового диаметра в корообдирочном барабане // Resourcesand Technology. – 2013. – Т. 10. – № 1. – С. 024–038.

4. Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В., Раковская М.И. Влияние локальной жесткости корпуса корообдирочного барабана на изменение силы соударений и величину потерь древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2008. – № 96. – С. 84–91.

5. Васильев С.Б., Колесников Г.Н., Никонова Ю.В., Раковская М.И. Исследование закономерностей изменения силы соударений с целью снижения потерь при окорке древесины в барабане // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2008. – № 185. – С. 195–202.

6. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Моделирование процесса разрушения коры при роторной окорке древесины // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 5. – С. 271–279.

7. Гаспарян Г.Д. Основы метода и технологии ультразвуковой окорки круглых лесоматериалов // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6 (часть 1). – С. 19–23.

8. Григорьев И., Локштанов Б, Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов // ЛесПромИнформ. – 2013. – № 3 (93). – С. 72–76. http://www.lesprominform.ru.

9. Григорьев И., Локштанов Б, Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Ч. 2. Основные типы окорочных барабанов // Лес Пром Информ. – 2013. – № 4 (94).– С. 92–96. http://www.lesprominform.ru/

10. Григорьев И.,Локштанов Б, Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Часть 3. Конструктивные элементы окорочных барабанов // ЛесПромИнформ. – 2013. – № 5 (95). – С. 94–98. http://www.lesprominform.ru.

11. Григорьев И., Локштанов Б., Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Ч. 4. Технологические характеристики процесса сухой окорки в барабанах // Лес Пром Информ. – 2013. – № 6 (96). – С. 76–78. http://www.lesprominform.ru.

12. Григорьев И., Локштанов Б, Куницкая О., Гулько А. Повышение эффективности групповой механической окорки лесоматериалов. Часть 5. Размеры окариваемых лесоматериалов // Лес Пром Информ. – 2013. – № 7 (97). – С. 80–82. http://www.lesprominform.ru.

13. Девятникова Л.А. Потенциал ресурсосбережения в технологии подготовки круглых лесоматериалов к переработке на щепу // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 88. – № 88–88(04). – С. 188–206.

14. Девятникова Л.А., Васильев С.Б., Колесников Г.Н. Влияние технологии раскроя балансов на фракционный состав щепы // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2012. – № 3. – С. 120–124.

15. Девятникова Л.А., Емельянова Е.Г. Пути повышения эффективности использования древесного сырья на целлюлозно-бумажных комбинатах // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 2. –№ 8 (129). – С. 65–68.

16. Никонова Ю.В. Обоснование конструктивно-технологических параметров корообдирочных барабанов с применением численного моделирования динамического взаимодействия балансов: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Петрозаводск, 2009. – 20 с.

17. Оскерко В.Е. Новый принцип окорки лесоматериалов // Строительные и дорожные машины. – 2007. – № 3. – С. 13–16.

18. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Гулько А.Е. Анализ методов расчета параметров и обоснование математической модели разрушения коры при групповой окорке древесины // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2011. – № 8. – С. 92–96.

19. Шегельман И.Р., Колесников Г.Н., Васильев А.С., Никонова Ю.В. Моделирование технологического процесса очистки древесины в корообдирочном барабане с применением метода дискретных элементов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. –2008. – № 184. – С. 172–179.

20. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking // University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005. – 29 pp.

21. Isokangas, Ari. Analysis and management of wood room // University of Oulu, Oulu 2010. 115 pp. http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-6261-6.

22. Öman M. Influence of log characteristics on drum debarking of pulpwood // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2000. – Т. 15. – № . 4. – С. 455–463.

References

1. Boykov S.P. *The theory of processes of wood debarking*. Leningrad. 1980.

2. Vasilyev S.B., DevyatnikovaL.A., Kolesnikov G.N. *Proceedings of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy*. 2011, no. 195, pp. 125–133.

3. Vasilyev S.B., Dospekhova N.A., Kolesnikov G.N. *Resources and Technology*. 2013, no. 10(1), pp. 024–038.

4. Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Nikonova Ju.V., Rakovskaya M.I. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences*, 2008, no. 96, pp. 84–91.

5. Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N., Nikonova Ju.V., Rakovskaya M.I. *Proceedings of Saint Petersburg State Forest Technical University*, 2008, no. 185, pp. 195–202.

6. Gazizov, A.M., Shapiro, V. Ja.,Grigoriev, I.V. *Vestnik Krasnojarskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2008, no. 5, pp. 271–279.

7. Gasparyan G. *Fundamentalnye issledovaniya*, 2013, no. 6(1), pp. 19–23.

8. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *Les PromInform*, 2013, no. 3(93), pp. 72–76.http://www.lesprominform.ru.

9. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *Les Prom Inform*, 2013, no. 4(94), pp. 92–96. http://www.lesprominform.ru.

10. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *LesPromInform*, 2013, no. 5(95), pp. 94–98. http://www.lesprominform.ru.

11. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *LesPromInform*, 2013, no. 6(96), pp. 76–78. http://www.lesprominform.ru.

12. Grigoryev I., Lokshtanov B., Kunitskaya O., Gulko A. *LesPromInform*, 2013, no. 7(97), pp. 80–82. http://www.lesprominform.ru.

13. Devyatnikova L.A. *Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, 2013, no. 88, pp. 188–206.

14. Devjatnikova L.A., Vasilyev S.B., Kolesnikov G.N. *Bulletin of the MSFU – LesnoiVestnik*.M: Publishing house ofthe MSFU,2012, no. 3, pp. 120–124.

15. Devjatnikova L.A., Emelyanova E.G. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering* Sciences, 2012, no. 8(129), pp. 65–68.

16. Nikonova Ju.V. *Justification of design and technological parameters of debarking drums using numerical modeling of the dynamic interaction of pulpwood*: PHD-diss.Petrozavodsk, 2009.

17. Oskerko V.E. *Building and road machines*, no. 3, 2007, pp. 13–16.

18. Shapiro V.Ya., Grigoryev I.V., Gulko A.E. *Proceedings of Petrozavodsk State University. Natural and Engineering Sciences*, 2011, no. 8, pp. 92–96.

19. Shegelman I.R., Kolesnikov G.N., Vasilyev S.B., Nikonova Ju.V. *Proceedings of Saint-Petersburg State Forest Technical Academy*. 2008, no. 184, pp. 172–179.

20. Baroth R. *Literature review of the latest development of wood debarking*. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005. 29 pp.

21. Isokangas, Ari. *Analysis and management of wood room.*University of Oulu, 2010. 115 pp. http://jultika.oulu.fi/Record/isbn978-951-42-6261-6.

22. Öman M. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2000,vol. 15, no. 4, pp. 455–463.

Рецензенты:

Сюнёв В.С., д.т.н., профессор, директор Института рационального природопользования на Европейском Севере, г. Петрозаводск;

Малинов Г.И., д.т.н., профессор кафедры механизации сельскохозяйственного производства, ФБГОУ ПетрГУ, г. Петрозаводск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 687

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ТЕХНОЛОГИЯ ШВЕЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ»

Королева Л.А., Подшивалова А.В., Панюшкина О.В.

ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, e-mail: ludmilakoroleva@rambler.ru

В статье отражены вопросы, связанные с разработкой алгоритма функционирования информационной интеллектуальной системы «Технология швейных изделий», описывающего этап принятия технологических решений. Авторами рассмотрен методологический подход к разработке алгоритмов, определены их свойства, выявлены теоретические аспекты разработки разветвляющихся и циклических алгоритмов. Установлено, что для данного исследования наиболее оптимальным является графический способ представления блок-схемы разработанного алгоритма. Произведен сравнительный анализ маршрутов принятия технологических решений в ручном и автоматизированном режимах, что позволило констатировать неоспоримое преимущество выполнения проектных работ в условиях интеллектуальной системы «Технология швейных изделий».Описан алгоритм функционирования информационной интеллектуальной системы «Технология швейных изделий» на этапе принятия технологических решений, составлена укрупненная блок-схема, содержащая проектные операции и процедуры, и представленная последовательностью действий, выполняемых проектировщиком и программным обеспечением.

Ключевые слова: информационная интеллектуальная система, технология швейных изделий, блок-схема, алгоритм, технологическая карта, технологическая последовательность

THE ALGORITHMIZATION OF FUNCTIONING PROCESS OF THE INTELLIGENT INFORMATION SYSTEM «TECHNOLOGY OF CLOTHING»

Koroleva L.A., Podshivalova A.V., Panyushkina O.V.

Vladivostok State University of Economics and Service (VSUES), Vladivostok, e-mail: ludmilakoroleva@rambler.ru

The article addresses issues related to the development of the algorithm of functioning of the information intelligent system «Technology of clothing», which describes the phase of technological decision-making process. The authors examined the methodological approach to the development of algorithms and determined their properties, also the theoretical aspects of the development of branching and cyclic algorithms were revealed. The graphic flowchart was found to be the most appropriate way to present the algorithm for this research. The comparative analysis of routes of technological decision-making process was done in manual and automatic modes, allowing to state distinct advantage of the design work using the intelligent system «Technology of clothing». The algorithm of functioning of the informational intelligent system «Technology of clothing» was described on the stage of the technological decision-making process, also the enlarged flowchart was made which contains the design operations and procedures and which was presented with a sequence of actions performed by the designer and with the software.

Keywords: information intelligent system, technology clothing, flowchart, algorithm, technological map, technological sequence

В соответствии с концептуальной моделью интеллектуальной системы автоматизированного проектирования одежды, представленной в работе [2], укрупненный структурный состав интегрированной САПР одежды (ИСАПРо) с учетом технологии интеллектуализации можно представить как совокупность информационных интеллектуальных систем «Дизайнер», «Конфекционер», «Конструирование швейных изделий», «Технология швейных изделий» (ТШИ) и подсистемы «Раскладка». Каждая из интеллектуальных информационных систем представляет собой тандем проектирующей подсистемы и экспертной системы, которая упрощает и автоматизирует процедуры принятия решений в трудно формализуемых предметных областях, улучшает качество и повышает эффективность принимаемых решений. Разработка интеллектуальной информационной системы ТШИ, в состав которой входит экспертная система (ЭС) «Технология», до настоящего времени не осуществлялась, тогда как выбор методов технологической обработки и формирование на их основе технологической документации является одним из важнейших факторов, учитываемых при проектировании швейных изделий и влияющих на качество и трудоемкость готовой продукции.

Проведенный анализ функций технологических проектирующих подсистем [5–7] действующих систем автоматизированного проектирования одежды показал, что процесс выбора методов технологической обработки (МТО) и разработки нормативно-технической документации (НТД) не интеллектуализирован, не автоматизирован, реализуется в ручном режиме на основе знаний и опыта эксперта-технолога. Очевидно, что

автоматизированный режим принятия технологических решений имеет ряд преимуществ по: трудоемкости процесса разработки документации; объективности результатов выбора; срокам принятия технологических решений; многократности использования проектной документации; качеству готовой продукции; соответствию готового изделия предъявляемым требованиям [10].

Для реализации процесса функционирования информационной интеллектуальной системы «Технология швейных изделий» на этапе принятия технологических решений необходимо разработать алгоритм – точное описание некоторого вычислительного процесса или любой иной последовательности действий. В зависимости от цели, начальных условий задачи, путей ее решения, определения действий исполнителя разрабатываемый алгоритм можно отнести к разветвляющимся и циклическим, по способу представления – к графическим, задаваемым с помощью специальных графических символов [1].

Алгоритмическое обеспечение широко применяется для повышения надежности системы (обеспечение высокого качества и безошибочности алгоритмов и программ преобразования информации) и для реализации контроля достоверности информации [3, 4].

Целью данного исследования является алгоритмизация процесса функционирования информационной интеллектуальной системы «Технология швейных изделий» (ИИС ТШИ) на этапе принятия технологических решений.

Методы исследования: системный подход, методы системного анализа, методы интеграции и интеллектуализации, поддержки принятия решений, объектно-ориентированного анализа и проектирования.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительная схема маршрутов принятия технологических решений в ручном и автоматизированном режимах представлена на рис. 1. Независимо от выбранного режима на этапах проектирования должны быть решены две задачи: выбор методов технологической обработки и разработка технологической документации.

При реализации маршрута в ручном режиме эксперт-технолог осуществляет выбор МТО для проектируемого изделия, основываясь на собственных знаниях, практическом опыте, используя специальную литературу. Полученный результат зачастую субъективен и малоэффективен, так как реализуется в ручном режиме. Чтобы сократить сроки принятия технологических решений экспертом-технологом были созданы электронные базы данных методов технологической обработки верхней одежды поясной и плечевой групп [8, 9].

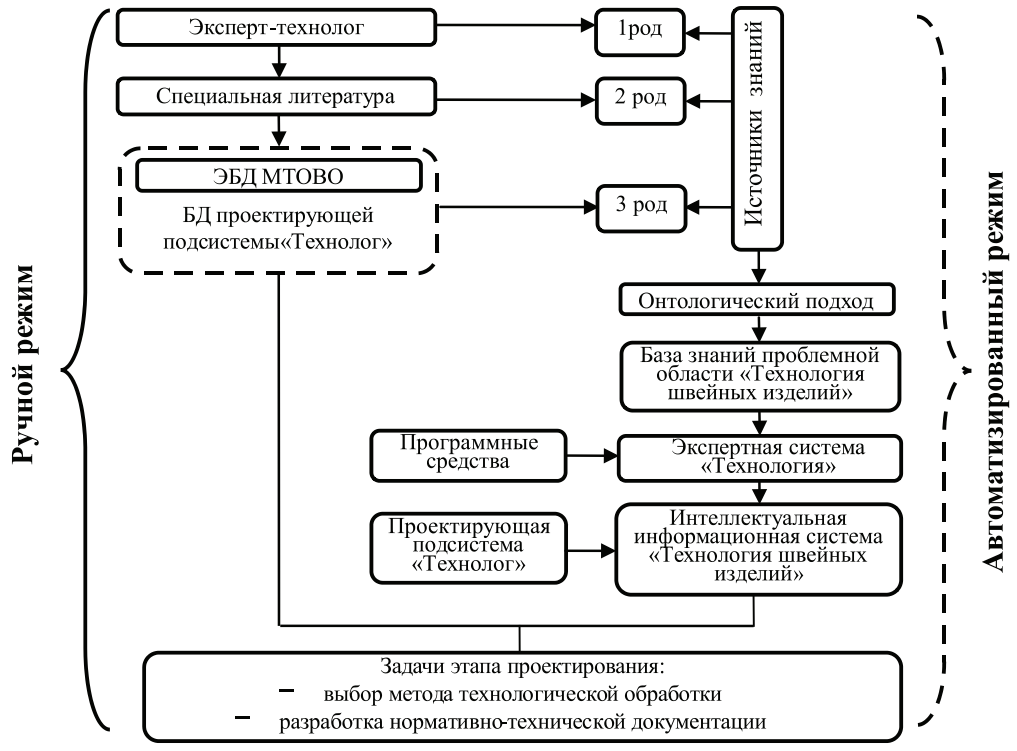


Рис. 1. Сравнительная схема маршрутов принятия технологических решений в ручном и автоматизированном режимах

В этих базах данных представлены методы технологической обработки верхней плечевой и поясной одежды на подкладке и без нее, платьево-блузочного и пальтово-костюмного ассортимента из различных видов материала. По мере необходимости возможна замена устаревших, редко используемых МТО новыми современными методами, возникающими в связи с использованием новейших видов швейного оборудования, оборудования для ВТО и материалов. Окончательное же решение по выбору МТО принимается специалистом-экспертом.

С целью исключения вышеперечисленных проблем возможно реализовать процесс принятия решений посредством функций экспертных систем, например, ЭС «Технология».

В автоматизированном режиме на основе использования источников знаний первого, второго, третьего рода и преимуществ онтологического подхода формируется база знаний предметной области ТШИ, которая в свою очередь является ядром экспертной системы. При взаимодействии с проектирующей подсистемой «Технолог» через программные средства экспертной системы «Технология» в информационной интеллектуальной системе ТШИ решаются задачи по выбору методов технологической обработки и разработке нормативно-технической документации. Это повышает эффективность проектных работ за счет сокращения времени ожидания результатов и уменьшения влияния субъективных факторов, которые могли исказить представление о решаемой задаче и интерпретации результатов.

Возможность реализации процесса формирования проектной документации в ИИС ТШИ обусловливает необходимость разработки алгоритма данного процесса. Для описания алгоритма функционирования информационной интеллектуальной системы «Технология швейных изделий» на этапе принятия технологических решений составлена укрупненная блок-схема (рис. 2), содержащая проектные операции и процедуры и представленная последовательностью действий, выполняемых проектировщиком и программным обеспечением.

При этом следует учесть, что проектная технологическая документация, разрабатываемая на данном этапе исследования, состоит из двух отдельных документов – «Технологическая карта» и «Технологическая последовательность на изготовление изделия». Для удобства чтения блок-схемы алгоритма функционирования ИИС «Технология швейных изделий» данное положение условно можно записать как

$$A = B \cup C,$$

где А – процесс функционирования интеллектуальной информационной системы «Технология швейных изделий» на этапе принятия технологических решений; В – технологическая карта; С – технологическая последовательность на изготовление изделия.

При этом структуру документа «Технологическая последовательность» условно можно представить как

$$B = T_p \bigcup \sum_{i=1}^{n} SD_i,$$

где T_p – технический рисунок, формируемый в информационной интеллектуальной системе «Дизайнер»; D_i – i-й технологический узел, входящий в обработку проектируемого изделия; i – количество технологических узлов в проектируемом изделии, $i = 1 \ldots n$; SD_i – графическая схема (схема метода технологической обработки) i-го технологического узла.

Описание состава второго документа – «Технологическая последовательность на изготовление изделия» – условно можно записать:

$$C = \sum_{i=1}^{n} PD_i \bigcup \sum_{j=1}^{n} F_j,$$

где PD_i – последовательность на изготовление i-го технологического узла, $i = 1 \ldots n$; F_j – j-я организационная операция. Организационные операции входят в состав базы данных технологически-неделимых операций (БД ТНО), выполняются как на начальных и заключительных этапах обработки, так и при переходе от обработки одного технологического узла к другому.

Работа предлагаемого алгоритма (рис. 2) начинается с определения исходной информации.

Параметры идентификации технологических узлов формируются в экспертной системе ТШИ на основе данных, передаваемых ИИС «Дизайнер» (описание проектируемого изделия, технический рисунок) и ИИС «Конфекционер» (основной материал и его свойства).

Параметры идентификации технологических узлов (блок 2) представлены в виде следующего перечня: наименование технологического узла (ТУ) *Di*, количество технологических узлов *Di*, $i = 1 \ldots n$, требования к выбору графической схемы технологического узла с учетом показателей свойств используемых материалов.

В блоке 3 задается условие, что $i = 1$. На следующем этапе (блок 4) производится выбор технологического узла *Di*. Для принятия окончательного технологического решения уточняются характеристики свойств

прикладных материалов из конфекционной карты (блок 5).

Следующим шагом является принятие технологического решения (блок 6), т.е. выбор графической схемы технологического узла *Di* с использованием возможностей электронной базы данных методов технологической обработки верхней одежды (ЭБД МТОВО) и базы данных швейного оборудования. В случае, если таковой найти не удается, появляется возможность создать требуемый объект с помощью графического редактора.

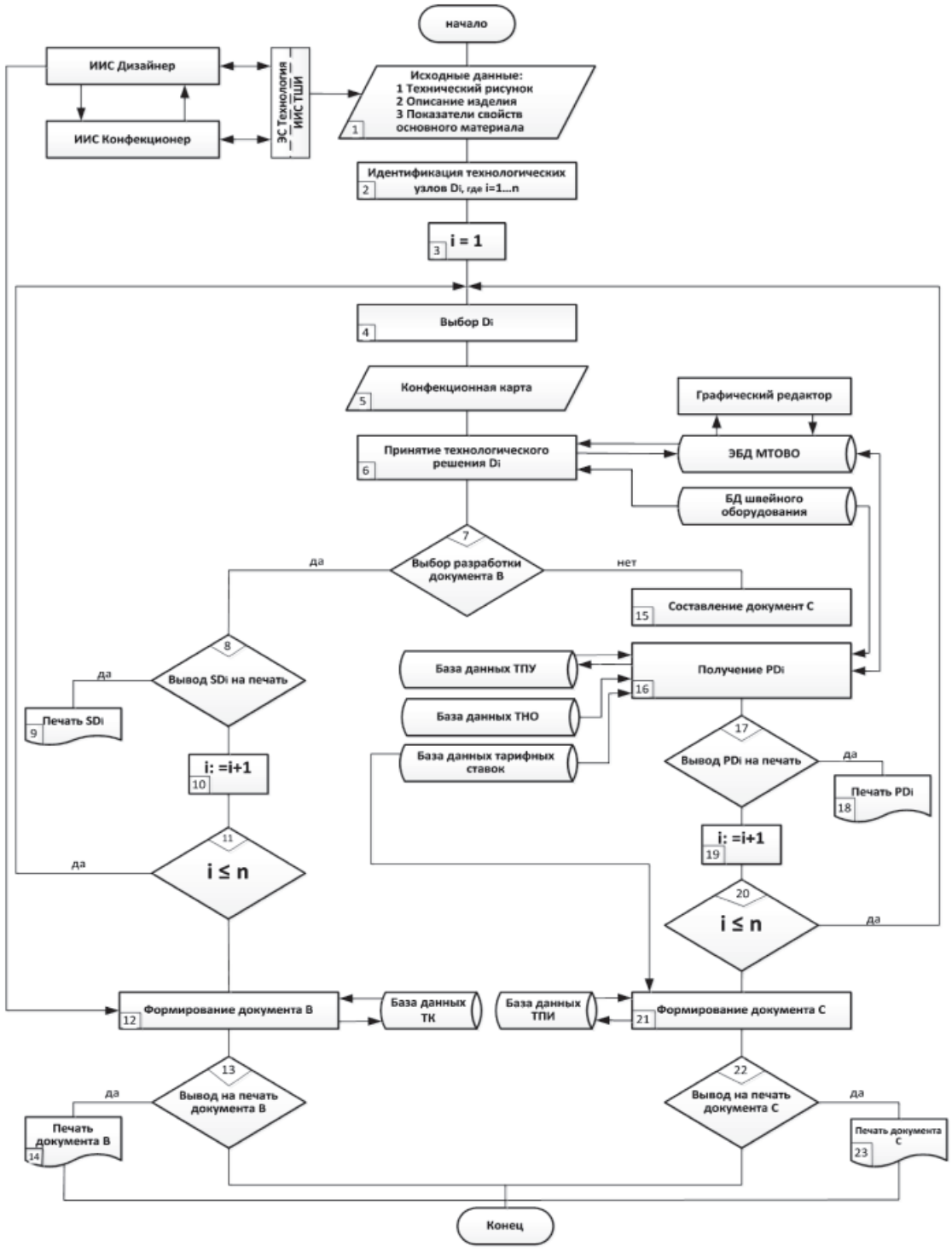


Рисунок Блок схема алгоритма функционирования информационной интеллектуальной системы « Технология швейных изделий»

Рис. 2. Блок-схема алгоритма функционирования информационной интеллектуальной системы ТШИ на этапе принятия технологических решений

Выбранная схема метода технологической обработки технологического узла D_i (МТО ТУ) является исходной информацией для разработки проектируемых технологических документов: «Технологическая карта» и «Технологическая последовательность на изготовление изделия».

В блоке 7 решается вопрос о разработке документа «В» – «Технологическая карта». При ответе ДА предлагается принять решение о выводе графической схемы *i*-го технологического узла на печать (блок 8). При ответе ДА печатается графическая схема *i*-го технологического узла (блок 9). При ответе НЕТ задаем условие $i{:}i + 1$ (блок 10). Далее алгоритм переходит к сравнению числа «*i*», определяющего номер ТУ, с числом «*n*», соответствующим количеству технологических узлов в проектируемом изделии (блок 11). Если $i \le n$, то происходит возвращение к выбору следующего Di ($i = n + 1$), если $i > n$, то – формирование документа «В» (блок 12) – «Технологическая карта». «Технологическая карта» представляет собой электронный документ, в структуру которого входит технический рисунок (ИИС «Дизайнер») и выбранные ранее графические схемы технологических узлов. Информация о полученном результате сохраняется в базе данных технологических карт (БД ТК). В блоке 13 решается вопрос о выводе на печать документа«В» – «Технологическая карта», блок 14 – печать ТК. В случае отрицательного ответа алгоритм по данному направлению прекращает свою работу.

Возвращаясь к отрицательному ответу о выборе разработки документа В, алгоритм предлагает приступить к составлению документа «С» – «Технологическая последовательность на изготовление изделия» (блок 15). Работа по данному направлению (блок 16) начинается с получения технологической последовательности (ТП) *PDi*, *i*-го технологического узла, выбранного в блоке 5. Получение технологической последовательности возможно выбором из базы данных технологических последовательностей узлов (ТПУ) или ЭБД МТОВО или составлением, используя возможности базы данных технологически-неделимых операций, базы данных тарифных ставок и базы данных швейного оборудования. Информация о полученном результате сохраняется в базе данных ТПУ.

На следующем этапе (блок 17) предлагается решить вопрос о выводе на печать ТПУ. При ответе ДА технологическая последовательность *i*-го технологического узла выводится на печать (блок 18). В случае отрицательного ответа задается условие $i{:}i + 1$ (блок 19) и предлагается сравнение числа «», определяющего номер ТУ, с числом «», соответствующим количеству технологических узлов в проектируемом изделии (блок 20). Если $i \le n$, то происходит обращение к идентификации следующего Di ($i = i + 1$), если $i > n$, то – формирование документа «С» – «Технологическая последовательность на изготовление изделия» (блок 21). Документ «Технологическая последовательность на изготовление изделия» формируется либо на основе имеющихся в базе данных технологических последовательностей изделия (ТПИ), либо путем слияния ТПУ и организационных операций из базы данных ТНО. Информация о полученном результате сохраняется в базе данных ТПИ.

На заключительном этапе (блок 22) решается вопрос о выводе на печать документа «С» – «Технологическая последовательность на изготовление изделия». При ответе ДА производится печать документа «С» – «Технологическая последовательность на изготовление изделия» (блок 23). В случае отрицательного ответа алгоритм прекращает свою работу.

Выводы

Таким образом, итогом работы алгоритма ИИС «Технология швейных изделий» является разработка основных технологических документов производственного процесса – «Технологическая карта» и «Технологическая последовательность на изготовление изделия». Полученные результаты сохраняются в соответствующих базах данных. Сформированная технологическая документация и последующее ее накопление позволяет повторно использовать результаты работы ИИС «Технология швейных изделий» с возможным внесением корректив, что значительно сокращает затраты времени на новые проектные разработки. Разработанная и сохраненная техдокументация может быть использована в учебных целях, при повышении квалификации инженерных кадров отрасли, для реализации в других производственных процессах.

Список литературы.

1. Большая энциклопедия нефти и газа. Алгоритмическое обеспечение. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ngpedia.ru/id191018p1.html (дата обращения: 2.11.2013).

2. Королева Л.А. Интеллектуализация процесса автоматизированного проектирования одежды: монография. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 196 с.

3. Курзыбова Я.В. Информационное и алгоритмическое обеспечение адаптивного управления слабо формализуемыми объектами на примере переносимых обучающих

модулей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – Иркутск, 2012. – 24 с.

4. Пименов В.И. Методы, модели и алгоритмы интеллектуального анализа данных при создании обучающих систем в текстильной и легкой промышленности: автореф. дис. ... д-р техн. наук: 05.13.01. – СПб., 2009. – 42с.

5. САПР Julivi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://julivi.com(дата обращения: 2.11.2013).

6. САПР Eleander [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://eleandr-soft.ru(дата обращения: 2.11.2013).

7. САПР ГРАЦИЯ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.saprgrazia.com (дата обращения: 2.11.2013).

8. Королева Л.А., Подшивалова А.В., Панюшкина О.В., Широкова М.Е., Полоз А.А. База данных методов технологической обработки верхней одежды поясной группы // Свидетельствоо государственной регистрации базы данных № 2013620969. 21 августа 2013.

9. Королева Л.А., Подшивалова А.В., Панюшкина О.В., Шевчук К.О. Электронная база данных методов технологической обработки верхней одежды плечевой группы // Свидетельствоо государственной регистрации базы данных № 2013620833. 16 июля 2013.

10. Сурикова Г.И., Сурикова О.В., Кузьмичев В.Е., Гниденко А.В. Проектирование изделий легкой промышленности в САПР (САПР одежды): учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2013. – 336 с.

References

1. Bol’shajaj enciklopedija nefti i gaza. Algoritmicheskoe obespechenie. [Jelektronnyj resurs]. – Rezhimdostupa: http://www.ngpedia.ru/id191018p1.html (data obrashhenija: 2.11.2013).

2. Koroleva L.A. Intellektualizacija processa avtomatizirovannogo proektirovanija odezhdy: monografija. Vladivostok: Dal’nauka, 2011. 196 p.

3. Kurzybova Ja.V. Informacionnoe i algoritmicheskoe obespechenie adaptivnogo upravlenija slabo formalizuemymi obektami na primerepe renosimyh obuchajush hihmodulej: Avtoref. dis.... kand. tehn. nauk: 05.13.01. Irkutsk, 2012. 24 p.

4. Pimenov V.I. Metody, modeli i algoritmy intellektual’nogo analiza dannyh pri sozdanii obuchajushhih sistem v tekstil’noj i legkoj promyshlennosti: Avtoref. dis.... d-r tehn. nauk: 05.13.01/Pimenov V.I. Sankt-Peterburg, 2009. 42 p.

5. SAPR Julivi [Jelektronnyj resurs]. Rezhimdostupa: http://julivi.com (data obrashhenija: 2.11.2013).

6. SAPRE leander [Jelektronnyj resurs]. Rezhimdostupa: http://eleandr-soft.ru (data obrashhenija: 2.11.2013).

7. SAPRGRACIJa [Jelektronnyj resurs]. Rezhimdostupa: http://www.saprgrazia.com (data obrashhenija: 2.11.2013).

8. Koroleva L.A., Podshivalova A.V., Panjushkina O.V., Shirokova M.E., Poloz A.A. Baza dannyh metodov tehnologicheskoj obrabotki verhnej odezhdy pojasnoj gruppy // Svidetel’stvo o gosudarstvennoj registracii bazydannyh no. 2013620969. 21 avgusta 2013.

9. Koroleva L.A., Podshivalova A.V., Panjushkina O.V., Shevchuk K.O. Jelektronnaja baza dannyh metodov tehnologicheskoj obrabotki verhnej odezhdy plechevoj gruppy // Svidetel’stvo o gosudarstvennoj registracii bazy dannyh № 2013620833. 16 ijulja 2013.

10. Surikova G.I., Surikova O.V., Kuz’michev V.E., Gnidenko A.V. Proektirovanie izdelij legkoj promyshlennosti v SAPR (SAPR odezhdy) : uchebnoeposobie. M.: ID «FORUM» : INFRA–M, 2013. 336 p.

Рецензенты:

Бойцова Т.М., д.т.н., профессор, директор Института сервиса, туризма и дизайна, ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», г. Владивосток;

Старкова Г.П., д.т.н., профессор, зам. проректора по научной работе, ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 66.021

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ОБРАЗОВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ

Лебедев А.Е., Зайцев А.И.

ФГБОУ ВПО «Ярославский государственный технический университет», Ярославль, e-mail: xe666@mail.ru

На основе вероятностного подхода разработано математическое описание процессов образования расширяющихся дисперсных потоков частиц различной природы. В качестве параметра распределения выбрана угловая координата – угол рассеивания. Составлены выражения для стохастической энергии для случаев образования потоков твердых частиц, капель жидкости и комплексных частиц – содержащих жидкостную оболочку. Получены выражения для дифференциальных функций распределения числа частиц по углам рассеивания, позволяющие оценить структуру и форму образованного потока. Предложены методы определения неизвестных параметров распределения – из условий нормировки и энергетического баланса для момента образования потока. На основе полученного выражения дифференциальной функции распределения числа частиц по углу рассеивания составлены зависимости для определения статистических средних процесса. Предложена методика оценки максимального значения угла раскрытия потока при формировании потоков с использованием центробежных устройств.

Ключевые слова: дисперсный поток, частица, угол рассеивания, распыление, энергия, диаметр, функция распределения

MATHEMATICAL DESCRIPTION OF THE FORMATION OF A DISPERSED FLOWS

Lebedev A.E., Zaytsev A.I.

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, e-mail: xe666@mail.ru

On the base of stochastic approach the mathematical description of the different particles disperse flows forming processes is designed. Dispersion angle is an angle coordinate which is chosen as distribution parameter. Formulas for stochastic energy for the cases of forming the flows of solid particles, drops of liquid and complex particles which consist of liquid capsule are compiled. Formulas for differential distribution functions of particles numbers by dispersion angle which help to estimate the structure and form of receiving flow are achieved. Methods suitable to define unknown distribution parameters – from the terms of standardization and energy balance for the moment of flow forming – are offered. On the base of differential distribution function of particles numbers by dispersion angle, the dependencies for receiving the static medium datum of that process are compiled. The method to estimate maximal flow angle during flow forming with the help of centrifugal mechanisms are offered.

Keywords: dispersed flow, particle scattering angle, sputtering, the energy, the diameter of the distribution function

Образование разреженных потоков является одним из основных процессов при переработке дисперсных материалов [1–5]. В разреженном состоянии осуществляются такие процессы, как смешение, измельчение, ударное разделение суспензий [5] и т.д. Несмотря на такое широкое применение распылительных устройств, практически отсутствуют методики расчета.

Анализ математических моделей, посвященных движению частиц в дисперсных системах (глава 1), показывает наличие двух подходов – одночастичных задач для малоконцентрированных потоков и статистического описания с учетом взаимодействия частиц как с несущей фазой, так и между собой.

Наличие случайных факторов в процессе формирования разреженного потока, таких как неупорядоченность движения частиц, неравномерность распределения их объемной плотности, взаимные и вторичные их столкновения и т.д., требуют вероятностного подхода к решению задачи [1]. При этом основной целью является установление явного вида функции распределения [1] частиц твердой фазы по их диаметрам для энергетически замкнутой макросистемы решением соответствующего кинетического уравнения [1].

Статистическое описание макрофизических систем в их равновесном состоянии, когда выполняется условие энергетической замкнутости, практически эквивалентно описанию стохастического поведения соответствующих им динамических систем [2]. При этом возможен переход от динамических уравнений с учетом ланжевеновских источников к кинематическим уравнениям типа *Фоккера-Планка* [1] со стационарными решениями в виде функции распределения по набору обобщенных координат макросистемы.

В соответствии со статистическим подходом [1] будем считать, что макрофизические системы разреженных потоков представляют собой равновесные системы не взаимодействующих между собой частиц. Энергия данной системы сохраняется и определяется энергией струи и энергией взаимодействия сформированных частиц с окружающей средой.

Статистическое описание образования разреженного потока частиц выполняется в следующем порядке. Первоначально постулируется распределение числа частиц в элементе фазового пространства, которое определяется совокупностью обобщенных координат макросистемы q_v, т.е. наборам переменных, характеризующих механизм образования разреженного потока. Затем составляется уравнение энергетического баланса в системе «струя-поток», задается условие нормировки для определения неизвестных параметров искомого распределения, выводится выражение для дифференциальной функции распределения числа частиц по обобщенной координате и вычисляются статистические средние как некоторые характеристики поведения дисперсной системы.

В случае образования дисперсной системы потока частиц фазовое пространство определяется совокупностью случайной скорости центра масс частицы dv_1 и ее диаметра D_1.

Согласно работам [1, 2], для гамильтоновых закрытых систем значение энергии можно считать заданным, и вид канонической функции распределения совпадает с видом равновесной функции, соответствующей принципу максимума энтропии для закрытых макросистем, распределение числа частиц дисперсного потока dN_1 в элементе фазового объема $d\Gamma_1 = dv_1 dD_1$ экспоненциально убывает в зависимости от стохастической энергии [1, 2] частицы E_1:

$$dN_1 = A_1 \exp\left(-E_1 \cdot E_{01}^{-1}\right) d\Gamma_1. \qquad (1)$$

Здесь E_{01} – параметр, соответствующий мере энергии частиц, A_1 – нормировочный коэффициент.

В общем случае стохастическая энергия частицы состоит из кинетической энергии, энергии взаимодействия с окружающей средой, энергии внутреннего движения, поверхностной энергии и энергии гидродинамического взаимодействия:

$$E = E_k + E_{vz} + E_{vn} + E_{pov} + E_{gidr}. \qquad (2)$$

Здесь

$$E_k = \frac{m v_1^2}{2}; \quad E_{vz} = \frac{m v_y^2}{2}; \qquad (3)$$

$$E_{vn} = E_{pov} = \pi D^2 \sigma; \quad E_{gidr} = C \cdot H \cdot v,$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения [3]; φ_1 – угол рассеивания, D_1 – диаметр частицы, v_1 – скорость частицы, H – толщина жидкостного слоя, C – коэффициент гидродинамического сопротивления [2], v – скорость частицы.

Рассмотрим частные случаи образования потоков.

В случае формирования расширяющегося потока твердых частиц в стохастическую энергию входят только первые две составляющих – кинетическая и энергия поперечного движения частиц в потоке (вызванного его расширением) [2, 4]:

$$E = E_k + E_{vz}. \qquad (4)$$

При распаде одиночных жидких струй на капли стохастическая энергия состоит из кинетической, поверхностной и энергии внутреннего движения [1]:

$$E = E_k + E_{pov} + E_{vn}. \qquad (5)$$

В процессе формирования расширяющейся дисперсных потоков капель также необходимо учесть энергию, затрачиваемую на ее расширение E_{vz} [2, 6]:

$$E = E_k + E_{vz} + E_{vn} + E_{pov}. \qquad (6)$$

В выражение для стохастической энергии при формировании потока неоднородных сред, например потока частиц суспензии [7] будут входить все слагаемые.

Следующим этапом моделирования является определение неизвестных констант A_1 и E_{01}, входящих в выражение (1).

Свободный параметр распределения A_1 определим из нормировочного соотношения [1], которое отвечает балансу массы в системе «нераспавшаяся струя сформированный поток»:

$$N_1 = \int_{\Gamma_1} dN_1. \qquad (7)$$

Здесь N_1 – полное число частиц, находящихся в потоке в единицу времени.

С учетом (1) выражение (7) примет вид:

$$A_1 = N_1 \int_{v_{1\min}}^{v_{1\max}} \int_{D_{1\min}}^{D_{1\max}} \int_{\varphi_{1\min}}^{\varphi_{1\max}} \exp\left(-E_1 \cdot E_{01}^{-1}\right) d\varphi_1 dD_1 dv_1. \qquad (8)$$

Неизвестный параметр E_{01} в выражении (1), соответствующий мере энергии системы потока частиц [1, 8], находится из уравнения энергетического баланса, составленного для момента формирования разреженного потока:

$$E_n = E_p, \qquad (9)$$

где E_n – энергия нераспавшейся струи (потока), E_p – энергия образованного разреженного потока частиц. Согласно выбранному распределению числа частиц в элементе фазового объема $d\Gamma_1$, можно получить дифференциальные функции распределения числа капель жидкости по углу рассеивания φ_1 в фазовом объеме :

$$d\Gamma_1' = dv_1 dD_1. \qquad (10)$$

Дифференциальная функция распределения элементов потока по углам рассеивания φ_1 задается выражением :

$$f_1(\varphi_1)=\frac{1}{N_1}\frac{dN_1}{d\varphi_1}=\frac{1}{N_1}\int_{\Gamma_1^l} dN_1 = \\ =\frac{1}{N_1}\int_{D_{1\min}}^{D_{1\max}}\int_{v_{1\min}}^{v_{1\max}} A_1\exp\left(\frac{-E_1(\varphi_1,D_1,v_1)}{E_{01}}\right)dv_1dD_1. \quad (11)$$

Основные средние характеристики процесса распыления, такие как наиболее вероятный угол рассеивания и размер частиц [1], можно определить из следующих выражений:

$$\varphi_1^{\text{ср}}=\frac{1}{N_1}\int_{\Gamma}\varphi_1 dN_1; \\ D_1^{\text{ср}}=\frac{1}{N_1}\int_{\Gamma} D_1 dN_1. \quad (12)$$

Выбор в качестве одной из координат угла рассеивания объясняется тем, что большинство известных диспергирующих устройств создают расширяющиеся потоки, имеющие в поперечном сечении расширяющуюся треугольную (коническую форму).

Таким образом, стохастический подход позволяет получить дифференциальные функции распределения числа частиц по углам рассеивания, а также вычислить средние характеристики процесса образования дисперсных потоков частиц.

Определение максимальной величины угла раскрытия факела

Одним из основных параметров процесса образования дисперсных потоков является угол раскрытия. Величина угла раскрытия факела необходима при расчете параметров распределения A_1 и E_{01} (выражения (8), (12)). Для определения $\varphi_{1\max}$ была разработана приближенная методика оценки данной величины.

Рассмотрим процесс истечения струи из канала. Согласно многочисленным исследованиям, как теоретическим [1], так и экспериментальным [2], расширение потока происходит в результате обтекания краев канала и взаимодействия с окружающей средой.

Для определения максимального значения угла раскрытия факела составим уравнение энергетического баланса для периферийной части потока, которая подвержена максимальному отклонению от оси потока:

$$\frac{mv_{px}^2}{2}=\frac{mv_x^2}{2}+\frac{mv_y^2}{2}+M_c\varphi_{1\max}. \quad (13)$$

Здесь M_c – момент аэродинамических сил; v_{px} – скорость частиц в конечной части распылителя, определяемая по изложенной в работе [2] методике. Величина момента M_c может быть найдена из выражения

$$M_c=\frac{K_c\pi\left(D_1^{\text{ср}}\right)^2 v_{px}R_0}{4}, \quad (14)$$

где R_0 – расстояние от центра распылительного канала до края; K_c – коэффициент лобового сопротивления. Тогда

$$\frac{\pi\rho\left(D_1^{\text{ср}}\right)^3 v_{px}^2}{12}=\frac{\pi\rho\xi^2\left(D_1^{\text{ср}}\right)^3 v_{px}^2}{12}\left(1+\text{tg}^2\varphi_{1\max}\right)+M_c\varphi_{1\max}. \quad (15)$$

Здесь ξ – коэффициент местного сопротивления [1], учитывающий тип распылителя.

Решая (15) относительно $\varphi_{1\max}$, имеем:

$$\varphi_{1\max}=rootof\left(12ZM_c-\alpha+\alpha\xi^2+\alpha\xi^2\text{tg}^2Z\right), \quad (16)$$

где

$$\alpha=\pi\left(D_1^{\text{ср}}\right)^3 v_{px}^2; \quad (17)$$

rootof(õ) – форма представления решения уравнения (16) [9].

Полученные зависимости (16)–(17) могут быть использованы для оценки значения $\varphi_{1\max}$ для потоков, создаваемых канальными устройствами. Величина коэффициента местного сопротивления ξ определяется опытным путем и зависит от типа распылителя.

Список литературы

1. Зайцев А.И. Ударные процессы в дисперсно-пленочных системах / А.И. Зайцев, Д.О. Бытев. – М.: Химия, 1994. – 176 с.

2. Лебедев А.Е. Дисперсные потоки твердых частиц в ударно-струйных измельчителях материалов. Теория и расчет – Ярославль: Изд. ЯГТУ, 2012. – 83 с.

3. Пажи Д. Г. Распылители жидкости. – М.: Химия, 1979. – 216 с.

4. Пат. РФ№ 2212566, 20.09.2003.

5. Суханов А. С математическое описание движения частиц в разреженном потоке центробежного измельчителя ударного действия // Фундаментальные исследования. –М., 2012. – № 3. – С. 133–137.

6. Лебедев А.Е. Математическая модель процесса распыла вязких жидкостей // Вестник СГТУ. – Саратов, 2011. – Т. 62, вып.4. – С. 34–37.

7. Капранова А.Б. Стохастическое описание движения осветленной фракции суспензии // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – Иваново, 2004, − Т. 47, вып. 6.− С. 99–101.

8. Капранова А.Б. Математическая модель механики движения сыпучих материалов в разреженных потоках аппаратов с эластичными рабочими элементами // Изв. ВУЗов. Химия и химическая технология. – Иваново, 2009. – Т. 52, вып. 5. – С. 111–113.

9. Дьяконов В.П. Maple 6 -СПб.: Питер, 2001.-608с.: ил.

References

1. Zaytsev A.I., Bytev D.O. Udarnye protsessy v dispersnoplenochnyh sistemah Moscow, 1994. 176 p.

2. Lebedev A.E., Zaytsev A.I. Dispersnye potoki tverdykh chastits v udarno-struynykh izmelchitelyakh Yaroslavl., 2012. 83 p.

3. Pazhi D.G., Galustov V.S. Raspyliteli zhidkosti Moscow, 1979. 216 p.

4. Pat. RU№ 2212566, 20.09. 2003.

5. Sukhanov A.S., Lebedev A.E., Zaytsev A.I., Lupanov A.P., Fundamentalnye issledovaniya Moscow, 2012 no. 3, pp. 133–137.

6. Lebedev A.E., Zaytsev A.I. Kapranova A.B., Petrov A.A. Vestnik SGTU Saratov, 2011 v 62, pp. 34–37.

7. Kapranova A.B., Lebedev A.E., Bytev D.O., Zaytsev A.I. Izvestiya vuzov khimiyz I khimicheskaya tekhnologiya, v47, no. 6 pp. 99–101.

8. Kapranova A.B., Lebedev A.E., Zaytsev A.I., Kuzmin I.O. Izvestiya vuzov khimiya I khimicheskaya tekhnologiya, v52, no. 5 pp. 111–113.

9. Dyakonov V.P. Maple. SPB, 2001, 608 p.

Рецензенты:

Мурашов А.А., д.т.н., заведующий кафедрой математических и естественно-научных дисциплин Московского финансово-юридического университета, г. Ярославль;

Епархин О.М., д.т.н., профессор, директор Ярославского филиала ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения, г. Ярославль.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 661.183.2 + 66.081.32

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ СФЕРИЧЕСКОЙ ГРАНУЛЯЦИИ

[1]Лимонов Н.Ф., [2]Глушанкова И.С., [2]Фарберова Е.А., [1]Зорина Е.И.

[1]ОАО «Сорбент», г. Пермь;

[2]ФГОУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: irina_chem@mail.ru

Представлены результаты исследования по получению углеродных сорбентов из пористых сферических фенолформальдегидных смол (ФФС). Проведенный термогравиметрический анализ образцов ФФС, полученных при различном соотношении CH_2O:C_6H_6OH, позволил установить условия проведения карбонизации образцов и выбрать для дальнейших исследований образцы ФФС, полученные при соотношении CH_2O:C_6H_6OH = 1,6–1,8. Углеродные сорбенты получены методом многостадийной карбонизации в среде диоксида углерода при температурах 300–400 °С, 500–600 °С и 800 °С с последующей активацией карбонизатов водяным паром при температуре 900 °С. Исследованы основные характеристики образцов карбонизатов и АУ. Установлено, что из пористых ФФС могут быть получены гранулированные углеродные адсорбенты с широким диапазоном изменения параметров пористой структуры от микропористых до мезо- и макропористых.

Ключевые слова: сферическая фенол-формальдегидная смола, термическая деструкция, карбонизация, активация, пористость

PREPARATION CARBON SORBENTS FROM PHENOL-FORMALDEHYDE RESINS OVAL GRANULATION

[1]Limonov N.F., [2]Glushankova I.S., [2]Farberova E.A., [1]Zorina E.I.

[1]Company «Sorbent», Perm;

[2]Federal state budgeted educational institution of high professional education «Perm National Research Polytechnic University», Perm, e-mail: irina_chem @mail.ru.

The results of the study to obtain porous carbon adsorbents of spherical phenol-formaldehyde resins (SPF). Conducted by thermal gravimetric analysis of samples of the SPF obtained at different ratios of CH_2O:C_6H_6OH possible to establish the conditions for the carbonation of samples and selected for further study samples SPF obtained at a ratio of CH_2O:C_6H_6OH = 1,6–1,8. Carbon sorbents were prepared by a multistage carbonization medium carbon dioxide at temperatures of 300–400°C, 500–600°C and 800°C carbonizate followed by activation with steam at a temperature of 900°C. The basic characteristics of the samples carbonizate and AC. Found that porous FFC can be obtained granular carbon adsorbents with a wide range of variation of the parameters of the porous structure to a meso- microporous and macroporous .

Keywords: spherical phenol-formaldehyde resin, thermal degradation, carbonization, activation, porosity

В настоящее время в соответствии с принятым «Водным кодексом РФ» повышаются требования к инженерным сооружениям и технологическим системам очистки производственных сточных вод. Обезвреживание сточных вод, содержащих органические примеси, такие как фенолы, нефтепродукты, бензол, толуол и т.п. до требуемых нормативов (ПДКр-х) не может быть достигнуто без применения сорбционных технологий. В этой связи разработка дешевых и эффективных углеродных сорбционных материалов, получаемых на основе отходов, является актуальной технологической и экологической задачей.

Известно, что одним из источников сырья для получения углеродных адсорбентов – активных углей (АУ) – являются синтетические полимеры [1–7]. Образование полимерных отходов в России составляет более 3,0 млн т в год, из которых только 10–15% используется вторично. Получение углеродных сорбентов при термической переработке полимерных отходов позволит не только решить проблему их утилизации, но и сократить затраты на производство АУ, расширить спектр сорбционных материалов экологического назначения.

Углеродные адсорбенты, полученные из полимерных материалов, характеризуются высокой чистотой, низкой зольностью, регулярностью строения и возможностью направленного формирования пористой структуры, что позволяет эффективно использовать их для очистки сточных вод.

Использование в качестве сырья для получения АУ сферических гранулированных полимерных материалов позволит значительно упростить технологию получения гранулированных сорбентов (ГАУ).

Известны способы получения сферических АУ из гелеобразных отработанных ионообменных смол – сульфированных сополимеров стирола и дивинилбензола [5, 7].

Способ заключается в карбонизации ионообменных смол в атмосфере азота при температурах от 300 до 850 °С и последующей активации при температурах 900–1100 °С путем добавления в атмосферу азота в небольших количествах водяного пара (≈ от 1 до 3 об. %) [7].

В работах [1, 3, 6] рассмотрены особенности карбонизации и активации синтетических полимеров.

В настоящей работе представлены результаты исследований по получению сферических АУ из пористых сферических фенолформальдегидных смол (ФФС).

Цель исследования – определение закономерностей термической деструкции сферических ФФС, условий карбонизации и активации ФФС с получением эффективных углеродных сорбентов для очистки сточных вод.

Экспериментальная часть

В качестве сырья для получения углеродных сорбентов использовали образцы фенолформальдегидных смол сферической грануляции.

Известно, что фенол-формальдегидные смолы представляют собой трехмерный полимер, структура которого зависит от соотношения фенола к формальдегиду при синтезе.

Для исследования влияния исходной структуры ФФС на формирование пористой структуры углеродных сорбентов исследовались образцы ФФС, полученные при различных соотношениях CH_2O:C_6H_6OH. Для определения размера сфер и поверхности образцов ФФС использовали методы электронной микроскопии.

Исследования закономерностей процессов термодеструкции образцов были проведены методами термического анализа: дифференциально-термический анализ (ДТА), термогравиметрия (ТГ), эксперименты проводили на дериватографе Q1500D в среде гелия со скоростью нагрева 10°С/мин.

Суммарный объем пор определяли по величине влагоемкости сорбента, предельный объем адсорбционного пространства – по величине адсорбции паров бензола. Объемы микропор были определены на основании анализа изотерм адсорбции бензола, полученных с использованием приборов «Сорбтоматик – 1800», и рассчитаны на основе уравнения теории объемного заполнения микропор Дубинина–Радушкевича.

Карбонизацию образцов проводили во вращающейся барабанной печи ретортного типа с электрообогревом и стационарной печи муфельного типа в среде диоксида углерода. Карбонизаты подвергали парогазовой активации при температуре 900 °С.

Результаты исследований и их обсуждение

На первом этапе проведения работ исследованы шесть образцов ФФС, полученных при различном соотношении CH_2O:C_6H_6OH, а также отличающихся плотностью и пористостью. Размер сферических гранул исследуемых образцов составлял от 0,2 до 1,7 мм. Основные характеристики исследуемых образцов представлены в табл. 1.

Механическая прочность на истирание образцов составляла 93–98 %.

Как видно из представленных данных, пористость образцов ФФС близка к предельному объему сорбционного пространства, определенному по объему адсорбированных паров бензола. Основной объем пор сферических ФФС представлен мезопорами.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов сферических ФФС

Образец	Отношение CH_2O:C_6H_6OH	Пористость, $см^3/г$	Массовая доля летучих, %	Объем микропор, $см^3/г$	Предельный объем сорбционного пространства, $см^3/г$
ФФС-1	1,6	0,7	49,8	0,04	0,5
ФФС-2	1,8	1,2	53,5	0,023	0,8
ФФС-3	1,8	0,8	54,5	0,04	0,87
ФФС-4	1,4	0,81	50,1	0,096	0,85
ФФС-5	1,4	0,42	51,7	0,029	0,43
ФФС-6	1,4	0,78	48,2	0,035	0,88

Результаты термогравиметрических исследований образцов ФФС в среде гелия при скорости нагрева 10 град./мин представлены в табл. 2.

Можно выделить четыре основных этапа деструкции ФФС. На первом этапе в интервале температур 25–250 °С происходит выделение влаги и легко летучих соединений (ацетон, пропилен, пропанол и бутанол) с максимумом на дифференциальной термогравиметрической кривой при температурах 130–140 °С, потеря массы в этом интервале составляют 50–59 % масс.

Потери массы на втором и третьем этапах деструкции незначительны. На этих стадиях при температурах от 230 до 400 °С начинаются процессы карбонизации и формирования пористой структуры сорбентов. В этом интервале температур наблюдается несколько небольших эндоэффектов, что

можно объяснить разрывом связей с образованием летучих компонентов CO, CH_4. Завершение формирование каркаса структуры адсорбентов (четвертая стадия термодеструкции) протекает в широком интервале температур с четко выраженным максимумом скорости разложения при температурах 550–560 °C. Потеря массы в этом интервале составляет от 13,5 да 17% масс и сопровождается одновременно экзо- и эндоэффектами, причем суммарный эффект – экзотермический. Можно полагать, что на этой стадии протекают в основном реакции уплотнения и формирование полигексагональной углеродной структуры. Общая потеря массы образцов при температуре 800 °C составляет от 75 до 81%. Установлено, что при термообработке до температуры 800 °C образцы ФФС-2,4,5 и 6 подверглись разрушению или растрескиванию.

Таблица 2

Характеристика термической деструкции образцов ФФС

Наименование образца	Отношение CH_2O/C_6H_6OH	Пористость, $см^3/г$	Стадии деструкции	Интервал температур, °C	T макс, °C	Потеря массы по стадиям, %	Потеря массы до 280 °C, %
ФФС-1	1,6	0,7	1	25–238	138	51,25	75,33
			2	238–348	–	3,55	
			3	348–454	–	3,5	
			4	454–850	564	16,86	
ФФС-2	1,8	1,2	1	25–259	144	58,8	81,0
			2	259–346	–	35	
			3	346–450	402	4,7	
			4	450–780	560	13,5	
ФФС-3	1,8	0,8	1	25–243	134	54,8	78,3
			2	243–330	–	2,2	
			3	330–422	–	3	
			4	422–775	550	16,8	
ФФС-4	1,4	0,8	1	25–235	130	50	77
			2	235–335	–	3,3	
			3	335–435	395	5,5	
			4	435–770	555	17,36	
ФФС-5	1,4	0,42	1	25–300	132	57,5	77,5
			2	300–345	–	0,5	
			3	345–450	–	4,5	
			4	450–800	554	14,16	
ФФС-6	1,4	0,78	1	25–240	138	50	74,9
			2	240–340	–	2,16	
			3	340–435	404	45	
			4	435–785	558	18	

Из шести исследованных образцов оптимальными для получения АУ являются образцы ФФС-3 (отношение CH_2O/C_6H_5OH = 1,8, пористость 0,8 $см^3/г$) и ФФС-1 с соотношением CH_2O/C_6H_5OH = 1,6 и пористостью 0,7 $см^3/г$.

Для исследования возможности получения АУ из сферических гранул ФФС были получены укрупненные партии пористых ФФС (СФ, ПФС-1, ПФС-2) при соотношении CH_2O/C_6H_5OH = 1,6, а также испытывался образец ФФС-3.

Карбонизацию образцов проводили в две стадии в среде диоксида углерода, расход которого составлял 3 $дм^3$/мин. Температура на первой стадии карбонизации поддерживалась в интервале 300–400 °C, на второй – 500–600 °C. Установлено, что при проведении низкотемпературной карбонизации не происходило достаточно полного выделения летучих веществ, поэтому образцы подвергали карбонизации при температуре 800 °C. Образец СФ был карбонизован как во вращающейся печи методом многостадийной обработки, так и в стационарной печи при температуре 700 °C. Темп нагрева при этом составлял 5 °C/мин.

Характеристики полученных карбонизатов представлены в табл. 3.

Образец карбонизата К (ФФС), полученного при термодеструкции образца

ФФС-3 при температуре 800 °С, обладает развитой пористой структурой (предельный объем сорбционного пространства составляет 0,82 см^3/г) с достаточно высокой долей микропор.

Карбонизат СФ, полученный в стационарной печи (К-СФС), обладает большей плотностью и прочностью на истирание по сравнению с образцом СФ, карбонизованным во вращающейся печи (К-СФВ).

Таблица 3

Характеристики карбонизованных образцов ФФС

Образец	Т карбон., °С	Насыпная плотность, г/см^3	Выход, %		Массовая доля, %		Суммарный объем пор, см^3/г	Объем микропор, см^3/г	W_S, см^3
			частный	общий	золы	летучие			
К-СФВ	300–400	0,34	55,8	55,8	1,3	81,5	0,66	–	0,28
	500–600	0,35	61,7	34,4	2,1	37,9	0,65	–	0,4
	800	0,36	84,8			3,3	0,6	–	0,43
К-СФС	600	0,47	30	30	0,5	1,8	0,56	–	0,21
	800	0,45	92,5	27,8	0,9	–	0,68	–	0,24
К-ФФС-3	300–400	0,39	51,9	51,9	0,2	31	0,45	0,11	0,42
	500–600	0,4	70,8	36,7	0,9	9,4	0,55	0,17	0,47
	800	0,4	76,4	28,1	1,2	2,5	0,62	0,28	0,58
К-ПФС-1	300–400	0,32	30,5	30,5	0,1	25,8	0,51	–	0,15
	500–600	0,33	20,9	20,9	0,2	3,5	0,84	–	0,42
	800	0,37	19,4	19,4	0,3	1,2	0,79	–	0,31
К-ПФС-2	300–400	0,29	26,2	26,2	0,1	26,2	1,37	–	0,21
	500–600	0,3	18,3	18,3	0,2	6,3	1,49	–	0,26
	800	0,34	15,9	15,9	0,3	1,2	1,36	–	0,16

Образцы К-ПФС-1 и К-ПФС-2 существенно отличаются как от серии (СФ), так и между собой. К-ПФС-2 содержит много мелкой фракции, обладает развитой пористой структурой (суммарный объем пор составляет более 1,36 см^3/г). При определении предельного объема адсорбционного пространства образцов наблюдалась высокая скорость насыщения образца бензолом, что можно объяснить развитым объемом транспортных пор. В данном случае ими являются, очевидно, макропоры. Для образцов К-ПФС-I и К-ПФС-2 характерно снижение предельного объема сорбционного пространства и суммарного объема пор после карбонизации при температуре 800°С. Можно полагать, что это связано со значительной усадкой гранул, происходящей при температуре 600–800 °С.

Карбонизованные образцы активировали водяным паром во вращающейся электропечи при температуре 900 °С. Характеристики полученных АУ прогрессирующей активации при различной степени обгара представлены в табл. 4. Отмеченное у карбонизованных гранул различие в распределении характерных типов пор наблюдалось и у активных углей. Суммарный объем пор у образцов АУ-ПФС-I и АУ-ПФС-2 достигал значительных величин (1,24 и 1,69 см^3/г). Объем микропор на единицу массы сорбента соответствует лучшим промышленным образцам АУ (КАУ, АГ-3, БАУ).

Таблица 4

Характеристика углеродных адсорбентов из ФФС при различной степени обгара

Наименование показателя	АУ-СФВ			АУ-СФС			АУ-ПФС-1			АУ-ПФС-2		
	46%	52%	72%	43%	46%	60%	17	30	46	30	40	53
Насыпная плотность, г/см^3	0,29	0,28	0,25	0,34	0,33	0,30	0,34	0,31	0,27	0,31	0,30	0,28
Суммарный объем пор, см^3/г	0,98	1,0	1,17	0,79	0,95	0,85	0,91	1,0	1,24	1,50	1,56	1,69
Ws, см^3/г	0,62	0,68	0,93	0,71	0,70	0,74	0,41	0,52	0,68	0,35	0,45	0,54
Объем микропор, *Vми*, см^3/г	–	–	0,71	–	0,58	0,54	0,28	0,37	0,55	0,21	0,29	0,36
Объем мезопор, *Vме*, см^3/г	0,60	0,65	0,23	0,70	0,12	0,2	0,13	0,15	0,13	0,14	0,16	0,18
Равновесная активность по толуолу, мг/г							254	354	424	248	290	342

Образцы серии СФ характеризуются развитым объемом микропор, значительно превышающим объем микропор известных микропористых сорбентов на основе скорлупы кокоса (КАУ), фруктовых косточек [4]. Равновесная активность по толуолу, соответственно, значительно выше у образца АУ- ПФС-I, имеющего более развитый объем микропор.

Таким образом, проведенные исследования показали, что из пористых фенолформальдегидных смол сферической грануляции могут быть получены углеродные адсорбенты с широким диапазоном изменения параметров пористой структуры от микропористых (АУ – ФФС-3) до мезо- и макропористых (АУ – ПФС-I и АУ – ПФС-2).

Высокая активность АУ – ПФС-I и АУ-ПФС-2 по толуолу свидетельствует о возможности использования полученных сорбентов для очистки сточных вод от ароматических соединений (бензол, толуол, этилбензол, фенол и др.)

Выводы

1. На основе проведенного термогравиметрического анализа процессов деструкции образцов сферических пористых фенолформальдегидных смол, полученных при различных соотношениях $CH_2O:C_6H_6OH$, установлены условия проведения карбонизации образцов и выбраны для дальнейших исследований образцы ФФС, полученные при соотношении $CH_2O:C_6H_6OH$ = 1,6–1,8.

2. Разработан способ получения сферических углеродных сорбентов из ФФС методом многостадийной карбонизации в среде диоксида углерода при температурах 300-400°С, 500–600 °С и 800 °С с последующей активацией карбонизатов водяным паром при температуре 900 °С.

3. Установлено, что из сферических ФФС при различной степени обгара при активации могут быть получены углеродные адсорбенты с широким диапазоном изменения параметров пористой структуры от микропористых до мезо- и макропористых АУ.

4. Высокая активность АУ – ПФС-I и АУ-ПФС-2 по толуолу свидетельствует о возможности использования полученных сорбентов для очистки сточных вод от ароматических соединений (бензол, толуол, этилбензол, фенол и др.).

Исследования проводились в рамках работ по постановлению правительства России № 218 от 09.04.2010 «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских ВУЗов и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологичных производств» по теме: «Создание высокотехнологичного адаптивного производства углеродных сорбентов и фильтрующих материалов как основы отечественной сорбционной, экологической и противогазовой техники нового поколения».

Список литературы

1. Высокоэффективные адсорбенты на основе активированного угля с высокой микропористостью: патент РФ 2378046 /Фон-Блюхер Х., Берингер Б., Гибельхаузен Я-М. № 2007137631/15; заявл. 11.10.07; опубл. 10.01.10. Бюл. № 1 – 16 с.

2. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. – Л.: Химия, 1984. – 216 с.

3. Клушин В.Н. Углеродные адсорбенты на основе полимерсодержащих отходов / В.Н. Клушин [и др.]. – М: Биоларус,1993. – 141 с.

4. Мухин В.М. Активные угли России / В.М. Мухин, А.В. Тарасов, В.Н. Клушин – М.: Металлургия, 2000. – 352 с.

5. Activated charcoal production / Ernest de Ruiter – US 10/567,794; Пат. 7662747США, B2. Заявлено 24.07.04; Опубл. 16.02.10.

6. Laszlo K., Bota A. Comparative adsorption study on carbons from polymer precursors // Carbon. – 2000. – Vol. 38. – P. 1965–1976.

7. Method of producing activated carbon particles from spent granular organic ion-exchange resin / Hasso von Blücher, Ernest de Ruiter US 08/919,429. Пат. 6184177 США, B1.; Заявлено 28.08.97; Опубл. 06.02.01.

References

1. Vyisokoeffektivnyie adsorbentyi na osnove aktivirovannogo uglya s vyisokoy mikroporistostyu: patent RF 2378046 /Fon-Blyuher H., Beringer B., Gibelhauzen Ya-M. 2007137631/15; zayavl. 11.10.07; opubl. 10.01.10. Byul. 1 16 p.

2. Kinle H., Bader E. Aktivnyie ugli i ih promyishlennoe primenenie. L.: Himiya, 1984. 216 p.

3. Klushin V.N. Uglerodnyie adsorbentyi na osnove polimersoderzhaschih othodov / V.N. Klushin [i dr.]. M: Biolarus,1993. 141 p.

4. Muhin V.M. Aktivnyie ugli Rossii / V.M. Muhin, A.V. Tarasov, V.N. Klushin. M.: Metallurgiya, 2000. 352 p.

4. Activated charcoal production / Ernest de Ruiter US 10/567,794; Pat. 7662747 SShA, B2. Zayavleno 24.07.04; Opubl. 16.02.10.

5. Laszlo K., Bota A. Comparative adsorption study on carbons from polymer precursors // Carbon. 2000. Vol. 38. pp. 1965–1976.

6. Method of producing activated carbon particles from spent granular organic ion-exchange resin / Hasso von Blücher, Ernest de Ruiter US 08/919,429. Pat. 6184177 SShA, B1.; Заявлено 28.08.97; Opubl. 06.02.01.

7. Method of producing activated carbon particles from spent granular organic ion-exchange resin / Hasso von Blücher, Ernest de Ruiter US 08/919,429. Пат. 6184177 США, B1.; Заявлено 28.08.97; Опубл. 06.02.01.

Рецензенты:

Пойлов В.З., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Химическая технология», ФГОУ «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь;

Дегтев М.И., д.х.н., профессор, зав. кафедрой аналитической химии, ФГОУ «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 62.192

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОЦЕНОК РИСКА ДОСТИЖЕНИЯ ДОПУСКОВЫХ ГРАНИЦ В ПРОЦЕССЕ ИСПЫТАНИЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

[1]Львович Я.Е., [2]Каширина И.Л.

[1]АНОО ВПО «Воронежский институт высоких технологий», Воронеж, e-mail: office@vivt.ru;
[2]ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», Воронеж, e-mail: kash.irina@mail.ru

В статье осуществляется математическое моделирование оценок риска достижения допусковых границ в процессе испытаний технических систем. Для задачи определения риска того, что система в процессе испытаний (и впоследствии эксплуатации) не выйдет за заданные допусковые границы, вводится в рассмотрение формула оценки риска, связанная с вероятностями выхода за эти границы. Риск при этом трактуется как степень угрозы потери управляемости системы. Введенная оценка величины риска исследуется для нескольких классов возможных траекторий поведения системы в плановом периоде в зависимости от текущего положения системы и значений допусковых границ. Определяются максимумы оценок риска для этих траекторий. Даются рекомендации как по выбору классов плановых траекторий, минимизирующих максимальный риск, так и по изменению допусковых границ системы, таким образом, чтобы риск для фиксированной плановой траектории был минимален.

Ключевые слова: оценка риска, математическое моделирование, испытания технических систем, надежность технических систем, техническое прогнозирование

MATHEMATICAL MODELING OF RISK ASSESSMENTS OF THE ACHIEVEMENTS OF TOLERANCE BORDERS IN THE PROCESS OF TESTING OF TECHNICAL SYSTEMS

[1]Lvovich Y.E., [2]Kashirina I.L.

[1]Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, e-mail: office@vivt.ru;
[2]Voronezh State University, Voronezh, e-mail: kash.irina@mail.ru

This article describes the mathematical modeling of risk assessments of the achievements of tolerance borders in the process of testing of technical systems. For the task of determining the risk that the system is in the process of technical trials (and, subsequently, operation) would not specified tolerance limits is introduced formula assessment of risk associated with the likelihood of output over the border. Risk is treated the threat of losing control of the system. Assessment of the extent of the risk being screened for several classes of possible trajectories of the system in the planning period, depending on the current condition of the system and the values of tolerance borders. Defined maximums risk assessments for these trajectories. Recommendations are given as to the choice of classes planned trajectories, which minimize maximum risk, and on changing the borders of tolerance of the system, so that the risk for fixed-planned trajectory was minimal.

Keywords: risk assessment, mathematical modeling, testing of technical systems, reliability of technical systems, technological prognostication

Предположим, исследуется сложная техническая система, которая за заданное время должна достигнуть заданного состояния (положения). Определим риск как степень угрозы недостижения поставленной цели, что может привести к потере управляемости всей системы. Риск будет рассматриваться как переменная величина, представляющая собой функцию относительно текущего положения системы. Риск будет увеличиваться при приближении системы к некоторым допусковым границам, после достижения которых система становится неуправляемой.

Такая трактовка риска приводит к введенной Гильбертом и Клейном проективной метрике на плоскости Лобачевского–Клейна. Плоскость Лобачевского–Клейна представляет собой единичный круг, любая хорда которого трактуется как бесконечная прямая (рис. 1).

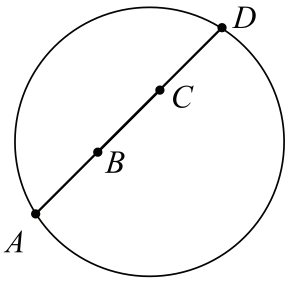


Рис. 1. Плоскость Лобачевского–Клейна

Расстояние ρ(B, C) между точками B и C стремится к бесконечности при $C \to D$ или при $B \to A$. Это расстояние задается формулой $\ln\frac{1}{d}$, где $d = \frac{AB \cdot CD}{AC \cdot BD}$ – ангармоническое отношение четырёх точек.

Выражения, аналогичные проективному расстоянию, присутствуют и в нечеткой

логике при описании операторов нечёткой импликации, которые возникают при оценке осуществимости вывода о том, что при выполнении определенных условий можно получить требуемый результат.

И, главное, проективное расстояние имеет очевидные аналогии с *d*-оценками (оценками «трудности» Руссмана) [1], которые в данном исследовании и предлагается использовать для количественной оценки риска потери управляемости системы.

Математическое моделирование оценок риска

D-оценкой (или «трудностью» Руссмана) называется величина, задаваемая соотношением

$$d = \frac{\varepsilon(1-\mu)}{(1-\varepsilon)\,\mu}, \qquad (1)$$

где $\mu \geq \varepsilon$, $\varepsilon \in [0, 1)$, $\mu \in (0, 1]$.

Очевидно, что $d \in [0, 1]$. Кроме того, $d = 0$ когда $\varepsilon = 0$ или $\mu = 1$. Трудность максимальна ($d = 1$) при $\mu = \varepsilon$.

Формула (1) имеет следующую вероятностную интерпретацию. Введем два случайных события: *A* за заданное время система не достигла планового состояния, B – величина изменения контролируемого параметра системы вышла за допусковые границы. Тогда *d* выступает как вероятность $p(A/\overline{B})$ недостижения результата в случае, если контролируемый параметр удовлетворяет требованиям. При этом величины ε и μ допускают одну из двух возможных интерпретаций:

1. $\varepsilon = p(B)$; $\mu = p(B/A)$ или

2. $\varepsilon = p(\overline{B}/A)$, $\mu = p(\overline{B})$.

В том и другом случае естественно предполагается выполнение условия $p(B/A) = 1$, то есть если величина изменения контролируемого параметра системы вышла за допусковые границы, результат всегда не достигается.

Действительно, убедимся в справедливости, например, первой интерпретации. Найдем

$$d = p(A/\overline{B}) = \frac{p(A\overline{B})}{p(\overline{B})} = \frac{p(A)\,p(\overline{B}/A)}{p(\overline{B})}.$$

По условию,

$$d = \frac{\varepsilon(1-\mu)}{(1-\varepsilon)\,\mu} = \frac{p(B)(1-p(B/A))}{(1-p(B))\,p(B/A)} = \frac{p(B)\,p(\overline{B}/A)}{p(\overline{B})\,p(B/A)}.$$

Таким образом, должно выполняться равенство

$$\frac{p(A)p(\overline{B}/A)}{p(\overline{B})} = \frac{p(B)p(\overline{B}/A)}{p(\overline{B})p(B/A)}$$

или

$$p(A) = \frac{p(B)}{p(B/A)}.$$

По теореме произведения вероятностей

$$p(AB) = p(A)p(B/A) = p(B)p(A/B) = p(B)$$

(т.к. $p(A/B) = 1$). То есть $p(A)p(B/A) = p(B)$, что и требовалось показать.

Оценки вида (1), рассчитанные на основе геометрической интерпретации движения системы, могут быть использованы для характеристики риска недостижения системой цели. В частности, появляется возможность решить следующие две задачи прогнозирования технического состояния:

– мониторинг риска во время движения системы по траектории;

– определение порогового значения риска потери управляемости, превышение которого признается нежелательным.

Очевидно, что такие параметры, как максимальная и минимальная скорость движения системы, определяются на этапе конструирования системы. Таким образом, помимо естественных задач мониторинга текущего значения риска могут быть поставлены еще и более общие задачи:

– для заданной системы определить плановую конструкторски допустимую траекторию движения к цели чтобы минимизовать максимальный уровень возможного риска;

– либо обратный случай: построить такую модель системы, чтобы риск, трактуемый как угроза потери управляемости системы, при движении системы по некоторой фиксированной плановой траектории A = f(t) был минимален.

Целью во всех случаях будет являться достижение системой состояния A_{pl} за время $t_{pl.}$

На рис. 2 траектории движения системы с минимальной допустимой скоростью соответствует прямая *OD*, траектории движения с максимальной допустимой скоростью – прямая *OB*. Кривая *A = f(t)* – некоторая плановая траектория движения системы к цели *C*.

Если в процессе движения объект оказывается правее прямой *CD*, то достижение цели в заданное время становится невозможным, так для этого необходимо движение со скоростью, превышающей максимальную. Поэтому эта область становится запретной, и приближение к ней

увеличивает угрозу потери управляемости. Риск, отражающий величину этой угрозы, будет стремиться к единице при приближении точки к прямой C*D*.

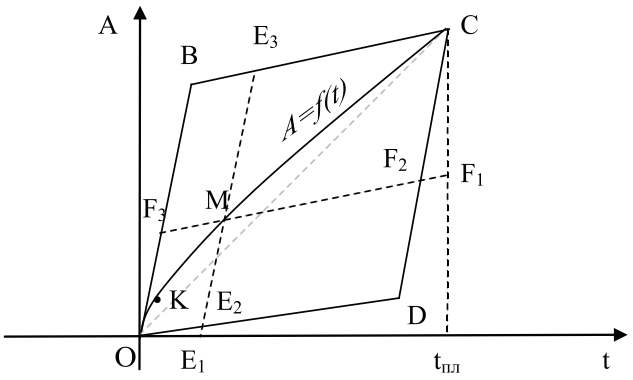


Рис. 2. Графическое представление возможной траектории системы

Также запретной будет считаться область, лежащая ниже прямой *OD*, хотя из лежащей там точки теоретически возможно достичь цели в плановый срок. Тем не менее минимальная скорость будет пониматься нами как оценка надежности объекта, а движение с еще меньшей скоростью интерпретироваться как возникновение чрезвычайных обстоятельств, которые могут привести к возникновению аварийной ситуации.

Таким образом, ломаная *ODC* на рис. 2 является границей запретной области. За величину риска для точки M с координатами (*t*, A) принимается величина

$$r(t) = \max\{d_1(t), d_2(t)\},$$

где $d_1 = \dfrac{\varepsilon_1(1-\mu_1)}{(1-\varepsilon_1)\mu_1}; d_2 = \dfrac{\varepsilon_2(1-\mu_2)}{(1-\varepsilon_2)\mu_2}.$

При этом

$$\varepsilon_1 = \frac{|E_1E_2|}{|E_1E_3|}; \quad \mu_1 = \frac{|E_1M|}{|E_1E_3|};$$

$$\varepsilon_2 = \frac{|F_1F_2|}{|F_1F_3|}; \quad \mu_2 = \frac{|F_1M|}{|F_1F_3|}.$$

В соответствии с принятой интерпретацией, d_1 и d_2 – это две различные условные вероятности недостижения поставленной цели, а $0 \le r \le 1$ – риск потери управления, посчитанный на основе этих вероятностей.

Если перейти к безразмерным величинам и положить A_{pl} и t_{pl} равными единице, то формулы вычисления *d*-оценок в точке произвольной траектории (t_0, $f(t_0)$) будут иметь следующий вид:

$$d_1 = \frac{k_1\left(k_2t_0 - f(t_0)\right)\left(1 + k_1t_0 - k_1 - f(t_0)\right)}{f(t_0)\left(1-k_1\right)\left(k_2-k_1\right)}; \tag{2}$$

$$d_2 = \frac{\left(k_2t - f(t)\right)\left(1 + k_1t - k_1 - f(t)\right)}{(1-t)\left(k_2-1\right)\left(k_2-k_1\right)}. \tag{3}$$

В полученных формулах f(t) представляет собой плановую траекторию движения системы к цели, где $f(t)$ – произвольная функция.

Анализ оценок риска

Формулы (2) и (3) позволяют исследовать свойства оценок риска $r(t)$ для некоторых классов плановых траекторий.

В частности, проанализируем траектории Γ_f поведения системы в плановом периоде, имеющие вид двухзвенной ломаной:

$$f(t) = \begin{cases} k_3t, & 0 \le t \le t_0 \quad (1\text{-}e \text{ звено}); \\ 1 - k_4(1-t), & t_0 < t \le 1 \quad (2\text{-}e \text{ звено}), \end{cases}$$

где $t_0 = \dfrac{1-k_4}{k_3-k_4}$ – точка перехода траектории с первого звена на второе.

Иначе говоря, предполагается, что до некоторого момента t_0 система движется к цели с постоянной скоростью k_3, а после этого момента она движется с постоянной скоростью $k_4 \ne k_3$.

Если решается задача определения плановой конструкторски допустимой траектории движения к цели, минимизирующей уровень возможного риска, то можно показать [2], что для практического

использования наиболее подходят траектории, для которых выполняется равенство

$$k_3\left(k_4(1-k_1)+k_1k_2-1\right)=k_1(k_2-1).$$

В этом случае $t_0 = t_1 = t_2$, и в этой точке принимается значение $\min r(t)$ – наименьшее значение риска $r(t)$ на траектории Γ_f, которое равно

$$\min r(t)=d_{10}(t)=\frac{k_1(k_2-k_3)(k_4-k_1)(k_3-1)}{k_3(k_2-k_1)(1-k_1)(k_3-k_4)}.$$

Таких траекторий – бесчисленное множество (в плоскости k_3Ok_4 они задаются частью гиперболы вида $k_4k_3+ak_3=b$), поэтому этот класс предоставляет достаточно широкие возможности для принятия решения о выборе траектории движения системы к цели. В частности, в этот класс попадают как траектории, для которых $k_3 < k_4$ (система вначале движется с более высокой скоростью, а потом с более низкой), так и траектории, для которых $k_3 > k_4$.

Для траекторий, относящихся к классу функций $f(t) = t^\alpha$, $\alpha > 0$, наилучшие показатели риска достигаются при $\alpha = 0$.

В данной ситуации появляется возможность естественной трактовки $d_1(t)$ и $d_2(t)$ как функции принадлежности нечетких лингвистических критериев, задающих границы попадания системы в аварийное состояние, при этом $r(t)=\max\{d_1(t),d_2(t)\}$ будет нечеткой суммой таких критериев

$$d_1(t)=\frac{k_1(k_2t-t)(1+k_1t-k_1-t)}{t(1-k_1)(k_2-k_1)}=\frac{k_1(k_2-1)(1-t)}{k_2-k_1};$$

$$d_2(t)=\frac{(k_2t-t)(1+k_1t-k_1-t)}{(1-t)(k_2-1)(k_2-k_1)}=\frac{(1-k_1)t}{k_2-k_1};$$

$$r(t)=\max\{d_1(t),d_2(t)\}=\max_{0\le t\le 1}\left\{\frac{k_1(k_2-1)(1-t)}{k_2-k_1},\frac{(1-k_1)t}{k_2-k_1}\right\}.$$

Рассмотрим возможные значения данного максимума на промежутке $t \in [0, 1]$. Для этого изобразим графически функции $d_1(t)$ и $d_2(t)$ (рис. 3).

Очевидно, что

$$r(t)=\max\{d_1(t),d_2(t)\}=\max\{d_1(0),d_2(1)\}=\max_{0\le t\le 1}\left\{\frac{k_1(k_2-1)}{k_2-k_1},\frac{1-k_1}{k_2-k_1}\right\}.$$

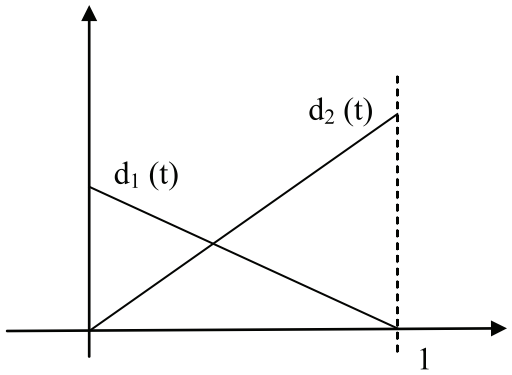


Рис. 3. Графическое представление изменения оценок риска

Если перейти на следующий уровень оптимизации и рассмотреть задачу построения такой модели системы, чтобы риск при движении системы по фиксированной плановой траектории $f(t) = t$ был минимален, то наилучшей относительно введенной нами оценки риска будет система, параметры которой удовлетворяют равенству: $k_1k_2 = 1$. При этом из возможных конструкторских решений нужно выбирать то, для которого значение k_1 минимально. Отметим, что для такой системы максимум оценки риска будет представлять представляет собой минимум из всех возможных максимумов $r(t)$ не только по траекториям вида $f(t) = t^\alpha$, $\alpha > 0$, но и по траекториям, представляющим собой двузвенные ломаные.

Заключение

Таким образом, в статье получены и исследованы формулы, выражающие оценку величины риска, трактуемого как угроза потери управляемости системы в задаче для нескольких (наиболее естественных) классов возможных траекторий поведения системы в зависимости от текущего положения системы и значений допусковых границ.

Список литературы

1. Бабунашвили М.К., Бермант М.А., Руссман И.Б. Оперативное управление в организационных системах // Экономика и математические методы. – 1971. – Том 7, вып. 3. – С. 32–40.

2. Берколайко М.З., Каширина И.Л., Иванова К.Г. Использование D-оценок Руссмана для управления портфелем активов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2008. – № 1. – С. 102–110.

3. Берколайко М.З., Долгих Ю.В., Иванова К.Г. Трудности в смысле И. Б. Руссмана и оценка надежности управления // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – Воронеж: Воронежский государственный ун-т, 2008. – № 2. – С. 78–84.

4. Львович Я.Е., Каширина И.Л., Шостак А.А. Интеграция базовых и оптимизационных процедур при управлении испытаниями ЖРД // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. Т. 8. – № 5. – С. 22–24.

5. Руссман И.Б., Гайдай А.А. Непрерывный контроль процесса достижения цели // Управление большими системами: Сб. трудов института проблем управления РАН. – Вып. 7. – 2004. – С. 106–113.

Referenses

1. Babunashvili M.K., Bermant M.A., Russman I.B. *Operativnoe upravlenie v organizatsionnyih sistemah.* Ekonomika i matematicheskie metodyi. 1971. Vol 7, no 3, pp. 32–40.

2. Berkolayko M.Z., Kashirina I.L., Ivanova K.G. *Ispolzovanie D-otsenok Russmana dlya upravleniya portfelem aktivov.* Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyiy analiz i informatsionnyie tehnologii. Voronezh: Voronezh. gos. un-t, 2008. no 1, pp. 102–110.

3. Berkolayko M.Z., Dolgih Yu.V., Ivanova K.G. *Trudnosti v smyisle I. B. Russmana i otsenka nadezhnosti upravleniya.* Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sistemnyiy analiz i informatsionnyie tehnologii. – Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyiy un-t, 2008. no 2, pp. 78–84.

4. Lvovich Ya.E., Kashirina I.L., Shostak A.A. *Integratsiya bazovyih i optimizatsionnyih protsedur pri upravlenii ispyitaniyami ZhRD*. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, 2012. Vol. 8. no 5. pp. 22–24.

5. Russman I.B., Gayday A.A. *Nepreryivnyiy kontrol protsessa dostizheniya tseli.* Upravlenie bolshimi sistemami: Sb. trudov instituta problem upravleniya RAN.- Vyipusk 7, 2004. pp. 106–113.

Рецензенты:

Азарнова Т.В., д.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж;

Шашкин А.И., д.ф.-м.н., профессор, декан факультета прикладной математики, информатики и механики, Воронежский государственный университет, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 519.873

МЕТОД ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

[1]Львович Я.Е., [2]Каширина И.Л.

[1]АНОО ВПО «Воронежский институт высоких технологий», Воронеж, e-mail: office@vivt.ru;
[2]ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет», Воронеж, e-mail: kash.irina@mail.ru

В статье рассматривается проблема оптимального резервирования элементов сложной технической системы. Каждый элемент, а значит и рассматриваемая система в целом характеризуется тремя основными параметрами: вероятностью безотказной работы, стоимостью и средним временем безотказной работы. При этом для каждого элемента системы возможен один из трех описанных в статье способов резервирования. Построена математическая оптимизационная модель этой задачи. Обоснована необходимость введения двух целевых критериев: максимизации вероятности безотказной работы и минимизации стоимости системы. Для отыскания множества оптимальных по Парето решений в статье предлагается алгоритм метода ветвей и границ, модифицированный для использования в многокритериальной задаче. Результаты численных экспериментов, приведенные в статье, подтверждают работоспособность предлагаемого алгоритма.

Ключевые слова: надежность, резервирование, многокритериальная модель, оптимальность по Парето

METHOD OF BRANCH AND BOUND FOR MULTI-CRITERIA PROBLEM OF INCREASING THE RELIABILITY RESERVATION

[1]Lvovich Y.E., [2]Kashirina I.L.

[1]Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, e-mail: office@vivt.ru;
[2]Voronezh State University, Voronezh, e-mail: kash.irina@mail.ru

The article considers the problem of increase of reliability of reservation elements of complex technical systems. Each element, and therefore the considered system is generally characterized by three key parameters: the probability of non-failure operation, costs and the average uptime. Each element of system can reserve one of three methods, described in article. The mathematical optimization model of this task is received. Need of introduction of two target criteria is justified: maximize the probability of faultless work and minimizing the cost of the system. To find multiple Pareto optimal solutions in article the algorithm is developed of the method of branches and borders, modified to use the multicriteria problem. Results of numerical experiments are listed in the article, confirm the efficiency of the proposed algorithm.

Keywords: reliability, redundancy, multicriteria model, Pareto optimality

В работе рассматривается сложная техническая система, состоящая из n элементов. Каждый элемент, а значит, и система в целом характеризуется тремя основными параметрами: вероятностью безотказной работы, стоимостью и средним временем безотказной работы. Пусть p_j – вероятность безотказной работы j-го элемента, s_j – стоимость j-го элемента, t_j – среднее время безотказной работы j-го элемента, $j \in \{1, 2, ..., n\}$. В целях улучшения характеристик всей системы используют резервирование элементов. В промышленной автоматизации наибольшее распространение получили следующие методы резервирования: резервирование замещением «один из двух» (1oo2 – 1 out of 2) и метод мажоритарного голосования «два из трех» (2oo3) [1]. Системы без резервирования классифицируются как 1oo1.

Таблица 1

Зависимость параметров j-го элемента системы от способа резервирования

Критерий	1oo1	1oo2	2oo3
Вероятность безотказной работы	p_j	$2p_j - p_j^2$	$3p_j^2 - 2p_j^3$
Стоимость	s_j	$2G_j s_j$ $(G_j \geq \mathbf{1})$	$4s_j$
Среднее время работы до отказа	t_j	$\frac{3}{2}t_j$	$\frac{5}{6}t_j$

Через G_j обозначен коэффициент, увеличивающий стоимость схемы 1oo2, если для данного резервируемого элемента существует надежный блок переключения на резерв. В случае, если для каких-либо элементов такой блок отсутствует, для них вводится запрет на возможность быть зарезервированными методом 1oo2. Обозначим

множество номеров таких элементов через *I*. Имеется ограничение на среднее время безотказной работы резервируемой системы: оно должно быть не меньше заданного значения.

Задача состоит в выборе способа резервирования для каждого элемента системы, который позволил бы получать наибольшую возможную вероятность безотказной работы при наименьшей стоимости с учетом выполнения ограничения на среднее время безотказной работы системы. Математическая модель бикритериальной задачи оптимального резервирования имеет вид:

$$P_{total}(x) = \prod_{j=1}^{n} (p_j x_{1j} + (2p_j - {p_j}^2) x_{2j} + (3{p_j}^2 - 2{p_j}^3) x_{3j}) \to \max; \quad (1)$$

$$S_{total}(x) = \sum_{j=1}^{n} (s_j x_{1j} + 2Gs_j x_{2j} + 4s_j x_{3j}) \to \min; \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \left(\frac{1}{t_j} x_{1j} + \frac{2}{3t_j} x_{2j} + \frac{6}{5t_j} x_{3j} \right) \le \frac{1}{T_{\min}}; \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{3} x_{ij} = 1 \ \forall j \in \{1, 2, ..., n\}; \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \ \forall i \in \{1,2,3\} \quad \forall j \in \{1,2,...,n\}; \quad (5)$$

$$x_{2j} = 0 \ \forall j \in I. \quad (6)$$

Обозначения:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если элементу } j \text{ назначается способ резервирования } i; \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Здесь $i \in \{1, 2, 3\}$ – номер способа резервирования (соответственно *1oo1, 1oo2, 2oo3)*. P_{total} – вероятность работы без отказа всей системы, S_{total} – общая стоимость системы. T_{min} – минимальное среднее время работы до отказа всей системы. Ограничение (3) имеет соответствующий вид потому, что среднее время работы до отказа всей системы связано со средним временем наработки до отказа ее элементов следующим соотношением:

$$T_{\text{ср}} = \left(\sum_{j=1}^{n} \frac{1}{T_j} \right)^{-1}.$$

Отметим, что с целью получения более простой однокритериальной модели задачи можно было бы отказаться от целевой функции (2), добавив соответствующее ограничение на итоговую стоимость системы. Однако в данном случае существует несколько практических доводов в пользу рассмотрения именно бикритериальной модели. Во-первых, стоимость сложной технической системы является довольно высокой и может варьироваться в достаточно широких пределах. В связи с этим имеет смысл отыскания всего множества парето-оптимальных решений бикритериальной задачи (или хотя бы его представительной аппроксимации), чтобы получить представление о возможных диапазонах изменения стоимости и надежности и иметь возможность выбрать в итоге компромиссный вариант. Во-вторых, задача конструирования такого рода системы является технически сложной и содержит ряд трудноформализуемых требований (в частности, ограничение на габариты). Поэтому получение не одного, а сразу множества решений позволит выбрать из них наиболее приемлемое с конструкторской точки зрения.

Анализ задачи

Изучим более подробно, как влияет способ резервирования элементов на их характеристики. Рассмотрим, как влияет вариант резервирования *j*-й детали на вероятность ее безотказной работы (здесь и далее $j \in \{1, 2, ..., n\}$, если не оговорено другое). Пусть исходное значение этого параметра – p_j. Введем обозначения: $P_1(p_j) = p_j$, $P_2(p_j) = 2p_j - p_j^2$, $P_3(p_j) = 3p_j^2 - 2p_j^3$ – вероятность безотказной работы *j*-го элемента при способе резервирования 1oo1, 1oo2 и 2oo3 соответственно. Построим график зависимости получаемого значения вероятности безотказной работы при определенном виде резервирования от исходного значения этого показателя (рисунок). Вообще говоря, по свойству вероятности, $p_j \in [0, 1]$.

Однако, исходя из прикладного смысла задачи, можно полагать, что p_j достаточно близко к 1. Поэтому достаточно рассматривать случаи $p_j \in \left[\frac{1}{2};1\right]$ (точка $p_j = \frac{1}{2}$ является точкой пересечения графиков $P_1(p_j)$ и $P_3(p_j)$). Из графика видно, что в таком случае $P_2(p_j) \geq P_3(p_j) \geq P_1(p_j)$. Таким образом, наибольшую вероятность безотказной работы дает способ резервирования 1oo2. Однако следует помнить, что этот способ резервирования не всегда возможен, и тогда лучший показатель дает способ резервирования 2oo3.

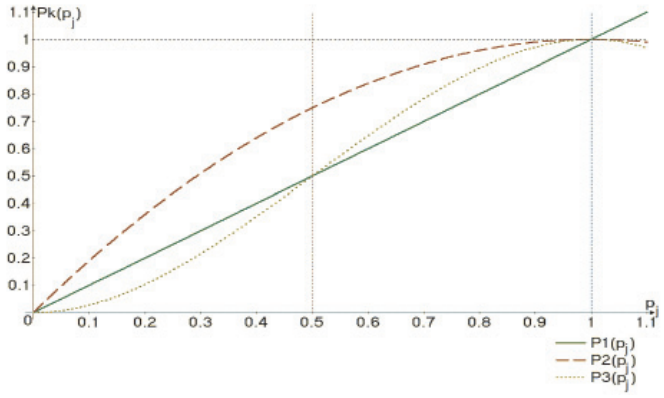


График зависимости получаемой в результате резервирования вероятности безотказной работы элемента от исходного значения данного параметра

По аналогии рассмотрим, как влияет способ резервирования на стоимость элемента. Пусть исходная цена j-го элемента – s_j. Обозначим $S_1(s_j) = s_j$, $S_2(s_j) = 2G_j s_j$, $S_3(s_j) = 4s_j$ – стоимость j-го элемента при применении к ним способа резервирования 1oo1, 1oo2 и 2oo3 соответственно. Так как $G_j \geq 1$, то самый лучший показатель в плане цены обеспечивается при способе резервирования 1oo1. Рассмотрим ограничение на среднее время работы системы до отказа. Пусть среднее время работы элемента до отказа равно t_j. Введем обозначения:

$$\tau_1(t_j) = \frac{1}{t_j};\ \tau_2(t_j) = \frac{2}{3t_j};$$

$$\tau_3(t_j) = \frac{6}{5t_j}.$$

Очевидно, что $\tau_3(t_j) > \tau_1(t_j) > \tau_2(t_j)$. Таким образом, значение $\tau_2(t_j)$ является самым малым, однако способ резервирования 1oo2 не всегда возможен. В этом случае самым малым будет значение $\tau_1(t_j)$. С учетом приведенных выше заключений будет строиться алгоритм метода ветвей и границ для решения данной задачи.

Метод ветвей и границ для решения задачи повышения надежности резервирования

Метод ветвей и границ основан на ветвлении, т.е. разбиении множества допустимых решений на подмножества и нахождении оценок, с помощью которых дерево поиска может усекаться, сокращая область поиска решений.

Ветвление. Пусть множество всех возможных решений (без учета ограничения на среднее время работы до отказа) – Ω. В данной задаче можно воспользоваться следующим правилом ветвления:

$$\Omega = \Omega_1 \bigcup \Omega_2 \bigcup \Omega_3,$$

где $\Omega_i = \{x \in \Omega: x_{ik} = 1, x_{jk} = 0$ для $j \neq i\}$, где $j, i \in \{1, 2, 3\}$, k – некоторый фиксированный номер координаты, $k \in \{1, 2, ..., n\}$. (Иначе говоря, Ω_i – это подмножество множества допустимых решений, в котором для резервирования элемента k выбран способ i). Затем рассматриваются полученные подмножества Ω_i и также разбиваются на основе значений очередной координаты вектора решения x. Если способ резервирования 1oo2 для соответствующего элемента невозможен, то полагается $\Omega_2 = \varnothing$, т.е. дальнейшее рассмотрение этого множества не требуется. Разбиение множества решений продолжается до тех пор, пока получившиеся подмножества содержат больше одного возможного решения. Если подмножество содержит одно возможное решение, то это решение подлежит проверке на включение в рекордное множество.

Построение множества рекордных решений. Пусть вектор $x_j = \begin{pmatrix} x_{1j} \\ x_{2j} \\ x_{3j} \end{pmatrix}$ – способ

резервирования, назначенный для *j*-го элемента. Тогда возможное решение представимо в виде

$$x = (x_1, x_2, ..., x_n) = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & ... & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & ... & x_{2n} \\ x_{31} & x_{32} & ... & x_{3n} \end{pmatrix};$$

$$x_j = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

если *j*-му элементу назначается способ резервирования 1оо1; $x_j = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$, если – 1оо2, $x_j = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$, если – 2оо3. Т.е. $\sum_{i=1}^{3} x_{ij} = 1 \ \forall j \in \{1, 2, ..., n\}$„ причем при $j \in \{1, 2, ..., n\}/I \ \forall i \in \{1,2,3\} \ x_{ij} \in \{0, 1\}$; при $j \in I$ только для $i \in \{1, 3\}$ $x_{ij} \in \{0, 1\}$, а $x_{2j} = 0$. Будем говорить, что решение $\tilde{x} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, ..., \tilde{x}_n)$ доминирует решение $\hat{x} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, ..., \hat{x}_n)$, и писать $\tilde{x} \succ \hat{x}$, если $\begin{cases} P_{total}(\tilde{x}) > P_{total}(\hat{x}) \\ S_{total}(\tilde{x}) \le S_{total}(\hat{x}) \end{cases}$ или $\begin{cases} P_{total}(\tilde{x}) \ge P_{total}(\hat{x}) \\ S_{total}(\tilde{x}) < S_{total}(\hat{x}) \end{cases}$. Если $\begin{cases} P_{total}(\tilde{x}) = P_{total}(\hat{x}) \\ S_{total}(\tilde{x}) = S_{total}(\hat{x}) \end{cases}$, то будем говорить, что решения $\tilde{x}$ и $\hat{x}$ равносильны, и писать $\tilde{x} \sim \hat{x}$. Если для решения $\tilde{x}$ из некоторого множества возможных решений $\tilde{\Omega}$ не существует возможных решений $\hat{x} \in \tilde{\Omega}$, таких что $\hat{x} \succ \tilde{x}$, то решение $\tilde{x}$ будем называть недоминируемым в множестве $\tilde{\Omega}$. Множество рекордных решений для данной задачи представляет собой совокупность таких решений, которые являются недоминируемыми в множестве всех рассмотренных на данный момент возможных решений. Рассмотрим подробно процесс формирования такого множества. Пусть на какой-то момент работы алгоритма имеется некоторое множество рекордных решений *R* и получено новое допустимое решение x^{new}, т.е. оно удовлетворяет ограничению на среднее время работы до отказа всей системы (в противном случае это решение не рассматривается). Если $\exists x \in R: \ x \succ x^{new}$, то решение x^{new} в рекордное множество не добавляется. Если же в *R* нет решений, доминирующих x^{new}, то x^{new} включается в множество *R*, причем из *R* убираются все решения, которые являются доминируемыми решением x^{new}. Следует отметить, что если $\exists x \in R: \ x \sim x^{new}$ и $x \ne x^{new}$ (т.е. $\exists k \in \{1,2,...,n\} \ \exists l \in \{1,2,3\}: \ x_{lk} \ne x^{new}_{lk}$), то x^{new} также включается в множество *R*.

Оценка подмножеств допустимых решений и сокращение дерева поиска. Пусть рассматривается узел дерева, соответствующий подмножеству решений, для которых первые *k* координат определены, т.е. подмножеству $\Omega_{curr} = \{x = (x_1, x_2, ..., x_n): \in \Omega \ \ x_1, x_2, ..., x_k$ – фиксированные векторы, $k \in \{1, 2, ..., n-1\}$ (отметим, что при $k = n$ множество Ω_{curr} состоит из одного решения и смысла в подсчете оценок в этом случае нет). Найдем минимальное значение левой части неравенства (9) для решений, входящих в Ω_{curr}. Введем обозначения:

$$\tau_{total} = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{1}{t_j} x_{1j} + \frac{2}{3t_j} x_{2j} + \frac{6}{5t_j} x_{3j} \right),$$

$$\tau_{curr}(x_1, x_2, ... x_k) = \sum_{j=1}^{k} \left(\frac{1}{t_j} x_{1j} + \frac{2}{3t_j} x_{2j} + \frac{6}{5t_j} x_{3j} \right),$$

$$\tau_{\max} = \frac{1}{T_{\min}}.$$

Тогда, исходя из приведенного выше анализа задачи, можно привести следующее равенство для искомого минимальное значения:

$$\tau^{\min}_{curr}(\Omega_{curr}) = \tau_{curr}(x_1, x_2, ..., x_k) + \sum_{j=k+1}^{n} \tau^{\min}_{j}(t_j),$$

где $\tau^{\min}_{j}(t_j) = \begin{cases} \tau_2(t_j), & \text{если} \quad j \notin I \\ \tau_1(t_j), & \text{если} \quad j \in I \end{cases}$.

Таким образом, если $\tau^{\min}_{curr} > \tau_{\max}$, то данный узел далее ветвить не имеет смысла, т.к. $\forall x \in \Omega_{curr} \ \tau_{total}(x) > \tau_{\max}$, т.е. ограничение на среднее время работы системы до отказа не выполняется для любого решения из рассматриваемого подмножества. Если же $\tau^{\min}_{curr} \le \tau_{\max}$, то в Ω_{curr} содержатся элементы, которые имеют шанс войти в множество рекордных решений. В этом случае имеет смысл найти еще несколько оценок, с помощью которых также имеется вероятность сократить дерево поиска. Пусть

$$P_{curr}(x_1, x_2, ..x_k) = \prod_{j=1}^{k} (p_j x_{1j} + (2p_j - p_j^2) x_{2j} + (3p_j^2 - 2p_j^3) x_{3j}).$$

Тогда можно найти значение вероятности безотказной работы, выше которого элементы рассматриваемого подмножества решений обеспечивать не могут. Это значение можно определить следующей формулой:

$$P_{curr}^{\max}(\Omega_{curr}) = P_{curr}(x_1, x_2, ..., x_k) \cdot \prod_{j=k+1}^{n} P_j^{\max}(p_j),$$

где $P_j^{\max}(p_j) = \begin{cases} P_2(p_j), & \text{если } j \notin I \\ P_3(p_j), & \text{если } j \in I \end{cases}$.

Значение стоимости системы, ниже которого решения из рассматриваемого подмножества обеспечить не могут, можно найти по следующей формуле:

$$S_{curr}^{\min}(\Omega_{curr}) = S_{curr}(x_1, x_2, ..., x_k) + \sum_{j=k+1}^{n} S_j^{\min}(s_j),$$

где

$$S_{curr}(x_1, x_2, ..x_k) = \sum_{j=1}^{k} (S_j x_{1j} + 2S_j G_j x_{2j} + 4S_j x_{3j}),$$

$S_j^{\min}(s_j) = S_1(s_j)$. Таким образом, $\forall x \in \Omega_{curr}\ P_{total}(x) \le P_{curr}^{\max}(\Omega_{curr})$ и $S_{total}(x) \ge S_{curr}^{\min}(\Omega_{curr})$. Полученные оценки дают шанс сократить дерево поиска. Если на рассматриваемый момент в множестве рекордных решений R находится такое решение x, что $\begin{cases} P_{curr}^{\max}(\Omega_{curr}) < P_{total}(x) \\ S_{curr}^{\min}(\Omega_{curr}) > S_{total}(x) \end{cases}$, то текущее подмножество возможных решений можно не рассматривать, так как любые элементы данного подмножества будут доминироваться решением x, то есть ни одно из них не сможет попасть в множество рекордных решений.

Алгоритм метода ветвей и границ для задачи повышения надежности резервирования

1. Инициализация. Положить $\Omega_{curr} = \varnothing$, $R = \varnothing$, $k = 0$.

2. $k := k + 1$.

3. Разбиение множества решений на подмножества по координате x_k.

$$\Omega_{curr}^{k-1} = \Omega_{curr1}^{k} \bigcup \Omega_{curr2}^{k} \bigcup \Omega_{curr3}^{k}.$$

Если $k \in I$, то $\Omega_{curr2}^{k} = \varnothing$.

4. Для $d = 1, 2, 3$, если $\Omega_{currd}^{k} \neq \varnothing$, то

а) вычислить $\tau_{curr}^{\min}(\Omega_{curr\,d}^{k})$. Если $\tau_{curr}^{\min}(\Omega_{curr\,d}^{k}) > \tau_{\max}$, то перейти к следующему значению d, иначе перейти к шагу *б*.

б) вычислить $P_{curr}^{\max}(\Omega_{curr\,d}^{k})$ и $S_{curr}^{\min}(\Omega_{curr\,d}^{k})$.

Если $\exists x \in R$: $\begin{cases} P_{curr}^{\max}(\Omega_{curr}) < P_{total}(x) \\ S_{curr}^{\min}(\Omega_{curr}) > S_{total}(x) \end{cases}$, то перейти к следующему значению d, иначе перейти к шагу *в*.

в) если $k \neq n$, то перейти рекурсивно к шагу 3, иначе осуществить проверку включения полученного допустимого решения (при $k = n$ множество Ω_{currd}^{k} состоит из одного элемента) в множество рекордных решений.

Стратегия обхода дерева вариантов

В процессе разработки описываемый алгоритм метода ветвей и границ был многократно протестирован с применением предварительного упорядочивания элементов по убыванию коэффициентов, вычисляемых на основе характеристик p_j, s_j и t_j с целью определения наилучшего порядка перебора координат при ветвлении, то есть выбора стратегии обхода дерева вариантов. Коэффициенты целевых функций и ограничений определялись с помощью рандомизированной процедуры, рассматривались системы, содержащие от 20 до 50 элементов с возможностью резервирования. В табл. 2 приведен фрагмент результатов такого тестирования. Видно, что упорядочивание элементов по убыванию коэффициента s_j/p_j дает самые хорошие результаты, с помощью него время работы алгоритма сокращается в несколько раз. Таким образом, предварительное упорядочивание элементов по убыванию коэффициента s_j/p_j и последующее ветвление дерева вариантов в соответствии с полученной очередностью является мощным способом увеличения скорости поиска решения задачи повышения надежности резервирования с помощью предложенного метода ветвей и границ.

Список литературы

1. ГОСТ Р МЭК 61508-7-2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 7. Методы и средства.

2. Каширина И.Л., Львович Я.Е., Тузиков А.А. Нейросетевое резервирование дублированных измерений параметров при наземных огневых испытаниях жидкостных ракетных двигателей // Информационные технологии. – 2011. – № 9. – С. 74–78.

3. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. – Воронеж: ИД «Кварта», 2006. – 428 с.

4. Львович Я.Е., Каширина И.Л., Тузиков А.А. Генетический алгоритм решения многокритериальной задачи повышения надежности резервирования// Информационные технологии. – 2012. – № 6. – С. 56–60.

5. Львович И.Я., Тузиков А.А. Модель выбора вариантов резервирования в системе управления стендовыми испытаниями // Вестник ВГТУ. – 2011. – т.7, № 10. – С. 47–50.

Таблица 2

Зависимость времени выполнения (в мс) алгоритма от способа предварительной сортировки элементов

Коэффициент	Номер теста													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Без упорядочивания	11770	672	131	1344	1547	3940	868	1658	1816	1136	2014	3754	2993	496
t_j	4351	918	380	6558	2021	2042	547	666	2544	1236	7941	1173	5334	762
s_j	629	380	288	459	576	755	526	676	463	449	568	440	648	912
p_j	44567	2888	598	8537	3889	6521	4445	4675	9426	5599	17241	10321	6430	2896
$1/p_j$	714	443	134	437	268	478	579	246	315	410	506	206	426	418
s_j/p_j	256	118	72	141	115	314	143	157	184	150	216	149	275	231

References

1. GOST R MEK 61508-7-2007. Funktsionalnaya bezopasnost sistem elektricheskih, elektronnyih, programmiruemyih elektronnyih, svyazannyih s bezopasnostyu. Chast 7. Metodyi i sredstva.

2. Kashirina I.L., Lvovich Ya.E., Tuzikov A.A. Neyrosetevoe rezervirovanie dublirovannyih izmereniy parametrov pri nazemnyih ognevyih ispyitaniyah zhidkostnyih raketnyih dvigateley. Informatsionnyie tehnologii. 2011. no. 9. pp. 74–78.

3. Lvovich Ya.E. Mnogoalternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya. Voronezh: ID «Kvarta», 2006. 428 p.

4. Lvovich Ya.E., Kashirina I.L., Tuzikov A.A. Genetich-eskiy algoritm resheniya mnogokriterialnoy zadachi povyisheniya nadezhnosti rezervirovaniya. Informatsionnyie tehnologii. 2012. no. 6. pp. 56–60.

5. Lvovich I.Ya., Tuzikov A.A. Model vyibora variantov rezervirovaniya v sisteme upravleniya stendovyimi ispyitaniyami. Vestnik VGTU. 2011. Vol.7, no. 10. pp. 47–50.

Рецензенты:

Азарнова Т.В., д.т.н., профессор, Воронежский государственный университет, г. Воронеж;

Чопоров О.Н. д.т.н., профессор, проректор по научной работе Воронежского института высоких технологий, г. Воронеж.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 004.4:519.6

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

Матвеев А.Г., Якубайлик О.Э.

Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, Красноярск, e-mail: oleg@icm.krasn.ru

Рассматривается программно-технологическое обеспечение для интеграции компонентов геопорталов – сложных многозвенных веб-систем, ориентированных на обработку и представление пространственных данных. В представленном кратком историческом обзоре показано, что исследования в этом направлении ведутся уже около 15 лет; в них в том числе вовлечены крупные компании – разработчики программного обеспечения ГИС. Разработанное авторами программное обеспечение для интеграции веб-приложений с геопорталом системы управления пространственными данными (библиотека интеграции) предоставляет средства сквозной аутентификации и авторизации пользователей, связанные с ними компоненты пользовательского интерфейса, а также набор программных интерфейсов для доступа к каталогу ресурсов из клиентского веб-приложения. В статье представлено описание логического уровня библиотеки, ее состава и функций. Библиотека интеграции представляет собой совокупность следующих блоков: настройка компонентов системы, программные интерфейсы (API) каталога ресурсов, средства аутентификации и авторизации пользователей, набор компонентов интерфейса пользователя. Обсуждаются особенности реализации – Cookie-файлы, используемые криптографические алгоритмы, логика работы интерактивных элементов на веб-странице и проч. Также рассматриваются основные автоматизируемые бизнес-процессы. В частности, представлены подробности организации процесса аутентификации при первоначальном входе пользователя в систему и после нее. Перечислены внедренные прикладные геоинформационные веб-системы, реализация которых была выполнена с использованием рассматриваемой библиотеки.

Ключевые слова: веб-приложение, геопортал, веб-ГИС, пространственные данные, картографические сервисы

DESIGN AND DEVELOPMENT OF SOFTWARE AND TECHNOLOGIES FOR GEOSPATIAL WEB APPLICATIONS

Matveev A.G., Yakubailik O.E.

Institute of Computational Modeling, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, e-mail: oleg@icm.krasn.ru

We consider software and technologies for the integration of geoportal components. Geoportal is a complex multi-tier web-based system, focused on the processing and presentation of spatial data. In the presented brief historical review it is shown that research in this area has been going on for about 15 years. Large companies that are the developers of GIS software also involved in these studies. Developed library is designed for integration of components of web-based applications with a geoportal of spatial data management system (integration library). It provide tools for authentication and authorization of users, associated user interface components, and a set of APIs to access the directory of resources from the client software part. The paper describes the logic level of the library, its content and functions. Integration Library is a collection of the following blocks: system settings components, application programming interfaces for resource directory management, user authentication and authorization tools, graphical user interface components. The features of the implementation are discussed, such as Cookie-files, used cryptographic algorithms, the behavior of the interactive elements on a web page, etc. Main automated business processes are described also. In particular, the details the authentication processes organization are provided for the initial user logon case and after it. Geospatial web-based applications are listed, the implementation of which was done with the considered library.

Keywords: web application, geoportal, web mapping, spatial data, cartographic services

Первым картографическим веб-приложением считают созданную в 1993 году программу Map Viewer Исследовательского центра Пало-Альто компании Xerox (PARC), которая позволяла пользователям в интерактивном режиме отправлять запросы из браузера к серверу и получать фрагменты карт в графическом формате GIF. Именно это приложение и его функциональная концепция стало родоначальником большинства более поздних версий картографических веб-систем. Где-то с 1998 года в процесс создания систем указанного класса включились крупные компании – производители программного обеспечения ГИС: ESRI, Intergraph, MapInfo и другие берутся за разработку приложений для веб-картографии. С этого же момента времени начинает свою историю наиболее успешный из некоммерческих проектов с открытым исходным кодом – MapServer, разработка которого стартовала в Университете штата Миннесота. В последующие годы идет интенсивное формирование рынка программного обеспечения веб-картографии; темпы его развития не снижаются и в настоящее время. Возникают многочисленные разработки – от простых интерактивных средств визуализации заранее подготовленных карт в веб-браузере до сложных распределенных

систем обработки корпоративной геопространственной информации [7, 8].

В контексте отмеченных выше тенденций в ИВМ СО РАН на протяжении нескольких последних лет ведутся исследования, посвященные проектированию и разработке математического и информационно-вычислительного обеспечения для распределенных геоинформационных аналитических систем на основе веб-технологий. Результатом этих работ стал комплекс программно-технологических решений для построения прикладных геоинформационных веб-систем (геопорталов) – система управления пространственными данными (СУПД) и связанный с ней программный инструментарий [2, 4].

В настоящей статье рассмотрим структуру и функции библиотеки интеграции веб-приложений в геопортал СУПД, некоторые особенности ее реализации.

Библиотека интеграции веб-приложений

Центральным звеном СУПД с точки зрения доступа пользователей к ее функциональным модулям является геопортал, представляющий собой веб-сайт (Интернет-портал). Функциональными модулями в данном случае являются различные веб-сервисы и веб-приложения, предоставляющие средства для работы с пространственными данными, зарегистрированными в каталоге ресурсов системы. Поскольку архитектура СУПД была разработана с расчетом на гибкое расширение функциональных возможностей, в состав системы могут быть внедрены совершенно различные функциональные модули, которые могут быть разработаны с применением самых разнообразных систем и средств [1, 3].

Для упрощения процесса внедрения веб-приложений (созданных на языке PHP) в геопортал СУПД была разработана библиотека интеграции веб-приложений, предоставляющая разработчикам набор средств для объединения логики разработанных приложений с предоставляемыми системой функциями аутентификации, авторизации, работы с каталогом ресурсов и т.д. Кроме того, библиотека предоставляет средства визуального оформления некоторых элементов пользовательского интерфейса [5].

Описание логического уровня библиотеки

Логическая структура библиотеки представляет собой совокупность следующих функциональных блоков.

● *Общие настройки компонентов системы*

Наличие общих настроек, которые используются во всех подключаемых к системе веб-приложениях, исключает дублирование одинакового типа и облегчает смену параметров, а также перенос и развёртывание всего программного комплекса на другом сервере.

● *Библиотеки клиентского API каталога ресурсов*

Хранение актуальной версии клиентской библиотеки доступа к каталогу ресурсов посредством SOAP для веб-приложений в одном месте также позволяет осуществлять своевременные обновления функционала и облегчает перенос и развёртывание системы на другом веб-сервере.

● *Средства аутентификации и авторизации пользователей*

Реализация сквозной аутентификации и авторизации во всех компонентах системы являлась одним из основных требований при разработке библиотеки, поскольку отсутствие подобного функционала затрудняет работу пользователей, вынуждая их вводить учётные данные при переходе от одного веб-приложения к другому. Созданные средства на данный момент позволяют осуществлять аутентификацию и авторизацию пользователей на основе пользовательских сессий PHP и на основе Cookie-файлов. При выборе методики разработчики должны опираться на архитектуру размещения веб-приложений, входящих в состав системы. Если все веб-приложения располагаются на одном веб-сервере, то использование Cookie-файлов является необязательным. При расположении на разных веб-серверах применение Cookie является необходимостью.

● *Общие компоненты пользовательского интерфейса*

Поддержка визуальной целостности пользовательских интерфейсов веб-приложений, интегрируемых в систему, и обеспечение пользователей средствами навигации по компонентам системы также являлись важными задачами при разработке библиотеки. Для этой цели был создан класс `GPTemplate`, содержащий основные функции и методы формирования общих компонентов пользовательского интерфейса, а также их интеграции в веб-приложение.

Описание состава и функций библиотеки

● *Общие настройки компонентов системы*

В число общих настроек входят: корневой URL системы, заголовок (название) системы, данные гостевой учётной записи, адрес страницы входа в систему, адрес доступа к сервису каталога ресурсов.

● *Компоненты пользовательского интерфейса*

Библиотека обеспечивает пользователей средствами базовой навигации по основным разделам геопортала. В текущей версии подобные компоненты интерфейса представляют собой набор из двух горизонтальных блоков, расположенных в верхней («шапка») и нижней части («подвал») веб-страницы приложения.

Верхний блок содержит следующие компоненты: логотип (заголовок) текущей реализации системы, являющийся ссылкой на главную страницу, многоуровневое главное меню по основным разделам системы, область для частных элементов интерфейса, которую могут использовать разработчики веб-приложений, кнопка входа в систему или имя пользователя, под которым осуществлён вход, и кнопку выхода.

Блок, расположенный в нижней части страницы, традиционно содержит полное название системы, информацию об авторских правах, ссылки на сайты разработчиков, описание проекта и т.д.

● *Средства аутентификации и авторизации пользователей*

Для осуществления аутентификации и авторизации пользователей был создан набор средств, включающих в себя:

○ Класс GPAuth, предоставляющий основные функции входа в систему, проверки прав доступа и т.д.;

○ Класс GPCookie, предназначенный для осуществления работы с файлами Cookie;

○ Страница входа в систему, на которую перенаправляются пользователи, желающие осуществить первичный вход в систему в текущем сеансе.

Постоянная информация, которую содержат Cookie-файлы, включает помимо всего прочего данные о текущей версии структуры Cookie. Данное решение принято для поддержки дальнейших возможных изменений формата хранимых данных.

Для осуществления безопасной работы и пресечения попыток взлома системы все данные, хранимые в Cookie-файлах, подвергаются шифрованию. В текущей версии библиотеки используется криптографический алгоритм blowfish, реализующий блочное симметричное шифрование. При желании данный метод можно изменить на любой другой, поддерживаемый расширением PHP mcrypt.

Страница входа в систему состоит из одного раздела, содержащего форму из двух текстовых полей для ввода логина и пароля пользователя и кнопки «Войти», осуществляющей отправку данных. В случае неудачного ввода данных страница выдает сообщения об ошибке.

Основные бизнес-процессы библиотеки интеграции веб-приложений

Основными бизнес-процессами, которые автоматизирует библиотека интеграции веб-приложений, являются процессы сквозной аутентификации пользователей. Существует два типа подобных процессов: при первоначальном входе пользователя в систему и после первоначального входа.

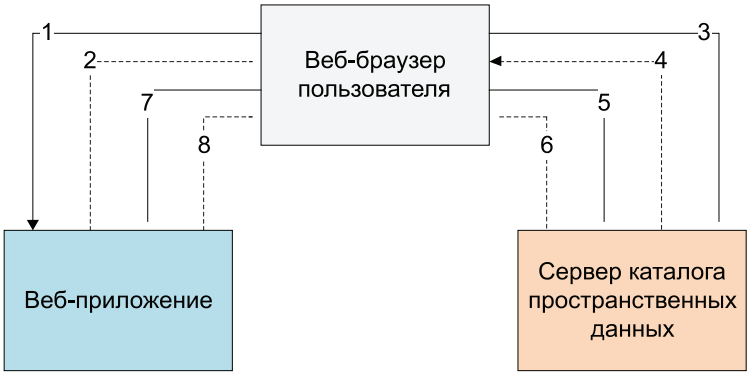


Рис. 1. Последовательность запросов при первоначальной аутентификации

На рис. 1 изображена логическая схема, соответствующая первому типу процесса аутентификации. При входе в систему пользователь должен пройти следующие этапы:

1. Пользователь, используя веб-браузер, отправляет запрос веб-приложению.

2. Сценарий веб-приложения, используя библиотеку интеграции, обнаруживает, что пользователь не аутентифицирован и не авторизован (у пользователя либо отсутствует достоверный Cookie-файл, либо отсутствует необходимый набор данных в PHP-сессии). Посредством функций библиотеки сценарий веб-приложения перенаправляет пользователя на страницу входа в систему, расположенную на сервере каталога пространственных данных, указывая в данном запросе зашифрованный адрес

страницы, на которую пытался зайти пользователь (для осуществления автоматической переадресации на данную страницу в случае успешной аутентификации).

3. Веб-браузер пользователя запрашивает страницу входа в систему, расположенную на сервере каталога пространственных данных.

4. В веб-браузере отображается страница, содержащая форму ввода логина и пароля.

5. Пользователь вводит необходимые данные своей учётной записи, которые отправляются на сервер каталога пространственных данных.

6. Сервер аутентификации обрабатывает запрос и в случае успеха создаёт сеанс работы пользователя с сервисом каталога ресурсов, после чего перенаправляет пользователя на страницу, на которую изначально осуществлялся вход. В случае использования Cookie-файлов, сервер также отправляет в веб-браузер пользователя зашифрованный файл Cookie с идентификатором сеанса каталога ресурсов и необходимой аутентификационной информацией. Если Cookie-файлы не используются, то информация заносится в PHP-сессию пользователя.

7. Веб-браузер пользователя осуществляет повторный запрос первоначальной страницы веб-приложения.

8. Сценарий веб-приложения проверяет достоверность информации в Cookie-файле или сеансе пользователя и допускает пользователя к работе с приложением.

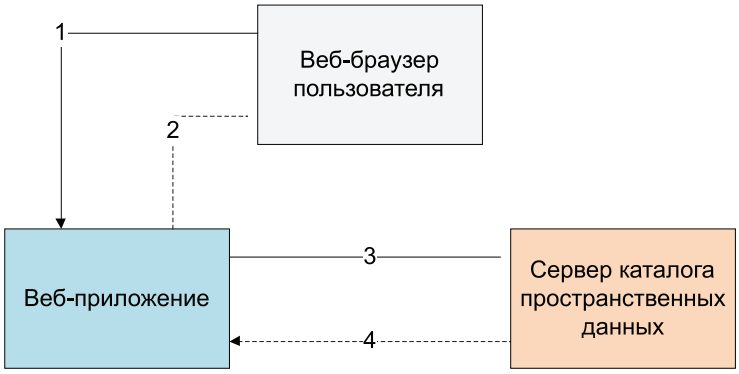


Рис. 2. Последовательность запросов после первоначальной аутентификации

При последующей работе пользователя с веб-приложением используется более короткая схема работы, изображённая на рис. 2.

1. Пользователь, используя веб-браузер, отправляет запрос веб-приложению.

2. Сценарий веб-приложения, используя библиотеку интеграции, определяет идентификатор пользовательской сессии в сервисе каталога пространственных данных.

3. Посредством прикладного программного интерфейса веб-сервиса каталога пространственных данных сценарий веб-приложения обращается к сервису с попыткой возобновить сеанс пользователя.

4. Если сеанс существует, то сервер каталога отправляет ответ веб-приложению с отметкой о существовании. Если сеанс устарел, то производится попытка автоматической аутентификации с использованием данных в Cookie-файле или PHP-сессии и создания нового сеанса пользователя. Если аутентификационная информация неверна, и создать сеанс не получается, включается алгоритм первоначального входа, начиная с пункта 2.

Заключение

Разработанное программно-технологическое обеспечение для интеграции веб-приложений в геопортал системы управления пространственными данными стало одним из системообразующих компонентов для ряда разработанных и внедренных прикладных систем, в том числе –

- Геопортал ИВМ СО РАН.
- «Банк пространственных данных Красноярского края» – информационно-аналитическая система межведомственного взаимодействия, поддержку которой осуществляет Министерство информатизации и связи Красноярского края.
- «Геоинформационная система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края» [6].

В каждой из упомянутых разработок стояла задача обеспечения сквозной

авторизации пользователей, интеграции отдельных подсистем и специализированных сервисов –

● Веб-приложение для визуализации каталога пространственных данных.

● Подсистема администрирования данными каталога ресурсов, предназначенная для регистрации информационных ресурсов, управления их метаданными и классификацией.

● Подсистема картографической визуализации посредством веб-интерфейса.

● Средства информационного взаимодействия пользователей геопортала.

● Служебные, прикладные и картографические веб-сервисы.

Внедрение рассматриваемой технологии интеграции компонентов многозвенных систем обеспечивает существенное сокращение сроков их разработки.

Список литературы

1. Ерунова М.Г. Геоинформационное обеспечение задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий / М.Г. Ерунова, А.А. Гостева, О.Э. Якубайлик // Журнал СФУ. Серия: Техника и технологии. – 2008. – Т. 1, № 4. – С. 366–376.

2. Матвеев А.Г. Разработка веб-приложения для обработки и представления пространственных метаданных геопортала / А.Г. Матвеев, О.Э. Якубайлик // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 2 (42). – С. 48–54.

3. Попов В.Г. Разработка модели геоинформационной аналитической Интернет-системы для задач мониторинга и анализа состояния региона / В.Г. Попов, О.Э. Якубайлик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Т. 17. – С. 39-44.

4. Токарев А.В. Каталог ресурсов для ГИС мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли / А.В. Токарев, О.Э. Якубайлик // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – Т. 18. – С. 215–219.

5. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов / А.А. Кадочников, В.Г. Попов, А.А. Токарев, О.Э. Якубайлик // Журнал СФУ. Серия: Техника и технологии. – 2008. – Т. 1, № 4. – С. 377–386.

6. Якубайлик О.Э. Геоинформационная Интернет-система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник СибГАУ. – 2010. – Вып. 1 (27). – С. 40-45.

7. Якубайлик О.Э. Проблемы формирования информационно-вычислительного обеспечения систем экологического мониторинга // Вестник СибГАУ. – 2012. – Вып. 3 (43). – С. 96–102.

8. Якубайлик О.Э. Технологии для геоинформационных Интернет-систем / О.Э. Якубайлик, В.Г. Попов // Вычислительные технологии. – 2009. – Т. 14, № 6. – С. 116–126.

References

1. Erunova M.G., Gosteva A.A., Yakubailik O.E. Zhurnal SFU. Serija: Tehnika i tehnologii – Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies, 2008, v. 1, no. 4, pp. 366–376.

2. Matveev A.G., Yakubailik O.E. Vestnik SibGAU – Siberian State Aerospace University Scientific Journal, 2012, no. 2(42), pp. 48–54.

3. Popov V.G., Yakubailik O.E. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' – Mining information-analytical bulletin, 2009, no. 17, pp. 39–44.

4. Tokarev A.V., Yakubailik O.E. Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' – Mining information-analytical bulletin, 2009, no. 18, pp. 215–219.

5. Kadochnikov A.A., Popov V.G., Tokarev A.V., Yakubailik O.E. Zhurnal SFU. Serija: Tehnika i tehnologii – Journal of Siberian Federal University. Engineering and Technologies, 2008, v. 1, no. 4, pp. 377–386.

6. Yakubailik O.E. Vestnik SibGAU – Siberian State Aerospace University Scientific Journal, 2010, no. 1(27), pp. 40–45.

7. Yakubailik O.E. Vestnik SibGAU – Siberian State Aerospace University Scientific Journal, 2012, no. 3(43), pp. 96–102.

8. Yakubailik O.E., Popov V.G. Vychislitel'nye tehnologii – Computational Technologies, 2009, v. 14, no. 6, pp. 116–126.

Рецензенты:

Садовский М.Г., д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник ИВМ СО РАН, г. Красноярск;

Заворуев В.В., д.б.н., профессор Сибирского федерального университета, г. Красноярск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.313.12

РАСЧЕТ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ РЕЛЬСОТРОНОВ

Носов Г.В., Лусс А.А.

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: nosov@tpu.ru

Предложена методика расчета внешнего магнитного поля рельсотронов, позволяющая определять механическое давление и силу, действующие на шины, магнитный поток и индуктивность, а также ускоряющую электромагнитную силу и магнитные индукции на поверхности шин и вокруг их. Разработанная методика получена на основе уравнений магнитных цепей, которые могут программироваться в среде Mathcad для автоматизированного инженерного расчета внешнего магнитного поля рельсотронов. Для внешнего магнитного поля рельсотронов наибольшие значения индуктивности, механического давления и сил, а также магнитных индукций при одинаковом токе соответствуют наименьшим размерам шин по сравнению с расстоянием между ними. Достоверность методики подтверждается удовлетворительным совпадением результатов расчета индуктивности внешнего магнитного поля с индуктивностями, полученными при помощи программы компьютерного моделирования Elcut при существенном поверхностном эффекте в шинах.

Ключевые слова: рельсотрон, шина, импульсный ток, магнитный поток, индуктивность, механическое давление, сила

CALCULATION OF EXTERNAL MAGNETIC FIELD OF RAILGUNS

Nosov G.V., Luss A.A.

Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: nosov@tpu.ru

Method of calculation of the external magnetic field railguns proposed, allowing to determine the mechanical pressure and the force, acting on the tire, the magnetic flux and inductance, as well as accelerating electromagnetic force and magnetic inductions on the surface and around the tires. The developed method obtained on the basis the equations of magnetic circuits, which can be programmed in Mathcad for automated engineering calculation of external magnetic field railguns. For an external magnetic field the railguns highest values of inductance, mechanical pressure and forces, as well as the magnetic inductions at the same current correspond to the smallest sizes of tires compared to the distance between them. The accuracy of the method is confirmed by a satisfactory agreement between the calculations of inductance of the external magnetic field with the inductances, obtained by computer simulation program Elcut at essential surface effect in the tires.

Keywords: railgun, tire, pulse current, magnetic flux, inductance, mechanical pressure, force

Рельсотрон является электромеханической установкой, преобразующей электромагнитную энергию импульса тока $i(t)$ в механическую энергию ускоряемого тела. В настоящее время в космической технике и научных исследованиях рельсотроны рассматриваются как перспективные электромагнитные ускорители тел массой m = 0,001..1 кг до скоростей $v(t)$, достигающих 10 км/с [1, 2, 4, 7]. Рельсотрон состоит из двух параллельных металлических монолитных рельсов (шин), между которыми движется ускоряемое тело (рис. 1). При протекании тока по рельсам и телу за счет электромагнитной силы F тело ускоряется и может достичь скоростей, значительно превышающих скорость 1,8 км/с, которая является максимальной для ускорителей, использующих газодинамическое давление продуктов сгорания пороха. Внешнее относительно шин магнитное поле рельсотрона при импульсном токе в значительной степени определяет ускоряющую электромагнитную силу, механическое давление магнитного поля, действующее на шины, магнитный поток и индуктивность, а также магнитные индукции на поверхности шин и вокруг их. Поэтому расчет внешнего магнитного поля рельсотрона представляется актуальной задачей.

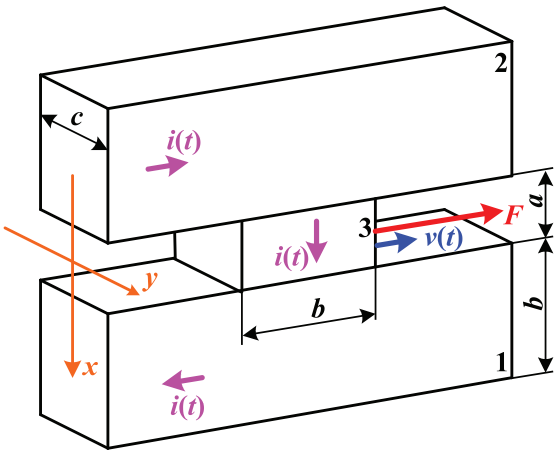


Рис. 1. Принципиальная схема рельсотрона: 1, 2 – одинаковые металлические монолитные шины; 3 – ускоряемое металлическое тело массой m; v(t) – скорость тела; F – ускоряющая тело электромагнитная сила; i(t) – электрический ток; a, b, c, – размеры ускоряемого тела и шин рельсотрона; x, y – оси прямоугольной системы координат

Методика расчета

Для исследования внешнего магнитного поля рельсотрона будем использовать уравнения магнитных цепей [6] и расчетную схему (рис. 2), представленную в силу симметрии для одной шины. При этом предположим, что длительность импульса тока $i(t)$ достаточно мала и электромагнитное поле проникает в шины рельсотрона на незначительную глубину и этим полем в шинах можно пренебречь.

На 1 (м) длины рельсотрона для индукций B_1, B_2, B_3 запишем длины участков λ_1, $\lambda_2(\beta)$, $\lambda_3(\beta)$ и площади их поперечных сечений S_1, $S_2(\beta)$, $S_3(\beta)$ соответственно (рис. 2):

$$\lambda_1 = c;$$

$$\lambda_2(\beta) = \frac{\pi a}{4} + \sqrt{\frac{a^2(2-\beta)^2}{4\beta^2} + 4b^2} \qquad (1)$$

$$\lambda_3(\beta) = c + \frac{\pi a}{2\beta};$$

$$S_1 = \frac{a}{2};$$

$$S_2(\beta) \approx \frac{a(62-\beta)}{60\beta} + \frac{b(\beta-2)}{15\beta}; \qquad (2)$$

$$S_3(\beta) = \frac{a}{\beta},$$

тогда магнитные сопротивления этих участков будут равны [6]:

$$R_{M1} = \frac{\lambda_1}{\mu_{01} S};$$

$$R_{M2}(\beta) = \frac{\lambda_2(\beta)}{\mu_{02} S(\beta)}; \qquad (3)$$

$$R_{M3}(\beta) = \frac{\lambda_3(\beta)}{\mu_{03} S(\beta)}.$$

В результате магнитный поток на 1 (м) длины рельсотрона, замыкающийся вокруг одной шины, составит [6]:

$$\Phi(\beta) = \frac{i(t)}{R_{M1} + R_{M2}(\beta) + R_{M3}(\beta)}, \qquad (4)$$

причем в объемах пространства внешнего магнитного поля одной шины

$$V(\beta) = \lambda_1 S_1 + \lambda_2(\beta) S_2(\beta) + \lambda_3(\beta) S_3(\beta);$$
$$V_{23}(\beta) = \lambda_2(\beta) S_2(\beta) + \lambda_3(\beta) S_3(\beta) \qquad (5)$$

запасаются соответственно энергии (Дж/м):

$$W(\beta) = 0{,}5\Phi(\beta)^2 \left[R_{M1} + R_{M2}(\beta) + R_{M3}(\beta) \right];$$
$$W_{23}(\beta) = 0{,}5\Phi(\beta)^2 \left[R_{M2}(\beta) + R_{M3}(\beta) \right]. \qquad (6)$$

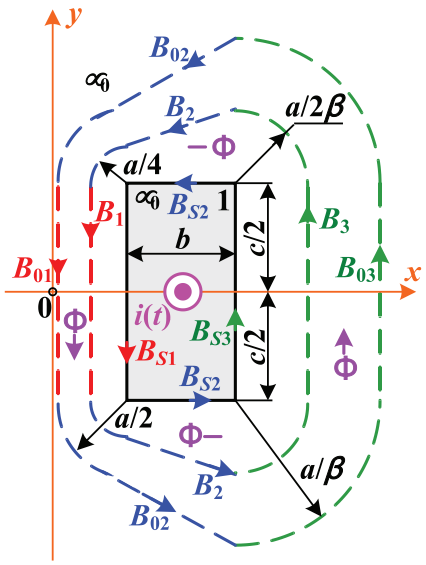


Рис. 2. Расчетная схема внешнего магнитного поля рельсотрона: 1 – шина с током i(t), направленным «к нам»; B_1, B_2, B_3 – средние магнитные индукции; B_{S1}, B_{S2}, B_{S3} – магнитные индукции на поверхности шины; B_{01}, B_{02}, B_{03} – магнитные индукции на границах внешнего магнитного поля; Ф – магнитный поток; β – расчетный безразмерный геометрический параметр; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная проницаемость материала шин и пространства вокруг них

Введем безразмерную функцию, характеризующую удельную энергию магнитного поля в пространстве между шинами и зависящую от взаимного соотношения размеров a, b, c и параметра β:

$$w(\beta) = \frac{ac}{2\mu_0 i(t)} \left[\frac{W(\beta)}{V(\beta)} - \frac{W_{23}(\beta)}{V_{23}(\beta)} \right]. \qquad (7)$$

На рис. 3 приведен характерный график функции (7), имеющий максимальное значение w_m при параметре $\beta = \beta_m$.

Очевидно, что для внешнего магнитного поля параметр β может изменяться от $0 \approx 0{,}001$ (бесконечно далекое расстояние до шин) до β_m (наиболее вероятная величина), тогда усредненные значения с учетом (1, 2, 4) составят:

$$\lambda_2 = \frac{1}{\beta_m} \int_{0{,}001}^{\beta_m} \lambda_2(\beta) d\beta;$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{\beta_m} \int_{0{,}001}^{\beta_m} \lambda_3(\beta) d\beta; \qquad (8)$$

$$S_2=\frac{1}{\beta_m}\int_{0,001}^{\beta_m} S_2(\beta)d\beta;$$

$$S_3=\frac{1}{\beta_m}\int_{0,001}^{\beta_m} S_3(\beta)d\beta; \qquad (9)$$

$$\Phi=\frac{1}{\beta_m}\int_{0}^{\beta_m} \Phi(\beta)d\beta.$$

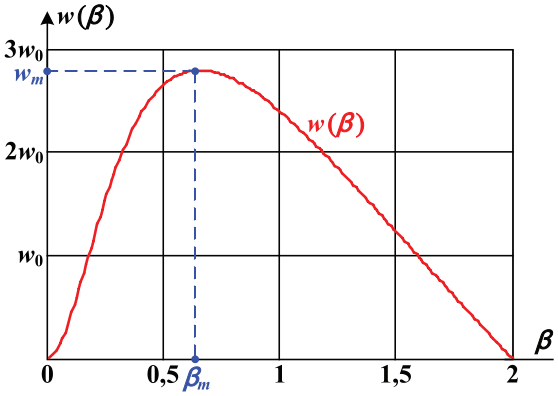


Рис. 3. Характерный график безразмерной функции w(β)

В результате, согласно (2, 9), определяем индуктивность внешнего магнитного поля рельсотрона (Гн/м)

$$L_1=\frac{2\Phi}{i(t)} \qquad (10)$$

и средние магнитные индукции:

$$B_1=\frac{\Phi}{S_1};\ B_2=\frac{\Phi}{S_2};\ B_3=\frac{\Phi}{S_3}. \qquad (11)$$

Далее для индукций B_{01}, B_{02}, B_{03} (рис. 2) запишем соответствующие длины участков λ_{01}, $\lambda_{02}(\beta)$, $\lambda_{03}(\beta)$:

$$\lambda_{01}=c;$$

$$\lambda_{02}(\beta)=\frac{\pi a}{2}+\sqrt{\frac{a^2(2-\beta)^2}{\beta^2}+4b^2}\ ; \qquad (12)$$

$$\lambda_{03}(\beta)=c+\frac{\pi a}{\beta},$$

тогда их усредненные значения будут такими:

$$\lambda_{02}=\frac{1}{\beta_m}\int_{0,001}^{\beta_m}\lambda_{02}(\beta)d\beta;$$

$$\lambda_{03}=\frac{1}{\beta_m}\int_{0,001}^{\beta_m}\lambda_{03}(\beta)d\beta. \qquad (13)$$

По второму закону Кирхгофа для магнитной цепи [6] на основании рис. 2 с использованием (13) составляем систему уравнений:

$$\mu_0 i(t)-B_{S1}c-2B_{S2}b-B_{S3}c=0; \quad (14)$$

$$\mu_0 i(t)-B_{01}\lambda_{01}-B_{02}\lambda_{02}-B_{03}\lambda_{03}=0. \quad (15)$$

Затем с учетом (2, 9) запишем усредненное значение магнитного потока:

$$\Phi\approx\frac{(B_{01}+B_1+B_{S1})S_1}{3}\approx\frac{(B_{02}+B_2+B_{S2})S_2}{3}\approx \qquad (16)$$
$$\approx\frac{(B_{03}+B_3+B_{S3})S_3}{3},$$

тогда на основании (11, 16) получаем уравнения:

$$B_{01}S_1-B_{02}S_2\approx 0;$$
$$B_{S1}S_1-B_{S2}S_2\approx 0; \qquad (17)$$
$$B_{02}S_2-B_{03}S_3\approx 0;$$
$$B_{S2}S_2-B_{S3}S_3\approx 0. \qquad (18)$$

Из решения уравнений (14), (15), (17), (18) определяем в функции времени магнитные индукции:

$$B_{01}\approx\frac{\mu_0 i(t)}{\lambda_{01}+\lambda_{02}S_1/S_2+\lambda_{03}S_1/S_3};$$
$$B_{02}\approx B_{01}\frac{S_1}{S_2};\quad B_{03}\approx B_{01}\frac{S_1}{S_3}; \qquad (19)$$

$$B_{S1}\approx\frac{\mu_0 i(t)}{c+2bS_1/S_2+cS_1/S_3};$$
$$B_{S2}\approx B_{S1}\frac{S_1}{S_2};\quad B_{S3}\approx B_{S1}\frac{S_1}{S_3}, \qquad (20)$$

причем при $S_3\geq S_2>S_1$ имеем $B_1>B_2\geq B_3$; $B_{01}>B_{02}\geq B_{03}$; $B_{S1}>B_{S2}\geq B_{S3}$.

С учетом (20) и [5, 6] находим действующие на шину вдоль оси x (рис. 2) наибольшее давление внешнего магнитного поля σ_x (Н/м²) и силу F_x (Н/м):

$$\sigma_x=\frac{B_{S1}^2}{2\mu_0};$$
$$F_x=\frac{(B_{S1}^2-B_{S3}^2)c}{2\mu_0}, \qquad (21)$$

которые можно использовать для расчета механической прочности шин рельсотрона, причем индуктивность (10) определит ускоряющую тело электромагнитную силу [4, 5]:

$$F\approx\frac{L_1 i(t)^2}{2} \qquad (22)$$

Результаты расчета

По формулам (1)– (20) проведены расчеты внешнего магнитного поля рельсотронов с различным соотношением размеров a, b, c. В таблице приведены результаты этих расчетов и указаны индуктивности L_1 рельсотронов, полученные по программе компьютерного моделирования Elcut [3] для медных шин при синусоидальном токе и частоте $f = 50$ кГц, когда имеет место существенный поверхностный эффект и влиянием внутреннего магнитного поля в шинах на величину этой индуктивности можно пренебречь.

Параметры внешнего магнитного поля рельсотронов с магнитным потоком $\Phi = 0{,}5aB_1$

Расчет										Elcut
$\frac{c}{a}$	$\frac{b}{a}$	β_m	$\frac{B_1 c}{\mu_0 i(t)}$	$\frac{B_2}{B_1}$	$\frac{B_3}{B_1}$	$\frac{B_{S1}}{B_1}$	$\frac{B_{S2}}{B_1}$	$\frac{B_{S3}}{B_1}$	L_1	L_1
–	–	–	–	–	–	–	–	–	мкГн/м	мкГн/м
0,25	0,25	1,12	0,146	0,080	0,080	5,540	0,443	0,443	0,732	0,832
	0,5	1,00	0,141	0,075	0,073	5,172	0,387	0,375	0,708	0,740
	1	0,84	0,132	0,068	0,062	4,714	0,323	0,293	0,662	0,646
	2	0,62	0,117	0,062	0,048	4,194	0,261	0,203	0,587	0,557
	4	0,41	0,089	0,066	0,034	3,567	0,235	0,121	0,449	0,479
0,5	0,25	1,09	0,247	0,078	0,078	3,504	0,274	0,274	0,620	0,674
	0,5	0,99	0,241	0,074	0,072	3,407	0,251	0,244	0,605	0,619
	1	0,84	0,228	0,069	0,062	3,289	0,225	0,204	0,572	0,555
	2	0,64	0,204	0,063	0,049	3,143	0,199	0,155	0,513	0,491
	4	0,43	0,160	0,068	0,035	2,940	0,200	0,104	0,402	0,431
1	0,25	1,04	0,379	0,075	0,075	2,369	0,178	0,178	0,477	0,509
	0,5	0,96	0,373	0,072	0,070	2,346	0,169	0,164	0,469	0,467
	1	0,83	0,358	0,068	0,062	2,331	0,159	0,144	0,450	0,433
	2	0,66	0,328	0,065	0,051	2,326	0,152	0,118	0,412	0,398
	4	0,45	0,266	0,072	0,037	2,332	0,167	0,087	0,335	0,359
2	0,25	0,98	0,521	0,071	0,071	1,764	0,125	0,125	0,327	0,349
	0,5	0,91	0,516	0,069	0,067	1,758	0,121	0,118	0,324	0,332
	1	0,82	0,503	0,067	0,061	1,763	0,119	0,108	0,316	0,315
	2	0,68	0,471	0,067	0,052	1,788	0,120	0,093	0,296	0,294
	4	0,49	0,401	0,076	0,040	1,853	0,141	0,074	0,252	0,276
4	0,25	0,90	0,643	0,066	0,066	1,447	0,096	0,096	0,202	0,218
	0,5	0,86	0,641	0,066	0,064	1,445	0,095	0,092	0,201	0,211
	1	0,79	0,632	0,066	0,059	1,449	0,095	0,086	0,198	0,203
	2	0,69	0,606	0,068	0,053	1,471	0,100	0,078	0,191	0,197
	4	0,54	0,542	0,082	0,043	1,531	0,125	0,065	0,170	0,188

Согласно результатам, приведенным в таблице, рассчитанные индуктивности L_1 удовлетворительно совпадают с индуктивностями, которые получены программой Elcut при соотношениях размеров рельсотронов $0{,}25 < c/a < 4$ и $0{,}25 < b/a < 4$. При этом наибольшие значения геометрического параметра β_m, индуктивности (10), механического давления и сил (21), (22), а также наибольшие величины магнитных индукций (11), (19), (20) при одинаковом токе $i(t)$ соответствуют наименьшим соотношениям размеров рельсотронов c/a и b/a.

Заключение

1. Предложена методика расчета внешнего магнитного поля рельсотронов при достаточно малой длительности импульса тока, когда электромагнитное поле проникает в шины рельсотрона на незначительную глубину. Эта методика позволяет определять механическое давление и силу, действующие на шины, магнитный поток и индуктивность, а также ускоряющую электромагнитную силу и магнитные индукции.

2. Разработанная методика получена на основе уравнений магнитных цепей, которые могут программироваться в среде Mathcad для автоматизированного инженерного расчета внешнего магнитного поля рельсотронов.

3. Для внешнего магнитного поля рельсотрона наибольшие значения индуктивности, механического давления и сил, а также наибольшие величины магнитных индукций при одинаковом токе соответствуют наименьшим размерам шин по сравнению с расстоянием между ними.

4. Достоверность методики подтверждается удовлетворительным совпадением результатов расчета индуктивности внешнего магнитного поля с индуктивностями, которые получены при помощи программы компьютерного моделирования Elcut при существенном поверхностном эффекте в шинах.

Список литературы

1. Галанин М.П., Лебедев А.Д., Лотоцкий А.П., Миляев К.К. Тепловые и электромагнитные процессы на контактах электродинамического ускорителя // Препринт Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. – 2000. – № 42. – 32 с.

2. Железный В.Б., Лебедев А.Д., Плеханов А.В. Воздействие на динамику ускорения якоря в РЭУ // II Всесоюзный семинар по динамике сильноточного дугового разряда в магнитном поле: материалы (Новосибирск, 4–6 декабря 1991 г.). – Новосибирск: Изд-во Института теплофизики СО РАН, 1992. – С. 16–32.

3. Методы и средства автоматизации профессиональной деятельности: учебн. пособие / А.С. Глазырин, Д.Ю. Ляпунов, И.В. Слащев, С.В. Ляпушкин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – Ч. 1. – 199 с.

4. Носов Г.В., Лусс А.А. Определение параметров рельсотронов при импульсных токах // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10 (часть 9). – стр. 1933-1937; URL: http://www.rae.ru/fs/?section = content&op = show_article&article_id = 10001783 (дата обращения: 21.11.2013).

5. Татур Т.А. Основы теории электромагнитного поля. – М.: Высшая школа, 1989. – 271 с.

6. Электротехнический справочник / под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – Т. 1. – 488 с.

7. Witt W., Loffler M. The electromagnetic Gun-Closer to Weapon System Status // Military Technology. – 1998. – № 5. – P. 80–86.

References

1. Galanin M.P., Lebedev A.D., Lotockij A.P., Miljaev K.K. Teplovye i jelektromagnitnye processy na kontaktah jelektrodinamicheskogo uskoritelja / Preprint Instituta prikladnoj matematiki im. M.V. Keldysha RAN, 2000, no. 42, 32 p.

2. Zheleznyj V.B., Lebedev A.D., Plehanov A.V. Vozdejstvie na dinamiku uskorenija jakorja v RJeU / II *Vsesojuznyj seminar po dinamike sil'notochnogo dugovogo razrjada v magnitnom pole: materialy* (*Novosibirsk, 4-6 dekabrja 1991 g.*) [II All-Union Seminar on the dynamics of the high-current arc discharge in a magnetic field: Materials (Novosibirsk, 4–6 December 1991)]. Novosibirsk: Institute of Thermal Physics, Russian Academy of Sciences, 1992, pp. 16–32.

3. Metody i sredstva avtomatizacii professional'noj dejatel'nosti: uchebn. posobie / A.S. Glazyrin, D.Ju. Ljapunov, I.V. Slashhev, S.V. Ljapushkin. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2007, Ch. 1, 199 p.

4. Nosov G.V., Luss A.A. Opredelenie parametrov rel'sotronov pri impul'snyh tokah / Fundamental'nye issledovanija, 2013, no. 10 (part 9), pp. 1933–1937, available at: www.rae.ru/fs/?section = content&op = show_article&article_id = 10001783 (data obrashhenija: 21.11.2013).

5. Tatur T.A. Osnovy teorii jelektromagnitnogo polja. M.: Vysshaja shkola, 1989. 271 p.

6. Jelektrotehnicheskij spravochnik / pod obshh. red. prof. MJel V.G. Gerasimova i dr. M.: Jenergoatomizdat, 1985, T. 1. 488 p.

7. Witt W., Loffler M. The electromagnetic Gun-Closer to Weapon System Status / Military Technology, 1998, no. 5, pp. 80–86.

Рецензенты:

Усов Ю.П., д.т.н., профессор кафедры ЭСиЭ ЭНИН, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Канев Ф.Ю., д.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 687

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА

Панюшкина О.В., Королева Л.А., Подшивалова А.В., Шевчук К.О.

ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, e-mail: panushkina.olga@mail.ru

В статье отражены вопросы, связанные с интеллектуализацией процесса формирования описания проектируемого изделия как составляющего проектно-конструкторской документации. Авторами рассмотрен методологический подход к разработке онтологических моделей, определена область исследований, выявлены теоретические аспекты разработки онтологии предметной области, проведен сравнительный анализ моделей представления знаний и выявлено, что фреймовая модель в наибольшей степени отвечает предъявленным требованиям к моделям представления знаний для проектирования интеллектуальной системы данного типа. Произведена структуризация и формализация данных предметной области «Техническое описание» на этапе составления «Описания проектируемого изделия» на основе онтологического подхода. Определены характеристики элементов онтологии и описаны их значения. Разработана структура классов, подклассов, выявлены характеристики, описывающие данные понятия, и разработана понятийная структура онтологии предметной области «Техническое описание». С помощью инструментального средства – программы Protégé 4.2 – создана онтология предметной области «Техническое описание» в разделе «Описание проектируемого изделия».

Ключевые слова: интеллектуализация, экспертная система, предметная/проблемная область, база знаний, онтология, описание проектируемых изделий, техническое описание

FORMALIZATION OF THE DESCRIPTION OF PROJECTED PRODUCTS ON THE BASIS OF ONTOLOGIC APPROACH

Panyushkina O.V., Koroleva L.A., Podshivalova A.V., Shevchuk K.O.

Vladivostok State University of Economics and Service (VSUES), Vladivostok, e-mail: panushkina.olga@mail.ru

In article the questions connected with intellectualization by processes of formation of the description of the projected product as making design documentation are reflected. Authors considered methodological approach to development of ontologic models, the area of researches is defined, theoretical aspects of development of ontology of subject domain are revealed, the comparative analysis of models of representation of knowledge is carried out and is revealed that the frame model most meets the made demands to models of representation of knowledge for design of intellectual system of this type. Structurization and formalization of data of subject domain «Technical specification» at a drawing up stage «Description of a projected product» on the basis of ontologic approach is made. Characteristics of elements of ontology are defined and their values are described. Razrabotana struktura of classes, subclasses, the characteristics describing these concepts are revealed, and the conceptual structure of ontology of subject domain «Technical specification» is developed. By means of tool means – the Protégé 4.2s ozdana program ontology of subject domain specification» in the section «The Description of a Projected Product».

Keywords: intellectualization, expert system, subject/problem domain, the knowledge base, ontology, the description of projected products, the technical specification

Эффективность работы промышленных предприятий в современных условиях определяется наличием высококачественных технических и программных средств, позволяющих обеспечить гибкость, скорость и качество принятия инженерных решений. Прежде всего, это системы автоматизированного проектирования различных промышленных объектов, в том числе и одежды (САПРо).

Проектирование новых моделей одежды – это комплексное решение художественных, эргономических, технологических, технических, экономических задач в процессе художественного проектирования, конфекционирования, разработки образцов моделей, чертежей конструкций, лекал на заданные размеры и роста, принятия технологических решений в соответствии с предъявленными к ним требованиями [1]. Одним из основных документов, решающих поставленные проектные задачи, является «Техническое описание» (ТО) на изделие.

В производственных условиях пакет проектных документов под общим названием «Техническое описание» разрабатывается при подготовке каждой модели одежды к производству и является комплексом документации для запуска модели в производство, разработанной на основе общих технических требований, действующих стандартов и технологических режимов. Одним из разделов, составляющих ТО, является «Художественно-техническое описание образца модели» или «Описание внешнего вида». Художественно-техническое описание модели является важнейшим источником информации при проектировании изделия и позволяет контролировать качество изготовления на всех стадиях

производства. Данный документ необходим при конфекционировании пакета материалов, конструировании и моделировании проектируемых швейных изделий, выборе методов технологической обработки, раскрое, изготовлении и контроле качества готового изделия [2].

Содержательная часть существующих форм описания внешнего вида, при наличии некоторых общих позиций, на практике формируется в описательном виде в соответствии с видом швейного изделия, квалификацией специалистов-экспертов и требований отдельных предприятий, а, значит, носит субъективный характер, и использование для целей САПРо не представляется возможным.

В действующих САПР одежды вопросам разработки и формирования описания внешнего вида (ОВВ) не уделяется должного внимания, тогда как данные ОВВ являются исходными и неотъемлемыми при реализации всех этапов процесса проектирования, в том числе автоматизированного, и производства одежды. Например, В САПР JULIVI [3] описание внешнего вида составляется специалистом-экспертом путем непосредственного внесения необходимой информации, которой в данном случае должен обладать пользователь, в соответствующее окно интерфейса технического описания с последующим сохранением в базе данных ТО. Данная форма представления ОВВ не удовлетворяет требованиям автоматизированного процесса проектирования одежды, так как происходит односторонний обмен информацией от пользователя к программе, в процессах такого вида не используются элементы интеллектуализации.

Во ВГУЭС создана концептуальная модель интегрированной САПРо (ИСАПРо), ведутся работы по созданию интеллектуальной информационной системы «Технология швейных изделий» (ИИС ТШИ), представленная проектирующей подсистемой «Технолог» во взаимодействии с экспертной системой (ЭС) «Технология» [4]. Разработан алгоритм принятия технологических решений в рамках ИСАПРо, исходной информацией для его реализации является описание проектируемого изделия (ОПИ). Под «Описанием проектируемого изделия» следует понимать «Описание внешнего вида» или «Художественно-техническое описание образца модели», представленное в формализованном виде и отвечающее требованиям внутренней и внешней интеграции САПР одежды.

В соответствии с вышеупомянутой концепцией процесс окончательного формирования ТО происходит в модуле «Создание технического описания» ИИС ТШИ. Разработка технического рисунка и описание проектируемого изделия происходит в соответствующих модулях ИИС «Дизайнер». Выходная информация данных модулей передается в другие интеллектуальные информационные системы – в ИИС «Конфекционер» для создания конфекционных карт; в ИИС ТШИ – для принятия технологических решений, составления технического описания (ТО), формирования технологической документации; в ИИС «Конструирование швейных изделий» (КШИ) – для разработки конструкций заданного вида изделий, комплектов лекал основных и прикладных деталей на проектируемые размеры и роста.

Переход к интеллектуально-автоматизированному режиму проектирования обусловлен преимуществами систем, основанных на знаниях, перед экспертом-специалистом: выводы формулируются более обоснованно; процесс систематизирован, рассматриваются все детали; база знаний может быть неограниченно большой [5].

Следовательно, актуальной становится задача получения знаний, составляющих описание проектируемого изделия, структурирования и представления их в адаптированном виде для информационных технологий на основе интеллектуальных технологий и процессов интеграции.

Цель исследования – интеллектуализация процесса формирования описания проектируемого изделия для целей интегрированной САПР одежды.

Методы исследования: системный подход, методы системного анализа, онтологический подход, методы интеллектуализации, поддержки принятия решений, средства и методы интерфейса пользователя.

Научная новизна исследования заключается в разработке онтологии элементов ОПИ применительно к задачам ИСАПРо и создании предпосылок для интеграции ОПИ в информационную интеллектуальную систему «Технология швейных изделий» и ИСАПРо в целом.

Практическая значимость исследования заключается в создании качественно нового источника информации для реализации процессов принятия технологических решений в рамках ИСАПРо и оптимизации проектных работ по составлению описания проектируемого изделия.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ действующих САПРо показал, что отсутствует структурированная база

данных элементов описания проектируемого изделия. Существующие ОВВ не имеют общей формы представления, описания разделов разрознены, не имеют единой последовательности изложения и зависят от мнения экспертов данной предметной области.

Следовательно, на первом этапе исследования целесообразно выполнить перенос знаний из различных источников в базу знаний компьютерной программы, называемую экспертной системой (ЭС), в данном случае, ЭС «Дизайн». ЭС позволяют обосновать полученные результаты, отсылают пользователю необходимую информацию и способствуют уверенному принятию правильного решения.

Для завершения домашинного этапа проектирования интеллектуальной системы необходимо структурировать представляемые знания. Данные предметной области «Техническое описание» в разделе «Описание проектируемого изделия» являются трудноформализуемыми, тесно взаимосвязаны с проектными характеристиками изделия (модельными, конструктивными и технологическими параметрами, характеристиками свойств пакета материалов), требуют постоянного обновления. Только определенная организация знаний в БЗ позволяет их легко определять, модифицировать и пополнять. Реализация данного процесса в рамках интегрированной системы автоматизированного проектирования одежды возможна на основе онтологического подхода.

Разработка и использование онтологии является одной из новых информационных технологий, назначение которой можно определить как поддержку процессов совместного решения задач, то есть возможность обеспечить одинаковое понимание всеми пользователями смысла применяемых при решении терминов, их атрибутов и отношений между ними [6].

Определение онтологии предполагает выделение ее трех взаимосвязанных компонентов: таксономии терминов, описаний смысла терминов, а также правил их использования и обработки. Таким образом, в общем виде информационную модель онтологии *O* можно представить следующим набором данных:

$$O = (C, R, F),$$

где *C* – конечное множество концептов (терминов, понятий) предметной области, которую представляет онтология; *R* – конечное множество отношений между концептами; *F* – конечное множество функций интерпретации, заданных на концептах и/или отношениях [7].

При разработке онтологии ОПИ реализованы следующие стадии работ: спецификация; концептуализация; формализация; реализация.

На стадии спецификации определены цели создания онтологии и область применения. Данная онтология разрабатывается с целью применения в рамках интегрированной САПРо на этапе создания описания проектируемого изделия в формализованном виде.

Концептуализация обеспечивает структурирование данных предметной области «Техническое описание» в разделе «Описание проектируемого изделия». Это наиболее сложный этап, от результатов его выполнения зависит эффективность всей онтологической модели. Концептуализация включает в себя два этапа: построение глоссария терминов и классификационных деревьев концептов; формирование словаря концептов и таблиц для каждого классификационного дерева, описывающих отношения между концептами.

После построения терминологической базы следуют этапы формализации и реализации онтологии «Описание проектируемого изделия». Реализация происходит посредством создания вычислительной модели, выраженной на одном из языков представления знаний, в частности, на языке OWL (Web Ontology Language). Формализация онтологии выполняется с помощью программного средства Protege 4.2 [8-11], которое позволило визуализировать концепты и связи между ними.

На рис. 1 представлено классификационное дерево онтологии «ОПИ» на этапе представления первого уровня (класса).

Результаты проведенного исследования рассмотрены на примере класса «Застежка», принадлежащих подклассов и характеристик (рис. 2). Построение структуры онтологии происходит по принципу соподчинения. На рис. 3 представлена структура класса «Застежка», который делится на подклассы: «Месторасположение», «Конфигурация края застежки», «Форма застежки». Каждый подкласс описан определенными характеристиками, например, подкласс «Форма» включает следующие характеристики: плоская, объемная.

Разработка онтологий отдельных предметных областей направлена на дальнейшую консолидацию знаний проблемной области «Изделия легкой промышленности», уже представленных в виде онтологий знаний. В дальнейшем возможна разработка объединяющей метаонтологии ИСАПРо путем трансформации всех онтологий в одну согласованную.

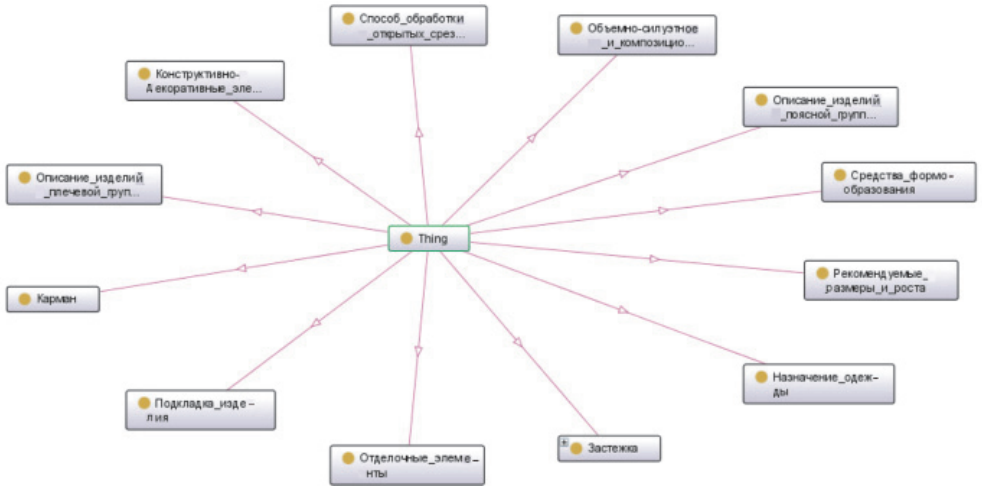


Рис. 1. Классификационное дерево онтологии ОПИ на этапе представления первого уровня (уровень классов)

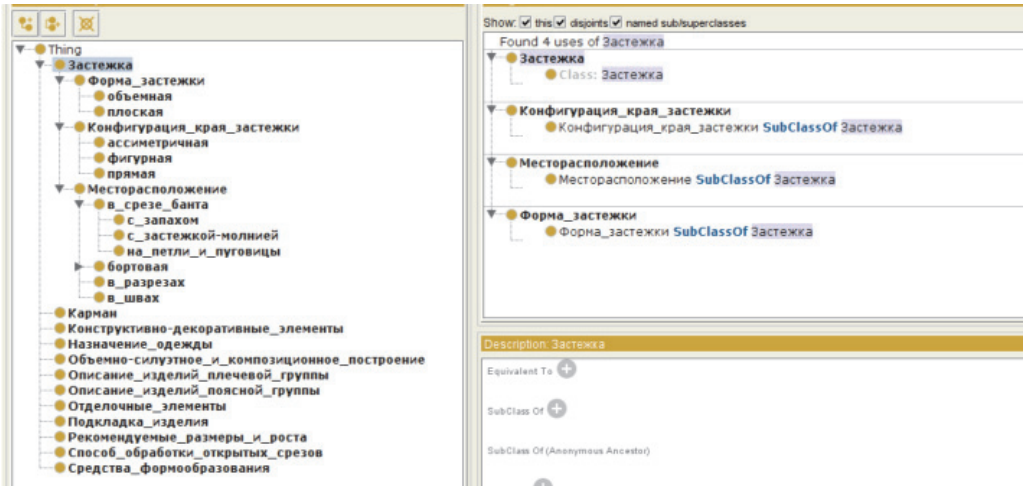


Рис 2. Классификация структуры онтологической модели «Описание проектируемого изделия» (на примере класса «Застежка»)

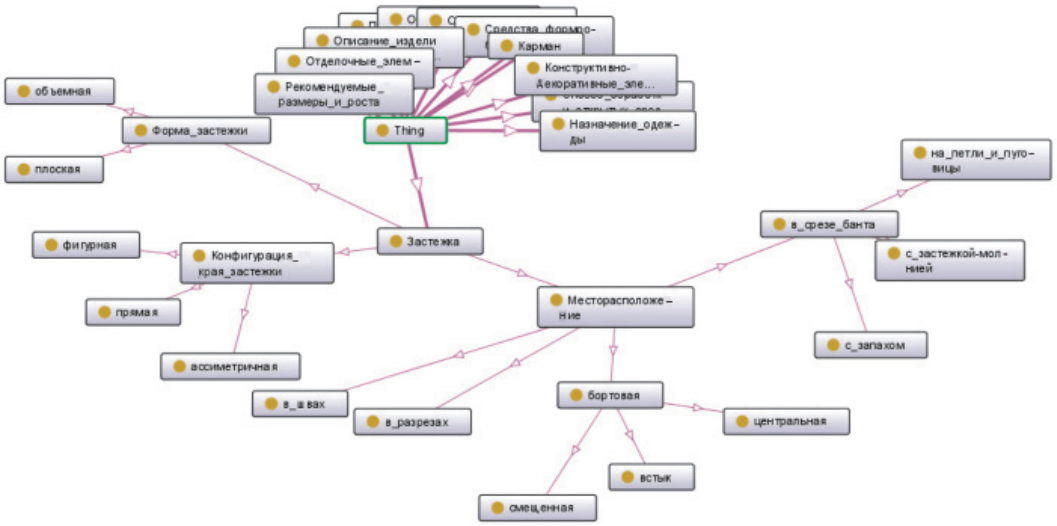


Рис. 3. Классификационное дерево онтологии ОПИ на этапе представления второго уровня (подклассов) и их характеристик на примере класса «Застежка»

Выводы

Произведена структуризация и формализация данных предметной области «Техническое описание» в разделе «Описание проектируемого изделия» на основе онтологического подхода, что позволяет получать описание проектируемого изделия в наиболее полном объеме, в логически обоснованной последовательности, с использованием единого тезауруса. Определены характеристики элементов онтологии и описаны их значения. Созданная база знаний проблемной области «Техническое описание» в разделе «Описание проектируемого изделия» является одной из составляющих информационных баз ИСАРПо. Полученные результаты необходимы для реализации проектных процедур ИИС «Конфекционер», КШИ, «Раскладка», ТШИ (на этапе принятия технологических решений).

Список литературы

1. Кузьмичев В.Е. Художественно-конструктивный анализ и проектирование системы «фигура-одежда»: учебное пособие. – Иваново: ИГТА, 2010. – 300 с.

2. Методические указания к разработке и утверждению технических описаний на новые модели одежды, изготовляемые предприятиями Минбыта РСФСР/ ред. О.С. Болдовкина. – Владивосток, 1987.

3. САПР JULIVI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://julivi.com/ru/prods146.html (дата обращения: 15.10.2013).

4. Королева Л.А. Интеллектуализация процесса автоматизированного проектирования одежды: монография.– Владивосток: Дальнаука, 2011. – 196 с.

5. Малюх В.Н. Введение в современные САПР: Курс лекций. – М.:ДМК Пресс, 2012. – 192 с.

6. Гаврилова Т.А. Использование онтологий в системах управления знаниями [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.big.spb.ru/publications/bigspb/km/use_ontology_in_suz.shtml (дата обращения: 25.10.2013).

7. Моделирование и экспертные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://sdo.uspi.ru/mathem&inform/lek5/lek_5.htm (дата обращения: 22.10.2013).

8. Разработка онтологии 101: руководство по созданию Вашей первой онтологии / Наталья Ф. Ной (Natalya F.Noy) и Дэбора Л. Мак Гиннесс, Стэнфордский Университет, Стэнфорд, Калифорния, 94305.

9. Рыбина Г.В. Основы построения интеллектуальных систем: учебное пособие. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2010. – 423 с.

10. Цели создания онтологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.intuit.ru/department/expert/ontoth/1/2.html (дата обращения: 20.10.2013).

11. Protege 4.2 beta [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://translate.yandex.ru/translate?srv = yasearch&url = http%3A%2F%2Fprotege.stanford.edu%2F&lang = en-ru&ui = ru(дата обращения: 17.10.2013).

References

1. Kuz'michev V.E. Hudozhestvenno-konstruktivnyj analiz i proektirovanie sistemy «figura-odezhda»: uchebnoe posobie. Ivanovo: IGTA, 2010. 300 s.

2. Metodicheskie ukazanija k razrabotke i utverzhdeniju tehnicheskih opisanij na novye modeli odezhdy, izgotovljaemye predprijatijami Minbyta RSFSR/ red. O.S. Boldovkina. Vladivostok, 1987.

3. SAPR JULIVI [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://julivi.com/ru/prods146.html(data obrashhenija: 15.10.2013).

4. Koroleva L.A. Intellektualizacija processa avtomatizirovannogo proektirovanija odezhdy: monografija. Vladivostok: Dal'nauka, 2011. 196 p.

5. Maljuh V.N. Vvedenie v sovremennye SAPR: Kurs lekcij. M.:DMK Press, 2012. 192 p.

6. Gavrilova T.A. Ispol'zovanie ontologij v sistemah upravlenija znanijami [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.big.spb.ru/publications/bigspb/km/use_ontology_in_suz.shtml (data obrashhenija: 25.10.2013).

7. Modelirovanie i jekspertnye sistemy [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://sdo.uspi.ru/mathem&inform/lek5/lek_5.htm (data obrashhenija: 22.10.2013).

8. Razrabotka ontologii 101: rukovodstvo po sozdaniju Vashej pervoj ontologii / Natal'ja F. Noj (Natalya F.Noy) i Djebora L. Mak Ginness, Stjenfordskij Universitet, Stjenford, Kalifornija, 94305.

9. Rybina G.V. Osnovy postroenija intellektual'nyh sistem: uchebnoe posobie. M.: Finansy i statistika; INFRA-M, 2010. 423 p.

10. Celi sozdanija ontologii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://www.intuit.ru/department/expert/ontoth/1/2.html (data obrashhenija: 20.10.2013).

11. Protege 4.2 beta [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: http://translate.yandex.ru/translate?srv = yasearch&url = http%3A%2F%2Fprotege.stanford.edu%2F&lang = en-ru&ui = ru(data obrashhenija: 17.10.2013).

Рецензенты:

Шеромова И.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры сервисных технологий, ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», г. Владивосток;

Харлова О.Н., д.т.н., доцент, профессор кафедры технологии и дизайна швейных изделий, ФГБОУ ВПО «Новосибирский технологический институт», филиал Московского государственного университета дизайна и технологии, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.43.001.42

ВЗАИМОСВЯЗЬ КОНСТРУКТИВНОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МОБИЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ С МЕТОДАМИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Плаксин А.М., Гриценко А.В.

Челябинская государственная агроинженерная академия, Челябинск, e-mail: alexgrits13@mail.ru

Конструктивное совершенствование мобильных энергетических средств на современном этапе модернизации средств механизации производственных процессов в основном направлено на повышение качества функционирования технологических систем, определяемого сокращением величин диапазона отклонения параметров технического состояния машин от номинального значения и саморегулированием функциональных систем в процессе эксплуатации машин. Уровень конструктивного совершенства лучших образцов легковых автомобилей определяет тенденции аналогичного последующего совершенствования конструкций производственного автотранспорта, тракторов и комбайнов. Временной промежуток этого процесса находится в пределах 10…15 лет. В связи с этим в статье исследуются закономерности конструктивного совершенствования мобильных энергетических средств, изменения показателей эффективности их использования, взаимосвязь с технологиями и средствами диагностирования, методами поддержания машин в работоспособном состоянии. Приводятся результаты эффективности применения новых способов диагностирования технического состояния машин, процессов их технического обслуживания. Совокупность применения новых методов диагностирования технического состояния мобильных энергетических средств с их конструктивным совершенством и реализацией стратегии превентивного обслуживания позволяет повысить эффективность процессов обеспечения работоспособности машин в 1,5…2 раза.

Ключевые слова: мобильные энергетические средства, конструктивное совершенствование, правильность и эффективность функционирования, параметры технического состояния, отказы, закономерность, работоспособность

THE RELATIONSHIP OF CONSTRUCTIVE IMPROVEMENT OF MOBILE POWER TOOLS WITH METHODS OF DIAGNOSING THEIR TECHNICAL CONDITION

Plaksin A.M., Gritsenko A.V.

Chelyabinsk State Agroengineering Academy, Chelyabinsk, e-mail: alexgrits13@mail.ru

The design improvement of mobile power tools at the present stage of modernization of mechanization of production processes is mainly aimed at improving the functioning of technological systems, the range of values determined by the reduction of the technical condition of parameter deviations from the nominal value of machines and self-regulation of functional systems in the operation of machines. The level of structural perfection of the best examples of cars identifies trends follow a similar structure to improve the production of motor vehicles, tractors and combine harvesters. The time period of this process is in the range 10...15. In this regard, the article examines the patterns of constructive improvement of mobile power equipment, changes in performance of their use, the relationship with technology and diagnostic tools, methods, maintenance of machines in working condition. The results of the effectiveness of new methods of diagnosis of the technical state of vehicles, their maintenance processes. The set of application of new methods of diagnosis of the technical state of mobile energy resources with their design excellence and implementation of the strategy of preventive maintenance helps to increase the efficiency of processes to ensure efficiency of machines in 1,5...2.

Keywords: mobile power tools, structural improvement, the accuracy and efficiency of the operation, the parameters of the technical condition, cracks, regularity, efficiency

Основу производственных процессов составляют мобильные энергетические средства (МЭС), к которым относятся автомобили, тракторы и самоходные машины – комбайны в сельском хозяйстве, дорожные, лесотехнические и другие машины.

Для анализа, выявления основных тенденций конструктивного совершенствования совокупность МЭС разделим на три основные группы: тракторы и комбайны; производственный парк автомобилей; легковые автомобили. Они отличаются друг от друга не только технологическим назначением, но и существенным различием конструктивной сложности, наличием новых функциональных систем и механизмов, которые обеспечивают новое качество реализации потребительских свойств. Современный этап конструктивного совершенствования МЭС в текущем веке принципиально отличается от предшествующего. Вторая половина 20-го века в машиностроении была направлена на создание МЭС с повышенной единичной мощностью, как следствие, увеличение грузоподъемности, пропускной способности и, главное, повышение показателей эксплуатационной надежности, безотказности и ремонтопригодности. Наработка на отказ повысилась у тракторов до 300…500 мото-часов, самоходных сельскохозяйственных комбайнов до 150…180 мото-часов, пробег автомобилей до капитального ремонта возрос до миллиона и более километров [1].

Реализация указанных конструктивных решений была направлена на повышение

количественных показателей потребительских свойств МЭС и, в первую очередь их производительности.

Современный этап конструктивного совершенствования МЭС направлен на обеспечение качества функционирования систем и механизмов, увеличение их функций при эксплуатации машин. Такие конструктивные решения позволяют обеспечить современные требования – экологии, эргономики, экономичности (табл. 1) [1, 4].

Таблица 1

Новые системы и механизмы функционирования МЭС

Системы и механизмы	Тракторы и комбайны	Грузовой и пассажирский транспорт	Легковые автомобили
1. Центральный бортовой компьютер с функциями системы зажигания, системы впрыска топлива, системы диагностики, системы путевого контроля, экологической системы, приборами освещения и сигнализации	±	±	+
2. Система впрыска топлива типа Д – прерывистый распределенный впрыск для внутреннего смесеобразования, бензин + дизель, плазменное зажигание, common rail	±	+	+
3. Спутниковая навигация, автопоиск	±	±	+
4. Устройства аварийной безопасности, автопилот	–	±	+
5. Электронное управление системой газораспределения	–	–	+
6. Новые типы ДВС	–	+	+
7. Газоразрядные приборы освещения и сигнализации, спецсигнализация	–	–	+

Примечания:
– – не применяются либо находятся в стадии разработки для данных МЭС;
± – частично применяются в очень ограниченном количестве;
+ – широкое практическое применение.

Таким образом, современные МЭС имеют следящие системы за техническим состоянием и эффективностью (правильностью) функционирования механизмов: первые из них сигнализируют о выходе какого-либо параметра за пределы допуска; вторые в зависимости от условий эксплуатации машин, корректируют работу механизмов. Очевидно, в обоих случаях значимо сократились допуски на изменение диапазона величины параметра технического состояния механизмов машин. А это в разы увеличило требования к точности как средств встроенной диагностики, так и средств внешнего их диагностирования [2].

Цель исследований – раскрыть взаимосвязь конструктивного совершенствования мобильных энергетических средств с методами диагностирования их технического состояния.

Материалы и методика исследований

Развитие автомобильного бортового оборудования идет по двум направлениям: по пути дальнейшего совершенствования существующих и по пути конструирования и построения совершенно новых электрических, электронных и автотронных устройств. Не менее существенная намечающаяся перспективная тенденция интеграции всего электронного оснащения автомобиля на основе нескольких систем: мультиплексной, автомобильной (реже ее называют водительской), информационной и встроенной системы диагностирования [3]. Производительность системы ME9 с новым поколением микроконтроллеров и дальнейшим повышением тактовой частоты была увеличена более чем в 50 раз, а с появлением ME 17.9.7 тактовая частота увеличилась в 100 раз. В обозримом будущем микроконтроллеры будут интегрироваться с процессорами обработки сигналов. В настоящее время в системах ME 9.0 используются чипы на 2,5 Мбт, а в ближайшее время потребуются чипы уже на 5 Мбт и гораздо выше. Продолжается разработка новых электронных блоков управления (ЭБУ) функционально более сложных: с 16- и 32-разрядным микропроцессором. Т.е. требования снижения токсичности, экологичности все более усложняют конструктивное исполнение ЭБУ (увеличиваются: тактовая частота процессора, объемы памяти, количество выводов в разъемах) [3].

В свою очередь усложняется конструкция средств диагностирования (СД), а эффективность их функционирования не соответствует конструктивной сложности машин. Современные методы диагностирования отстают в своем развитии и не позволяют с требуемой точностью выявить своевременно наличие параметрических отказов (табл. 2) [2, 4].

В табл. 2 рассмотрены различные СД, рекомендуемые в настоящее время, и представлен их анализ по таким важным показателям контролепригодности [2, 4], как количество диагностических параметров N, время поиска неисправностей T, среднее время

подготовки автомобиля к диагностированию заданным числом специалистов $T_в$, коэффициент полноты диагностической информации $K_{пди}$, коэффициент полноты проверки исправности $K_{пп}$, коэффициент глубины поиска дефекта $K_{гп}$, коэффициент использования специальных средств диагностирования $K_{ис}$.

Таблица 2

Показатели диагностирования элементов ДВС различными диагностическими приборами

Диагностируемые элементы	Рекомендуемые СД	N, шт.	Т, ч.	$T_в$, ч.	$К_{пди}$ $К_{пп}$	$К_{гп}$	$К_{ис}$
Цепи микропроцессорной системы управления двигателем (МСУД)	Мотор-тестер МТ-10, сканер DST-12	132 96	0,6 0,3	0,1 0,15	0,50 0,40	0,40	1,00
Проводка и разъемы	Тестер (цифровой мультиметр)	12	1,5	0,05	0,30 0,30	0,30	1,00
Датчики и исполнительные механизмы	Осциллограф, блок питания, мотор-тестер, специальные приборы 12 шт.	26	2	0,2	0,60 0,50	0,50	0,60
Система зажигания	Мотор-тестер МТ-10, разрядник	6	0,3	0,1	0,80 0,70	0,70	1,00
Система топливоподачи: форсунки бензонасос топливный фильтр топливная рампа	Проливочный стенд «Форсаж» МТА-2 с набором жиклеров МТА-2 –	8 3 2 –	2 0,5 0,2 –	1 0,1 0,1 –	 0,90 0,80 –	0,80 0,80 0,80 –	1,00 0,80 1,00 –
КШМ: цилиндропоршневая группа подшипники коленвала	Компрессометр, мотор-тестер МТ-10 Пневмотестер, манометр	4 4	0,3 0,5	0,15 0,35	0,90 0,90 0,60 0,50	0,8 0,5	0,90 1,00
Газораспределительный механизм	Мотор-тестер МТ-10, пневмотестер	1	0,5	0,35	0,80 0,60	0,60	1,00
Система выпуска отработавших газов	МТА-2	1	0,8	0,3	0,60 0,50	0,50	1,00
Система впуска: воздушный фильтр	МТА-2	1	0,8	0,3	0,60 0,50	0,50	1,00

Анализ средств и методов, представленных в табл. 2, позволяет сделать следующие заключения: для ряда систем при значительном количестве N чрезмерно высоки значения T и $T_в$, значения коэффициентов $K_{пди}$, $K_{пп}$ и $K_{гп}$ имеют низкие значения (предопределяют качество диагностирования), что характеризует указанные СД как низкоэффективные и малодостоверные. Значение $K_{ис} = 1,0$ говорит о использовании только заводских средств при диагностировании и их низкой универсальности.

На современном этапе конструктивного совершенствования МЭС при их эксплуатации превалируют не функциональные отказы механизмов машин, а параметрические отказы, которые органолептическими методами операторов в большинстве случаев не могут быть зафиксированы и выявлены [7].

Результаты исследований и их обсуждение

Разработанные новые технологии и средства диагностирования ДВС на основе тестовых режимов позволяют повысить точность диагностирования технического состояния механизмов основных систем, что доказано экспериментально, в 1,5…2 раза (табл. 3) [5, 6].

Как видно из анализа табл. 3, применение разработанных нами СД и методов диагностирования позволяет повысить показатели контролепригодности в среднем: время поиска неисправностей T уменьшить в 1,2…5 раз; среднее время подготовки автомобиля к диагностированию заданным числом специалистов $T_в$ уменьшить в 1,2…7 раз; коэффициент полноты диагностической информации $K_{пди}$ увеличить на 10…60%; коэффициент полноты проверки исправности $K_{пп}$ увеличить на 10…60%; коэффициент глубины поиска дефекта $K_{гп}$ увеличить на 10…60%; коэффициент использования специальных средств диагностирования $K_{ис}$ снизить за счет использования нами разработанных специальных СД на 20…30% [2].

Совокупность применения новых методов диагностирования технического состояния МЭС с их конструктивным совершенством и реализацией стратегии превентивного обслуживания позволяет повысить эффективность процессов обеспечения работоспособности машин в 1,5…2 раза [7].

Таблица 3

Показатели диагностирования элементов ДВС
с применением разработанных СД

Диагностируемые элементы	Рекомендуемые СД	N, шт.	T, ч	$T_в$, ч	$K_{пди}$ $K_{пп}$	$K_{гп}$	$K_{ис}$
Цепи МСУД	Приборный комплекс догружатель (ПКД)	132	0,3	0,1	0,80 0,80	0,90	0,70
Проводка и разъемы	ПКД, мультиметр	12	0,4	0,05	0,90 0,80	0,90	0,70
Датчики и исполнительные механизмы	ПКД, установка для испытания датчиков массового расхода воздуха и др.	10	0,4	0,1	0,80 0,80	0,90	0,50
Система зажигания	ПКД	6	0,2	0,1	0,80 0,70	0,80	0,70
Система топливоподачи	ПКД	8	0,5	0,15	0,90	0,80	0,80
КШМ: ЦПГ; Подшипники коленчатого вала	ПКД, осциллограф, блок питания, датчик давления, усилитель	6	0,3 0,4	0,15 0,15	0,90 0,90 0,90 0,90	0,8 0,8	0,70 0,70
Газораспределительный механизм	ПКД	4	0,4	0,15	0,80 0,80	0,90	0,70
Система выпуска отработавших газов	ПКД, осциллограф, блок питания, датчик давления, усилитель	3	0,4	0,15	0,80 0,80	0,80	0,70
Система впуска: воздушный фильтр	ПКД, осциллограф, блок питания, датчик давления, усилитель	3	0,4	0,15	0,80 0,80	0,80	0,70

Из рассмотренных выше материалов, обобщения основных тенденций конструктивного совершенствования МЭС и средств их обслуживания, результатов проведенных нами исследований можно сделать следующие **выводы**.

Качественное отставание в развитии методов и средств диагностирования от совершенствования конструкции МЭС предопределяет снижение уровня использования их потенциала. Современные технологические системы, механизмы МЭС, их прецизионность функционирования практически полностью исключают использование органолептических методов диагностирования технического состояния машин. Этот факт предопределяет, с одной стороны разработку и реализацию новых систем внешнего диагностирования технического состояния машин, с другой – введение в их конструкцию систем саморегулирования технологических процессов работы агрегатов машин, в т.ч. систем предотвращения отказов на основе резервирования элементов и реализации компенсационных режимов работы механизмов.

Список литературы

1. Гриценко А.В. Разработка средств и методов диагностирования с частично параллельным резервированием элементов, а также с устранением лишних диагностических операций и диагностических параметров // Вестник КрасГАУ, Красноярск, – 2012. – № 7 – С. 120–125.

2. Гриценко А.В. Концепция развития методов и средств диагностирования автомобилей // Материалы LII междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». Ч. III. ЧГАА. – Челябинск, 2013, – С. 42–49.

3. Гриценко А.В., Куков С.С. Обоснование и разработка эффективных систем диагностирования двигателей внутреннего сгорания мобильных сельскохозяйственных машин // Материалы LI междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству». Ч. III. ЧГАА. – Челябинск, 2012, – С. 20–25.

4. Гриценко А.В., Куков С.С. Определение эффективности использования средств технического диагностирования

с учетом частоты отказов систем ДВС // Вестник ЧГАА. – Челябинск, 2012, – Т 60, – С. 45–48.

5. Гриценко А.В., Куков С.С. Диагностирование системы смазки двигателя внутреннего сгорания // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. – № 1. – С. 33–34.

6. Гриценко А.В., Куков С.С. Диагностирование автомобильных генераторов по осциллограммам напряжения // Механизация и электрификация сельского хозяйства, – 2010. – № 2. – С. 13–15.

7. Гриценко А.В., Плаксин А.М. Оптимизация процесса диагностирования автотракторной техники минимизацией затрат // Вестник ЧГАА. – Челябинск, 2013. – Т 63. – С. 42–46.

References

1. Gritsenko A.V. Razrabotka sredstv i metodov diagnostirovanija s chastichno parallel'nym rezervirovaniem jelementov, a takzhe s ustraneniem lishnih diagnosticheskih operacij i diagnosticheskih parametrov // Vestnik KrasGAU. Krasnojarsk. 2012. no 7. pp. 120–125.

2. Gritsenko A.V. Koncepcija razvitija metodov i sredstv diagnostirovanija avtomobilej // Materialy LII mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Dostizhenija nauki agropromyshlennomu proizvodstvu». Ch. III. CGAA, Cheljabinsk. 2013. pp. 42–49.

3. Gritsenko A.V., Kukov S.S. Obosnovanie i razrabotka jeffektivnyh sistem diagnostirovanija dvigatelej vnutrennego sgoranija mobil'nyh sel'skohozjajstvennyh mashin // Materialy LI mezhdunar. nauch.-tehn. konf. «Dostizhenija nauki agropromyshlennomu proizvodstvu». Ch. III. CGAA, Cheljabinsk. 2012. pp. 20–25.

4. Gritsenko A.V., Kukov S.S. Opredelenie jeffektivnosti ispol'zovanija sredstv tehnicheskogo diagnostirovanija s uchetom chastoty otkazov sistem DVS // Vestnik CGAA, Cheljabinsk. 2012. no 60. pp. 45–48.

5. Gritsenko A.V., Kukov S.S. Diagnostirovanie sistemy smazki dvigatelja vnutrennego sgoranija // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2009. no 1. pp. 33–34.

6. Gritsenko A.V., Kukov S.S. Diagnostirovanie avtomobil'nyh generatorov po oscillogrammam naprjazhenija // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. 2010. no 2. pp. 13–15.

7. Gritsenko A.V. Plaksin A.M. Optimizacija processa diagnostirovanija avtotraktornoj tehniki minimizaciej zatrat // Vestnik CGAA, Cheljabinsk. 2013. no 63. pp. 42–46.

Рецензенты:

Игнатьев Г.С., д.т.н., профессор кафедры «Технология и организация технического сервиса», Челябинской государственной агроинженерной академии, г. Челябинск;

Ерофеев В.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология и организация технического сервиса» Челябинской государственной агроинженерной академии, г. Челябинск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 687

РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНТЕГРИРОВАННОЙ САПР ОДЕЖДЫ С ЦЕЛЬЮ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Подшивалова А.В., Королева Л.А, Панюшкина О.В., Бушко Д.А., Пашин С.С.
ФГБОУ ВПО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток, e-mail: ludmilakoroleva@rambler.ru

В статье рассмотрены теоретические аспекты реализации метода структурного анализа и проектирования (SADT), который представляет собой совокупность стандартов, правил и процедур, предназначенных для анализа определенной предметной области, например, «Технология швейных изделий» и построения функциональной модели объекта данной предметной области. С использованием методологии IDEF авторами разработана IDEF-модель интегрированной системы автоматизированного проектирования одежды для реализации функций интеллектуальной информационной системы «Технология швейных изделий» на этапе принятия технологических решений. Созданная модель состоит из диаграмм, фрагментов текста и глоссария, которые имеют ссылки друг на друга. Диаграммы – главные компоненты модели. Разработка функциональной модели на основе IDE-технологий позволила глубоко изучить природу интегрированной САПР одежды, выявить ключевые процессы, реализуемые в данной системе, внешние и внутренние интеграционные взаимосвязи, провести на этой базе реструктуризацию старых и разработку актуальных процессов, таких как принятие технологических решений на основе интеллектуализации.

Ключевые слова: функциональное моделирование, интегрированная система автоматизированного проектирования одежды, интеллектуальная информационная система, выбор технологических решений, метод структурного анализа и проектирования

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL MODEL OF THE INTEGRATED CAD OF CLOTHES FOR REALIZATION OF PROCESS OF ADOPTION OF TECHNOLOGICAL DECISIONS

Podshivalova A.V., Koroleva L.A., Panyushkina O.V., Bushko D.A., Pashin S.S.
Vladivostok State University of Economics and Service (VSUES), Vladivostok, e-mail: ludmilakoroleva@rambler.ru

In article theoretical aspects of realization of a method of the structural analysis and design (SADT) which represents set of standards, rules and the procedures intended for the analysis of a certain subject domain, for example «Technology of garments», and creation of functional model of object of this subject domain are considered. With use of methodology of IDEF by authors the IDEF model of the Integrated CAD of clothes is developed for realization of functions of intellectual information system «Technology of Garments» at a stage of adoption of technological decisions. The created model consists of charts, fragments of the text and the glossary which have references at each other. Charts – the main components of model. Development of functional model on the basis of IDEF – technologies allowed to study deeply the nature of the Integrated CAD of clothes, to reveal the key processes realized in this system, external and internal integration interrelations, to carry out on this base restructuring old and development of actual processes, such as, adoption of technological decisions, on the basis of intellectualization.

Keywords: functional modeling, integrated system of computer-aided design of clothes, intelligent information system, choice of technological decisions, method of the structural analysis and design

В результате анализа существующих методов и методологий в области структурного анализа выбрана процессно-ориентированная методология проектирования информационных систем, опирающаяся на так называемые IDEF-технологии (стандарты). Из многочисленного семейства IDEF акцент сделан на стандарты IDEF0 (функциональное моделирование) [11].

Функциональное моделирование является важнейшим элементом концептуального анализа при описании системы (модели «как есть» и «как должно быть»). Разработка этих моделей позволяет глубоко изучить природу проектирующей информационной системы, выявить ключевые процессы (относительно целей организации), провести на этой базе реструктуризацию старых и разработку новых процессов.

Для функционального анализа систем на концептуальном уровне важно иметь эффективную, удобную и «прозрачную» методологию, доступную для понимания широкому кругу аналитиков, экспертов, администраторов. Метод структурного анализа и проектирования (SADT – Structured Analysis and Design Technique) представляет собой совокупность стандартов, правил и процедур, предназначенных для анализа определенной предметной области, например, «Технология швейных изделий» и построения функциональной модели объекта данной предметной области.

При этом необходимо отметить, что IDEF0-модель используется для более глубокого понимания и анализа не только системы в целом или ее окружения, но и того, как взаимодействуют ее компоненты. При

разработке новых информационных систем методология IDEF0 на начальном этапе может применяться для определения требований и функций, а далее – собственно для управления процессом проектирования системы, которая удовлетворяет этим требованиям и реализует эти функции.

Результатом применения методологии IDEF0 является модель информационной системы. Модель состоит из диаграмм, фрагментов текста и глоссария, которые имеют ссылки друг на друга. Диаграммы – главные компоненты модели. На диаграммах все функции системы и интерфейсы между ними представлены как блоки (функции) и дуги (интерфейсы) [7].

Построение IDEF-модели начинается с представления всей системы в виде одного блока и дуг, отображающих интерфейсы с функциями вне системы. Поскольку этот блок отображает систему в целом, то имя, указанное в блоке, является общим для всей модели и присутствует на всех ее диаграммах.

Место соединения дуги с блоком определяет тип интерфейса (рис. 1). Данные, предназначенные для управления выполнением функции системы или блока или задающие ограничения на ее выполнение, входят в блок сверху. Материалы или информация, которые будут подвергнуты обработке, входят в блок с левой стороны (входящая информация). Механизмы (специалисты, технические устройства, программы и т.п.), посредством которых осуществляется выполнение функций, представляются дугами, входящими в блок снизу. И, наконец, результаты выполнения функции показываются с правой стороны блока (выходная информация).

Блок, представляющий систему в качестве единичного модуля, детализируется на диаграмме следующего уровня с помощью нескольких блоков, соединенных интерфейсными дугами. Каждая из дуг имеет метку, подсоединенную к ней выраженную в виде оборота существительного.

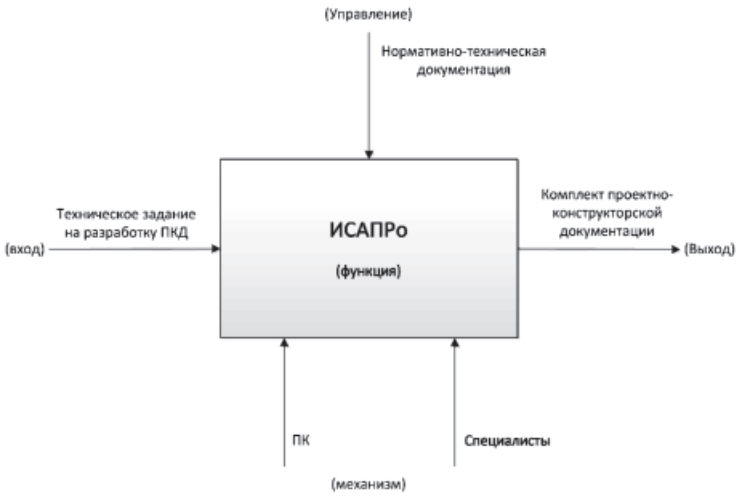


Рис. 1. FEO-диаграмма представление блоков и дуг на основе методологии SADT на примере IDEF-модели интегрированной САПР одежды

В IDEF0 есть правила [8] постепенного добавления деталей в процессе декомпозиции. Модуль всегда делится не менее чем на три, но не более чем на шесть подмодулей. Во всех случаях каждый подмодуль может содержать только те элементы, которые входят в исходный модуль. Кроме того, модуль не может опустить какие-либо элементы, т.е. «родительский» блок и его интерфейсы обеспечивают контекст. К нему нельзя ничего добавить, и из него ничего не может быть удалено.

Целью исследования является разработка IDEF-модели интегрированной САПР одежды для реализации функций интеллектуальной информационной системы «Технология швейных изделий» на этапе принятия технологических решений.

Методы исследования: системного анализа, структурного анализа и проектирования, процессно-ориентированная методология проектирования информационных систем, интеграции и интеллектуализации.

Результаты исследования и их обсуждение

Функциональная модель интегрированной САПР одежды (ИСАПРо) в соответствии с вышеизложенной методологией проектирования информационных систем представлена рядом последовательных диаграмм. На контекстной диаграмме

1-го уровня представлена ИСАПРо, аккумулирующая процессы дизайн-проектирования, конфекционирования пакетов материалов, конструктивных и технологических решений проектируемых изделий [9].

Входной информацией для системы является техническое задание (ТЗ) на разработку проектно-конструкторской документации (ПКД). В техническом задании определяют наименование, назначение, категорийность обработки проектируемого вида одежды. Для проектов, ориентированных на интернет-магазин, уточняют требования, определяющие возрастные, морфологические и психофизиологические особенности потенциальных потребителей. В промышленных проектах могут быть указаны требования предприятий-заказчиков, связанные с условиями эффективного функционирования. В качестве управляющей информации в системе предполагается использовать нормативно-технические документы (государственные, отраслевые стандарты, отраслевые инструкции, методики конструирования одежды). Основными результатами функционирования ИСАПРо является разработка ПКД на проектируемое изделие, включающей техническое описание (ТО) на проектируемое изделие, комплекты лекал на заданные размеророста и образец модели. Механизмом для осуществления функций ИСАПРо становится персональный компьютер (ПК) и специалисты.

На диаграмме второго уровня (рис. 2) представлена декомпозиция контекстной диаграммы, включающая функциональные блоки, представляющие интеллектуальные информационные системы (ИИС) в составе ИСАПРо:

1. ИИС «Дизайнер» считается одной из первичных в составе ИСАПРо и предназначена для создания виртуальных образов проектируемых моделей одежды и их формализованного описания. Источником информации для ИИС «Дизайнер» является ТЗ на выполнение ПКД и артикул основного материала, в том случае, если ТЗ на проект составляется исходя из наличия основных материалов на швейном предприятии. Результат работы ИИС «Дизайнер»: создание художественного эскиза модели, технического рисунка и описания проектируемого изделия (ОПИ) на базе графических приложений машинной графики или использования графической среды AutoCAD. ОПИ представляет собой электронный документ, формирование которого происходит на основе базы знаний (БЗ) художественно-конструктивных решений моделей одежды экспертной системы (ЭС) «Дизайнер».

Одновременно для проектируемой модели осуществляется виртуальный выбор пантона из цветовой палитры текущего и перспективного периода. Для целей представления проектов в интернет-магазинах, участия в выставках, показах, экспозициях в данной системе составляются каталоги ассортиментных групп и рекламная продукция.

2. ИИС «Конфекционер», также является первичной в составе ИСАПРо [9] и предназначена для структуризации и формализации знаний о материалах и их свойствах, принятия решений на различных этапах проектирования изделий на основе знаний о свойствах материалов. Источником информации для ИИС «Конфекционер» служит ТЗ, технический рисунок и ОПИ. Результатом работы данной системы является конфекционная карта, показатели свойств основных материалов (толщина, осыпаемость, прозрачность (явная, неявная), цвет, раздирающая нагрузка, прорубаемость) [1].

3. Основным назначением ИИС «Конструирование швейных изделий» (КШИ) является проектирование конструкторской документации на заданный вид одежды. Информационные источники – технический рисунок модели, ОПИ, конфекционная карта. Работы в системе выполняются в соответствии с нормативно-технической документацией для выполнения конструкторских работ [2, 3], направлением моды. Результатом работы являются комплекты лекал по размерам и ростам, разработка разделов ТО на изделие.

4. ИИС «Раскладка» выполняет разработку схем раскладки лекал для последующего их раскроя. Источником информации данной системы являются формы и размеры лекал, вид и параметры материала, технологические условия формирования раскладки [10]. Результат работы ИИС «Раскладка» – схемы раскладки лекал.

5. Информационными источниками ИИС «Технология швейных изделий» (ТШИ) служат: ТЗ на разработку ПКД, технический рисунок модели, ОПИ, конфекционная карта, показатели свойств основного материала. Проектирование в системе выполняется в соответствии с нормативно-технической документацией для выполнения технологических работ [4, 5]. Результатом работы ИИС ТШИ является технологическая карта (ТК), технологическая последовательность (ТП) на проектируемое изделие, карта оборудования швейного производства, схема разделения труда.

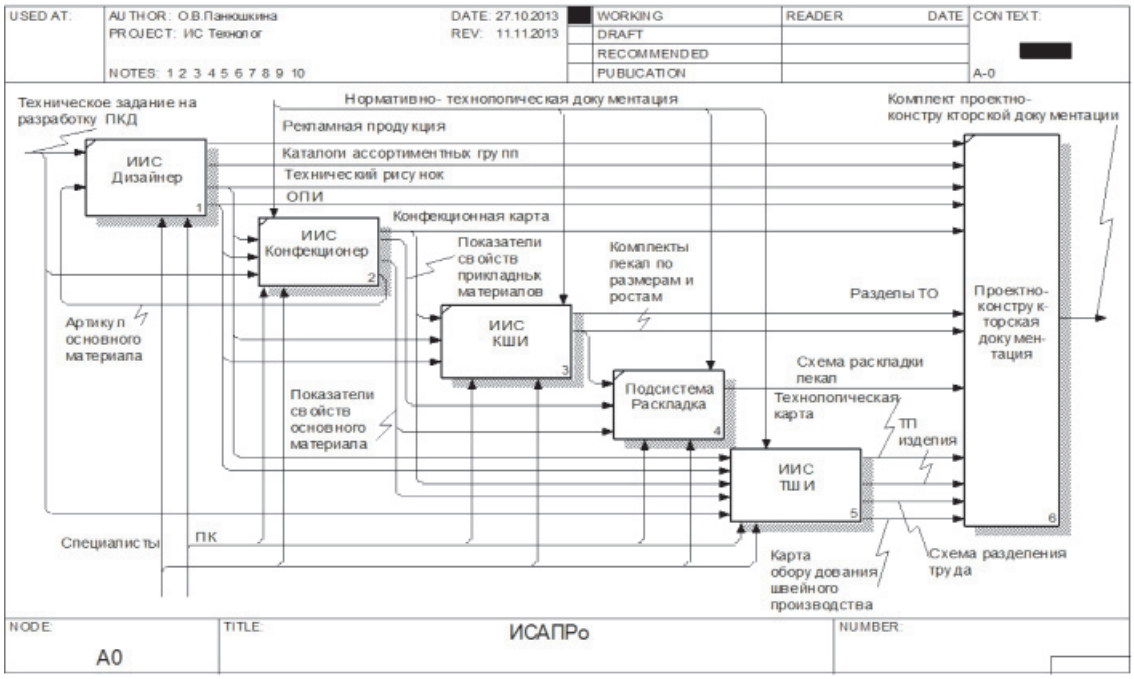


Рис. 2. *FEO-диаграмма* формирования проектно-конструкторской документации на проектируемое изделие в рамках интегрированной САПРо

На диаграмме третьего уровня (рис. 3) представлена декомпозиция ИИС ТШИ, включающая следующие функциональные блоки:

1. «Выбор оборудования швейного производства». Входной информацией для данного блока служит конфекционная карта на пакет материалов проектируемого изделия. Управление работой блока осуществляется на основе нормативно-технической информации [6]. Результатом работы блока является электронная карта швейного оборудования.

2. «Выбор МТО проектируемого изделия». Входной информацией для данного блока служит ТЗ на разработку ПКД, технический рисунок, ОПИ, показатели свойств основного материала. Управление работой блока осуществляется на основе нормативно-технической информации [4, 5]. Результаты работы блока представляются в виде схем методов технологической обработки (МТО) в соответствии с перечнем технологических узлов (ТУ) проектируемого изделия.

3. «Формирование технологической карты». Входной информацией для данного блока служат схемы МТО и технический рисунок. В результате работы блока формируется технологическая карта на изделие. Данный электронный документ в дальнейшем формирует ПКД.

4. «Формирование технологической последовательности технологического узла». Входной информацией для данного блока служат схемы МТО, управление работой блока осуществляется на основе нормативно-технической информации [10]. Результатом работы блока являются технологические последовательности на технологические узлы проектируемого изделия.

5. «Формирование технологической последовательности на изделие». Входной информацией для блока служат технологические последовательности узлов проектируемого изделия. Управление работой данного блока осуществляется средствами нормативно-технической документации [11]. Итогом работы блока является технологическая последовательность на проектируемое изделие, данный документ является разделом ПКД.

6. «Составление схемы разделения труда». Входной информацией для данного блока является карта оборудования швейного производства и технологическая последовательность на проектируемое изделие. Выходной информацией блока является схема разделения труда, составляется на основе расчетов, исходными данными для которых являются технико-экономические показатели процесса.

На диаграмме четвертого уровня (рис. 4) представлена декомпозиция функционального блока «Выбор МТО проектируемого изделия», включающая следующие блоки:

1. «Перечень технологических узлов проектируемого изделия». Входной информацией для данного функционального блока является ОПИ, выходной – наименование *i*-го технологического узла.

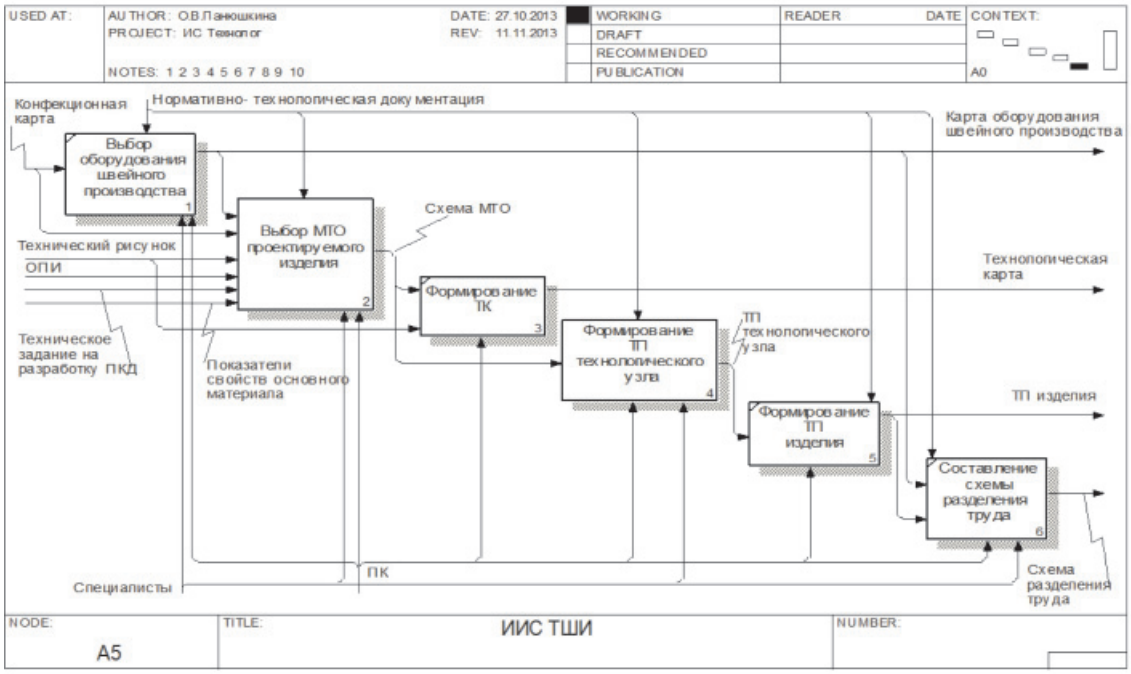


Рис. 3. FEO-диаграмма формирования разделов проектно–конструкторской документации в рамках интеллектуальной информационной системы «Технология швейных изделий»

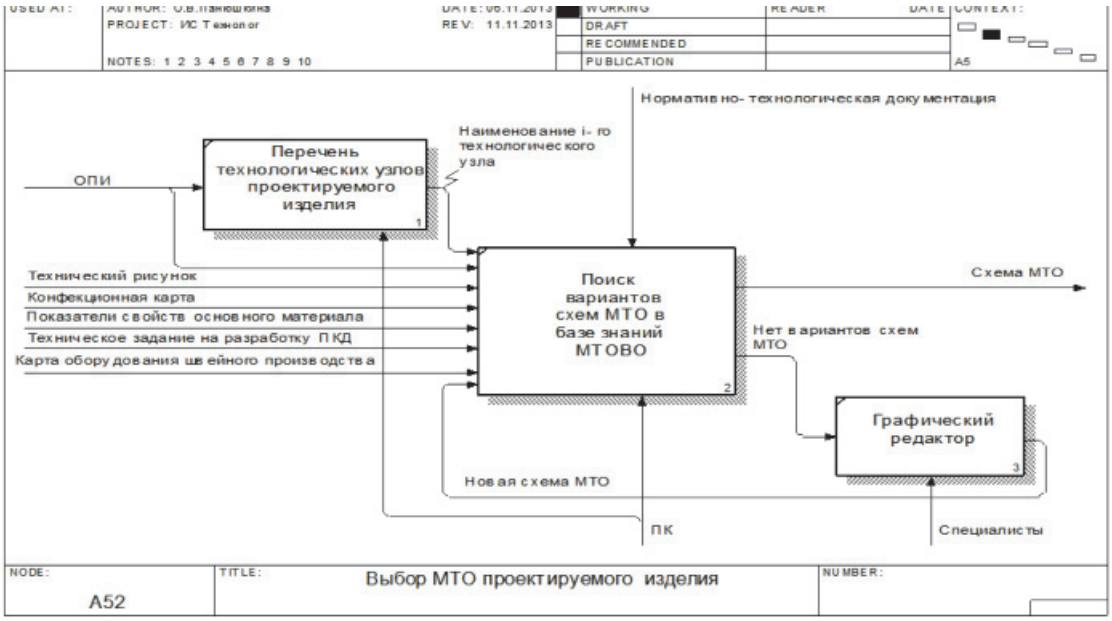


Рис. 4. FEO-диаграмма выбора методов технологической обработки проектируемого изделия

2. «Поиск вариантов схем МТО в базе знаний методов технологической обработки верхней одежды (МТОВО)». Для реализации поиска МТО в БЗ МТОВО необходима следующая входная информация: техническое задание на разработку ПКД, технический рисунок, конфекционная карта, карта швейного оборудования, показатели свойств основного материала, новая схема МТО. Поиск вариантов осуществляется при поддержке нормативно-технической документации. Выходная информация – схема МТО из перечня технологических узлов проектируемого изделия.

3. Если варианты схем МТО не найдены, специалист-эксперт имеет возможность создать необходимую схему МТО в графической среде AutoCAD. Данный вид работ

отражается в функциональном блоке «Графический редактор», выходной информацией для которого является новая схема МТО. Новая схема МТО поступает в блок «Поиск вариантов схем МТО в базе знаний методов технологической обработки верхней одежды» и сохраняется в базе знаний МТОВО.

Таким образом, разработка функциональной модели на основе IDEF-технологий позволяет глубоко изучить природу интегрированной САПР одежды, выявить ключевые процессы, реализуемые в данной системе, явно представить и проанализировать внешние и внутренние интеграционные взаимосвязи интеллектуальных информационных систем ИСАПРо, провести на этой базе реструктуризацию старых и разработку актуальных процессов, таких как принятие технологических решений на основе интеллектуализации. Представленная функциональная модель ИСАПРо может в дальнейшем детализироваться на параллельных и последующих уровнях с целью проектирования в интеллектуальной среде определенных процессов ИСАПРо, которые не были реализованы в автоматизированном режиме до настоящего времени.

Список литературы

1. ГОСТ 12023-2003 Материалы текстильные и изделия из них. Методы определения толщины. – М.: Стандартинформ, 1995. – 7 с.

2. ГОСТ Р 52771-2007 Классификация типовых фигур женщин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды. – М.: Стандартинформ, 2008. – 17 с.

3. ГОСТ Р 52774-2007 Классификация типовых фигур мужчин по ростам, размерам и полнотным группам для проектирования одежды. – М.: Стандартинформ, 2008. – 18 с.

4. ГОСТ 12807-2003 Изделия швейные. Классификация стежков, строчек и швов. – М.: Стандартинформ, 2008. – 115 с.

5. Технические требования к соединениям деталей швейных изделий: Инструкция. – М.: ЦНИИШП, 1991. – 100 с.

6. Кокеткин П.П. Одежда: технология – техника, процессы – качество. – М., Изд-во МГУДТ, 2001. – 560 с.

7. Маклаков С.В. Создание информационных систем с AIIFusion Modeling Suite. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003 – 432 с.

8. Методические рекомендации к лабораторной работе «Построение системного проекта с использованием IDEF-технологии» / И.Э. Антонов. – Владивосток: ТГЭУ, 2005. – 17 с.

9. Подшивалова А.В. Совершенствование автоматизированного проектирования одежды на основе интеллектуализации процесса конфекционирования материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Владивосток, 2011. – 24 с.

10. Сурикова Г.И., Сурикова О.В., Кузьмичев В.Е., Гниденко А.В. Проектирование изделий легкой промышленности в САПР (САПР одежды): учебное пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА, 2013. – 336 с.

11. Типовые нормы времени на технологические операции пошива мужской и женской верхней одежды по индивидуальным заказам при организации работ с разделением труда. – М.: ЦОТШЛ, 1980.

12. Федотова Д.Э., Семенов Ю.Д., Чижик К.Н. CASE-технологии: Практикум. – Горячая линия-Телеком, 2005. – 160с.: ил.

References

1. GOST 12023-2003 Materialy tekstil'nye i izdelija iz nih. Metody opredelenija tolshhiny. M.: Standartinform, 1995. 7 p.

2. GOST R 52771-2007 Klassifikacija tipovyh figur zhenshhin po rostam, razmeram i polnotnym gruppam dlja proektirovanija odezhdy. M.: Standartinform, 2008. 17 p.

3. GOST R 52774-2007 Klassifikacija tipovyh figur muzhchin po rostam, razmeram i polnotnym gruppam dlja proektirovanija odezhdy. M.: Standartinform, 2008. 18 p.

4. GOST 12807-2003 Izdelija shvejnye. Klassifikacija stezhkov, strochek i shvov. M.: Standartinform, 2008. 115 p.

5. Instrukcija «Tehnicheskie trebovanija k soedinenijam detalej shvejnyh izdelij». M.:CNIIShP, 1991. 100 p.

6. Koketkin P.P. Odezhda: tehnologija tehnika, processy kachestvo. M., Izd-vo MGUDT, 2001. 560 p.

7. Maklakov S.V. Sozdanie informacionnyh sistem s AII-Fusion Modeling Suite. M.: DIALOG-MIFI, 2003 432 p.

8. Metodicheskie rekomendacii k laboratornoj rabote «Postroenie sistemnogo proekta s ispol'zovaniem IDEF-tehnologii» / I.Je. Antonov. Vladivostok: TGJeU, 2005. 17 p.

9. Podshivalova A.V. Sovershenstvovanie avtomatizirovannogo proektirovanija odezhdy na osnove intellektualizacii processa konfekcionirovanija materialov: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk: Vladivostok, 2011. 24 p.

10. Surikova G.I., Surikova O.V., Kuz'michev V.E., Gnidenko A.V. Proektirovanie izdelij legkoj promyshlennosti v SAPR (SAPR odezhdy) : uchebnoe posobie. M.:ID «FORUM»: INFRA, 2013. 336 p.

11. Tipovye normy vremeni na tehnologicheskie operacii poshiva muzhskoj i zhenskoj verhnej odezhdy po individual'nym zakazam pri organizacii rabot s razdeleniem truda. M, COTShL, 1980.

12. Fedotova D.Je., Semenov Ju.D., Chizhik K.N. CASE-tehnologii: Praktikum. Gorjachaja linija-Telekom, 2005. 160 p.: il

Рецензенты:

Головко Н.И., д.т.н., профессор кафедры алгебры, геометрии и анализа Школы естественных наук Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток;

Дыда А.А., д.т.н., профессор кафедры автоматических и информационных систем, ФГБОУ ВПО «Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского», г. Владивосток.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 615.453.4/612.396.11/663.052

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТИТЕЛЬНЫХ АНАЛОГОВ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОГО ЖЕЛАТИНА

Просеков А.Ю., Ульрих Е.В., Бабич О.О., Сухих С.А.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности» Кемерово, e-mail: elen.ulrich@mail.ru

Изучены реологические свойства растительных аналогов фармацевтического желатина. Установлено, что гелеобразование лучше всего идет при значении pH, отвечающем изоэлектрической точке, так как при этом по всей длине молекулярной цепи расположено одинаковое число противоположно заряженных ионизированных групп, что способствует установлению связи между отдельными макромолекулами. С изменением pH (в обе стороны от изоэлектрической точки) макромолекулы приобретают одноименный заряд, что препятствует образованию между ними связи. Доказано, что водные растворы растительных аналогов ведут себя аналогично растворам низкомолекулярных соединений. Нагревание приводит к необратимому разрушению молекул растительных аналогов фармацевтического желатина. Установлено, что водные растворы растительных аналогов фармацевтического желатина способны образовывать гель при комнатной температуре в достаточно низких концентрациях и могут быть рекомендованы к добавлению в технологическую смесь для получения капсул медицинского назначения в качестве гелеобразующих агентов. Доказано, что параметры технологических процессов, используемых при производстве капсул фармакологического назначения, также могут влиять на проявляемые смесями реологические свойства. Так, при включении в состав смесей значительного количества крахмалов необходимо будет особое внимание уделить подбору времен проведения основных технологических операций.

Ключевые слова: капсулы, фармацевтический желатин, растительные аналоги, реология, вязкость

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF PLANT ANALOGS OF PHARMACEUTICAL GELATIN

Prosekov A.Y., Ulrikh E.V., Babich O.O., Sukhikh S.A.

FGBOU VPO «Kemerovo Technological Institute of Food Industry», Kemerovo, e-mail: elen.ulrich@mail.ru

The rheological properties of plant analogues of pharmaceutical gelatin. It has been established that gelation is best at a pH corresponding to the isoelectric point, since in this case the entire length of the molecular chain of the same number of oppositely arranged ionized charged groups, thereby establishing communication between the individual macromolecules. With the change in pH (on both sides of the isoelectric point) macromolecules become eponymous charge that prevents the formation of connections between them. It is proved that aqueous plant analogs behave similarly solutions of low molecular weight compounds. Heating causes irreversible destruction of plant molecular analogues of pharmaceutical gelatin. Found that aqueous solutions of pharmaceutical gelatin plant analogues capable of forming a gel at room temperature sufficiently low concentrations and can be recommended to add a process to obtain a mixture of medical capsules as gelling agents. Proved that the parameters of the technological processes used in the manufacture of capsules pharmacological destination can also affect the rheological properties of the blends exhibited. So, when incorporated into the composition of mixtures of significant amounts of starch, it is necessary to pay special attention to the selection process time of the basic operations.

Keywords: capsules, pharmaceutical gelatin, vegetable analogs rheology, viscosity

Реология – это раздел физической механики, посвященный изучению процесса течения. В настоящее время она включает в себя практически все аспекты процесса деформирования материалов под влиянием приложенных внешних напряжений. По существу реология изучает особенности восприимчивости материалов (в том числе полимерных), находящихся в различных агрегатных состояниях, к приложению внешнего поля сил [1].

Важным понятием, характеризующим свойства полимерных растворов, является вязкость (внутреннее трение) – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой. В результате происходит рассеяние в виде тепла работы, затрачиваемой на это перемещение.

Особенности реологии растворов, содержащих макромолекулы. Вязкость растворов, содержащих макромолекулы, обычно выше вязкости растворов низкомолекулярных соединений и коллоидных растворов тех же концентраций [2]. Только очень разбавленные растворы высокомолекулярных соединений можно считать подчиняющимися законам Ньютона и Пуазейля. Долгое время высокую вязкость растворов высокомолекулярных соединений объясняли большой сольватацией макромолекул. Однако впоследствии в связи с обнаружением сравнительно незначительной сольватации макромолекул пришли к убеждению, что отклонения вязкости растворов высокомолекулярных соединений от законов, которым подчиняются растворы низкомолекулярных веществ, следует

объяснить особенностями гидродинамики систем, содержащих вытянутые и гибкие макромолекулы и наличием в них ассоциатов и легко разрушаемых структур [3].

На форму макромолекулы в растворе существенным образом влияет природа растворителя. В одном растворителе молекулы полимеров могут быть более вытянуты, в другом – более свернуты в клубок. Как правило, чем лучше полимер растворяется в данной жидкости, чем более он сольватирован, тем меньше участки молекулярной цепи взаимодействуют друг с другом, тем более вытянуты макромолекулы и тем выше вязкость раствора. В плохом растворителе макромолекулы мало сольватированы и поэтому образуют более компактные клубки. Таким образом, для одного и того же полимера, растворенного в различных растворителях, будет меняться гидродинамическое сопротивление макромолекул потоку жидкости, а следовательно, и характеристическая вязкость.

Растворы макромолекул средней концентрации не подчиняются законам Ньютона и Пуазейля. Коэффициент вязкости для этих растворов не является постоянным, а зависит от градиента скорости сдвига или давления, если определение ведут с помощью капиллярного вискозиметра. При этом, так же как и для структурированных коллоидных систем, с возрастанием градиента скорости вязкость раствора падает, постепенно приближаясь к некоторому пределу.

При повышении температуры увеличивается интенсивность движения сегментов, что препятствует образованию структур, и вследствие этого отклонение от законов Ньютона и Пуазейля при повышенных температурах наблюдается в меньшей степени. Кроме того, при повышении температуры понижается истинный коэффициент внутреннего трения, что также обусловливает понижение вязкости раствора. Повышение температуры не всегда ведет к понижению вязкости раствора высокомолекулярного вещества. Такое понижение характерно для растворов, содержащих сильно разветвленные макромолекулы, у которых сегментарный тип движения мало выражен. Вязкость растворов, содержащих длинные неразветвленные молекулярные цепи, с повышением температуры может даже повышаться из-за увеличения интенсивности движения сегментов, препятствующего ориентации макромолекулы в потоке [4].

Помимо зависимости коэффициента вязкости от градиента скорости для растворов средней концентрации наблюдаются и другие аномалии, например, увеличение вязкости при стоянии раствора, уменьшение вязкости после нагревания и последующего охлаждения раствора, после перемешивания и т.д. Все эти аномалии являются следствием неравновесности раствора, с которым имеет дело экспериментатор, и происходят из-за склонности системы к структурированию.

Весьма характерно изменение вязкости растворов полимеров с увеличением их концентрации. В отличие от растворов низкомолекулярных соединений, для которых характерно линейное возрастание вязкости от концентрации, для растворов полимеров с повышением концентрации вязкость этого раствора возрастает очень резко по кривой, обращенной выпуклостью к оси концентрации. Одной из причин резкого увеличения вязкости с повышением концентрации является образование в системе структур.

На вязкость, так же как и на осмотическое давление достаточно концентрированных растворов высокомолекулярных веществ, может влиять способ приготовления раствора. И здесь такое влияние объясняется медленным установлением равновесия в системе.

Наконец, на вязкость растворов высокомолекулярных веществ может влиять введение в раствор небольших количеств некоторых веществ. Повышение вязкости растворов высокомолекулярных веществ при введении в них различных добавок объясняется либо увеличением взаимодействия макромолекул друг с другом в результате освобождения под влиянием примесей активных мест на молекулярных цепях, либо образованием химических связей между молекулами полимера и примесей (действие окислов металлов, альдегидов). Понижение вязкости также можно объяснить двумя причинами: либо деструкцией макромолекул под влиянием примесей (действие аммиака, альдегидов, кислот и т.д.), либо уменьшением взаимодействия цепей друг с другом в результате взаимодействия примесей с активными группами макромолекулы.

Гелеобразование. Растворы высокомолекулярных веществ в известных условиях теряют свою текучесть, т.е. переходят в гели. Гелеобразование может происходить спонтанно (самопроизвольно), в результате изменения температуры, при концентрировании раствора или при добавлении к нему не слишком больших количеств электролита. Как правило, под действием этих факторов структурная вязкость системы возрастает, что приводит к превращению жидкости в гель – систему, проявляющую ряд свойств твердого тела [5].

Причина гелеобразования состоит в возникновении связей между молекулами

высокомолекулярного вещества, которые в растворе представляли собою кинетические отдельности. Между молекулами полимера в растворе могут образовываться кратковременные связи, приводящие к возникновению ассоциатов. Однако если средний период существования связей между макромолекулами становится очень большим (практически бесконечным), то ассоциаты не будут распадаться и возникшие образования проявляют в некоторой степени свойства твердой фазы. Постоянные связи между молекулами в растворах высокомолекулярных веществ могут образовываться в результате взаимодействия полярных групп макромолекул или ионизированных ионогенных групп, несущих электрический заряд различного знака, и, наконец, между макромолекулами могут возникать химические связи. Таким образом, гелеобразование есть не что иное, как процесс появления и постепенного упрочнения в гелеобразующей системе пространственной сетки.

Повышение температуры, если только при этом в системе не происходит необратимых химических изменений, обычно препятствует гелеобразованию из-за возрастания интенсивности микроброуновского движения сегментов и уменьшения вследствие этого числа и длительности существования связей, возникающих между макромолекулами. Наоборот, понижение температуры, как правило, способствует гелеобразованию, так как при этом спектр контактов между макромолекулами расширяется и сдвигается в сторону большей прочности. Следует заметить, что переход раствора в гель, равно как и геля в раствор, с изменением температуры совершается непрерывно, т.е. в этом случае не существует температур, подобных температурам кристаллизации или плавления.

Чем выше концентрация, тем выше температура, при которой растворы высокомолекулярных веществ переходят в гели.

На способность к гелеобразованию водных растворов амфотерных высокомолекулярных электролитов весьма сильно влияет pH раствора. Гелеобразование лучше всего идет при значении pH, отвечающем изоэлектрической точке, так как при этом по всей длине молекулярной цепи расположено одинаковое число противоположно заряженных ионизированных групп, что способствует установлению связи между отдельными макромолекулами. С изменением pH (в обе стороны от изоэлектрической точки) макромолекулы приобретают одноименный заряд, что препятствует образованию между ними связи. При добавлении больших количеств кислоты или щелочи степень ионизации ионогенных групп уменьшается, и тенденция к гелеобразованию снова увеличивается.

Также на способность к гелеобразованию влияет наличие низкомолекулярных нейтральных электролитов.

Свойства гелей. Наиболее интересными особенностями обычных гелей являются их механические свойства, в частности, эластичность.

Растворы высокомолекулярных веществ, в которых межмолекулярные связи чрезвычайно непрочны, способны течь, т.е. реагируют даже на очень слабые сдвиговые усилия. Однако если время существования хотя бы части контактов между макромолекулами становится очень большим, образовавшийся гель уже способен противостоять течению вплоть до какого-то определенного значения напряжения сдвига и ведет себя при сдвиговых усилиях ниже этого критического значения как эластическое твердое тело. Значение критического напряжения сдвига зависит от числа и прочности молекулярных контактов.

На механические свойства гелей сильно влияет их концентрация. Гели, содержащие в единице объема малое число постоянных межмолекулярных связей, обычно весьма эластичны. Наоборот, гели с большим числом связей между макромолекулами сравнительно мало эластичны, так как чем больше связей между цепями полимера, тем меньше возможность изменения формы макромолекулы, тем более жестка образовавшаяся сетка [4].

Некоторые гели полимеров обладают явно выраженными тиксотропными свойствами. У таких гелей прочность связей между макромолекулами должна быть достаточно малая, чтобы они могли легко разрушаться под действием приложенного усилия сдвига. Кроме того, у подобных гелей должен быть достаточно узкий спектр молекулярных контактов. Гели, у которых этот спектр размыт, обычно не проявляют тиксотропии. В самом деле, когда связность структуры нарушается путем механического воздействия, при узком спектре молекулярных контактов большинство связей разрушается и затем восстанавливается при стоянии системы. Это и составляет сущность явления тиксотропии. Если же спектр контактов широкий, разрушается только небольшое «число связей, обладающих наименьшей прочностью. Система распадается на большие куски, которые не могут соединиться и образовать структуру с первоначальным значением критического напряжения сдвига [5].

Большинство гелей, встречающихся в растительном и животном мире, обладают

анизотропией, обусловленной условиями образования этих гелей. Причиной анизотропии искусственно полученных гелей обычно является неравномерная деформация их при образовании или неравномерная усадка при высушивании. Примером может служить гель, полученный высушиванием раствора желатина на стеклянной пластинке. Очевидно, усадка в таких условиях может происходить только по толщине пленки геля, в результате чего макромолекулы желатина будут ориентированы преимущественно параллельно плоскости пластинки.

Материалы и методы исследований

Для проведения технологических операций по получению твердых капсул фармакологического назначения, как правило, готовят водный раствор из отобранных компонентов. Чтобы получить капсулы со стенками равномерной толщины, необходимо приготовить раствор с определенной (заданной) вязкостью. Вязкость растворов в общем случае зависит от многих условий, таких как состав раствора, концентрации компонентов, температура раствора, pH среды, наличие электролитов в растворе, а также от условий приготовления. Для того чтобы составить рецепт приготовления раствора с оптимальными характеристиками, необходимо изучить реологические свойства водных растворов индивидуальных компонентов.

Для анализа реологических свойств растворы образцов растительных аналогов фармацевтического желатина разной концентрации (0,5; 14; 1,5%) готовили в деионизованной воде. Растворы оставляли на ночь при 4°C. На следующий день образцы перемешивали при комнатной температуре до полного растворения пектина.

Затем от растворов отбирали пробы по 20 мл, которые нагревали до 100°C и перемешивали в течение 5 мин. Затем охлаждали до 25°C.

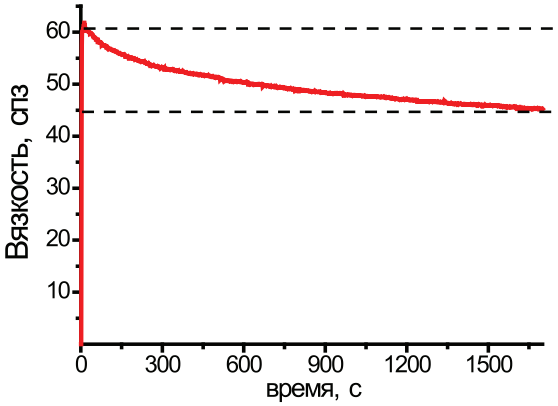
Для измерения зависимости от pH растительные аналоги растворяли в универсальной буферной смеси (0,04 М уксусной кислоты, 0,04 М фосфорной кислоты, 0,04 М борной кислоты) с соответствующими значениями pH (2–6, с шагом 1). Растворы пектинов для всех значений pH готовили с концентрацией 1,5%. Растворы оставляли на ночь при 4°C. На следующий день образцы перемешивали при комнатной температуре до полного растворения пектина. При необходимости доводили pH до нужного значения NaOH или HCl.

Затем от растворов отбирали пробы по 20 мл, которые нагревали до 100°C и перемешивали в течение 5 мин. Затем охлаждали до 25°C.

В рамках данного исследования вязкость измеряли на вискозиметре ротационного типа Brookfield LVDV-II + Pro (шпиндели 00, 18, 34), в основе работы которого лежит метод коаксиальных цилиндров (метод Куэтта). Все измерения проводили в термостатируемых стаканах, прилагающихся к вискозиметру. Для термостатирования использовали криотермостат LOIP FT-211-25 (Россия). Объем образцов составлял 10 мл. Градиент скорости сдвига в ходе измерения динамической вязкости определяли исходя из геометрии шпинделя и стакана, в котором проводили измерения.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты измерений представлены на рисунке.



Зависимость измеряемой вязкости 5%-го водного раствора растительного аналога фармацевтического желатина от времени. Измерения проводили при 25°C, градиент скорости сдвига составил 12,2 $с^{-1}$. Пунктирными линиями обозначены диапазоны изменения вязкости

Из рисунка видно, что измеряемое значение вязкости снижается с 60 спз в начале измерения до 45 спз в конце измерения (измерение проводили около 30 мин). Это свидетельствует о структурных перестройках в данном растворе растительного аналога, характерные времена которых составляют 10-ки минут. Вероятно, происходит постепенное снижение числа межмолекулярных контактов, обусловленное ориентацией молекул по направлению течения жидкости в ходе измерения (т.е. по окружностям).

Из представленных результатов следует, что наблюдаемое значение вязкости для водных растворов полисахаридов при прочих равных условиях может зависеть от процедуры измерения. Это означает, что параметры технологических процессов, используемых при производстве капсул фармакологического назначения, также могут влиять на проявляемые смесями реологические свойства. Так, при включении в состав смесей значительного количества крахмалов необходимо будет особое внимание уделить подбору времен проведения основных технологических операций. Далее в качестве приводимых значений вязкости используются наибольшие из наблюдаемых значений, как правило, соответствующие наименьшему градиенту скорости сдвига в ходе измерений.

Выводы

По результатам анализа реологических свойств водных растворов растительных

аналогов фармацевтического желатина для получения капсул медицинского назначения можно сделать следующие выводы.

Водные растворы растительных аналогов ведут себя аналогично растворам низкомолекулярных соединений. Вязкость варьируется в диапазоне 10–100 спз (для 1,0-1,5 %-х водных растворов). Нагревание до 100 °С при pH 6 приводит к необратимому разрушению молекул растительных аналогов фармацевтического желатина.

По своим реологическим характеристикам, определяемым при 50–70 °С, водные растворы растительных аналогов фармацевтического желатина способны образовывать гель при комнатной температуре в достаточно низких концентрациях (начиная с 0,5 %) и могут быть рекомендованы к добавлению в технологическую смесь для получения капсул медицинского назначения в качестве гелеобразующих агентов.

Список литературы/References

1. Danilenko A.N. Equilibrium and cooperative unit of the process of melting of native starches with different packing of the macromolecule chains in the crystallites // A.N. Danilenko, Ye.V. Shtykova., V.P. Yuryev // Biophysics (in Russian). – 1994. – Vol. 39. – P. 427–432.

2. Grinberg V.Ya. Thermodynamics of Conformational Ordering of ι-Carrageenan in KCl Solutions Using High-Sensitivity Differential Scanning Calorimetry / V.Ya. Grinberg, N.V. Grinberg, A.I. Usov, N.P. Shusharina, A.R. Khokhlov, K.G. de Kruif. // Biomacromolecules. – 2001. – Vol. 2 – P. 864–873.

3. Luzio G.A. Determination of galacturonic aid content of pectin using a microtiter plate assay / G.A. Luzio // Proc. Fla. State Hort. Soc. – 2004. – Vol. 117. – P. 416–421.

4. Parker R. Aspects of the Physical Chemistry of Starch / R. Parker, S.G. Ring // Journal of Cereal Science. – 2001. – Vol. 34 – P. 1–17.

5. Wang T.A. Starch: as simple as A, B, C. / T.A. Wang, T. Ya. Bogracheva, C.L. Hedley // Journal of Experimental Botany. – 1998. – Vol. 49 – P. 481–502.

Рецензенты:

Курбанова М.Г., д.т.н., зав. кафедрой технологии хранения и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВПО «Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт», г. Кемерово;

Попов А.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой прикладной механики, ФГБОУ ВПО КемТИПП, г. Кемерово.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 531.395

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШАРНИРНЫХ СТЕРЖНЕЙ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Смирнов Д.А., Тежикова Н.П.

ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, e-mail: dmsmir@yandex.ru

Разработана математическая модель динамики движения незамкнутой кинематической цепи двух шарнирно-соединенных стержней, обладающая двумя степенями свободы. В качестве основы для разработки математической модели служат уравнения Лагранжа второго рода. Полученная математическая модель использована для решения частной задачи при заданных начальных условиях. Решение системы дифференциальных уравнений осуществлено численным методом Рунге–Кутта четвертого порядка. Определен закон движения системы в обобщенных координатах, представлены графики зависимостей углов поворота и угловых скоростей от времени. На основе анализа результатов расчета сделан вывод о наличии двух этапов в движении системы. На этапе установившегося движения стержни образуют практически прямую линию. При этом относительное движение второго стержня носит характер затухающих колебаний. Результаты работы могут быть использованы для разработки математических моделей динамики движения незамкнутых кинематических цепей с конечным числом степеней свободы.

Ключевые слова: динамика механических систем, относительное движение, уравнения Лагранжа второго рода

STUDY ON KINETICS OF TWO-DEGREE-OF-FREEDOM HINGED ARMS MATERIAL SYSTEM

Smirnov D.A., Tezhikova N.P.

Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: dmsmir@yandex.ru

A mathematical model for kinetics of two-degree-of-freedom hinged arms material system is set up. Lagrange's equations of the second kind are taken as the basis for the mathematical model. The resulted mathematical model is used to solve a specific problem under given initial conditions. The simultaneous equations are solved by using Runge-Kutta method of the forth kind. The motion law for the system in generalized coordinates is defined. Diagrams for the arms rotary angle and rate versus time relationships are presented. The analysis of the calculation data shows the presence of two stages of the system motion. The arms form a practically direct line at the stable motion stage. Here the relative motion of the second arm is characterized by convergent oscillations. The results of the present research can be used to develop mathematical models for kinetics of open kinematic chains with finite number of degrees of freedom.

Keywords: kinetics of material systems, relative motion, Lagrange's equations of the second kind

Изучение динамики незамкнутых кинематических цепей с конечным числом степеней свободы является актуальной задачей для различных областей науки и техники, например, исследования динамики механических манипуляторов [5].

Целью данной работы является развитие методов исследования динамики незамкнутых кинематических цепей, а также разработка математической модели динамики механической системы шарнирно-соединенных стержней (рис. 1) с двумя степенями свободы. В работе решается частная задача по определению закона движения системы в обобщенных координатах.

Материалы и методы исследования

Рассматривается механическая система, состоящая из двух абсолютно твердых стержней, длины которых обозначим l_1, l_2. Стрежни соединены между собой шарниром O_1. Стержень 1 закреплен при помощи неподвижного цилиндрического шарнира O. На стержень 1 действует момент активных сил M.

Задача решается при следующих предположениях:

– все шарниры являются идеальными (силы трения и их моменты отсутствуют);

– движение происходит в горизонтальной плоскости (силы тяжести не совершают работы);

– момент активных сил является постоянным M = const.

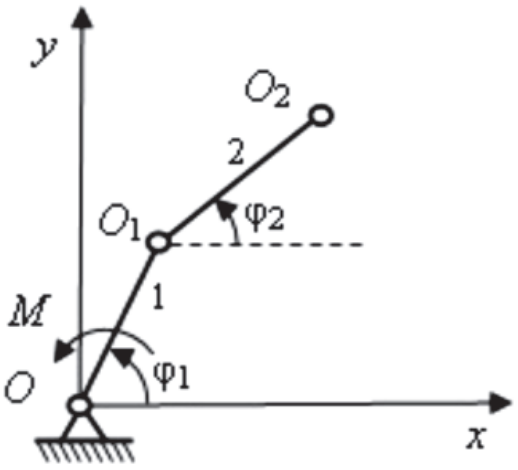


Рис. 1. Кинематическая схема: 1, 2 – абсолютно твердые стержни; O_1, O_2, – идеальные шарниры; φ_1, φ_2 – углы поворота стержней; M – момент активных сил

Для решения задачи об определении закона движения механической системы используется метод уравнений Лагранжа II рода [2, 4]. Система имеет две степени свободы. В качестве обобщенных координат выбраны углы поворота стержней φ_1, φ_2. Таким образом, уравнения Лагранжа II рода можно записать в виде

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_i}\right)-\frac{\partial T}{\partial \phi_i}=Q_i, \quad (1)$$

где φ_i – обобщенные координаты системы; $\dot{\phi}_i$ – обобщенные скорости; Q_i – обобщенные силы; T – кинетическая энергия системы.

Кинетическая энергия системы определяется как сумма кинетических энергий двух стержней по формуле

$$T = T_1 + T_2, \quad (2)$$

где T_1 – кинетическая энергия стержня 1, T_2 – кинетическая энергия стержня 2.

Кинетическая энергия стержня 1 определяется по формуле [6]

$$T_1=\frac{1}{2}I_O^{(1)}\dot{\phi}_1^2=\frac{1}{6}m_1l_1^2\dot{\phi}_1^2, \quad (3)$$

где $I_O^{(1)}=\frac{1}{3}m_1l_1^2$ – момент инерции стержня 1 относительно точки O.

Кинетическую энергию стержня 2 определим по формуле [6]

$$T_2=\sum\frac{m_k\overline{V}_k^2}{2}, \quad (4)$$

где m_k – масса k-й точки стержня 2; $\overline{V}_k$ – вектор скорости k-й точки стержня 2.

Скорость $\overline{V}_k$ определяется теоремой сложения скоростей

$$\overline{V}_k=\overline{V}_{O_1}+\overline{V}_{kO_1}, \quad (5)$$

где $\overline{V}_{O_1}$ – вектор скорости k-й точки стержня 2 от переносного движения (вектор скорости полюса – точки O_1); $\overline{V}_{kO_1}$ – вектор относительной скорости k-й точки стержня 2 от его вращения вокруг полюса O_1.

Подставляя (5) в выражение (4), получим

$$T_2=\sum\frac{m_k^{(2)}\overline{V}_k^2}{2}=\sum\frac{m_k^{(2)}}{2}\left(\overline{V}_{O_1}+\overline{V}_{kO_1}\right)^2=\frac{1}{2}\sum m_k^{(2)}\left(V_{O_1}^2+2V_{O_1}V_{kO_1}\cos(\phi_2-\phi_1)+V_{kO_1}^2\right), \quad (6)$$

где $(\phi_2-\phi_1)$ – угол между вектором скорости переносного движения $\overline{V}_{O_1}$ и вектором относительной скорости $\overline{V}_{kO_1}$.

Запишем выражения для переносной скорости V_{O_1} и относительной скорости V_{kO_1}

$$V_{O_1}=\dot{\phi}_1l_1;\ V_{kO_1}=\dot{\phi}_2r_k,$$

где r_k – радиус вектор k-й точки стержня 2 в относительном вращении вокруг полюса O_1.

Подставляя эти выражения в формулу (6) для кинетической энергии стержня 2, получим

$$T_2=\frac{1}{2}\sum m_k\left(\dot{\phi}_1^2l_1^2+2\dot{\phi}_1l_1\dot{\phi}_2r_k\cos(\phi_2-\phi_1)+\dot{\phi}_2^2r_k^2\right).$$

Раскрывая скобки, получим

$$T_2=\frac{1}{2}\left(\dot{\phi}_1^2l_1^2\sum m_k+2\dot{\phi}_1l_1\dot{\phi}_2\cos\left(\phi_2-\phi_1\right)\sum m_kr_k+\dot{\phi}_2^2\sum m_kr_k^2\right). \quad (7)$$

Учитывая, что $\sum m_k=m_2$ – масса стержня 2, $\sum m_kr_k=\frac{1}{2}m_2l_2$ – статический момент стержня 2 относительно точки O_1, $\sum m_kr_k^2=\frac{1}{3}m_2l_2^2$ – момент инерции стержня 2 относительно точки O_1, окончательно для кинетической энергии стержня 2 получим

$$T_2=\frac{1}{2}m_2\dot{\phi}_1^2l_1^2+\frac{1}{2}m_2l_1l_2\cos\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2+\frac{1}{6}m_2l_2^2\dot{\phi}_2^2. \quad (8)$$

Запишем выражение для кинетической энергии системы

$$T=T_1+T_2=\frac{1}{6}m_1l_1^2\dot{\phi}_1^2+\frac{1}{2}m_2\dot{\phi}_1^2l_1^2+\frac{1}{2}m_2l_1l_2\cos\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2+\frac{1}{6}m_2l_2^2\dot{\phi}_2^2;$$

$$T=\frac{1}{2}\left(\frac{1}{3}m_1+m_2\right)l_1^2\dot{\phi}_1^2+\frac{1}{6}m_2l_2^2\dot{\phi}_2^2+\frac{1}{2}m_2l_1l_2\cos\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2. \quad (9)$$

Определим производные от кинетической энергии системы, необходимые для составления левых частей уравнений Лагранжа.

$$\frac{\partial T}{\partial \phi_1}=\frac{1}{2}m_2l_1^2l_2^2\sin\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2; \quad (10)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \phi_2}=-\frac{1}{2}m_2l_1^2l_2^2\sin\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2; \quad (11)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1}=\left(\frac{1}{3}m_1+m_2\right)l_1^2\dot{\phi}_1+\frac{1}{2}m_2l_1l_2\cos\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_2;$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_1}\right)=\left(\frac{1}{3}m_1+m_2\right)l_1^2\ddot{\phi}_1+$$

$$+\frac{1}{2}m_2l_1l_2\left(\cos\left(\phi_2-\phi_1\right)\ddot{\phi}_2-\sin\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_2^2+\sin\left(\phi_2-\phi_1\right)\dot{\phi}_1\dot{\phi}_2\right); \quad (12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2} = \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1 + \frac{1}{3} m_2 l_2^2 \dot{\phi}_2;$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}_2}\right) = \frac{1}{3} m_2 l_2^2 \ddot{\phi}_2 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \left(\cos(\phi_2 - \phi_1)\ddot{\phi}_1 + \sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1^2 - \sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2\right). \quad (13)$$

Правые части уравнений Лагранжа представляют собой обобщенные силы, определяемые выражением

$$Q_i = \sum \delta A_j \big/ \delta \phi_i,$$

где $\sum \delta A_j$ – сумма работ активных сил, действующих на систему на ее возможном перемещении.

Учитывая, что на систему действует только момент активных сил M, получим

$$Q_1 = M;\ Q_2 = 0. \quad (14)$$

Подставляя выражения (10), (11), (12), (13) и (14) в уравнения Лагранжа (1), получим систему двух дифференциальных уравнений второго порядка относительно обобщенных координат ϕ_1 и ϕ_2

$$\left(\frac{1}{3} m_1 + m_2\right) l_1^2 \ddot{\phi}_1 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)\ddot{\phi}_2 - \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_2^2 + m_2 l_1^2 l_2^2 \sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 = M; \quad (15)$$

$$\frac{1}{3} m_2 l_2^2 \ddot{\phi}_2 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \cos(\phi_2 - \phi_1)\ddot{\phi}_1 + \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2 \sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1^2 - m_2 l_1 l_2 \sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 = 0. \quad (16)$$

Введем обозначения:

$$A_1 = \left(\frac{1}{3} m_1 + m_2\right) l_1^2;\quad A_2 = \frac{1}{3} m_2 l_2^2;$$

$$B = \frac{1}{2} m_2 l_1 l_2.$$

Уравнения (15) и (16) принимают вид

$$A_1 \ddot{\phi}_1 + B\cos(\phi_2 - \phi_1)\ddot{\phi}_2 - B\sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_2^2 + 2B\sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 = M; \quad (17)$$

$$A_2 \ddot{\phi}_2 + B\cos(\phi_2 - \phi_1)\ddot{\phi}_1 + B\sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1^2 - 2B\sin(\phi_2 - \phi_1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 = 0. \quad (18)$$

Введя обозначения

$$a_1 = \frac{B}{A_1}\cos(\phi_2 - \phi_1);\ a_2 = \frac{B}{A_2}\cos(\phi_2 - \phi_1);$$

$$b_1 = \frac{B}{A_1}\sin(\phi_2 - \phi_1);\ b_2 = \frac{B}{A_2}\sin(\phi_2 - \phi_1)$$

и $m = \dfrac{M}{A_1}$ получим

$$\ddot{\phi}_1 + a_1 \ddot{\phi}_2 - a_1 \dot{\phi}_2^2 + 2a_1 \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 = m; \quad (19)$$

$$\ddot{\phi}_2 + a_2 \ddot{\phi}_1 + a_2 \dot{\phi}_1^2 - 2a_2 \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2 = 0. \quad (20)$$

Выразим вторые производные по времени $\ddot{\phi}_1$ и $\ddot{\phi}_2$

$$\ddot{\phi}_1 = m - a_1 \frac{ma_2 + a_2 \dot{\phi}_1^2 + a_1 a_2 \dot{\phi}_2^2 - 2a_2(a_1 + 1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2}{(a_1 a_2 - 1)} + a_1 \dot{\phi}_2^2 - 2a_1 \dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2;$$

$$\ddot{\phi}_2 = \frac{ma_2 + a_2 \dot{\phi}_1^2 + a_1 a_2 \dot{\phi}_2^2 - 2a_2(a_1 + 1)\dot{\phi}_1 \dot{\phi}_2}{(a_1 a_2 - 1)}.$$

Решение этой системы уравнений может быть осуществлено различными численными методами [1, 3].

Результаты исследований и их обсуждение

Рассмотрим результаты решения, полученные при реализации метода Рунге–Кутта четвертого порядка. На рис. 2 представлены зависимости углов поворота стержней φ_1 и φ_2 от времени t, а на рис. 3 показаны зависимости угловых скоростей $\omega_1 = \dot{\phi}_1$ и $\omega_2 = \dot{\phi}_2$ от времени. Представленные зависимости получены при следующих исходных данных и начальных условиях:

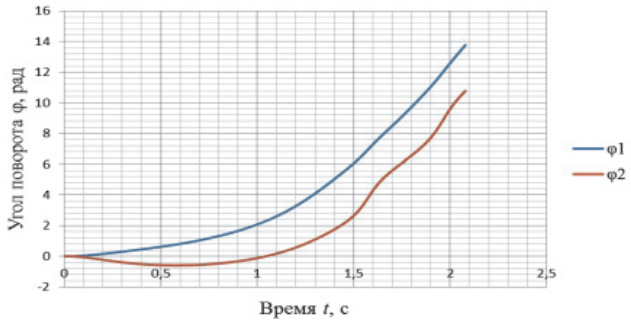
$$m_1 = m_2 = 1\ (\text{кг}),\ l_1 = l_2 = 1\ (\text{м}),$$

$$M = 5\ (\text{Н·м}),\quad t = 0,$$

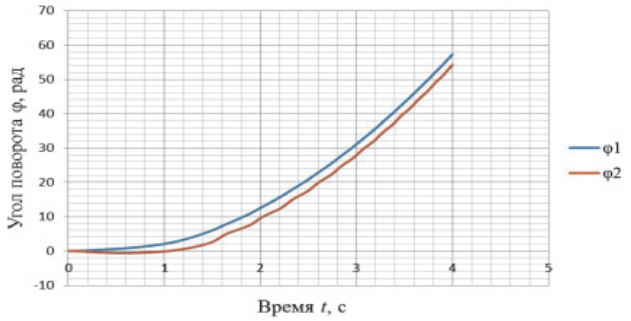
$$\phi_1\big|_{t=0} = 0,\quad \phi_2\big|_{t=0} = 0,$$

$$\dot{\phi}_1\big|_{t=0} = 0,\quad \dot{\phi}_2\big|_{t=0} = 0.$$

Анализ результатов решения показывает, что движение системы можно разделить на два этапа. Первый этап неустановившегося движения, когда стержни 1 и 2 вращаются в противоположных направлениях (рис. 2*а* и 3*а*). Через небольшой промежуток времени после начала движения начинается второй этап, на котором стержни 1 и 2 начинают вращаться в одном направлении (рис. 3*б*), причем стержень 2 как бы догоняет стержень 1. Можно говорить о начале установившегося движения. Стержни при этом располагаются практически в прямую линию.

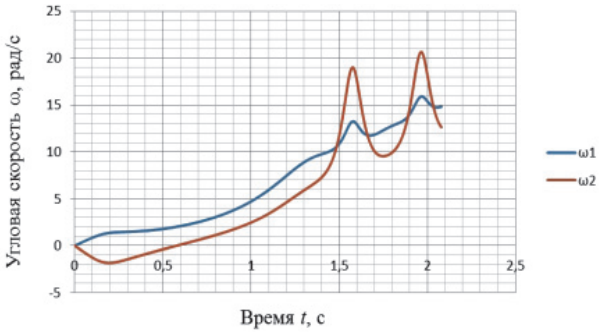


а

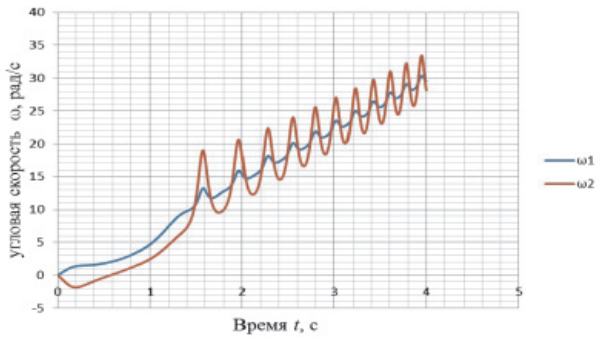


б

Рис. 2. Зависимость углов поворота стержней от времени:
а – зависимость углов поворота стержней от времени на этапе неустановившегося движения;
б – зависимость углов поворота стержней от времени на этапе установившегося движения



а



б

Рис. 3. Зависимость угловых скоростей от времени:
а – зависимость угловых скоростей от времени на этапе неустановившегося движения;
б – зависимость угловых скоростей от времени на этапе установившегося движения

Заключение

Анализ графиков угловых скоростей показывает, что движение стержня 2 обладает признаками периодичности. Угловая скорость стержня 2 периодически меняется относительно угловой скорости стержня 1

(рис. 3). Рассматривая движение стержня 2 как сложное, состоящее из переносного движения стержня 1 и относительного движения стержня 2 по отношению к вращающейся точке O_1, сделаем вывод, что относительное движение стержня 2 можно рассматривать как затухающее колебание.

Результаты решения, полученные при других исходных данных и начальных условиях, позволяют сделать следующие выводы:

– длительность неустановившегося движения зависит от момента активных сил M, при увеличении момента активных сил время неустановившегося движения уменьшается;

– минимальное значение угла поворота второго стержня φ_2 не зависит от величины момента активных сил, а зависит только от начальных условий.

Результаты работы могут быть использованы для разработки математических моделей динамики незамкнутых кинематических цепей.

Список литературы

1. Бахвалов С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 636 с.

2. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: ГИФМЛ, 1961. – 824 с.

3. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. – М.: Наука, 1989. – 608 с.

4. Панов Ю.Л., Панов А.Ю. Относительное движение в механике. Инженерные задачи. НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2008. – 144 с.

5. Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы: Динамика и алгоритмы. – М.: Наука, 1978. – 400 с.

6. Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики. – М.: КноРус, 2011. – 608 с.

References

1. Bakhvalov N.S., Zhidkov N.P., Kobelkov GM. Numerical Methods. Moscow, BINOM. Laboratoriya Znaniy, 2006. 636 p.

2. Lure A.I. Analytical Mechanics. Moscow, GIFML, 1961. 824 p.

3. Marchuk G.I. Methods of Computing Mathematics. Moscow, Nauka, 1989. 608 p.

4. Panov Yu.L., Panov A.Yu. Relative Motion in Mechanics. Engineering Tasks. NGTU n. a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, 2008. 144 p.

5. Popov E.P., Vereschagin A.F., Zenkevich S.L. Manipulator Robots: Dynamics and Algorithms. Moscow, Nauka, 1978. 400 p.

6. Yablonskiy A.A., Nikiforova V.M. A Course in the Theory of Mechanics. Moscow, KnoRus, 2011. 608 p.

Рецензенты:

Панов А.Ю., д.т.н., заведующий кафедрой «Теоретическая и прикладная механика», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет», г. Нижний Новгород;

Иванов А.А., д.т.н., профессор кафедры «Автоматизации машиностроения», ФГБОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет», г. Нижний Новгород.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 622.276.04

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОПОРНЫХ БЛОКОВ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

Староконь И.В.

Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, e-mail: starokon79@mail.ru

Разработана методика исследования напряженного состояния сварных соединений опорных блоков морских стационарных платформ (МСП). Приведен пример расчета напряженного состояния сварного соединения опорного блока МСП по разработанной автором методике. Проанализированы данные о ветроволновом режиме Субботинского месторождения Черного моря, определены параметры и систематизированы циклы волновых нагрузок, действующих на платформу. При помощи программного комплекса Structure CAD были определены величины действующих статических напряжений от веса конструктивных элементов МСП, установленного технологического оборудования и выталкивающей силы водной среды. Проанализированы современные теории расчета волновых нагрузок и выбраны комбинации различных методов, которые позволили определить величины действующих в сварном соединении опорного блока МСП напряжений от действия переменной волновой нагрузки и стационарной нагрузки. Предложенные решения позволят разработать комплексную методику оценки надежности сварных соединений опорного блока МСП.

Ключевые слова: морские стационарные платформы, переменные, стационарные, циклы, напряжения, сварные соединения, опорный блок, волновая нагрузка

TECHNIQUE OF RESEARCH OF STRESSED STATE OF WELDED JOINTS OF THE BEARING UNIT OF MARINE STATIONARY PLATFORMS

Starokon I.V.

Russian State oil and gas university named after I.M. Gubkin, Moscow, e-mail: starokon79@mail.ru

Developed a method of analysis of the stressed state of welded joints blocks of marine stationary platforms (SMEs). The example of calculation of the stressed state of welded connection of the bearing unit of SMEs on the methodology developed by the author. Analysed data on wind-wave mode Subbotinskogo deposits of the Black sea, the settings are defined and systematized cycles of the wave loads acting on the platform. Using program complex StructureCAD values were determined operating static stresses of the weight of the structural elements of SMEs, installed technological equipment and buoyancy force of the water environment. Analyzed the modern theory of calculation of the wave loads and selected a combination of different methods, which allowed to determine the values existing in the welded joint support unit, SMEs stress from the scope of a variable wave loads and stationary load. The proposed solutions will allow to develop a comprehensive methodology to assess the reliability of welded joints of the bearing unit of SMEs.

Keywords: offshore platforms, variables, stationary cycles, stress, welded connections, support unit, wave load

В современных условиях значительные объемы нефти и газа добываются на морских месторождениях. Эта добыча производится при помощи морских стационарных платформ (МСП), которые эксплуатируются в сложных климатических условиях, при которых возможно разрушение ее отдельных элементов и узлов, что может вызвать разрушение всей конструкции [1]. Целью данной статьи является изучение напряженного состояния сварных соединений опорного блока МСП, что позволит в дальнейшем провести оценку их ресурса. МСП имеет два вида соединений – соединение двух труб под прямым углом (тавровое, рис. 1) и соединение труб под углом (раскос). В данной статье рассматривается только тавровое соединение, результаты моделирования для второго случая будут приведены в отдельной статье. Для исследования напряженного состояния сварных соединений МСП автором предлагается следующая методика:

1. Численно определить силы и напряжения, возникающие от сил тяжести конструктивных элементов МСП, установленного технологического оборудования и выталкивающей силы водной среды.
2. Определить параметры волн, действующих на данном месторождении при помощи методики, описанной в СП 38.13330.2012, приложение А.
3. Рассчитать нагрузки, возникающие от волнового воздействия в соответствии с приложением Е СП 38.13330.2012.
4. Определить моменты нагрузок от волнового воздействия, действующие в сварном соединении МСП.
5. Определить суммарное напряжение от волновой нагрузки в сечении сварного соединения.
6. Рассчитать сумму напряжений от волновой нагрузки и общего веса конструкции с установленным на ней технологическим оборудованием, с учетом выталкивающей силы и веса морского обрастания.

Проиллюстрируем разработанную методику. Для этого выберем МСП, установленную на Субботинском месторождении. Данное соединение является тавровым и представляет собой горизонтальный элемент выполненный из цилиндрической трубы диаметром 530 мм, врезанный в вертикальную стойку (колонну), которая представляет собой трубу диаметром 720 мм под прямым углом (рис. 1). Согласно данным проекта МСП, сварные соединения выполнены по ГОСТ 16037-80 и представляют собой равнобедренный треугольник с катетами k_{fz} = 1,56 см (рис. 2). При расчете угловых соединений, в том числе тавровых, условно принимается, что вне зависимости от действующей нагрузки эти сварные соединения работают на условный срез. Разрушение происходит по наименьшей площади скольжения шва как при действии изгибающего момента, так и при воздействии продольной или поперечной силы. Расчетное сечение углового шва принимается в виде равнобедренного треугольника, вписанного в сечение сварного шва. Катет треугольника принимается равным высоте шва, и наплывы при этом не учитываются.

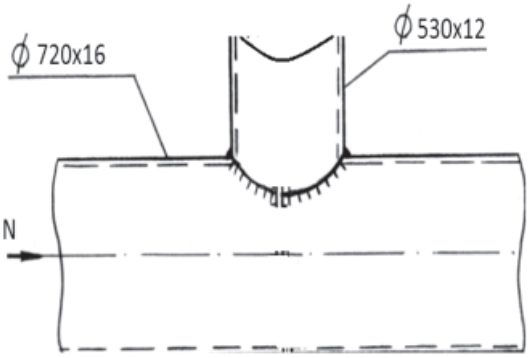


Рис. 1. Соединение горизонтального элемента с колонной

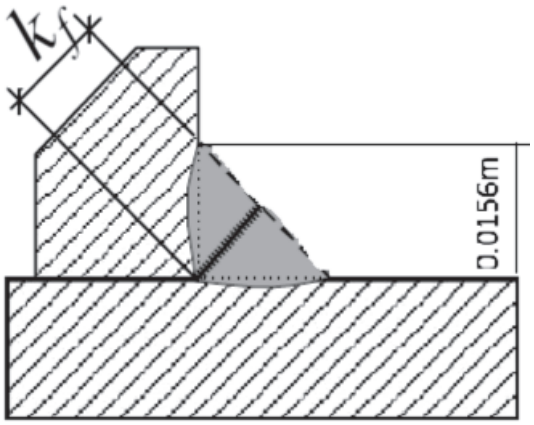


Рис. 2. Тавровое сварное соединение МСП

На это соединение будут действовать силы:

1. Сила Р и ее момент от волнового воздействия на вертикальную колонну (стойку) диаметром 720 мм, направленная перпендикулярно к поверхности стойки.

2. Распределенная сила q и ее момент, вызванные волновым воздействием на горизонтальный элемент диаметром 530 мм, которая направлена перпендикулярно поверхности горизонтального элемента и имеет свои особенности расчета, отличные от расчета волновой нагрузки на вертикальный элемент.

На сварное соединение, так же как и на все конструктивные элементы опорного блока МСП, действуют силы тяжести элементов опорного блока и оборудования, вес морского обрастания, а также Архимедова сила на погруженные в воду элементы. Расчет напряжений в kN/m^2 от этих воздействий производился в программном комплекса СКАД по трем сечениям (две околоторцевые поверхности и середина элемента), в результате чего были получены следующие результаты (табл. 1).

Из табл. 1 становится очевидно, что максимальные напряжения порядка 1042 kN/m^2 возникают в вертикальной колонне и увеличиваются по мере возрастания глубины, и имеют тоже направление. Для горизонтальных элементов величина возникающих от указанных сил напряжений незначительна, а для раскосов она составляет приблизительно 25% от величины напряжений, возникающих в вертикальной колонне напряжений. Заменим известные величины напряжений в вертикальной стойке сосредоточенной силой. Исходя из того, что площадь поперечного сечения колонны диаметром 720 мм и толщиной стенки 16 мм составит 0,071 м^2, а как это широко известно, напряжение является силой действующей на некотором участке площади, то получим равнодействующую силу N = 74,54 kN. Определим суммарное напряжение, возникающее в сварном соединении при действии сил тяжести и выталкивающей силы и ее момента по формуле

$$\tau_N = \sqrt{\left(\frac{N}{\beta_{zf} k_f L}\right)^2 + \left(\frac{6M_N}{\beta_{zf}\, k_f L^2}\right)^2} = 0{,}32\ \frac{kN}{sm^2}, \quad (1)$$

где M_N – момент силы от действия суммарной нагрузки; N – равнодействующая сила; L – длина шва; k_{fz} – катет шва, который должен быть не менее 6 мм, а в соответствии с ГОСТ 16037-80 принимается равным 1,3 толщины более тонкой детали. С учетом того, что толщина трубы диаметром 530 мм составляет 12 мм, получаем $12 \cdot 1{,}3 = 15{,}6$ мм = 0,0156 м;

β_{zf} – коэффициент, зависящий от вида сварки, положения сварного соединения, катета сварного шва и выбора метода расчета (т.е. по металлу границы сплавления или металлу сварного соединения), принятый в соответствии с [3] $\beta_{zf} = 0{,}9$. Исследуемое нами сварное соединение представляет собой вертикальную колонну диаметром 720 мм, подверженную совместному волновому и ветровому воздействию, соединенную с горизонтальным элементом диаметром 530 мм, подвергаемой тем же воздействиям. Однако ввиду разницы в особенностях расчета волновой нагрузки на горизонтальные и вертикальные элементы, а также разнице в диаметрах на сварной шов будут воздействовать разные по величине и направлению нагрузки.

Таблица 1

Выписка из протокола расчета напряжений опорного блока МСП «Субботино»

Сечение	N, kN/m^2	M_k, kN·m	M_y, kN·m	Q_z, kN/m^2	M_z, kN·m	Q_y, kN/m^2
Колонна (стойка) 720×16						
№ 1	–1006,41	0,26	6,60	1,56	6,41	0,81
№ 2	–1024,67	0,26	8,58	–0,83	2,00	0,81
№ 3	–1042,80	0,26	–2,48	–3,23	–2,41	0,81
Горизонтальный элемент 530×12						
№ 1	0,07	0,17	–2,77	2,84	–0,07	–0,04
№ 2	0,07	0,17	1,68	0,12	0,03	–0,04
№ 3	0,07	0,17	–2,04	–2,60	0,14	–0,04
Раскос под углом 57 градусов 530×12						
№ 1	–254,37	0,16	–7,33	3,98	2,98	0,40
№ 2	–260,95	0,16	4,67	–0,26	0,35	0,40
№ 3	–267,27	0,16	–10,75	–4,51	–2,27	0,40

Существуют как минимум три разновидности оценки волнового воздействия на вертикальный элемент. Один из них предполагает рассмотрение этого воздействия в виде равнодействующей сосредоточенной силы. Величина равнодействующей нагрузки на вертикальный элемент диаметром 720 мм при таком подходе может достигать 19 кН. Существует также методика оценки этого воздействия как распределенной нагрузки, приходящейся на единицу длины, в этой ситуации нагрузка будет достигать порядка 1,47 kN/m. Однако, как показал проведенный автором анализ современных теорий волнового воздействия, эти теории не учитывают одну важную особенность волнового воздействия. А именно изменение его величины и направления действия в процессе обтекания конструкции. Различные теории позволяют вычислять значения волновой нагрузки при действии в «лоб», т.е. под углом 0° градусов по отношению к лучу волны, а также значения нагрузки, возникающие за преградой, т.е. под углом 180°. В реальности при обтекании волной периметра вертикальной колонны величина давления при действии давления под углом 90° по отношению к лучу волны ниже в приблизительно в 5 раз по сравнению с величиной давления, действующего в «лоб». Данные выводы подтверждаются расчетом по формуле 17 ВСН 41.88. Проведем моделирование процесса обтекания вертикальной колонны по формуле

$$p = \rho g h \frac{chk(d-z)}{chkd}\chi, \qquad (2)$$

где p – величина волнового давления, kN/m^2; ρ – плотность морской воды, $\rho = 1{,}03$ т/м^3 или $\rho = 1030$ кг/м^3; g – ускорение свободного падения, $g = 9{,}81$ м/с^2; h – высота волны, м; ch – гиперболический косинус; d – глубина моря; z – координата, отсчитываемая от уровня моря; χ-коэффициент распределения давления по периметру, определяемы по чертежу 6 ВСН 41.88. Следует отметить, что максимальное давление достигается при положении $z = 0$, поэтому расчеты будем проводить по наихудшему из возможных вариантов, т.е. предположив что рассматриваемое нами сварное соединение находится на расчетном уровне моря. Момент этой нагрузки рассчитаем в зависимости от величины равнодействующей волновой нагрузки и координаты ее приложения, вычисленной в соответствии с приложением Е.5 СП 38.13330.2012. Произведем расчеты, исходя из анализируемых нами условий, и результаты приведем в табл. 2.

Знаки «+» и «–» указывают направление действия волнового давления. Предварительно автором были установлены характеристики волнения в условиях Субботинского месторождения, которые также приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета действия волновой нагрузки на вертикальную колонну диаметром 720 мм

Продолжительность непрерывного волнового воздействия, с	Параметры волн			Величина волнового давления на вертикальный элемент, kN/m²			Общее количество циклов в год	Величина условной равнодействующей силы, действующей по направлению движения волны		Координаты приложения равнодействующей (плечо силы) от уровня моря, m	Величина момента M_p равнодействующей волновой нагрузки, kN·m
				Коэффициент распределения давления, χ							
				0,5	0,1	-0,3					
				Точки периметра опорной стойки в зависимости от угла по направлению к лучу волны							
	h	*T*	λ	0	90°	180°		0°	180°		
Скорость ветра 10 метров/секунду											
$1 \cdot 10^4$	0,82	3,87	23,4	4,14	0,83	–2,49	$831 \cdot 10^3$	3,49	–3,47	3,4	±22
Скорость ветра 15 метров/секунду											
$7{,}56 \cdot 10^4$ (21 ч)	2,29	6,88	73,9	11,57	2,31	–6,94	$547 \cdot 10^3$	9,84	–9,68	10,57	±104
Скорость ветра 20 метров/секунду											
$6{,}1 \cdot 10^4$	3,26	8,15	104	16,47	3,29	–9,88	$65 \cdot 10^3$	14,1	–13,78	14,9	±211
Скорость ветра 25 метров/секунду											
$4{,}3 \cdot 10^4$	4,45	8,91	126	22,8	4,56	–13,49	$14{,}9 \cdot 10^3$	19,48	–18,81	18,04	±351

При действии волновой нагрузки под углом 0° по отношению к лучу волны сварной шов подвергается действию волнового давления с коэффициентом распределения давления $\chi = 0{,}5$, в то время как при воздействии под углом 90° по отношению к лучу волны $\chi = 0{,}1$. Однако возможна ситуация, при которой на сварной шов будет воздействовать «лобовое» давление, например, после прохождения первой стойки такое давление будет воздействовать на следующую за ней. Поэтому расчеты будут проведены по значениям максимально действующего волнового давления, т.е. сварное соединение под углом 0° по отношению к лучу волны. Следует отметить, что максимальные значения коэффициента распределения волнового давления χ находятся в диапазоне от 0° до 45°, после чего они начинают убывать, а вместе с ними и величина волнового давления.

Перейдем к расчету нагрузок на горизонтально расположенный элемент. В рассматриваемом нами случае это элемент диаметром 530 миллиметров и толщиной стенки 12 миллиметров. Он также имеет свою особенность. При приближении к горизонтальному элементу платформы вершины волны нагрузка считается со знаком «+», при удалении от элемента вершины волны нагрузка считается со знаком «-». Расчеты проводились в соответствии с приложением Е. СП 38.13330.2012. Результаты приведены в табл. 3.

Также при воздействии волновой нагрузки на горизонтальный элемент возникает момент этой нагрузки, результаты расчета которого также приведены в табл. 3, с учетом того, что что по данным проекта длина горизонтального элемента $l = 14$ м.

Перейдем к суммированию напряжений от волновой нагрузки. Совершенно очевидно, что сила давления на вертикальную колонну P можно рассматривать как силу, действующую в горизонтальной плоскости перпендикулярно вертикальной колоне диаметром 720 мм и параллельной продольной оси горизонтального элемента диаметром 530 мм (рис. 3).

Распределенная нагрузка от волнового воздействия на горизонтальный элемент q будет действовать перпендикулярно к продольной оси горизонтального элемента диаметром 530 мм. Если представить циферблат часов и рассматривать вектор действия силы q, то в точках в направлении на 6 и 12 часов эта сила будет действовать по касательной к горизонтальному элементу и сварному соединению, в точках в направлении на 3 и 9 часов по нормали к нему. В сумме же волновая нагрузка даст вектор, который в виду особенностей геометрии **углового сварного шва** в точках в направлении на 3 и 9 часов будет направлен

перпендикулярно поверхности шва (рис. 3). В точках в направлении на 6 и 12 часов сила q будет создавать касательные напряжения, и, как показали предварительные расчеты, проведенные автором, момент этот силы, который значительно увеличивает величину действующего в сварном соединение напряжения, будет незначительным. Поэтому расчеты будут проводиться для положения 3 и 9 часов. Рассчитаем проекцию суммарной силы от волнового воздействия τ^* на горизонтальную ось Y:

$$\tau^* = \tau \cdot \cos 45° = \sqrt{P^2 + q^2} \cdot \cos 45° = 0,7 \cdot \sqrt{P^2 + q^2}, \quad (3)$$

т.к. моменты, вызванные волновыми нагрузками, также являются величинами векторными, и моменты этих сил M_P и M_q действуют в перпендикулярных друг другу плоскостях, то суммарный момент M_τ от действия нагрузки на сварное соединение можно рассчитать согласно теореме Вариньона как

$$\vec{M}_\tau = \vec{M}_P + \vec{M}_q, \quad (4)$$

таким образом, автором предлагается следующая формула для расчета напряжения, от волнового воздействия $\tau_{сум}$:

$$\tau_{сум} = \sqrt{\left(\frac{\tau^*}{\beta_{zf} k_f L}\right)^2 + \left(\frac{6M_\tau}{\beta_{zf} k_f L^2}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,7 \cdot \sqrt{P^2 + q^2}}{\beta_{zf} k_f L}\right)^2 + \left(\frac{6 \cdot \left(\vec{M}_P + \vec{M}_q\right)}{\beta_{zf} k_f L^2}\right)^2}, \quad (5)$$

где M_τ – момент силы от действия суммарной нагрузки;а остальные значения такие же, как в формуле (1).

Таблица 3

Волновое давление на горизонтальный элемент.

Продолжительность непрерывного волнового воздействия, с	Параметры волн			Величина волнового давления на один квадратный метр горизонтального элемента, расположенного параллельно движению волны, принятая по максимальным расчетным значениям, *KN/m²*	Общее количество циклов в год	Величина момента $M_q = \frac{ql^2}{8}$ распределенной волновой нагрузки на горизонтальный элемент в *kN·m*	Величина распределенной нагрузки *q, kN/m*
	h	*T*	λ				
Скорость ветра10 метров/секунду							
$1 \cdot 10^4$	0,82	3,87	23,40	0,29	$831 \cdot 10^3$	±12	0,49
Скорость ветра 15 метров/секунду							
$7,56 \cdot 10^4$ (21 ч)	2,29	6,88	73,9	0,39	$547 \cdot 10^3$	±15	0,63
Скорость ветра 20 метров/секунду							
$6,1 \cdot 10^4$	3,26	8,15	104	0,48	$65 \cdot 10^3$	±20	0,82
Скорость ветра 25 метров/секунду							
$4,3 \cdot 10^4$	4,45	8,91	126	0,74	$14,9 \cdot 10^3$	±31	1,28

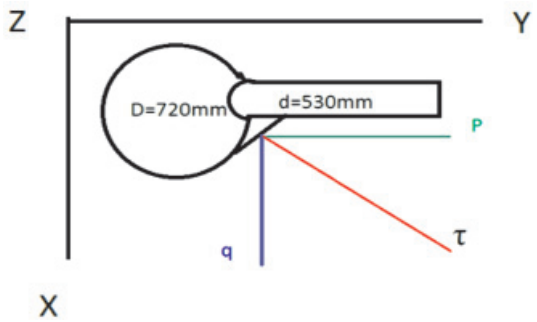


Рис. 3. Схема волнового воздействия на сварное соединение

В результате расчетов установлено, что длина сварного соединения $L = 2,28$ м. Исходя из простейших геометрических формул, получим, что суммарная площадь поверхности сварного шва $S = 0,051$ м². Проведя необходимые расчеты, окончательно получим величины размаха напряжений, возникающих в сварных соединениях при действии волновой нагрузки и стационарных сил. Для удобства дальнейших вычислений переведем значения полученных напряжений в KN/sm². После чего, исходя из правила суммирования векторов, получим значение полного напряжения, действующего в сварном соединении. Результаты расчета приведены в табл. 4.

Таблица 4

Циклы напряжений в сварном соединении опорного блока МСП

Продолжительность непрерывного волнового воздействия, с	Параметры волн			Величина напряжений в сварном соединении при действии волновой нагрузки, KN/sm^2	Размах напряжений в сварном соединении от действия волновой нагрузки и стационарных сил, KN/sm^2	Общее количество циклов в год
	h	T	λ			
Скорость ветра 10 метров/секунду						
$1 \cdot 10^4$	0,82	3,87	23,40	±0,**23**	–0,22+0,4	$831 \cdot 10^3$
Скорость ветра 15 метров/секунду						
$7{,}56 \cdot 10^4$ (21 ч)	2,29	6,88	73,9	±0,**96**	–0,91+1,1	$547 \cdot 10^3$
Скорость ветра 20 метров/секунду						
$6{,}1 \cdot 10^4$	3,26	8,15	104	±**1,85**	–1,82+1,88	$65 \cdot 10^3$
Скорость ветра 25 метров/секунду						
$4{,}3 \cdot 10^4$	4,45	8,91	126	±**3,05**	–3,03+3,07	$14{,}9 \cdot 10^3$

Как показали расчеты, ориентация по отношению 0° и 90° не играет решающей роли в формировании величины напряжений, т.к. основная составляющая напряжений возникает под действием изгибающих моментов. Таким образом в статье описана методика и выполнена в соответствии с разработанной методикой оценка действующих в сварном соединении напряжений, что открывает возможность к экспериментальному определению количества циклов нагрузки до разрушения сварного соединения опорного блока МСП. Результаты эксперимента будут опубликованы позднее.

Список литературы

1. Бородавкин П.П. Морские нефтегазовые сооружения: Учебник для вузов. Часть 1. Конструирование. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006. – 555 с.

2. ВСН 41.88. Проектирование ледостойкихстационарных платформ. – М.: Минефтепром: 1988. – 110 с.

3. Мелёхин Е.А. Расчет сварных соединений стальных конструкций: методические указания – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. – 31 с.

4. Староконь И.В. Основы теории и практики образования усталостных трещин на морских нефтегазовых сооружениях // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

5. СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СП 38.13330.2010. – Минрегион России, 2011. – 116 с.

References

1. Borodavkin P.P. Morskie neftegazovye sooruzhenija: Uchebnik dljavuzov. Chast’ 1. Konstruirovanie. M.: OOO «Nedra-Biznescentr», 2006. 555 p.

2. VSN 41.88. Proektirovanie ledostojkih stacionarnyh platform-Minefteprom, M.: 1988. 110 p.

3. Meljohin E.A. Raschet svarnyh soedinenij stal’nyh konstrukcij: metodicheskie ukazanija Tomsk: Izd-voTom.gos. arhit.-stroit. un-ta, 2009. 31 p.

4. Starokon’ I.V. Osnovy teorii i praktiki obrazovanija ustalostnyh treshhin na morskih neftegazovyh sooruzhenijah // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2012. no. 4; URL: www.science-education.ru/104-6605.

5. SP 38.13330.2010 «SNiP 2.06.04-82* Nagruzki i vozdejstvija na gidrotehnicheskie sooruzhenija (volnovye, ledovyeiot-sudov)» Minregion Rossii, 2011. 116 p.

Рецензенты:

Бородавкин П.П., д.т.н., профессор, генеральный директор АО «Интергаз», г. Москва;

Литвин И.Е., д.т.н., генеральный директор ООО «СТД», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.642.39.03-025.71-034.14-047.74

ПРОТИВОРЕЧИЯ В СОВРЕМЕННОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЕ ПРИ РЕМОНТЕ РЕЗЕРВУАРОВ

[1]Тарасенко А.А., [2]Сильницкий П.Ф., [3]Тарасенко Д.А.

[1]ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com;

[2]Открытое акционерное общество «Сибнефтепровод», Тюмень, e-mail: spf72@ya.ru;

[3]ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: zuleen@mail.ru

В статье рассмотрена практика технико-экономического обоснования проектов ремонта и реконструкции вертикальных стальных резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов. Выполнен сравнительный анализ требований существующих нормативных документов, показана динамика их развития после вступления в действие Федерального закона «О техническом регулировании» № 184-ФЗ. Определены недостатки существующей нормативной базы, обусловливающие необоснованные затраты на проведение ремонта и реконструкции вертикальных стальных резервуаров. Обстоятельность указанных недостатков подтверждена сравнительными расчетами на примере реально эксплуатируемых объектов. Приведен расчет на устойчивость реально эксплуатируемого резервуара, проведено сравнение сводных значений исследуемых величин нагрузок и напряжений. Сформулированы и обоснованы предложения по устранению несовершенств нормативных документов в области проектирования, ремонта и реконструкции вертикальных стальных резервуаров.

Ключевые слова: резервуар, нормативный документ, ремонт, реконструкция

CONTRADITIONS OF CURRENT LAW-TECHNICAL BASE IN REPAIRING STEEL STORAGE TANKS

[1]Tarasenko A.A., [2]Silnitsky P.F., [3]Tarasenko D.A.

[1]Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com;

[2]Sibnefteprovod, Tyumen, e-mail: spf72@ya.ru;

[3]Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: zuleen@mail.ru

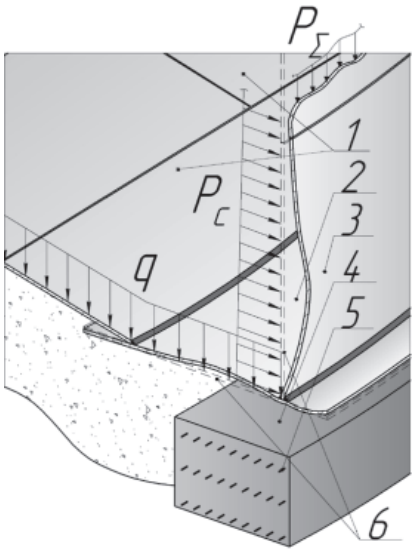
The article present the practice of the feasibility in repair's and reconstruction's projects of the vertical steel storage tanks for oil and oil products. Completed a comparative analysis of the requirements existing regulatory documents, shows the trend of their development after the entry into force of the Federal Law «About Technical Regulation» № 184-FZ. Identified disadvantages of the current regulatory framework, which causing unreasonable costs for the repair and reconstruction of tanks. Reasonableness of these disadvantages confirmed comparative calculations on real operating facilities. The buckling calculation of the steel storage tank actually exploited shown in the article, compared the summaries for the test values of loads and stresses. Formulated and substantiated proposals to address the imperfections of regulations in the field of design, repair and reconstruction of tanks.

Keywords: storage tank, law-technical document, repair, reconstruction

В практике технико-экономического обоснования (ТЭО) целесообразности ремонта и реконструкции длительно эксплуатируемых резервуаров специалисты все чаще сталкиваются с проблемами несовершенства нормативно-технической документации (НТД). Учитывая сложившуюся в отрасли ситуацию, когда доля таких резервуаров достигает 90%, проблема приобретает масштабный характер. На протяжении многих лет существующая система планово-предупредительных ремонтов РВС позволяла сохранять их работоспособность и техническое состояние металлоконструкций, несмотря на значительные материальные затраты. Во многих случаях состояние длительно эксплуатируемых резервуаров мало отлично от новых РВС, однако недавно вступившие в силу актуализированные нормативные документы говорят о необходимости вывода таких объектов из эксплуатации и обусловливают их снос. В такой ситуации возникает вопрос о правомерности требований НТД, поскольку речь идет не только о затратах на строительство новых резервуаров, но и обоснованности капиталовложений в ремонт и реконструкцию эксплуатируемых объектов, размер которых в масштабах страны сравним с бюджетом любого крупного города. Проблема исходит из различий в требованиях НТД на этапах проектирования резервуара и капитального ремонта после длительной эксплуатации. Так, многие резервуары в нашей стране изначально проектировались под действовавшие тогда сочетания нагрузок, которые в настоящее время претерпели значительные изменения из-за внесения поправок в нормативные документы. Для наглядности динамики развития нормативной базы России приведем общий случай сочетания эксплуатационных нагрузок на корпус РВС (рисунок).

Анализируя приложенные на схеме рисунка нагрузки, наибольший интерес вызывают величины P_C и P_Σ, отражающие соответственно гидростатическую нагрузку

и суммарную вертикальную составляющую нагрузки от веса металлоконструкций, расположенных выше расчетной точки. В последней составляющей, кроме веса конструкций, учитывается воздействие ветровой и снеговой нагрузок, нормативные значения которых претерпели значительные изменения.



Общий случай сочетания эксплуатационных нагрузок на корпус РВС (на примере узла сопряжения стенки и днища)

Существующая нормативно-техническая база не предусматривает разделения требований при проектировании и обосновании ремонта РВС, в результате чего изменившиеся нормативы применяются и к эксплуатируемым объектам, несмотря на то, что эти резервуары проектировались по другим нормам и по определению не могут соответствовать современным требованиям НТД, а значит, вопреки положительному опыту их эксплуатации, подлежат сносу.

Классический нормативный расчет РВС как при проектировании, так и при ремонте состоит из двух основных частей: расчет на прочность и расчет на устойчивость. Вопросам прочности длительно эксплуатируемых резервуаров в последнее время уделяется существенное внимание, при этом устойчивость резервуаров практически не изучается, хотя оба эти расчета равнозначны с точки зрения безаварийности эксплуатации объекта. Известно, что расчет на устойчивость резервуара в значительной степени зависит от снеговой нагрузки на РВС. Для наиболее распространенных в России резервуаров РВС-20000 доля снеговой нагрузки в P_Σ превышает 85% в зависимости от региона (рисунок). Совершенно очевидно, что при такой доле снеговой нагрузки изменение ее нормативных показателей играет существенную роль в расчете на устойчивость.

В качестве примера приведем СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Не секрет, что основой для этого документа стал одноименный СНиП 2.01.07-85 Нагрузки и воздействия. В современной редакции в документ внесено значительное количество изменений, затронувших характерные для резервуаров нагрузки и воздействия. Большой резонанс среди экспертов вызвало Приложение Ж, в котором приводятся изменившиеся карты районирования территории России по климатическим характеристикам. В частности, изменились показатели ветрового давления, одновременно с этим ужесточились нормативные показатели снеговых нагрузок.

Рассмотрим применение новых нормативов на примере расчета устойчивости эксплуатируемого резервуара.

Местонахождение резервуара – г. Нижневартовск, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Тип резервуара – РВС

Объем резервуара – 20000 м^3

Класс опасности – 1

Номер типового проекта – 704-1-60

Нормативная ветровая и снеговая нагрузка на площадке резервуарного парка – 0,3/2,24 кПа (по паспорту резервуара).

Интенсивность сейсмического воздействия в баллах – 5.

Максимально допустимое по проекту давление (вакуум) в газовом пространстве резервуара, кПа – 0,25

Высота стенки резервуара – 11945 мм

Диаметр резервуара – 45600 мм

Режим работы, циклов в год – 16

Сталь – 09Г2С-6.

В настоящее время расчет стенки резервуара на устойчивость выполняется согласно методике, представленной в п. 9.2.3 [4], устойчивость стенки обеспечивается при выполнении следующего условия (1):

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}} + \frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}} \le 1, \qquad (1)$$

где $\sigma_{cr1} = C_0 \cdot \frac{E}{\delta}; \sigma_{cr2} = 0,55 \cdot \frac{r}{H_r} \cdot \frac{E}{\sqrt{\delta^3}}.$

Меридиональные напряжения в стенке σ_1 для резервуаров со стационарной крышей определяются по формуле (2)

$$\sigma_1 = \frac{1,05\,G_m + 0,95(1,05G_0 + 1,3\,G_t)}{2\,\pi\,r\,(t - \Delta t_c - \Delta t_m)} + \frac{0,9 \cdot f_s S + 0,95 \cdot 1,2\,p_v \cdot r}{2\,(t - \Delta t_c - \Delta t_m)}, \qquad (2)$$

где G_m – вес металлоконструкций выше расчетной точки; G_0 – вес стационарного оборудования выше расчетной точки; G_t – вес теплоизоляции выше расчетной точки; f_s – коэффициент, учитывающий форму крыши; S – нормативная снеговая нагрузка на поверхности земли; p_v – нормативное значение вакуума.

Кольцевые напряжения при этом в расчете устойчивости определяются по формуле (3):

$$\sigma_2 = (1{,}2\,p_v + 0{,}5\,k\,p_w)\cdot\delta, \qquad (3)$$

где k – коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте стенки; p_w – нормативное значение ветрового давления.

Сравнивая формулы (1)–(3), представленные в действующих НТД, с аналогичными условиями [6], авторы [5] отмечают существенное увеличение значений меридиональных и кольцевых напряжений, что в конечном итоге, приводит к необходимости увеличения толщины стенки вновь проектируемых резервуаров на 7%. Существующие резервуары также подпадают под указанные требования и не проходят проверку условия устойчивости.

Рассмотрим предметно, чем вызвано такое увеличение, обращаясь к главе 10 [1], где нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия следует определять по формуле (4)

$$S = 0{,}7\cdot c_e\cdot c_t\cdot\mu\cdot S_g, \qquad (4)$$

где c_e – коэффициент, учитывающий снос снега с покрытий зданий под действием ветра или иных факторов, принимаемый в соответствии с 10.5-10.9 [1], c_e = 0,85; c_t – термический коэффициент, принимаемый в соответствии с 10.10 [1], c_t = 1; μ – коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый в соответствии с 10.4 [1], μ = 1; S_g – вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, принимаемый в соответствии с 10.2 [1], S_g = 3,2 кПа.

Принимая выбранные значения величин, получаем нормативное значение снеговой нагрузки по [1]:

$$S = 0{,}7\cdot c_e\cdot c_t\cdot\mu\cdot S_g = 0{,}7\cdot 0{,}85\cdot 1\cdot 1\cdot 3{,}2 = 1{,}904 \text{ кПа.}$$

Определим нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную поверхность согласно методике [2], действовавшей до 2011 г.:

$$S = 0{,}7\cdot\mu\cdot S_g = 0{,}7\cdot 1\cdot 2{,}4 = 1{,}68 \text{ кПа.} \qquad (5)$$

Учитывая геометрию РВС-20000, разница в расчетной нормативной снеговой нагрузке составляет более 35 тс, что определяет фактическое увеличение меридиональных напряжений более чем на 30% и обусловливает невыполнение условий устойчивости [3,4]. Обобщая вышесказанное, в табл. 1 сведены результаты расчетов и их динамика во времени, обусловленная принятием новых НТД.

Сводные значения исследуемых величин нагрузок и напряжений

№ п/п	Величина	Обозначение	Значение до 2011 г.	Значение после 2011 г.	Изменение,%
1	Вес снегового покрова на 1 м^2 горизонтальной поверхности земли, кПа	S_g	2,24	3,2	42,8
2	Нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия, кПа	S	1,681	1,904	13,3
3	Меридиональное напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	σ_1	3,58	4,72	31,8
4	Кольцевое напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	σ_2	0,7	0,7	0,0
5	Критическое меридиональное напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	σ_{cr1}	5,74		–
6	Критическое кольцевое напряжение на уровне II пояса стенки, МПа	σ_{cr2}	1,84		–
7	Общая устойчивость	$\frac{\sigma_1}{\sigma_{cr1}}+\frac{\sigma_2}{\sigma_{cr2}}$	0,99	–	-
8	Условие устойчивости	–	Выполнено	Не выполнено	

Далее обратимся к п. 10.11 [1]:

«Для районов со средней температурой января минус 5°С и ниже (по карте 5 приложения Ж) пониженное нормативное значение снеговой нагрузки (см. 4.1) определяется умножением ее нормативного значения на коэффициент 0,7». Обращаясь к формуле 4, можно сделать вывод, что коэффициент 0,7 должен применяться дважды, однако в [2] его применение ограничено п. 5.7, и он изначально отсутствует в формуле (5), что, очевидно, и является корректной редакцией.

Аналогичные «поправки» присутствуют во всем документе [1], например, в примечании к п. 10.10 допущена неточность формулировки: не ясно, почему при повышении теплоизоляционных свойств покрытия кровли резервуара следует принимать понижающий термический коэффициент, определяющий степень таяния снега на кровле сооружений с повышенными тепловыделениями, коими являются многие резервуары. Очевидно, в данном случае такой коэффициент должен применяться к кровлям сооружений с повышенным тепловыделением, но без теплоизоляционного покрытия крыши, а теплоизоляция кровли РВС, наоборот, будет повышать термический коэффициент $c_t > 1$.

Отметим, что случаев потери устойчивости эксплуатируемых резервуаров крайне мало, все они, как правило, объясняются какими-либо внешними «форс-мажорными» воздействиями и не связаны с ненормативными нагрузками. Более того, снос резервуара обосновывается во время технико-экономического обоснования ремонта или реконструкции, которое выполняется с частотой 5–8 лет, одновременно с этим в одном резервуарном парке точно такие резервуары, не соответствующие требованиям современных НТД, будут эксплуатироваться в условиях ненормативных нагрузок до планового ТЭО и ремонта, что само по себе абсурдно.

Стоит отметить, что в настоящее время существует решение по установке колец жесткости на стенке резервуара, повышающих цилиндрическую жесткость корпуса и общую устойчивость сооружения. Данное решение имеет ряд недостатков и, на наш взгляд, является не применимым, так как ветровые кольца, монтируемые с внешней стороны стенки, обусловливают наличие дополнительной снеговой и ветровой нагрузки на корпус РВС, а приваренные к стенке подкладные монтажные пластины приводят к коррозионным повреждениям металлоконструкций. Кроме того, изменяется геометрическая форма резервуара, которая и без того не может быть идеально цилиндрической, что приводит к возникновению дополнительных напряжений в стенке за счет эффекта бандажа при сливо-наливных операциях. Нами также рассмотрена возможность разгружения кровли резервуара при помощи центральной стойки, однако такое решение требует обоснования совместности работы фундамента стойки (если он имеется) и корпуса резервуара, что в реальных условиях эксплуатации фактически невыполнимо.

Указанные недостатки [1] уже сейчас обусловливают случаи необоснованного на наш взгляд, сноса резервуаров, все попытки доказать неправомерность нормативных расчетов пресекаются при государственной экспертизе проектов, которая безоговорочно ссылается на [1]. Проектные организации вынуждены страховать свою ответственность по высоким тарифным ставкам, так как страховые компании досконально анализируют возможные риски и привлекают к этому зарубежные экспертные организации. Заказчик же, понимая необоснованность сноса объекта, принимает сторону проектной организации и часто вынуждает «играть» на указанных выше несовершенствах НТД, ведь только так появляется возможность обоснования капитальных затрат. По мнению авторов, назрела необходимость в редактировании имеющейся отечественной нормативно-технической базы по рассматриваемому вопросу, а также гармонизация ее с зарубежными стандартами.

Список литературы

1. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Минрегион России. – М.: ГУП «ЦПП», 2011. – 85 с.

2. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. – М.: ГУП «ЦПП», 2005. – 58 с.

3. РД-23.020.00-КТН-296-07 Руководство по оценке технического состояния резервуаров. ч.1,2. – М.: ОАО «АК «Транснефть», 2007.

4. СТО-СА-03-002-2009 Правила проектирования стальных резервуаров. – М.: Ростехэкспертиза. ООО «НПК Изотермик», ООО «Глобалтэнксинжиниринг», 2009. – 212 с.

5. Резервуаростроение в нефтяной, химической и газовой промышленности. Современные технологии и инновационные решения. – Болгария, г. Поморие, 2012.

6. СНиП II-23-81 «Стальные конструкции». – М.: ГУП «ЦПП», 2006. – 90 с.

7. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко М.А. Анализ результатов дефектоскопии коррозионных повреждений резервуаров. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2010. – № 5. – С. 78–82.

8. Тарасенко А.А., Сильницкий П.Ф., Тарасенко М.А. Определение степени концентрации напряжений в стенке резервуара при наличии дефектов металлоконструкций. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 2011. – № 1. – С. 55–58.

References

1. SP 20.13330.2011 Load and Impact. Minregion of Russian Federation. Moscow, CPP, 2011. 85 p.

2. SNiP 2.01.07-85* Load and Impact. Moscow, CPP, 2005. 58 p.

3. RD-23.020.00-KTN-296-07 Guidance on the assessment of technical condition of tanks. Part 1, 2. AK «Transneft», 2007.

4. STO-SA-03-002-2009 Rules of steel storage tanks design. Rostechexpertiza, OOO NPK Izothermic, OOO Globaltanksengineering, 2009. 212 p.

5. Steel storage tank's construction in the oil, chemical and gas industry. Modern technology and innovative solutions. Bulgaria, Pomorie, 2012.

6. SNiP II-23-81 «Steel constructions». Moscow, CPP, 2006. 90 p.

7. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A. Analiz rezul'tatov defektoskopii korrozionnyh povrezhdenij rezervuarov. [Analysis of the corrosion damage inspection results of oil steel tanks – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 2010. no. 5, pp. 78.

8. Tarasenko A.A., Sil'nickij P.F., Tarasenko M.A. Opredelenie stepeni koncentracii naprjazhenij v stenke rezervuara pri nalichii defektov metallokonstrukcij. [Determination of the degree of stress concentration in the oil steel storage tank wall with defects in metal – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 2011. no. 1, pp. 55.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.642.39.03-025.71-034.14-047.74

МОДЕЛЬ РЕЗЕРВУАРА В СРЕДЕ ANSYS WORKBENCH 14.5

[1]Тарасенко А.А., [1]Чепур П.В., [2]Чирков С.В., [1]Тарасенко Д.А.

[1]ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com, zuleen@mail.ru;

[2]ОАО «Гипротрубопровод», Москва, e-mail: chirkov0210@mail.ru

Существующие аналитические решения не позволяют в полной мере реализовать поставленные авторами задачи. В статье рассмотрен вопрос моделирования конструкций вертикального стального резервуара для хранения товарной нефти вместимостью 20000 м^3. Проведен анализ имеющихся исследований, посвященных неравномерным осадкам наружного контура днища. Приведены аналитическое и численное решения изгиба замкнутой круговой цилиндрической оболочки, находящейся под действием осесимметричной гидростатической нагрузки. Предложена конечно-элементная модель резервуара РВС-20000 для осесимметричного случая нагружения. Графически представлены зависимости возникающих напряжений и прогибов от высоты стенки при действии эксплуатационных нагрузок. Путем сравнения широко известного аналитического решения и предложенного авторами численного решения подтверждена адекватность полученной конечно-элементной модели. Обоснована возможность применения предложенной расчетной схемы и модели для расчетов неравномерной осадки резервуаров в неосесимметричной постановке.

Ключевые слова: резервуар, неравномерные осадки наружного контура днища, ANSYS, САПР

STEEL STORAGE OIL TANK SIMULATED USING ANSYS WORKBENCH 14.5

[1]Tarasenko A.A., [1]Chepur P.V., [2]Chirkov S.V., [1]Tarasenko D.A.

[1]Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com, zuleen@mail.ru;

[2]OJSC «Giprotruboprovod», Moscow, e-mail: chirkov0210@mail.ru

Existing analytical solutions do not allow to realize the challenges posed by the authors.The matter of modeling vertical steel storage tank with a capacity of 20,000 m^3 considered in this article. The analysis of the available researchesdevoted todifferential settlement of outer contour of the bottom is conducted. The analytical and computational solutions of bending a closed circular cylindrical shell under the axisymmetric hydrostatic load are presented. Proposed finite element model of the tank RVS-20000 for the axisymmetric case of loading is described in detail. The dependences of the stresses and deformations of the tank wall height under the action of operating loads are graphically shown. By comparison, the well-known analytical solutions and numerical method proposed by the authors, verified the proposed finite element model. The opportunity of application of the proposed design scheme and models for the calculation of differential settlement of the tanks in non-axisymmetric formulation is justificated.

Keywords: aboveground oil tank, differential settlement outer circuit of the bottom, ANSYS, CAD

Многолетняя практика эксплуатации резервуаров показывает, что имеются случаи разрушения металлоконструкций РВС в узле сопряжения стенки и днища. Это ведет к утечке нефти и, как следствие, к значительным материальным затратам, а также наносится вред экологии. Поэтому исследования неравномерных осадок наружного контура днища и окрайки, оценка напряженно-деформированного состояния стенки в зоне нижнего узла позволят обеспечить повышение эксплуатационной надежности вертикальных стальных резервуаров. Однако существующие аналитические методы не позволяют учесть физическую и геометрическую нелинейность при расчете НДС конструкций, поэтому для получения более точных результатов, авторами предлагается использовать метод конечных элементов. Таким образом, предполагается получить численную модель резервуара, максимально отражающую нелинейность, возникающую при воздействии различных факторов, представленных ниже.

В настоящее время эксплуатируется большое количество резервуаров с имеющимися отклонениями от проектной геометрии и дефектами в области нижнего узла, появившихся в результате различных факторов. С момента ввода в эксплуатацию большинства резервуарных парков Западной Сибири изменилась технологическая схема перекачки нефти. Факторами изменения НДС резервуара в области сопряжения стенки и окрайки являются ошибки в проектировании и строительстве. Так, раньше изыскания включали в себя бурение только одной скважины для получения данных об инженерно-геологическом строении грунтового основания под строительство резервуара. Это приводило к снижению точности расчета основания и фундамента. В настоящее время инженерно-геологические изыскания включают в себя бурение минимум 5 скважин. Также произошли изменения в нормативных величинах ветровой и снеговой нагрузок, поэтому многие резервуары, изначально рассчитанные для одних ветровых

и снеговых районов, перестали выполнять условие прочности и устойчивости для новых нормативных значений. На напряженно-деформированное состояние нижнего узла резервуара также могут влиять изменения в свойствах металла (хрупкости, прочности, пластичности), обусловленные длительным сроком эксплуатации и колебаниями температур. Районы эксплуатации резервуаров характеризуются сложными грунтовыми условиями: заболоченность территории, наличие слабых водонасыщенных грунтов, что увеличивает вероятность возникновения неравномерных осадок резервуарных конструкций.

Вопросы неравномерных осадок наружного контура днища РВС рассматриваются в трудах [1, 2, 3]. В их работах получены подробные аналитические решения по данной проблеме. Вопросы напряженно-деформированного состояния конструкций резервуаров широко описаны в трудах [4, 5, 6]. Теория цилиндрической оболочки подробно представлена в [7]. Расчетная схема в общем случае, в которой описываются действующие нагрузки в области нижнего узла резервуара, представлена на рис. 1.

Общее дифференциальное уравнение изгиба замкнутой круговой цилиндрической оболочки, находящейся под действием осесимметричной гидростатической нагрузки, выглядит следующим образом:

$$D\frac{d^4\omega}{dx^4}+\frac{E\delta}{r^2}\omega=P(x), \qquad (1)$$

где D – цилиндрическая жесткость; E – модуль упругости для стали; δ – толщина стенки; r – радиус резервуара; x – координата высоты прогиба; ω – значение прогиба в радиальном направлении; $P(x)$ – интенсивность внешней нагрузки.

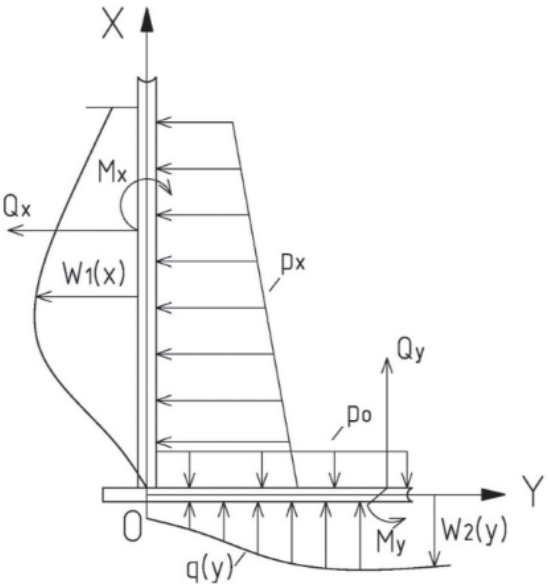


Рис. 1. Расчетная схема нижнего узла резервуара:
$W_1(x)$ – радиальное перемещение стенки;
$W_2(y)$ – вертикальное перемещение днища;
$p_x = p_0(1 – x/H)$ – давление жидкости на отметке x; p_0 – давление жидкости на отметке x = 0; q(y) – реактивный отпор грунта под днищем;
M_x, M_y, Q_x, Q_y – изгибающие моменты и поперечные силы в стенке и днище

Частным интегралом приведенного выше уравнения с учетом граничных условий является уравнение прогибов стенки по [6]:

$$\omega=-\frac{\rho r^2}{E\delta}\left\{H-x-e^{-\beta x}\left[H\cos\beta x+\left(H-\frac{1}{\beta}\right)\sin\beta x\right]\right\}, \qquad (2)$$

где ρ – плотность нефтепродукта; H – высота резервуара; β – коэффициент деформации стенки.

Дифференциальные уравнения и их аналитические решения получены для осесимметричного случая нагружения идеальной цилиндрической оболочки гидростатическим давлением без учета физической и геометрической нелинейности материала конструкции. Для исследования процессов развития неравномерной осадки резервуаров для хранения нефти предлагается использовать численные методы расчета, реализованные в программном комплексе ANSYS. Однако для дальнейшего использования модели резервуара в расчетах необходимо убедиться в адекватности созданной модели.

Автором предлагается решить численным методом рассмотренную выше аналитическую задачу при осесимметричном нагружении в линейной постановке. Таким образом, будет проверена предлагаемая расчетная схема и конечно-элементная модель, которую можно будет использовать в дальнейшем для решения более сложных задач в неосесимметричной постановке.

Расчетная схема (рис. 2) включает в себя действие гидростатической, ветровой нагрузок, а также учитывается вес снегового покрова, кровли. В предложенной модели принимается условие абсолютно жесткого защемления стенки в уторном шве (fixedsupport), кровля не защемлена.

Геометрическая модель резервуара строилась в соответствии со значениями,

принятыми в типовом проекте для РВС-20000 (ТП 704-1-60). Радиус резервуара составляет 22,85 м, высота стенки 11,92 м. Толщина стенки для первого пояса – 13 мм, для 2–8 поясов – 11 мм. Листы стенки выравниваются по внутреннему краю. Для задания гидростатической нагрузки выбраны следующие параметры: высота взлива нефти $h_{вз}$ = 10,88 м, плотность хранимой нефти ρ = 875 кг/м^3, значение гравитационной постоянной принимается 8,91 кг/м·с^2. Значение ветрового давления принимается в соответствии с СП 20.13330.2011 для I ветрового района $q_{ветр}$ = 230 Па. В предложенной расчетной схеме не моделируется конструкция кольца жесткости и кровли, но для получения достоверных результатов их вес необходимо учитывать. Равномерно распределенная нагрузка от веса кровли, снега, оборудования кровли, кольца жесткости (q) составляет 1200 кН. Данная сила приложена по нормали к верхнему ребру стенки РВС. Отметим, что все силы, рассмотренные в расчетной схеме, прикладываются одновременно.

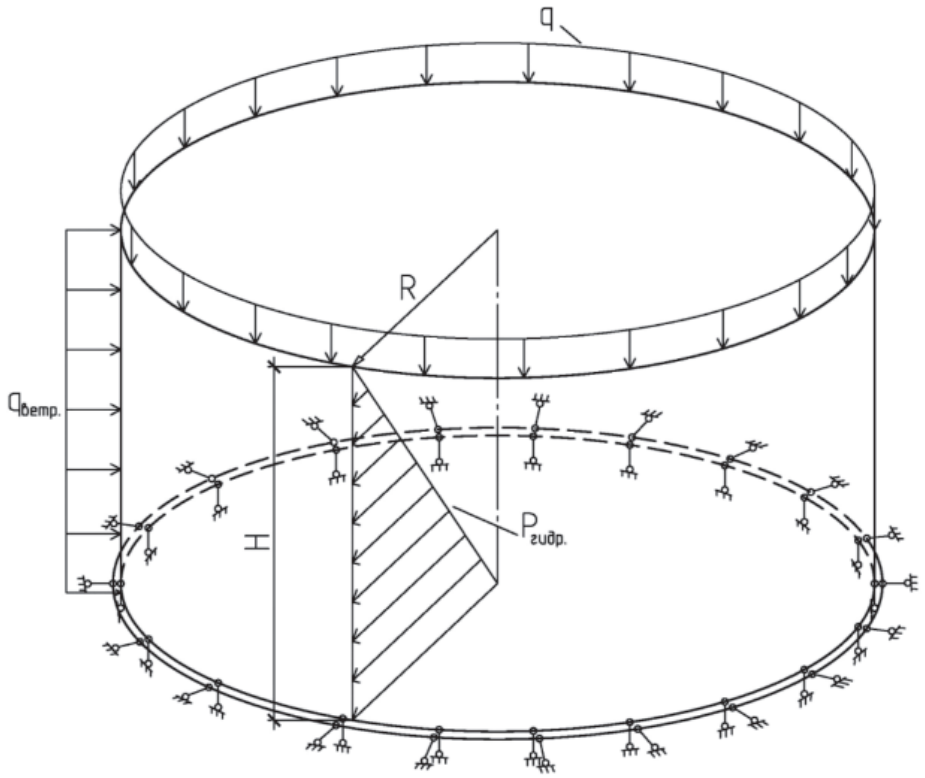


Рис. 2. Расчетная схема резервуара:
$P_{гидр}$ – гидростатическое давление на стенку и днище резервуара;
$q_{ветр}$ – ветровая нагрузка; q – нагрузка от веса металлоконструкций кровли, снега;
R – радиус резервуара; H – высота резервуара

Материал металлоконструкций – сталь конструкционная низколегированная 09Г2С с пределом текучести $\sigma_{0,2}$ = 300 МПа.

Для построения конечно-элементной сетки выбран элемент SHELL181 (рис. 3), имеющий ряд особенностей, присущих тонкостенным оболочкам, к которым относится конструкция стенки РВС.

Элемент SHELL181 имеет свойства линейной упругости, упругопластичности материала. Из упругих материалов могут применяться изотропные, анизотропные и линейные ортотропные. Пластическое поведение предполагает упругие изотропные свойства материала (то есть если ортотропный материал подвергается пластическому деформированию, комплекс ANSYS будет использовать изотропный материал с модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона). Элемент SHELL181 учитывает влияние поперечных сдвиговых деформаций. На рис. 3 изображен конечный элемент SHELL181, обозначено 8 узловых точек и 6 степеней свобод элемента в ортогональной системе координат XYZ. Плотность генерируемой сетки влияет на погрешность в вычислениях, поэтому определение оптимальных параметров сетки во многом определяет точность расчетов. В узле сопряжения стенки и днища автором предлагается сгущать конечно-элементную сетку 0,1 м (сторона квадрата элемента SHELL181).

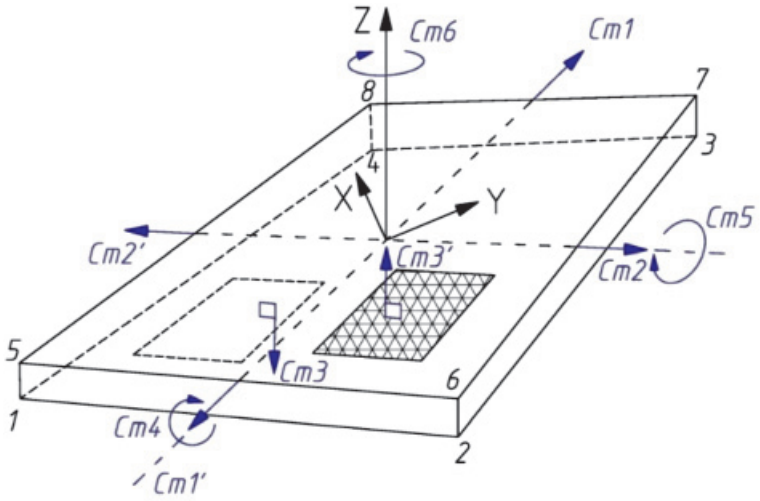


Рис. 3. Конечный элемент SHELL181:
Cm1-Cm6 – обозначение степеней свободы; 1–8 – узловые точки

В постпроцессорной обработке результатов получены значения эквивалентных напряжений и матрица перемещений. Распределение напряжений в стенке резервуара РВС-20000 по высоте представлено на графике (рис. 4).

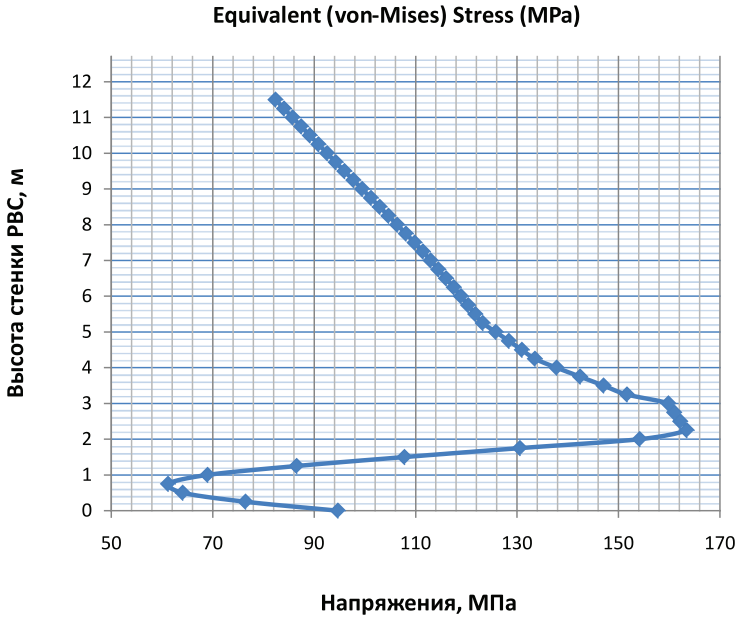


Рис. 4. Напряжения, возникающие в стенке резервуара при действии эксплуатационных нагрузок

Если проанализировать график на рис. 4, то можно сделать вывод о том, что с точки зрения теории прочности скачок напряжений на высоте $h = 0{,}5$–3 м объясняется моментным напряженно-деформированным состоянием конструкции стенки. Максимальные напряжения находятся на высоте 2,5 м и составляют 165 МПа. Перемещения стенки в радиальном направлении по высоте от действия эксплуатационных нагрузок изображены на графике (рис. 5).

На графике дополнительно нанесено решение для прогибов, полученных из аналитического выражения (2).

Выводы

– Авторами получена численная модель резервуара, позволяющая выполнять расчеты НДС конструкций в неосесимметричной постановке с учетом физической и геометрической нелинейности.

– Проверена адекватность предложенной модели, разница результатов задачи

в осесимметричной постановке, решенной аналитическим и численным методами, составляет 1,76%. Таким образом, предложенную модель можно считать адекватной, т.к. отличие от аналитического решения составило не более 2%.

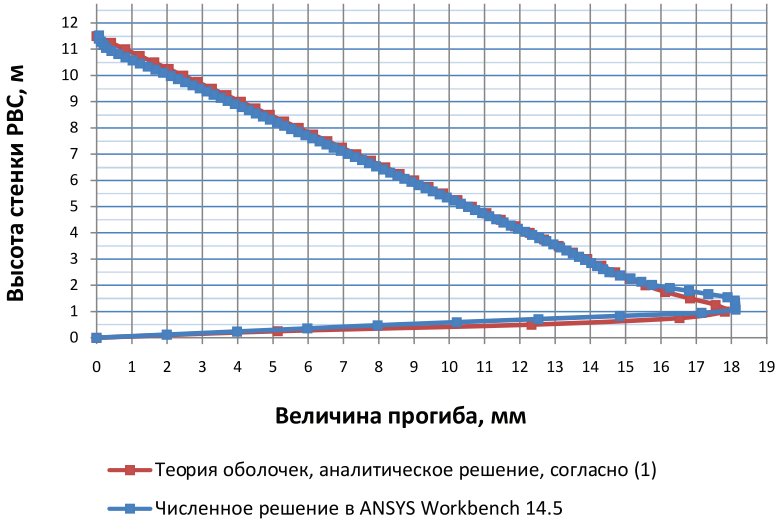


Рис. 5. Перемещения стенки в радиальном направлении от действия эксплуатационных нагрузок

– Данная расчетная схема и полученная модель будут использованы автором для более сложных исследований, а именно для расчета неравномерной осадки резервуаров в неосесимметричной постановке.

Список литературы

1. Коновалов П.А., Мангушев Р.А., Сотников С.Н., Землянский А.А., Тарасенко А.А. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований. – М.: Изд-во «АСВ», 2009. – 336 с.

2. Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры. – М.: Недр», 1987. – 200 с.

3. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках основания: дис. ... канд. техн. наук. – М.: Московский Инженерно-Строительный Институт им. В.В.Куйбышева, 1988. – 222 с.

4. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... д-ра техн. наук. – Тюмень, 1999. – 254 с.

5. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров при ремонтных работах. – М.: ОАО Изд-во «Недра», 1999. – 271 с.

6. Тарасенко А.А., Тюрин Д.В. Моделирование нефтяных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». –2001, –№ 4. –Тюмень. С. 31.

7. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. – М., Изд-во «Наука», 1966. – 636 с.

References

1. Konovalov P.A., Mangushev R.A., Tarasenko A.A. Fundamenty stal'nyh rezervuarov i deformacii ih osnovanij [The foundations of vertical storage steel tanks and deformations of their bases]. Moscow, Izdatel'stvo ASV, 2009. 336 p.

2. Safarjan M.K. Metallicheskie rezervuary i gazgol'dery [Steel storage tanks and gasholders]. Moscow, Nedra, 1987. 200 p.

3. Slepnev I.V. Naprjazhenno-deformirovannoe uprugo-plasticheskoe sostojanie stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov pri neravnomernyh osadkah osnovanija. Diss. kand. tehn. nauk [Stress-strain elastic-plastic state steel vertical cylindrical tanks with irregular settlement base. Candidate technical sciences dissertation]. Moscow, MISIim. V.V. Kujbysheva, 1988. 222 p.

4. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie krupnogabaritnyh rezervuarov pri remontnyh rabotah: dis. dokt. tehn. Nauk [Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1999. 254 p.

5. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov pri remontnyh rabotah [Stress-strained state of storage steel tanks during repairs]. Moscow. OAO Izdatel'stvo «Nedra». 1999. 271 p.

6. Tarasenko A.A., Tjurin D.V. Modelirovanie neftjanyh stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov[The modeling of vertical oil steel storage tanks] Tyumen: Izvestija vuzov.2001. no. 4. pp. 31.

7. Timoshenko S.P. Plastinki i obolochki[Plates and shells]. Moscow. Izdatel'stvo «Nauka». 1966. 636 p.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.642.39.03-025.71-034.14: 539.3

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ НАРУЖНОГО КОНТУРА ДНИЩА

[1]Тарасенко А.А., [1]Чепур П.В., [2]Чирков С.В.

[1]ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com;

[2]ОАО «Гипротрубопровод», Москва, e-mail: chirkov0210@mail.ru

В статье рассмотрены основные труды, посвященные неравномерным осадкам оснований резервуаров. Приведен обзор основных методов расчета НДС резервуара при неосесимметричных деформациях. Авторами статьи предложена расчетная схема для определения НДС вертикального стального резервуара при неравномерных осадках наружного контура днища в соответствии с геометрическими параметрами реального резервуара РВС-20000 м^3. Представлен и спланирован эксперимент, включающий в себя схему с двумя влияющими факторами: геометрическая модель резервуара и величина безразмерного коэффициента *n*. Влияющие факторы имеют 3 и 5 комбинаций соответственно, что представлено в матрице эксперимента. В статье приведены эпюры перемещений, напряжений конструкций резервуара, а также графически изображены зависимости перемещений оболочек от величин просадочных зон. Сделаны выводы о влиянии рассмотренных факторов на НДС резервуара при неравномерных осадках наружного контура днища.

Ключевые слова: резервуар, неравномерные осадки наружного контура днища, ANSYS, САПР

THE RECEARCH OF CHANGES IN STRESS-STRAIN STATE VERTICAL STEEL STORAGE TANKS WITH DEVELOPMENT OF DIFFERENTIAL SETTLEMENT OUTDOOR CIRCUIT BOTTOM

[1]Tarasenko A.A., [1]Chepur P.V., [2]Chirkov S.V.

[1]Tyumen State Oil and Gas Institute, Tyumen, e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com;

[2]OJSC «Giprotruboprovod», Moscow, e-mail: chirkov0210@mail.ru

The article describes the main issues on the differential settlement of steel storage tank bases. The main methods of stress-stain state calculation with differential deformations of storage steel tanks are overviewed. The authors proposed analytical model for determining the stress-strain state of vertical steel tank with irregular outer contour of the bottom sediments in accordance with the geometric parameters of the real tank RVS-20000 m^3. The experiment is transmitted and planned, that includes a scheme with two influencing factors: geometric model of the tank and the dimensionless coefficient n. These influencing factors have 3 and 5 combinations respectively, that presented in the matrix of the experiment. The article presents the diagrams of displacement, stress of tank constructions, as well as graphically depicted dependences values of shell displacements from subsidence zones. The conclusions about the impact of the considered factors on the stress-strain state differential settling tank at the outer contour of the bottom are performed.

Keywords: steel storage tank, differential settlement of outdoor circuit bottom, ANSYS, CAD

Неравномерные осадки наружного контура днища являются одной из причин снижения эксплуатационной надежности резервуара. Обычно разрушение происходит в сварных швах днища в окраечной зоне и стыке стенки с днищем [4]. Вопрос о влиянии неравномерных осадок оснований на напряженно-деформированное состояние резервуаров до конца не исследован, а полученные результаты иногда противоречат друг другу [1, 2, 3,6, 7]. На ри. 1 продемонстрированы примеры недопустимой осадки наружного контура днища РВС.

В работе [1] автор рассчитал напряженно-деформированное состояние нижнего узла резервуара при неравномерных осадках. Для этого был использован программный комплекс ЛИРА. Как выяснилось впоследствии, решение в «упругой» постановке, без учета жесткости крыши и кольца жесткости, привело к серьезным ошибкам в расчетах. Нами предлагается учитывать влияние центральной части днища, окрайки, колец жесткости, кровли на изменение напряженно-деформированного состояния резервуара при неравномерных осадках. Ранее перечисленные выше элементы не учитывались в расчетных схемах большинства авторов.

В [8] была проверена адекватность предлагаемой модели путем решения известной аналитической осесимметричной задачи в линейной постановке. Результаты численного решения, реализованного в программном комплексе ANSYS, и аналитического отличаются на величину не более 2%, что говорит о возможности применения предложенной модели для более сложных расчетов в неосесимметричной постановке.

Расчетная схема (рис. 2) включает в себя действие нагрузки от веса стационарного покрытия и оборудования, снегового покрова и собственного веса стенки

резервуара. Фундаментное кольцо является абсолютно жестким и опирается на основание со значением коэффициента постели 200 МПа/м^3. В [3] указано, что железобетонное фундаментное кольцо не получает угловых деформаций с изменением жесткости основания, а лишь испытывает плоскопараллельное вертикальное смещение. Поэтому выбор значения коэффициента постели не влияет на результаты расчетов в рамках предложенной расчетной схемы. Контактное взаимодействие требует назначения контактной пары (contactpair) поверхностей или твердых тел, где один из объектов – контактный (contact), а другой – целевой (target). Зона контакта фундаментного кольца и грунтового основания, а также контакта центральной части днища и основания задается условием «упругое закрепление» (elasticsupport). Контакты стенки и окрайки (manual contact region «surface body to edge»), окрайки и фундаментного кольца (manual contact region «surface body to solid»), окрайки и центральной части днища (manual contact region «surface body to surface body») моделируются конечными элементами CONTA175 и TARGE170. На рис. 2 представлена расчетная схема.

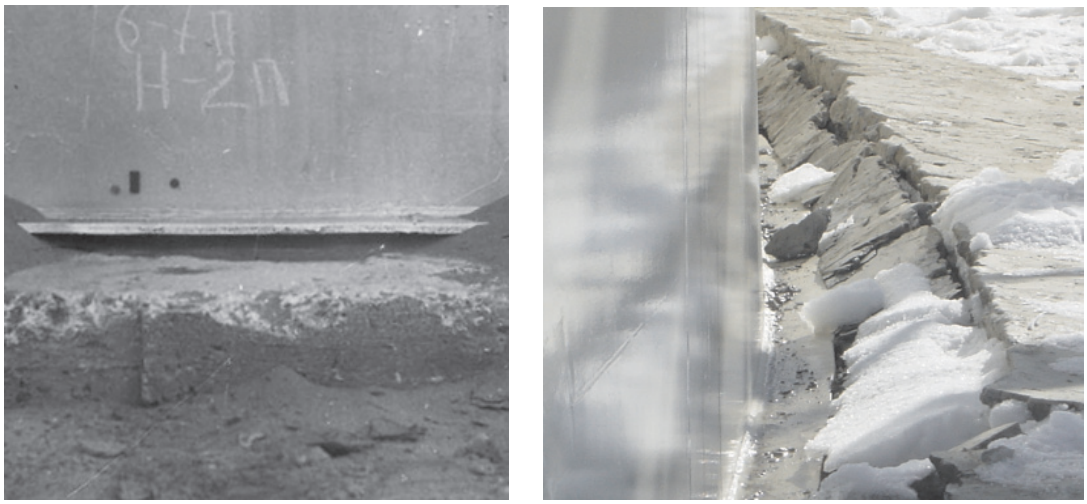


Рис. 1. Примеры недопустимой неравномерной осадки наружного контура днища РВС

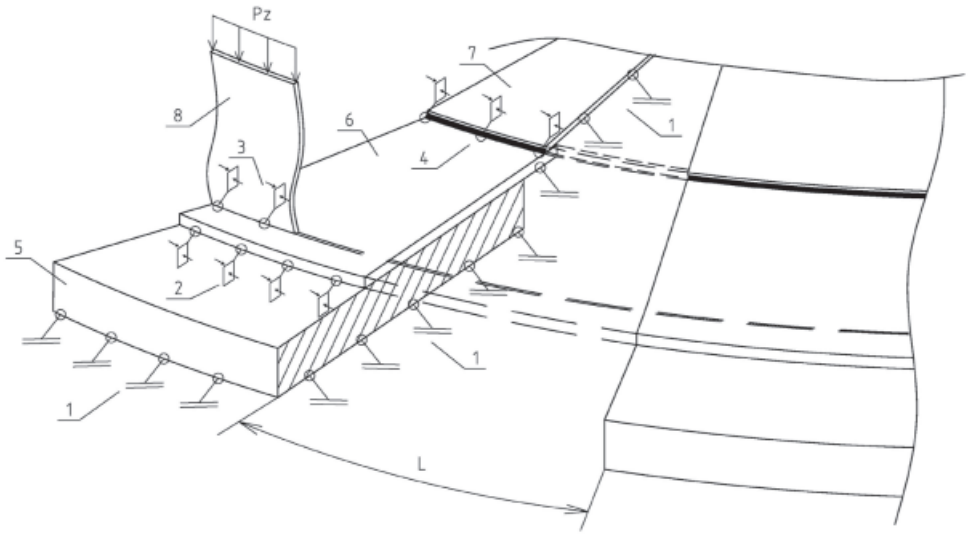


Рис. 2. Расчетная схема:
1 – упругое закрепление «elastic support»; 2 – контакт фундаментного кольца и окрайки (manual contact region «surface body to solid»); 3 – контакт листов стенки и окрайки (manual contact region «surface body to edge»); 4 – контакт окрайки и центральной части днища (manual contact region «surface body to surface body»); 5 – кольцевой фундамент; 6 – окрайка;
7 – центральная часть днища; 8 – стенка; Pz – суммарная нагрузка от веса стационарного покрытия и оборудования, снегового покрова и собственного веса стенки резервуара;
L – дуговой размер зоны просадки

Геометрическая модель резервуара построена в соответствии со значениями, принятыми в типовом проекте для РВС-20000 (ТП 704-1-60). Радиус резервуара составляет 22,85 м, высота стенки 11,92 м. Толщина стенки для первого пояса – 13 мм, для 2–8 поясов – 11 мм. Листы стенки выравниваются по внутреннему краю. В предлагаемой модели стенка, окрайка, днище, кольцо жесткости представлены оболочечными конечными элементами SHELL181. Кровля моделируется балочными конечными элементами BEAM4 и состоит из 48 двутавров, профиль I35Б1 по ГОСТ 8239-89.

Материал металлоконструкций – сталь конструкционная низколегированная 09Г2С с пределом текучести $\sigma_{0,2}$ = 300 МПа.

Рассмотрим 3 случая деформирования стенки РВС-20000 вследствие действия нагрузок, обусловленных неравномерной осадкой фундаментного кольца резервуара. В первом случае рассмотрим деформацию стенки резервуара без кольца жесткости и стационарной крыши. Во втором – с кольцом жесткости. В третьем – со стационарной крышей и кольцом жесткости. Неравномерная осадка резервуара моделируется путем вырезки сегмента фундаментного кольца размером L (рис. 3).

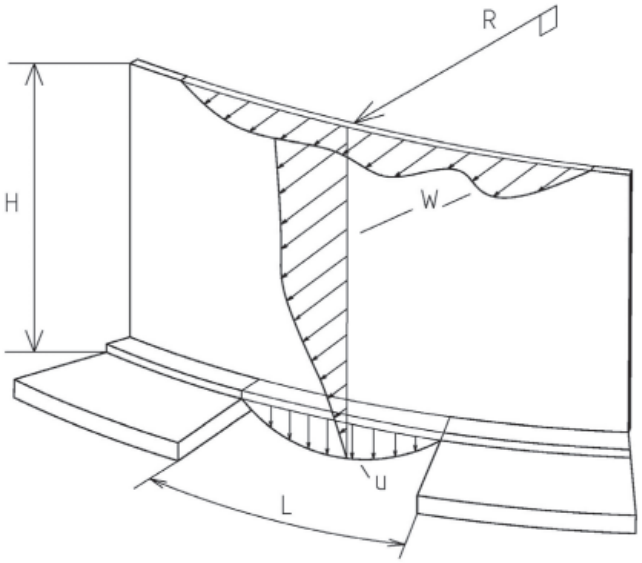


Рис. 3. Схема нагружения оболочек:
L – дуговой размер зоны просадки; R – радиус резервуара; H – высота резервуара;
W – радиальные перемещения стенки; u – вертикальные перемещения стенки и окрайки

Автором предлагается расчет НДС резервуара при значениях n = 2...6.

Для удобства представления результатов расчетов предлагается использовать безразмерный, принятый в теории оболочек параметр n, который учитывает размер зоны нагружения (осадки резервуара):

$$n = \pi R/L, \qquad (1)$$

где L – дуговой размер зоны просадки; R – радиус резервуара.

В табл. 1 представлена схема планирования эксперимента. Опыт предполагает наличие двух факторов. Первым фактором (a) является геометрическая модель резервуара с тремя комбинациями: без кольца жесткости и стационарной крыши (a_1), с кольцом жесткости без стационарной крыши (a_2), с кольцом жесткости и стационарной крышей (a_3). Вторым фактором (b) является значение коэффициента n, при этом автором предлагается 5 возможных комбинаций: n = 2 (b_1), n = 3 (b_2), n = 4 (b_3), n = 5 (b_4), n = 6 (b_5).

Таблица 1

Фактор a \ Фактор b	I	II	III	IV	V
I	$a_1 b_1$	$a_1 b_2$	$a_1 b_3$	$a_1 b_4$	$a_1 b_5$
II	$a_2 b_1$	$a_2 b_2$	$a_2 b_3$	$a_2 b_4$	$a_2 b_5$
III	$a_3 b_1$	$a_3 b_2$	$a_3 b_3$	$a_3 b_4$	$a_3 b_5$

На рис. 4 изображена эпюра перемещений конструкций резервуара в случае $a_3 b_1$ (с учетом кольца жесткости и стационарной крыши). Обозначена зона наибольших перемещений балок, которая находится над просадочной зоной.

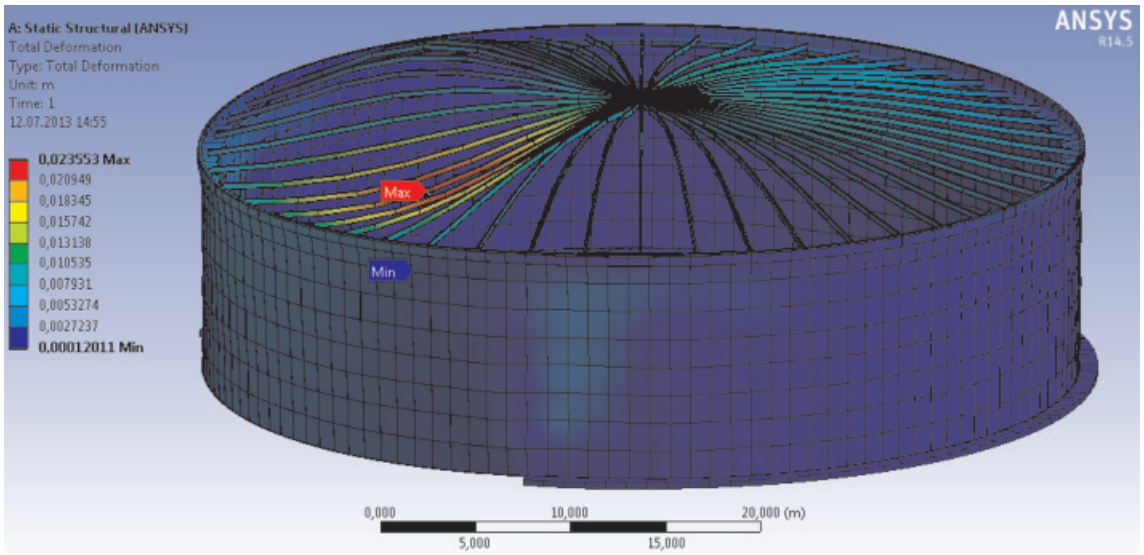


Рис. 4. Эпюра перемещений конструкций РВС

Для РВС-20000 зависимость безразмерного параметра n от величины зоны просадки выглядит следующим образом (табл. 2):

Таблица 2

n	*L*, дуговой размер зоны просадки	
	м	рад
2	36,11	$(1/2)\pi R \approx 90°$
3	24,07	$(1/3)\pi R \approx 60°$
4	18,05	$(1/4)\pi R \approx 45°$
5	14,44	$(1/5)\pi R \approx 35°$
6	12,03	$(1/6)\pi R \approx 30°$

В табл. 3 приведены результаты вертикальных, радиальных перемещений стенки резервуара в трех рассматриваемых случаях, а также максимальные эквивалентные напряжения. Максимальные радиальные перемещения (а также эквивалентные напряжения) стенки во всех случаях достигаются на максимальной высоте h = 11,92 м, причем точка наибольшего отклонения лежит на образующей, проходящей через середину вырезанного сегмента. Наибольшие вертикальные перемещения достигаются в уторном шве посередине вырезанного сегмента.

Таблица 3

n	Без кольца жесткости и стационарной крыши			С кольцом жесткости без стационарной крыши			Со стационарной крышей и кольцом жесткости		
	W, мм	*u*, мм	Max $\sigma_{экв}$ по Фон-Мизесу	*W*, мм	*u*, мм	Max $\sigma_{экв}$ по Фон-Мизесу	*W*, мм	*u*, мм	Max $\sigma_{экв}$ по Фон-Мизесу
2	594	142,6	195	10,86	5,21	40,3	5,67	3,22	28,8
3	658	84,8	138,8	4,91	1,97	22,5	3,51	1,56	23,67
4	366	29,4	88,3	2,86	1,15	20,6	2,47	1,06	20,29
5	136	8,26	39,5	1,38	0,64	20	1,84	0,66	17,12
6	91	5,02	26,8	1,09	0,55	19,8	1,7	0,58	16,55

Выводы

– Получены результаты расчета НДС вертикального стального резервуара при неравномерных осадках наружного контура днища с учетом жесткости таких конструктивных элементов, как кольцо жесткости, окрайка, центральная часть днища, кровля. Авторами учтена физическая и геометрическая нелинейность модели.

– В случае отсутствия кольца жесткости и стационарной кровли максимальные прогибы составляют 658 мм в радиальном направлении и 142,6 мм в вертикальном направлении. При учёте кольца жесткости максимальные значения радиальных прогибов уменьшаются в 60 раз, а вертикальных – в 40 раз. При учете стационарной крыши и кольца жесткости значения радиальных прогибов уменьшаются в 120 раз, а вертикальных – в 50 раз, при этом замечены относительно большие перемещения балок кровли над просадочной зоной (до 25 мм в вертикальном направлении).

– Наличие кольца жесткости и стационарной крыши обеспечивают наименьшие значения вертикальных и горизонтальных перемещений. Даже при значении $n = 2$ значения радиальных прогибов не превышают 6мм, а вертикальных – 4 мм. Таким образом, для получения адекватных результатов при расчете влияния неосесимметричных нагружений на НДС резервуара необходимо учитывать приведенные выше элементы в расчетной схеме.

– Предложенная авторами модель позволяет в неосесимметричной постановке моделировать различные случаи неравномерной осадки с учетом конкретных технико-эксплуатационных условий.

– Возникает вопрос об изменении подходов к диагностике, а именно об ужесточении требований к техническому состоянию кольца жесткости и стационарной крыши, жесткость и геометрические характеристики которых значительно влияют на надежность конструкции всего резервуара в целом.

Список литературы

1. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках оснований: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1988. – 228 с.

2. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... д-ра. техн. наук. – Тюмень, 1999. – 254 с.

3. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров при ремонтных работах. – М.: ОАО Изд-во «Недра», 1999. – 271 с.

4. Тарасенко А.А. Результаты статистической обработки измерений неравномерных осадок наружного контура днища вертикальных стальных резервуаров // Известия вузов «Нефть и газ». – 1999. – № 1. – С. 92.

5. Хоперский Г.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния стенки резервуара при неравномерных осадках основания. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 197 с.

6. Хоперский Г.Г. Тарасенко А.А., Овчар З.Н., Николаев Н.В. Определение неравномерной составляющей осадки резервуаров, вызывающей неосесимметричную деформацию // Известия вузов «Нефть и газ». – 1997. – № 5. – С. 104.

7. Хоперский Г.Г. Тарасенко А.А. Экспериментальное исследование деформаций стенки резервуара при неравномерных осадках оснований //Известия вузов «Нефть и газ». –1997, –№ 6. –Тюмень. С. 12.

8. Чепур П.В., Тарасенко А.А. Построение конечно-элементной модели резервуара в программном комплексе ANSYS // Т1. Нефть и газ Западной Сибири: тезисы докл. Междунар. конф. – Тюмень, 2013. – С. 21–25.

References

1. Slepnev I.V. Naprjazhenno-deformirovannoe uprugo-plasticheskoe sostojanie stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov pri neravnomernyh osadkah osnovanija. Diss. kand. tehn. nauk [Stress-strain elastic-plastic state steel vertical cylindrical tanks with irregular settlement base. Candidate technical sciences dissertation]. Moscow, MISI im. V.V. Kujbysheva, 1988. 228 p.

2. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie krupnogabaritnyh rezervuarov pri remontnyh rabotah: dis. dokt. tehn. nauk [Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1999. 254 p.

3. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov pri remontnyh rabotah [Stress-strained state of storage steel tanks during repairs]. Moscow. OAO Izdatel'stvo «Nedra». 1999. 271 p.

4. Tarasenko A.A. Rezul'taty statisticheskoj obrabotki izmerenij neravnomernyh osadok naruzhnogo kontura dnishha vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov [The results of the statistical analysis of the measurements of differential settlement outer contour of the bottom vertical steel tanks]Tyumen: Izvestija vuzov.1999. no. 1. pp. 92.

5. Hoperskiy G.G. Issledovanie napryajenno-deformirovannogo sostoyaniya stenki rezervuara pri neravnomernih osadkah osnovaniya: dis. cand. tehn. nauk [Stress-strained state of storage steel tanks with differential settlements of outer counter of the bottom. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1998. 197 p.

6. Hoperskij G.G. Tarasenko A.A., Ovchar Z.N., Nikolaev N.V. Opredelenie neravnomernoj sostavljajushhej osadki rezervuarov, vyzyvajushhej neosesimmetrichnuju deformaciju [The definition of non-uniform component of precipitation of oil steel storage tanks, causingnon-axisymmetric deformation]Tyumen: Izvestija vuzov.1997. no. 5. pp. 104.

7. Hoperskij G.G. Tarasenko A.A.Jeksperimental'noe issledovanie deformacij stenki rezervuara pri neravnomernyh osadkah osnovanij [Experimental study of the tank walls deformation at non-uniform sediments of foundations]Tyumen: Izvestija vuzov.1997. no. 6. pp. 12.

8. ChepurP.V., TarasenkoA.A. Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoj konferencii, posvjashhennoj 50-letiju Tjumenskogo industrial'nogo instituta. T.1 «Neft' i gaz Zapadnoj Sibiri» [International scientific conference «Oil and gas of West Siberia»]. Tyumen, 2013, pp. 21–25.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.735.06; 621.97

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В КРИВОШИПНОМ ГОРЯЧЕШТАМПОВОЧНОМ ПРЕССЕ

Телегин И.В.

ФБГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», Липецк, e-mail: igor.v.telegin@gmail.com

Статья посвящена вопросам анализа динамики кривошипного горячештамповочного пресса, целью которого является расчёт параметров колебательных процессов, возникающих при деформации его элементов. Метод, лежащий в основе теоретических разработок, – моделирование реального механизма системой сосредоточенных масс, соединённых нелинейными, в силу наличия зазоров в кинематических парах, упруго-диссипативными связями. Уровень динамических процессов в деталях и узлах пресса оценивается на основании как изменяемых во времени значений их кинематических характеристик и нагрузок, так и ряда критериев, в числе которых точность позиционирования, средние и максимальные нагрузки, коэффициенты динамичности. Результатом выполненных исследований является программный продукт, включающий помимо блока численного интегрирования уравнений движения масс модели, интерактивный интерфейс ввода конструктивных параметров пресса и данных о технологических нагрузках и блок графического представления и сохранения полученной информации.

Ключевые слова: кривошипный горячештамповочный пресс, динамическая модель, привод пресса, кривошипно-ползунный механизм, станина, зазоры в кинематических парах, динамические нагрузки

COMPUTER SIMULATIONOF DYNAMICPROCESSES INHOT-CRANK PRESS

Telegin I.V.

Lipetsk State Technical University, Lipetsk, e-mail: igor.v.telegin@gmail.com

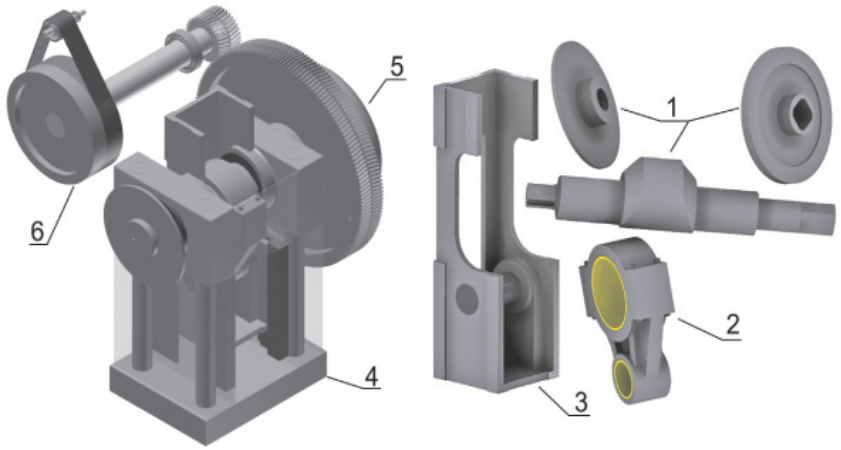
The article is devoted to the analysis of dynamic processes of the hot-crank press, the purpose of which is to calculate the parameters of oscillatory processes occurring during deformation of it's elements. It is based on the method of modelinga real mechanism as a system of concentrated masses connected by anon-linear, due to the presence of gaps in the kinematic pairs of elastic-dissipative coupling. The level of dynamic processes of press's parts and nodes is estimated on the basis of a time-varying values of the kinematic characteristics and loads, as well as a number of criteria, including the positioning accuracy, average and maximum loads, dynamic factor. The result is a software product, including besides the numerical integration of the equations of block mass motion model, interactive input interface design parameters press and loads data processing unit and graphic presentation and preservation of the obtained information.

Keywords: hot-crank press, dynamic model, crank drive, slider-crank mechanism, press frame, gaps in the kinematic pairs, dynamic load

Современный кривошипный горячештамповочный пресс (рис. 1) – изделие, подвижные детали и узлы которого массой от сотен килограмм до нескольких тонн в процессе работы циклически перемещаются со скоростями, соответствующими десяткам оборотов главного вала в минуту, при технологических нагрузках на исполнительном звене (ползуне) достигающих десятков меганьютонов. Оценка способности пресса к выполнению конкретного технологического процесса горячей объёмной штамповки (ГОШ) осуществляется, как правило, на основании графика допустимых усилий на его ползуне [1] без учёта возникающих при этом динамических нагрузок, в то время как их влияние на работоспособность и долговечность узлов пресса не вызывает сомнений и подтверждена рядом исследований [2–4].

В известных работах, посвящённых анализу динамических процессов в КГШП, его механизмы моделируются многомассовыми колебательными системами, позволяющими рассчитать нагрузки, связанные с крутильными колебаниями валов и растяжением-сжатием шатуна, ползуна и станины пресса [2–4]. Однако при штамповке на КГШП максимальные нагрузки возникают в конце рабочего хода ползуна, когда вращающая составляющая усилия со стороны ползуна на главный вал пресса минимальна. На этом временном отрезке элементы пресса: станина, шатун и ползун испытывают преимущественно деформации растяжения-сжатия, а главный вал работает на изгиб. В течение остального времени схема нагружения главного вала – кручение и изгиб. Очевидно, что при моделировании динамических процессов, протекающих в КГШП, необходимо учитывать эти особенности.

Динамическая модель [4], представляющая собой систему сосредоточенных масс, соединённых упруго-диссипативными связями, приведена на рис. 2. Основное отличие данной модели от уже известных [2–4] – возможность исследования колебательных процессов в КГШП как с учётом крутильных деформаций валов, растяжения-сжатия шатуна, ползуна, станины пресса, так и изгибных колебаний его главного вала.



а б

Рис. 1. Твердотельная модель КГШП модели К8544:
а – в сборе, б – главный вал и детали кривошипно-ползунного механизма;
1 – главный (эксцентриковый) вал и диски тормоза и муфты; 2 – шатун; 3 – ползун; 4 – станина;
5 – муфта; 6 – привод

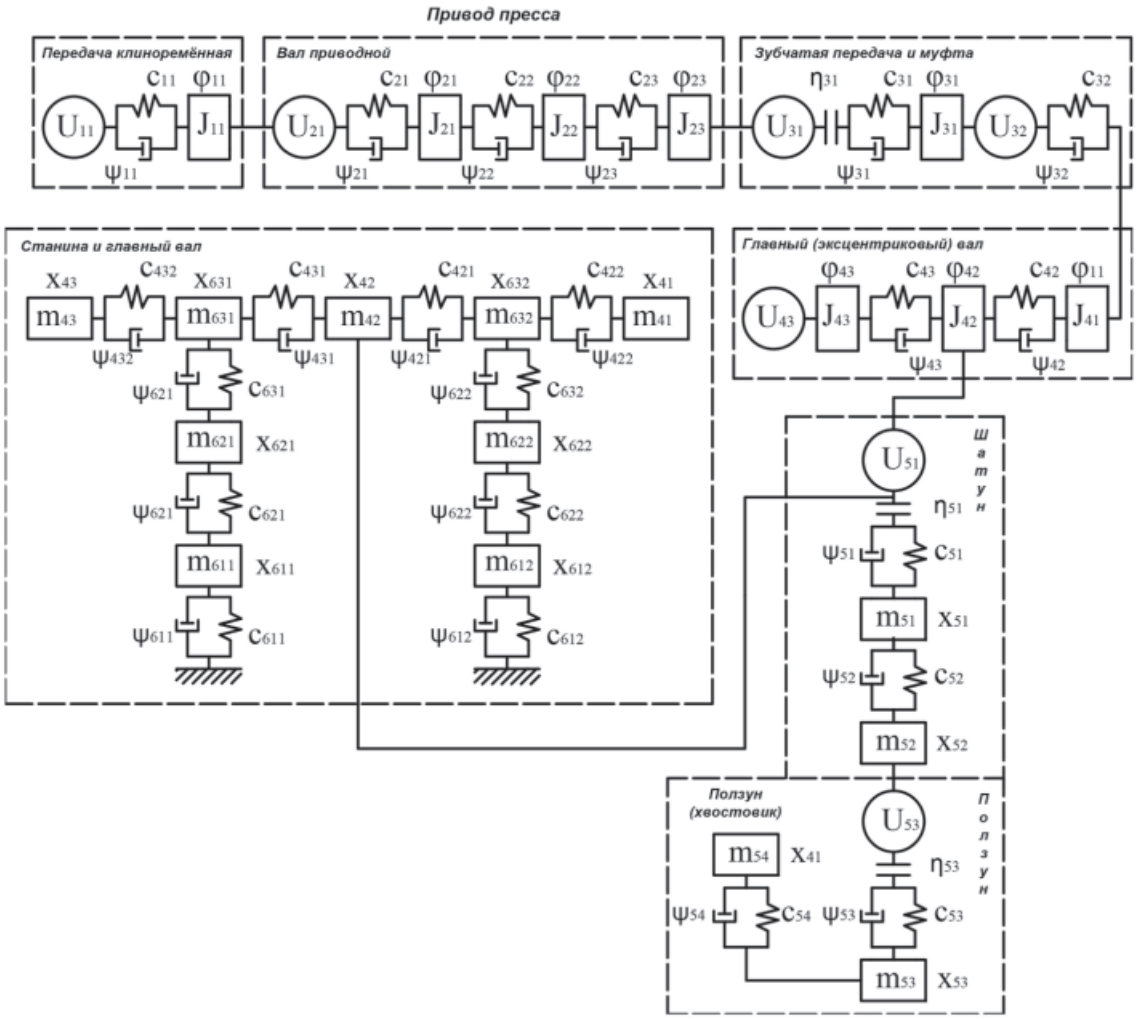


Рис. 2. Динамическая модель КГШП:
J_{mn}, m_{mn} – моменты инерции и массы, c_{mn}, ψ_{mn} – жёсткости и коэффициенты диссипации,
η_{mn} – зазоры в кинематических парах, U_{mn} – функции положения, φ_{mn}, x_{mn} – перемещения,
где m = 1...6 – номер механизма, n – номер массы механизма

Структура и основные характеристики динамической модели следующие:

1. Электродвигатель – маховик, связанные клиноремённой передачей. Одномассовая динамическая модель ($m = 1$, $n = 1$). Функция положения $U_{11} = \omega \cdot t$, где $\omega = \text{const}$ – угловая скорость электродвигателя.

2. Вал приводной – трёхмассовая динамическая модель ($m = 2$, $n = 3$).

3. Муфта (зубчатое колесо, постоянно вращающиеся детали фрикционной муфты, диск муфты) – двухмассовая динамическая модель ($m = 3$, $n = 2$). В зубчатом зацеплении, передаточное отношение которого определяется функцией $= \varphi_{23}$, предполагается наличие зазора. Функция положения $U_{32} = \varphi_{31}$ при работе пресса в автоматическом режиме (муфта включена). При работе пресса в режиме одиночных ходов на участке включения муфты предполагается, что ускорение дисков муфты изменяется по синусоидальному закону (1):

$$U_{32} = \frac{\pi \cdot (\varphi_{31} + \varphi_{\text{вм}}) - \varphi_p \cdot \sin\left(\frac{\pi}{\varphi_p}(\varphi_{31} - \varphi_{\text{вм}})\right)}{2\pi}, \quad (1)$$

где $\varphi_{\text{вм}}$, φ_p – углы включения и разгона муфты.

На участке торможения имеет место разрыв связи с приводом ($c_{32} = 0$, $\psi_{32} = 0$).

4. Главный (эксцентриковый) вал – трёхмассовая динамическая модель ($m = 4$, $n = 3$). Расчёт крутильных колебаний. Первая масса – участок вала с диском муфты до эксцентрика. Вторая масса – эксцентрик. Третья масса – фрагмент главного вала после эксцентрика и диск тормоза. При работе пресса в автоматическом режиме воздействие тормоза на массу J_{43} отсутствует ($\boldsymbol{U}_{43} = \varphi_{43}$). При работе пресса в режиме одиночных ходов на участке включения тормоза предполагается изменение ускорения его диска по синусоидальному закону (2):

$$U_{43} = \frac{\pi \cdot (\varphi_{43} + \varphi_{\text{вт}}) - \varphi_{\text{т}} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{\varphi_{\text{т}}}(\varphi_{43} - \varphi_{\text{вт}} + \varphi_{\text{т}})\right)}{2\pi}, \quad (2)$$

где $\varphi_{\text{вт}}$, $\varphi_{\text{т}}$ – углы включения тормоза и торможения.

Расчёт изгибных колебаний главного вала выполняется одновременно с расчётом колебательных процессов в станине.

5. Кривошипно-ползунный механизм – четырёхмассовая динамическая модель ($m = 5$, $n = 4$). Шатун – двухмассовая динамическая модель. Предполагается, что шатун работает только на растяжение-сжатие. Жёсткости шатуна на растяжение и сжатие различны. Ползун – двухмассовая динамическая модель. Первая масса – сам ползун, вторая – его хвостовик. В соединениях эксцентрик главного вала – шатун и шатун – ползун имеются зазоры. Функция, связывающая положение ползуна и шатуна с углом поворота главного вала $U_{51}(\varphi_{42})$, приведена в работах [1, 4], $U_{53} = x_{52}$.

6. Станина и главный вал – девятимассовая динамическая модель. Массы m_{6ni} – $n = 3$, $i = 1$ – левая стойка станины, $i = 2$ – правая стойка станины.Деформация растяжение-сжатие. Массы m_{42} (эксцентрик), m_{41} (муфта), m_{43} (тормоз) – главный вал. Деформация растяжение-сжатие и изгиб. Изгиб фрагментов главного вала рассчитывается как линейное отклонение его положения под воздействием сосредоточенной силы.

Движение масс динамической модели (рис. 2), описывается двадцатью двумя обыкновенными, нелинейными, кусочно-непрерывными дифференциальными уравнениями второго порядка (математическая модель), составленными с помощью уравнения Лагранжа 2-го рода с «лишними» координатами [4].

Расчёт упруго-инерционных и диссипативных параметров (c_{mn}, m_{mn}, J_{mn}, ψ_{mn}) осуществляется на основе твердотельной модели пресса (рис. 1) в соответствии с методикой, предложенной в работах [4, 5].

На рис. 3 представлено основное окно программного решения «Динамика кривошипного пресса» [6], в рамках которого предусмотрена возможность ввода, тестирования и сохранения параметров динамической модели кривошипного пресса и реализуемой с его помощью технологии. Компьютерное моделирование динамики пресса на основе данной программы позволяет решить следующие задачи:

- исследовать влияние конструктивных параметров пресса на уровень протекающих в его элементах динамических процессов, что представляет несомненный интерес при выполнении работ, связанных с проектированием нового и совершенствованием существующего оборудования;

● определить пригодность пресса для выполнения технологического процесса в зависимости от степени износа его кинематических пар;

● выполнить сравнительный анализ возможных технологий изготовления одной и той же поковки с точки зрения их влияния на динамику пресса.

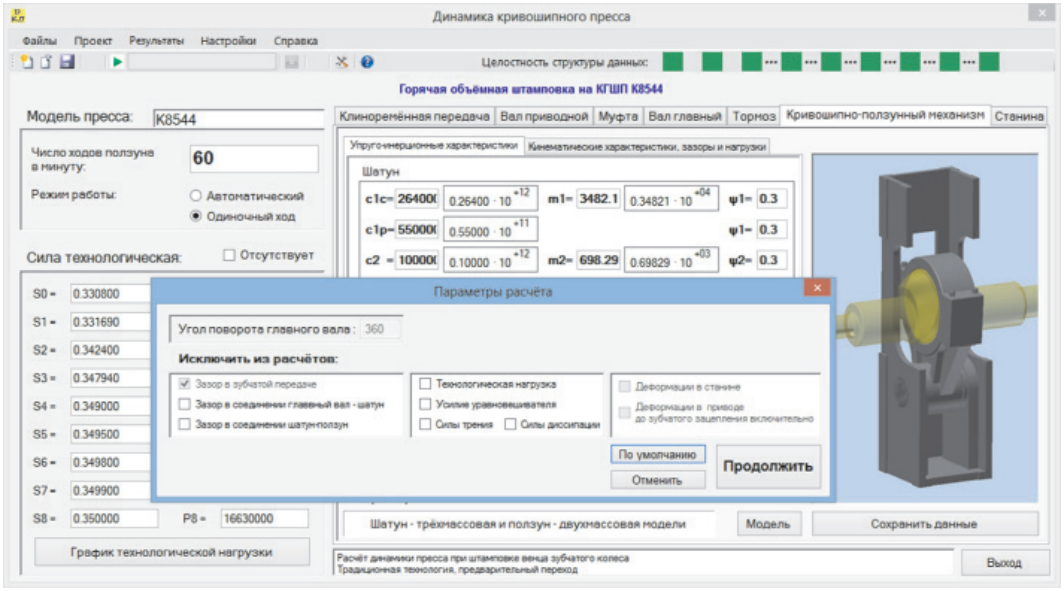


Рис. 3. Определение параметров КГШП и параметров расчёта

На рис. 4 приведено окно результатов компьютерного моделирования динамики пресса К8544 при выполнении им технологической операции предварительной штамповки поковки каретки синхронизатора коробки передач грузового автомобиля КАМАЗ [7].

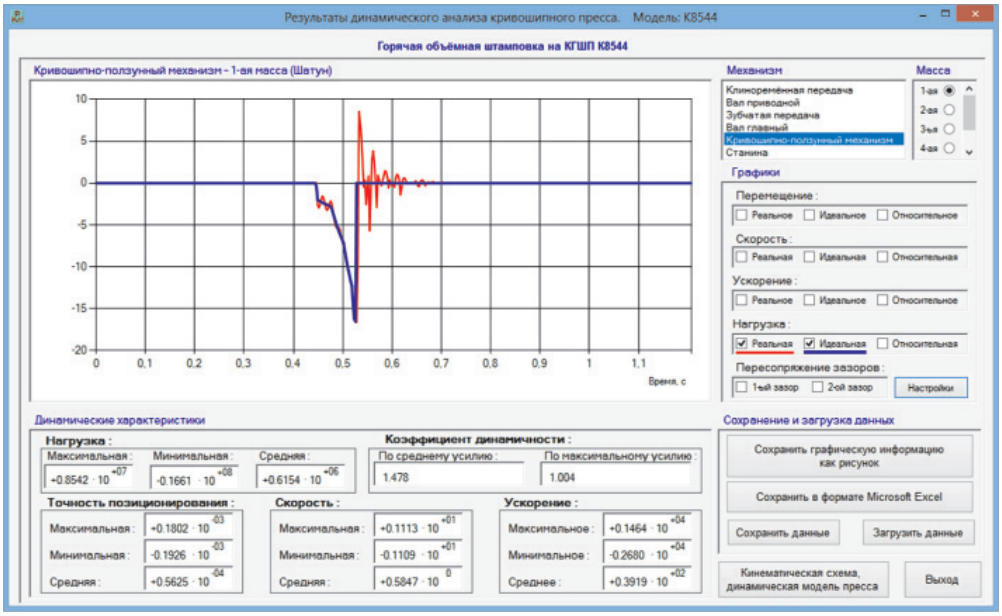


Рис. 4. Результаты динамического анализа КГШП

Уровень динамических процессов в механизме можно оценить:

● путём визуального анализа графиков изменения перемещений, скоростей, ускорений его элементов, связанных с соответствующими массами динамической модели, нагрузками, возникающими при деформации этих элементов, диаграммам пересопряжения зазоров в кинематических парах;

● на основе значений ряда критериев, отражающих общий уровень динамических процессов в исследуемом механизме.

Кроме графическое представление изменения кинематических параметров движения

масс модели и нагрузок на них воздействующих, так и рассчитать значения ряда критериев, характеризующих интенсивность динамических процессов в механизмах пресса, основными из которых являются максимальная (P_{max}), минимальная (P_{min}) и средняя ($P_{ср}$) нагрузки, коэффициенты динамичности. Учитывая, что элементы пресса в процессе работы испытывают нагрузки различного направления, в дальнейшем будем считать, что деформация и соответствующая ей сила отрицательны, если они возникают в результате приложения к ползуну пресса нагрузки однонаправленной с технологической. Средняя нагрузка рассчитывается в соответствии с выражением (3):

$$P_{ср} = \frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} \left| P(t) \right| \cdot dt, \qquad (3)$$

где T_1 и T_2 – начальный и конечный моменты отрезка времени, на котором исследуются динамика пресса; $P(t)$ – текущее значение нагрузки.

Традиционно под коэффициентом динамичности понимается отношение максимальных абсолютных величин реального ускорения исследуемого звена механизма к идеальному, рассчитанному только на основе уравнений кинематики. Такой способ расчёта коэффициента динамичности не всегда приемлем для КГШП. Например, при работе пресса в автоматическом режиме идеальное ускорение главного вала равно нулю, соответственно использование коэффициента динамичности теряет смысл. При решении задач, связанных с исследованием влияния на динамику пресса применения различных вариантов технологических схем горячей объёмной штамповки одного и того же изделия, в качестве коэффициентов динамичности предлагается использовать выражения (3) и (4):

$$K_s = \frac{P_{ср}}{Ps_{ср}}; \qquad (4)$$

$$K_m = \frac{P_{max}}{Ps_{max}}, \qquad (5)$$

где $P_{ср}$, $Ps_{ср}$, P_{max} и Ps_{max} – соответственно средняя динамическая, средняя статическая, максимальные по абсолютной величине динамическая и статическая нагрузки в исследуемом элементе механизма, рассчитанные на временном отрезке $[T_1, T_2]$. Коэффициент K_m определяет относительный уровень максимальной нагрузки в исследуемом механизме (детали, фрагменте детали) пресса и является показателем прочности. Значение K_s зависит от амплитуды, частоты, скорости затухания колебаний и является показателем, определяющим износ и усталостное разрушение.

Список литературы

1. Банкетов А.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование / А.Н. Банкетов, Ю.А. Бочаров и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 576 с.

2. Складчиков Е.Н. Моделирование динамики работы привода кривошипного пресса простого действия // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 4. – С. з0–32.

3. Телегин В.В. Анализ влияния на динамику кривошипного пресса технологических схем штамповки / В.В. Телегин, М.Н. Абдуллах // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 4(3). – С. 629–633.

4. Телегин В.В. Динамика механизмов многопозиционных холодноштамповочных автоматов: монография. – Липецк: ЛГТУ, 2006. – 204 с.

5. Телегин, В.В. Технология цифровых прототипов в задачах исследования динамики кузнечно-прессовых машин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4(5). – С. 1306–1309.

6. Телегин И.В. Динамика кривошипного пресса: св. о гос. рег. прог. для ЭВМ Росс. Фед. № 2013618511 от 10.09.2013. Дата поступления 16.07.2013.

7. Телегин И.В. Исследование и совершенствование технологического процесса горячей объёмной штамповки круглых в плане поковок / И.В. Телегин, И.М. Володин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2012. – Т. 14, № 4(5). – С. 1310–1312.

References

1. Banketov A.N., Bocharovm Ju.A. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie [Forging-and-extruding equipment]. Moscow, Mashinostroenie, 1982, 576 p.

2. Skladchikov E.N. Modelirovanie dinamiki raboty privoda krivoshipnogo pressa prostogo dejstvija [Modeling the dynamicsof the drivecrank press-action]. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1985, no. 4, pp. 30–32.

3. Telegin V.V., Abdullah M.N. Analiz vlijanija na dinamiku krivoshipnogo pressa tehnologicheskih shem shtampovki [Analysis of influence of technological schemes stamping on the dynamics of crank press]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy ofSciences, 2010, Vol. 12, no. 4(3), pp. 629–633.

4. Telegin, V.V. Dinamika mehanizmov mnogopozicionnyh holodnoshtampovochnyh avtomatov [Dynamics of mechanisms multiposit i on cold pressing machines]. Monograph V.V. Telegin, Lipetsk, LSTU, 2006, 204 p.

5. Telegin, V.V. Tehnologija cifrovyh prototipov v zadachah issledovanija dinamiki kuznechno-pressovyh mashin [The technology of digital prototypes in the tasks of research of dynamics forging and pressing machines]. Proceedings of the SamaraScientific Center ofthe Russian Academy ofSciences, 2012, Vol. 14, no. 4(5), pp. 1306–1309.

6/ Certificate 2013618511 Russian Federation. Certificate on the state registration of the computer program. The dynamics ofthe hot-crank press. author I.V. Telegin; applicant and owner TeleginIgor Viktorovich (RU). No. 2013618511; it is declared 16.07.2013; it is published 10.09.2013, Registry of the computer programs, 1 p.

7. Telegin I.V., Volodin I.M. Issledovanie i sovershenstvovanie tehnologicheskogo processa gorjachej objomnoj shtampovki kruglyh v plane pokovok [Research and improvement technology of hot die forging process round in plan view forgings]. Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2012, Vol. 14, no. 4(5), pp. 1310–1312.

Рецензенты:

Володин И.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой механики пластического деформирования, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк;

Козлов А.М., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения, Липецкий государственный технический университет, г. Липецк.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 67.05

ФОРМИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВА СОСТОЯНИЙ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ РОБОТОВ

Умнов В.П., Егоров И.Н.

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ), Владимир, e-mail: mex-rob@yandex.ru

Исходя из параметрической и структурной не стационарности состояния позиционных связей и силовых взаимодействий между рабочим органом и объектом работ во время выполнения манипуляционным роботом определенной операции, предлагается рассматривать задачу его управления как задачу формирования пространства состояний кинематических пар исполнительной системы, характеризующегося совокупностью различных фаз. Отмечается целесообразность реализации в манипуляционной системе и каждом приводе робота позиционного, силомоментного и комбинированного управления. Предложена классификация кинематических пар в зависимости от цели управления и вида взаимодействия, создаваемого между соединяемыми звеньями. Представлено обобщенное аналитическое выражение задачи построения управления манипуляционной системой робота, выполняющего определенную операцию, как задачи формирования фазового пространства состояний кинематических пар. Отмечены особенности построения пространства состояний при кинематическом и динамическом управлении, а также при работе с наложенными связями.

Ключевые слова: манипуляционный робот, исполнительная система, управление, кинематическая пара

THE FORMATION OF THE SPACE OF THE STATES CONTROL OF EXECUTIVE SYSTEMS OF MANIPULATION ROBOTS

Umnov V.P., Egorov I.N.

The Federal State budgetary educational institution of higher professional education «the Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs» (VlSU), Vladimir, e-mail: mex-rob@yandex.ru

Based on parametric and structural non-stationary state of positional relationships and force interactions between the working body and the object of the operation during the handling robot specific operation, it is proposed to consider the problem of its management as the problem of formation of the state space of the kinematic pairs of the correctional system, characterized by a set of different phases. It is noted in the expediency of the handling system and each drive the robot position, and the combined force-torque control. The classification of kinematic pairs, depending on the management objectives and the type of interaction created between the connected units. Presented by the generalized analytical expression task of building management system handling robot that performs a specific operation, as the problem of formation of the phase space of states of the kinematic pairs. The features of the construction of the state space for kinematic and dynamic control, as well as when working with the imposed constraints.

Keywords: manipulation robot, executive system, management, kinematic pair

Одним из основных компонентов манипуляционного робота является исполнительная система, в общем случае состоящая из кинематической цепи, двигателей с приводами и механизмов преобразования движения. В зависимости от решаемых задач манипуляционная исполнительная система одного робота может содержать одну или несколько кинематических цепей (манипуляторов), выполняющих одинаковые или различные функции. Например, в многофункциональном лазер-роботе [4] манипуляционная исполнительная система содержит технологический манипулятор, манипулятор оптики и вспомогательный манипулятор, а манипуляционная исполнительная система робота-станка [1] состоит из манипулятора изделия и манипулятора обрабатывающего инструмента. Исполнительные механизмы роботов с несколькими манипуляторами называют механизмами относительного манипулирования. К таким механизмам относят и механизмы роботов с параллельной кинематикой, образующие стационарно замкнутые кинематические цепи. Обобщенно механизмами относительного манипулирования в исполнительных системах роботов следует считать механизмы, состоящие из нескольких замкнутых или разомкнутых кинематических цепей, каждая из которых имеет управляемую или не управляемую, стационарную или не стационарную связь с выходным звеном или рабочим органом. Наличие значительного количества кинематических пар в указанных механизмах позволяет строить специфические алгоритмы и структуры системы управления.

Интегрированные операции, выполняемые манипуляционными роботами в современном высокотехнологичном производстве или экстремальных средах, осуществляются в условиях параметрической и структурной не стационарности

состояния позиционных связей и силовых взаимодействий между рабочим органом и объектом работ, отдельными манипуляторами, а также их звеньями. Указанные связи и взаимодействия можно разделить на два уровня [2]: между манипуляторами через кинематические цепи, рабочие инструменты и объекты работ (связи и взаимодействия первого уровня) и между звеньями внутри манипуляторов (связи и взаимодействия второго уровня). Здесь и в дальнейшем будем считать, что силовым является внешнее по отношению к компоненту системы активное и (или) реактивное воздействие, как результат взаимодействия компонентов в процессе работы.

Во время движения позиционная связь и силовое взаимодействие неразрывно связаны, являясь, по сути, позиционно-силовым взаимодействием на втором уровне постоянно, а на первом – в зависимости от положения компонентов системы и выполняемой операции. При этом возможны два варианта движения рассматриваемого компонента манипуляционной системы: движение за счёт стороннего источника энергии и движение за счёт перекачки энергии в процессе позиционно-силового взаимодействия с другим компонентом. Структурное постоянство указанных связей и взаимодействий на определенном этапе движения можно считать фазой их состояния. Отмеченные выше обстоятельства предопределяют реализацию в манипуляционной системе и каждом приводе робота позиционного, силомоментного и комбинированного управления, аналогично органам движения биологических систем, в том числе человека. Техническая реализация такого интегрированного управления не представляет принципиальных сложностей и не требует ощутимых затрат.

При выполнении различных операций в степенях подвижности манипуляционной системы осуществляется управляемое относительное перемещение звеньев исполнительной кинематической цепи, управляемое силомоментное взаимодействие между ними или комбинированное позиционно-силовое управление. В роботах с параллельной кинематикой и механизмами относительного манипулирования могут содержаться не управляемые кинематические пары, предназначенные для обеспечения в кинематической цепи необходимой подвижности, либо пары и степени подвижности с управлением, отключаемым по определенному алгоритму.

Базовой основой манипуляционных исполнительных систем роботов является совокупность попарно соединенных подвижных звеньев, образующих разомкнутые, замкнутые или комбинированные кинематические цепи. В робототехнике используются преимущественно кинематические пары пятого класса; при этом ось поступательной пары направлена вдоль направления относительного перемещения соединяемых звеньев, а ось вращательной пары ортогональна плоскости их относительного поворота.

Исходя из сказанного выше и пренебрегая трением вдоль оси, состояние кинематические пары предлагается условно классифицировать в зависимости от цели управления и вида взаимодействия, создаваемого между соединяемыми звеньями, следующим образом:

• *пассивная кинематическая пара* ($П^к$) – пара, обеспечивающая необходимую подвижность кинематической цепи манипуляционной исполнительной системы без создания управляемого позиционного или силомоментного взаимодействия между соединяемыми звеньями вдоль ее оси;

• *пассивная силовая кинематическая пара* ($П^с$) – пара, вдоль оси которой целенаправленно создается не управляемое силомоментное взаимодействие между соединяемыми звеньями без управления их относительным положением;

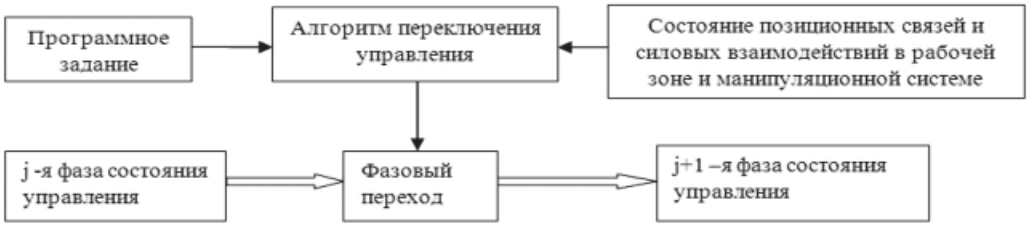
• *активная позиционная кинематическая пара* ($А^п$) – пара, в которой реализуется управление относительным перемещением (или скоростью перемещения) соединяемых звеньев без управления силомоментным взаимодействием между ними;

• *активная силовая кинематическая пара* ($А^с$) – пара, вдоль оси которой создается управляемое силомоментное взаимодействие между соединяемыми звеньями без управления их относительным положением;

• *кинематическая пара с комбинированным управлением* [C(x)] – пара, вид управления в которой может изменяться по определенному алгоритму (вплоть до его отключения) в зависимости от выполняемой операции. Здесь x – характеристика состояний управления в паре.

В соответствии с предложенной классификацией каждой фазе состояния позиционных связей и силовых взаимодействий может быть поставлено в соответствие текущее состояние управления в кинематических парах, которое можно считать *фазой состояния управления* в манипуляционной системе. Тогда каждая j-я фаза состояния управления ($j \in J = \{1, \ldots, k\}$) будет характеризоваться «n»-мерным множеством $\Psi_j = \{x_1, \ldots, x_n\}$, где k – количество фаз управления, имеющих место в процессе выполнения операции, а n – число

кинематических пар в манипуляционной системе. Конечное «*k*»-мерное множество $\Phi(k) = \{\Psi_1, \ldots, \Psi_k\}$ можно считать *пространством состояния управления* манипуляционной системой. Переход от одной фазы состояния управления к другой будем называть *фазовым переходом*. Для полноты представления первой фазой управления в пространстве его состояния следует считать обеспечение положения статического равновесия перед началом движения, а последней – положения равновесия по окончании движения. Фазовый переход состояния управления может осуществляться по алгоритмам, формируемым в пространстве задания в соответствии с управляющей программой, а также состоянием позиционных связей и силовых взаимодействий в рабочей зоне и манипуляционной системе, как показано на рисунке.



Управление фазовым переходом

Для каждой фазы и пространства управления имеет место соответствие:

$$\Psi_j(x) \Rightarrow U_j(t)^m ; \Phi(k) \Rightarrow \left| U(t) \right|^T, \quad (1)$$

где $U_j(t)$ – «*n*»-мерный вектор управляющих воздействий на исполнительные приводы, в общем случае содержащий нулевые компоненты; $\left| U(t) \right|$ – «*k*×*n*»-мерный блочный вектор управляющих воздействий, формируемых в процессе выполнения операции.

На основании (1) можно записать операторные выражения для переменных состояния кинематических пар в виде

$$Q_j(p) = W_j(p) \cdot U_j(p) ;$$

$$|Q(p)| = |W(p)| \cdot |U(p)|. \quad (2)$$

Здесь Q_j(p) – «*n*»-мерный вектор состояния управляемых и не управляемых кинематических пар для *j*-й фазы управления; $|Q(p)|$ – «*k*×*n*» – мерный блочный вектор состояния кинематических пар в процессе выполнения операции; $W_j(p)$ и $|W(p)|$ – передаточные матрицы, определяемые кинематической структурой манипуляционной системы, структурой привода и видом переменной состояния кинематической пары (перемещение, скорость или силомоментное взаимодействие). Для простой разомкнутой кинематической цепи матрицы $W_j(p)$ и $|W(p)|$ имеют диагональный вид.

Если позиционные связи и силовые взаимодействия, имеющие место в рабочей зоне при выполнении некоторой операции, представить в инерциальной системе координат некоторым «s» – мерным вектором $R(t)$, то задачу построения управления манипуляционной системой робота, выполняющего эту операцию, в общем виде можно формализовать следующим образом:

$$\forall R_j(t) \in R(t) \exists \Psi_j(x) \in \Phi(k) \Rightarrow Q_j \exists\, U_j(Q_j, t) \in U(t) \forall\, D_j \rightarrow D_{\max(\min)}. \quad (3)$$

Здесь D_j – критерий оптимизации решения задачи для *j*-й фазы движения.

В манипуляционных системах роботов в зависимости от решаемых задач применяется кинематическое или динамическое управление по относительным или абсолютным координатам, а также по усилию, с которым рабочий орган взаимодействует с объектом работ или комбинированное управление [3].

При кинематическом управлении для заданной траектории или скорости движения рабочего органа (объекта работ) формируется вектор позиционных или скоростных управляющих воздействий на манипуляционную исполнительную систему путем аналитического или итерационного решения обратных задач кинематики:

$$q = N_s^{-1}\left[S\right] \text{ или } \dot{q} = J^{-1}\left[\dot{S}\right], \quad (4)$$

где $q = q_{\{1,\,m\}}$ – *m*-мерный вектор обобщенных координат; $S = S_{\{1,\,h\}}$ – *h*-мерный вектор управляемых координат рабочего органа (объекта работ) в инерциальной системе; N_s и J – функциональная матрица и якобиан обратного преобразования.

Как отмечалось выше, первой фазой управления Ψ_1 можно считать обеспечение положения статического равновесия (режима «Lock») перед началом движения.

Реализация этого режима в степенях подвижности встроенными в безредукторные мехатронные модули электромагнитными тормозными устройствами, с помощью самотормозящихся механических передач или двигателем при «коротком замыкании» в позиционном приводе соответствует состоянию управления в кинематических парах $П^c$:

$$\Psi_1 = \{x: x \in П^c\}; \quad \text{card}\,\Psi_1 = n. \qquad (5)$$

Успешность решения уравнений (4) во многом зависит от соотношения между параметрами m и h ($h_{max} = 6$). Однозначность решения в пределах цикла или траектории при $n = m$ предопределяет структуру фазы управления Ψ_2:

$$\Psi_2 = \{x: x \in A^c\}; \quad \text{card}\,\Psi_2 = n. \qquad (6)$$

В то же время при движении координаты вектора S могут изменяться произвольным образом; при этом на отдельных участках часть координат может довольно длительное время оставаться постоянной или принимать нулевые значения. Однозначное решение уравнений (4) для этих участков возможно лишь при «замораживании» части степеней подвижности, что соответствует работе их приводов режиме «Lock». В этом случае структура фазы управления Ψ_3 будет иметь следующий обобщенный вид:

$$\Psi_3 = \left\{x: x \in A^n \vee x \in П^c\right\}; \text{card}\,\Psi_3 = n. \quad (7)$$

По окончании движения фаза управления будет иметь структуру, аналогичную Ψ_1 ($\Psi_4 = \Psi_1$).

Пространство состояний управления в рассмотренном случае при последовательном чередовании фаз представляет собой множество:

$$\Phi(4) = \{\Psi_1, \Psi_2, \Psi_3, \Psi_4\}; \text{card}\,\Phi = 4n. (8)$$

Фазовые переходы в (8) формируются в соответствии с программным заданием, включая разрешение возможных сингулярных состояний.

При $n = m$ фазам управления, характеризуемым множествами (5)–(8), можно поставить в однозначное соответствие векторы обобщенных координат.

При $n > m$ фазы состояния управления манипуляционной системой будут более разнообразными, и для их формирования потребуются дополнительные критерии оптимизации, например, кинематическая точность.

В случаях более сложного *динамического управления* формирование управляющих моментов приводов может быть выполнено путем компенсации динамических эффектов исполнительной системы в пространстве обобщенных координат и их производных (кинематические пары A^n), либо использованием моментных регуляторов (кинематические пары A^c) [5]. Предполагая наличие в каждом приводе робота позиционной и моментной обратных связей и возможности комбинированного позиционно-силового управления, структурный синтез пространства состояний управления можно рассматривать как задачу построения системы с переменной структурой в зависимости от количественных значений динамических показателей исполнительной системы и требований к ее качеству на различных этапах движения.

Наиболее сложной является задача построения пространства состояний управления при работе с наложенными связями. В этом случае необходимо найти отображения нестационарного шестимерного вектора позиционных связей и шестимерного вектора силовых взаимодействий рабочего инструмента с объектом работ для различных этапов движения (выполнения операции) на пространство обобщенных координат с целью определения его структуры из условия выполнения рабочей операции при минимизации, например, управляющих моментов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 13-08-01364)

Список литературы

1. Власенков А.В. Геометрический синтез кинематической структуры манипуляционных систем технологических роботов и роботов-станков / А.В. Власенков, В.П. Умнов, А.А. Петров // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2011. – № 2. – С. 123–125.

2. Егоров И.Н. Многофункциональные манипуляционные исполнительные системы роботизированных технологических центров / И.Н. Егоров, В.П. Умнов // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2012. – № 2. – С. 111–115.

3. Зенкевич С.Л. Основы управления манипуляционными роботами: учебник для вузов / С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 480 с.

4. Умнов В.П. Взаимосвязь компонентов и структурная модель манипулятора оптики лазер – робота // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2011. – № 3. – С. 79–81.

5. Юревич Е.И. Основы робототехники. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 416 с.

References

1. Vlasenkov A.V. Geometrichesky sintez kinematicheskoy struktury manipulyatsionnykh sistem tekhnologicheskikh robotov i robotov-stankov / A.V. Vlasenkov, V.P. Umnov, A.A. Petrov // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. 2011. no. 2. pp. 123–125.

2. Yegorov I.N. Mnogofunktsionalnye manipulyatsionnye ispolnitelnye sistemy robotizirovannykh tekhnologicheskikh tsentrov / I.N. Yegorov, V.P. Umnov // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. 2012. no. 2. pp. 111–115.

3. Zenkevich, S.L. Osnovy upravleniya manipulyatsionnymi robotami: Uchebnik dlya vuzov / S.L. Zenkevich, A.S. Yushchenko. M.: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana, 2004. 480 p.

4. Umnov V.P. Vzaimosvyaz komponentov i strukturnaya model manipulyatora optiki lazer robota / // Problemy mashinostroyeniya i avtomatizatsii. 2011. no. 3. pp. 79–81.

5. Yurevich, Ye.I. Osnovy robototekhniki / Ye.I. Yurevich. SPb.: BKhV Peterburg, 2005. 416 p.

Рецензенты:

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ), г. Владимир;

Кульчицкий А.Р., д.т.н., старший научный сотрудник, главный специалист ООО «Завод инновационных продуктов КТЗ, г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 658.6

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

Федорович Н.Н., Федорович А.Н., Нагерняк М.Г., Сухачева А.И.
ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: fedorovichn@mail.ru

Для выявления и предупреждения проблем качества питьевой воды предложена схема мониторинга, в соответствии с которой проведен мониторинг качества воды на водозаборах г. Краснодара. Контролируемый показатель качества – массовая доля общего железа в воде. Испытания образцов воды проводили по методикам действующих стандартов. Результаты испытаний обрабатывали статистическими методами. По данным мониторинга источника водоснабжения определили, что питьевая вода двух артезианских скважин из девяти контролируемых, содержит железа больше нормы, что увеличивает этот показатель в смешанной воде до 0,45 мг/дм^3. Для снижения этого показателя предложили изменить производительность скважин, обеспечивающую режим работы водозабора, который позволит снизить содержание железа в смешанной воде до 0,29 мг/дм^3, что улучшит потребительские свойства воды без дополнительных производственных затрат. Мониторинг качества питьевой воды десяти городских водозаборных сооружений позволил выявить три водозабора, на которых целесообразно уменьшать массовую долю железа химическими и биологическими способами. По результатам мониторинга, проведенного для этих водозаборов, рекомендована очередность установки и введения в действие на них станций обезжелезивания.

Ключевые слова: питьевая вода, мониторинг, артезианская скважина, водозабор, показатели качества

DRINKING WATER QUALITY MONITORING

Fedorovich N.N., Fedorovich A.N., Nagernyak M.G., Sukhacheva A.I.
Kuban State Technological University, Krasnodar, e-mail: fedorovichn@mail.ru

For revealing and prevention of drinking water quality issues a monitoring plan is proposed. In accordance with it, a drinking water quality monitoring at well fields in Krasnodar was conducted. The monitored figure of merit is mass fraction of total iron in the water. Water sample tests were conducted according to procedures of the operating standards. The results of the tests were processed with statistical methods. According to the water supply source monitoring it was determined that drinking water from two artesian wells out of nine monitored, contains iron above normal, and in mixed water this indicator grows up to 0?45 mg per cubic decimeter. In order to decrease the indicator value it is proposed to change the efficiency of the wells providing the working pattern of the well field. It will allow decreasing of iron content in mixed water to 0?29 mg per cubic decimeter. This, in turn, will improve the application properties of water without additional production expenditures. The drinking water quality monitoring conducted at ten water extraction installations allowed to reveal three well fields, where it is rational to decrease mass fraction of iron by chemical and biological means. According to the results of the monitoring conducted for these well fields, suggestions were made on the order of priorities of installation and activation of deironing stations.

Keywords: drinking water, monitoring, artesian well, well field, figures of merit

Качество питьевой воды в городе зависит от состава природных вод и действующей системы водоснабжения.

Природные воды представляют собой собственно воду (химическое соединение кислорода и водорода) и содержащиеся в ней вещества, появившиеся в ее составе в результате динамического равновесия в естественной системе: вода – порода – органическое вещество – газ. Эти вещества обусловливают состав и свойства природных вод.

Химический состав вод зависит от гидрогеологической провинции и ландшафтной зоны. Состав подземных вод каждой провинции индивидуален и стабилен. Подземные воды в сравнении с разными водами содержат в более высоких концентрациях все макроэлементы и подавляющее большинство микроэлементов. Антропогенным фактором, оказывающим непосредственное влияние на химический и микробиологический состав природных вод, являются и сточные воды [3].

Один из важнейших вопросов, который интересует потребителя воды – каково качество потребляемой воды? Качество вод – это характеристика состава и свойств, определяющих пригодность воды для конкретного вида использования. Объектами водопользования могут являться поверхностные и подземные воды. Для каждого конкретного случая необходима вода разного качества. Следовательно, водный объект характеризуется определенным природным составом и свойствами воды, а потребитель формирует свои требования к составу и свойствам потребляемой воды.

В зависимости от целей использования формируются критерии качества воды (показатели качества): гигиенический, экологический, экономический, рыбохозяйственный, – и устанавливаются соответствующие им значения критериев. Для сравнения норм качества воды для конкретного вида водопользования со значениями показателей качества имеющийся воды проводится контроль качества потребляемой воды.

Сочетание и величины показателей качества, в том числе состава и свойств вод, определяют качество воды для различного ее назначения [1].

Целью исследования было выявление возможности оперативного управления контролем качества питьевой воды путем мониторинга ее основных показателей качества.

Централизованное бесперебойное водоснабжение потребителей качественной питьевой воды в г. Краснодаре обеспечивает одно из старейших предприятий столицы Кубани – ООО «Краснодар Водоканал». В настоящее время ООО «Краснодар Водоканал» – это индустриальный комплекс по производству питьевой воды и отведению сточных вод с развитой инфраструктурой и испытательным центром питьевой воды.

Основными требованиями, предъявляемыми к питьевой воде, являются безопасность в эпидемиологическом отношении, безвредность по токсическим показателям, хорошие органолептические показатели и пригодность для хозяйственных нужд. Оптимальная температура воды для питьевых целей находится в пределах 7–11 °С. Наиболее близки к этим условиям воды подземных источников, которые отличаются постоянством температуры. Их в первую очередь рекомендуется использовать для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Использование в системе водоснабжения г. Краснодара только артезианских скважин глубиной от 80 до 800 метров делает источники водоснабжения надежно защищенными от бактериологического и химического загрязнения. Однако проблемы по качеству подаваемой воды разных глубин остаются. Частично эти проблемы решают при смешивании воды в резервуарах водозаборных сооружений. Среди основных показателей качества «сборной» воды наибольшие колебания наблюдаются по жесткости, мутности, содержанию железа и марганца.

Жесткость в артезианских водах г. Краснодара гидрокарбонатная, поэтому может быть удалена при нагревании в виде накипи. Мутность артезианской воды в г. Краснодаре связана с содержанием растворенного природного закисного железа. При поднятии воды из скважин на поверхность, попадании и смешивании в резервуарах содержание железа усредняется. Контакт воды с кислородом воздуха приводит к окислению растворенного железа и превращению его в нерастворимое окисное железо. При этом нулевая мутность воды увеличивается за счет взвешенных оксидов железа, а вода приобретает желтизну. Резервуары на водозаборных сооружениях частично снимают эту проблему, так как окисленное железо и марганец оседают в резервуарах, а затем удаляются при их чистке. Однако полностью стабилизировать состав поступающей в распределительную сеть города питьевой воды не всегда удается.

В деятельности предприятия задача обеспечения качества является одной из основных, которая достигается в том числе и путем совершенствования контроля качества питьевой воды. Эффективность контроля показателей качества различных объектов возрастает в сочетании с мониторингом и статистическими методами управления качеством [5, 6].

Для выявления и предупреждения проблем качества питьевой воды в городе мы рекомендуем вести мониторинг качества питьевой воды централизованного водоснабжения по схеме, представленной на рис. 1.

Мониторинг качества питьевой воды рекомендуем проводить поэтапно. Сначала формируют цель, затем выбирают направление мониторинга. На этом этапе должен быть сформирован перечень направлений для мониторинга. Мы предлагаем проводить мониторинг качества воды по следующим направлениям: источники водоснабжения; перед поступлением в распределительную сеть города; в водопроводной сети города.

На следующем этапе осуществляют планирование мониторинга, которое включает определение периодичности испытаний, выбор показателей качества питьевой воды, источников информации, определение необходимых ресурсов и ответственных за выполнение мониторинга. Составляют план-программу и карту мониторинга.

Достоверность результатов измерений в испытательном центре предприятия обеспечивается выполнением процедур внутрилабораторного и межлабораторного контроля. Результаты испытаний показателей качества питьевой воды собирают и регистрируют в установленном порядке в актах, протоколах, журналах Полученную информацию обрабатывают с помощью математических приемов, а также методами сопоставления и сравнения. Порядок расчетов фиксируют в протоколах обработки данных. Результаты мониторинга могут представляться в различных формах. Для большей наглядности мы рекомендуем выполнять построение схем, графиков и диаграмм.

На основе интерпретации и анализа результатов мониторинга составляют отчет по мониторингу. Учитывают представленные в отчете данные и принимают решения по результатам мониторинга, на снования которых разрабатывают рекомендации по корректирующим и предупреждающим действиям.

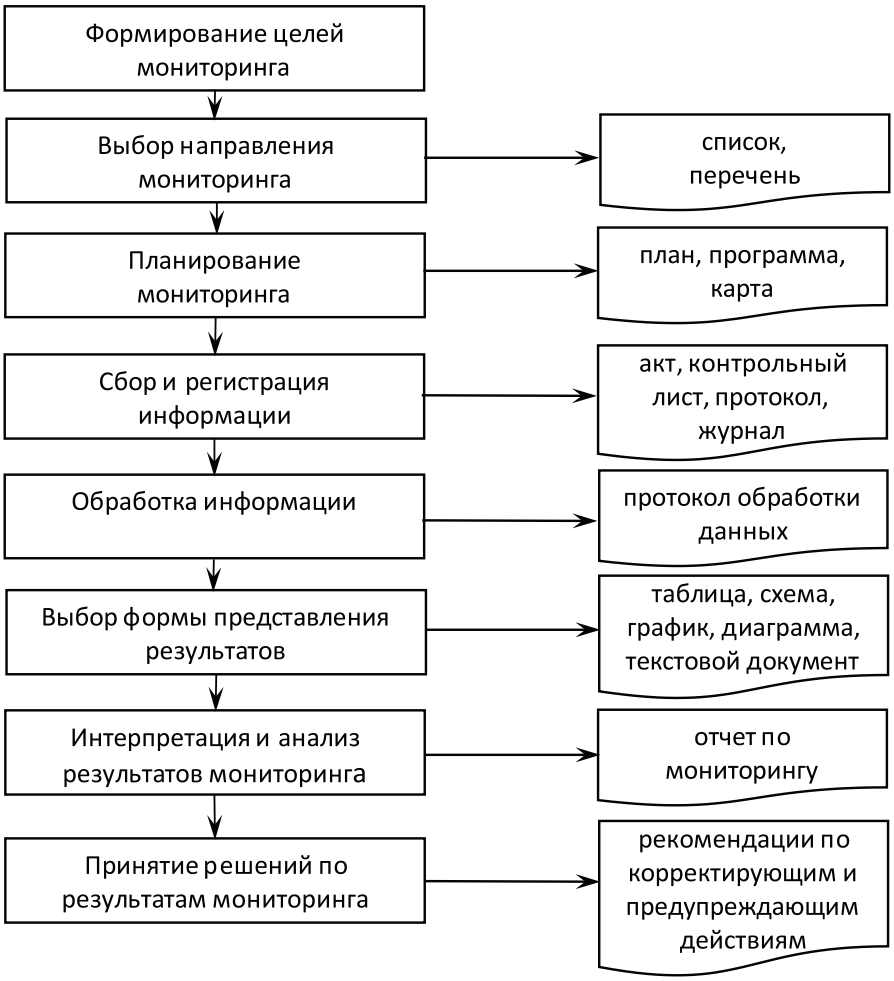


Рис. 1. Этапы проведения мониторинга качества питьевой воды

Мы применили предложенную схему мониторинга для выявления проблем качества питьевой воды. Контролируемый показатель качества – массовая концентрация общего железа в воде «Железо (Fe, суммарно), мг/дм^3». Согласно СанПин 2.1.4.1074 [4], предельно допустимое содержание железа в питьевой воде составляет 0,3 мг/дм^3. В отдельных случаях по постановлению главного государственного санитарного врача по соответствующей территории для конкретной системы водоснабжения допускается содержание железа в питьевой воде до 1,0 мг/дм^3. Однако для обеспечения безвредности питьевой воды в течение длительного водопользования критерием в исследованиях мы выбрали нормируемый показатель.

Определение массовой концентрации общего железа в воде осуществляли колориметрическим методом с сульфосалициловой кислотой в соответствии с ГОСТ 4011[2]. Провели статистическую обработку результатов измерений. Суммарная погрешность измерений с вероятностью 0,95 составила 0,01–0,03 мг/дм^3.

На первом этапе исследований оценивали качество питьевой воды на одном из водозаборов подземных вод г. Краснодара. Испытания воды в течение месяца проводили в пробах, получаемых ежедневно из 9 артезианских скважин Четвертичного, Апшеронского, Акчагыльского и Киммерийского водоносных горизонтов.

Известно, что скважины разных горизонтов имеют воду, отличающуюся по составу. Нами установлено, что в пробах воды семи скважин содержание железа находится в пределах допустимого и составляет от 0,11 до 0,26 мг/дм^3 (таблица). В оставшихся двух скважинах Четвертичного горизонта массовая доля железа составила 1,16 и 1,64 мг/дм^3, что в 10–15 раз больше значений этого показателя в пробах воды остальных семи скважин и выше предельно допустимой концентрации в питьевой воде в несколько раз.

Мониторинг качества питьевой воды по скважинам водозабора

Контролируемый показатель	Номер скважины								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
при действующей производительности скважин									
Железо (Fe, суммарно), мг/дм^3	1,16	1,64	0,26	0,15	0,23	0,11	0,13	0,19	0,16
при рекомендуемом изменении производительности скважин									
Массовая доля железа, вносимого в смешанную воду, %	22,1	31,2	9,9	5,7	8,7	4,2	4,9	7,2	6,1

При поднятии воды из скважин и смешивании ее в резервуарах водозаборного сооружения содержание железа изменяется и усредняется. При одинаковой производительности скважин процент количества железа, вносимый каждой скважиной в суммарное содержание железа в смешанной воде разный. В сборной воде из 9 скважин массовая концентрация железа составила 0,45 мг/дм^3, что не соответствует нормам и значительно ухудшает органолептические свойства воды по показателю «мутность». Установили, что в состав смешанной воды почти 70 % железа вносят две скважины.

Для уменьшения содержания железа в смешанной воде мы предлагаем уменьшить производительность этих двух скважин в 2 раза, общая производительность водозабора должна оставаться неизменной за счет увеличения мощностей оставшихся семи скважин. Тогда количество железа, вносимого каждой скважиной в смешанную воду, изменится, как показано в таблице, а показатель содержания железа снизится до 0,29 мг/дм^3, что в целом улучшит потребительские свойства питьевой воды без изменения производственных затрат.

Однако не на всех водозаборах возможно решение нормирования содержания железа в питьевой воде предложенным способом.

Следующим этапом наших исследований было выявление наиболее проблемных из 10 городских водозаборов по контролируемому показателю. Проведенный в ходе мониторинга анализ образцов питьевой воды перед поступлением в распределительную сеть, как видно из рис. 2, показал, что содержание железа в воде колеблется в широких пределах от 0,12 до 0,71 мг/дм^3. Установили, что на трех водозаборах содержание железа значительно превышает 0,3 мг/дм^3. Это 7, 6, 10 водозаборы, среднемесячные показатели массовой доли железа на которых составили соответственно 0,71; 0,64; 0,50 мг/дм^3.

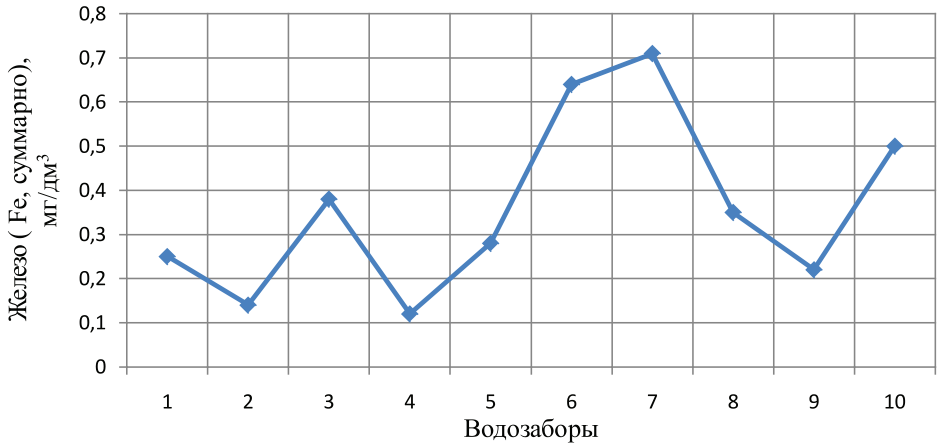


Рис. 2. Мониторинг качества питьевой воды на водозаборах

Перспективным способом обеспечения жителей питьевой водой требуемого качества с нормативным содержанием железа и минимальной мутностью является введение в эксплуатацию станций обезжелезивания [6].

На водозаборе 7 эти проблемы уже решены действующей станцией биологического обезжелезивания. Работа станции в стабильном технологическом режиме обеспечивает снижение содержания железа до нормативных требований, а также удаление некоторого количества соединений марганца, что в целом значительно повышает качество питьевой воды 7-го водозабора.

Для выбора водозабора, на котором целесообразнее ввести в действие следующую станцию обезжелезивания, мы провели мониторинг изменения данного

показателя по месяцам. При сравнении полученных результатов испытаний питьевой воды в 2012 г., представленных на рис. 3, установили, что на водозаборе 6 повышение показателя значительней, чем на водозаборе 10. Это указывает на то, что в первую очередь необходимо проводить обезжелезивание именно на 6 водозаборе. На этом этапе исследований в результате мониторинга выбраны участки с повышенным содержанием железа в питьевой воде и обоснована необходимость проведения дополнительного обезжелезивания не только на водозаборе 7.

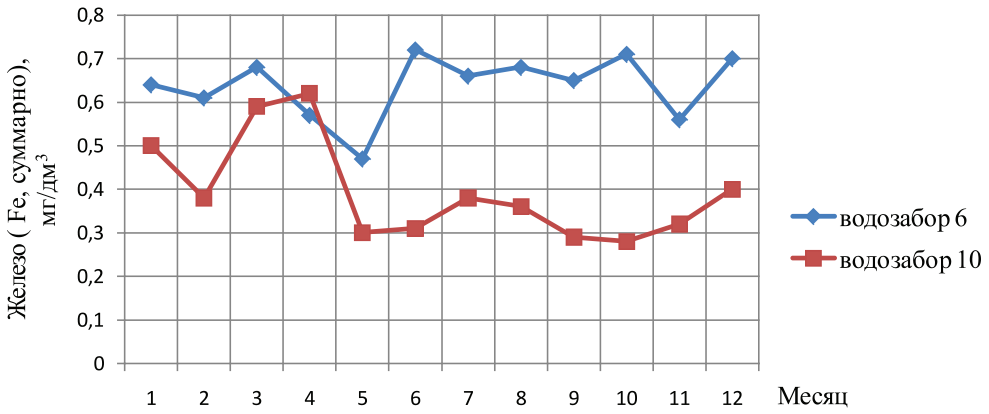


Рис. 3. Результаты мониторинга содержания железа на водозаборах 6 и 10

Таким образом, информация, полученная в результате мониторинга, в целом позволяет оперативно выявлять проблемы качества воды в системах водозаборов, рекомендовать предупреждающие действия по стабилизации нормативных показателей качества, что в конкретном населенном пункте приводит к грамотному управлению процессом водоснабжения и гарантирует качество поставляемой потребителю питьевой воды.

Список литературы

1. Алексеев Л.С. Контроль качества воды. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 159 с.

2. ГОСТ 4011-72 Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа.

3. Зарубина Р.Ф., Копылова Ю.Г., Зарубин А.Г. Анализ и улучшение качества природных вод. Часть 2. Методы оценки качества природных вод: учеб. пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 151 с.

4. СанПиН 2.1.4.1074-01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества.

5. Федорович Н.Н., Федорович А.Н. Применение карт кумулятивных сумм для контроля показателей качества природного газа // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; URL: www.science-education.ru/106-7773 (дата обращения: 20.11.2013).

6. Чернов В.Б., Кинебас А.К., Юрлова Н.А. Совершенствование системы мониторинга качества воды в условиях современного мегаполиса // Водоснабжение и санитарная техника. – 2004. – № 8–2. – С. 18–20.

References

1. Alekseev L.S. *Kontrol kachestva vody* [Water quality monitoring]. Moscow, 2013. 159 p.

2. GOST 4011-72 *Voda pitevaya. Metody izmereniya massovoy kontsentratsii obschego zheleza* [Drinking water. Measurement techniques of mass concentration of total iron].

3. Zarubina R.F., Kopylova YU., G., Zarubin A.G. *Analiz i uluchshenie kachestva prirodnykh vod. Chast 2. Metody otsenki kachestva prirodnykh vod: ucheb. posobie* [Analysis and enhancement of environmental water quality. Part 2. Methods of environmental water quality assessment. A textbook.]. Tomsk: Tomsk Polytechnic Univ., 2011. 151 p.

4. SanPiN 2.1.4.1074-01 *Pitevaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh system vodosnabzheniya. Kontrol kachestva.* [Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centrally directed systems of drinking water supply. Quality control].

5. Fedorovich N.N., Fedorovich A.N. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya,* 2012, no. 6, available at: www.science-education.ru/1 06-7773 (accessed 20.11.2013).

6. Chernov V. B., Kinebas A. K., Yurlova N. A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*, 2004, no. 8–2, pp. 18–20.

Рецензенты:

Ксандопуло С.Ю., д.т.н., профессор, директор института техносферной безопасности, зав. кафедрой безопасности жизнедеятельности, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар;

Стрижов Н.К., д.х.н., профессор кафедры химии, метрологии и стандартизации, Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 004.031.42

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ДИАЛОГОВЫХ СИСТЕМ КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Халилов А.И.

Дагестанский научно-исследовательский и технологический институт информатики, Махачкала, e-mail: volilah-40@rambler.ru

Исследование информационно-вычислительных систем коллективного пользования параллельного действия с целью изучения особенностей их диалоговых средств показало необходимость их базирования на единой концептуальной и технологической платформе. В качестве таковой мы рассматриваем структурно-базовую технологию, обеспечивающую наличие у создаваемой системы среди прочих черт и таких, как коммуникабельность, параметричность и интеллектуальность. Коммуникабельность системы обеспечивается диалоговыми средствами, которые в системе коллективного пользования должны обладать следующими свойствами: наличие схемы диалога, планируемого в динамике; агрегирование знаний о модели предметной области; функционирование модулей на единой информационной базе; многовариантность диалоговых средств, ориентированных на пользователей различной квалификации и специализации. Эти свойства были реализованы, в частности, в диалоговой системе коллективного пользования ДИСУМ, которая нашла успешное применение при разработке: информационной технологии регионального и муниципального управления; тренажно-моделирующего комплекса в Центре подготовки космонавтов; системы профориентации и подготовки кадров; системы диалоговой мультиобработки; технологии управления крупной информационно-вычислительной системой и др., что свидетельствует об актуальности и перспективности диалоговых систем с описываемыми свойствами.

Ключевые слова: система коллективного пользования, структурно-базовая технология, диалоговая система, база данных, база знаний, модель предметной области, коммуникабельность, интеллектуальность, адаптивность, параллелизм

SOME PROPERTIES OF DIALOG SYSTEMS FOR COLLECTIVE USE

Khalilov A.I.

The Daghestan Scientific Research and Technological Institute of Informatics, Makhachkala, e-mail: volilah-40@rambler.ru

Research information and computing systems for collective use of the parallel activity to examine the features of their online resources, demonstrated the need for their home on a common conceptual and technological platform. As such, we consider the structural and underlying technology that enables the system among other features, such as sociability, parametričnost′ and intellectuality. Communication system provides interactive tools that in the system of collective use must have the following properties: a scheme planned dialogue over time; aggregation of knowledge on the domain model-operation of the modules on a single databas-multiple dialog user-oriented tools of different qualifications and specialization. Analysis of the structure of a dialog system suggests that the functions of the component and the domain model and interface with the external environment can be implemented as a separate, generic software, which can be divided into three levels: System processes, functional processes and functional programsintegrated modules. At each of these levels, you can design the schema (schema calculations) for a specific user and a specific subject area. This is facilitated by the use of the calculation schema for frame technology, representation in the domain model, the database on the basis of relations between elements of the database and database algorithms (rules of) interaction of the elements database relationships and database, as well as the parameterization of the core components of collective use. The above properties were implemented, in particular in the dialog system for collective use DISUM, which has been successful in developing: information technology regional and municipal management; training-simulating complex in the Centre of Cosmonaut training; systems of vocational guidance and training; dialog system multiprocessing; technology of information computer system, etc. demonstrating the relevance and viability of innovative systems dialog properties.

Keywords: collectively, structurally-underlying technology, dialogue system, the database, knowledge base, domain model, communicability, intelligence, adaptability, concurrency

Многообразие состава пользователей, решаемых задач и технических средств, с одной стороны, применение пользователями различных по техническим характеристикам инструментальных и операционных программных средств, с другой, обусловливают наличие в реальных системах коллективного пользования (СКП) [5] трех взаимодействующих компонентов: множество инструментальных программных средств (ИПС), множество средств представления предметных областей (ПрО), множество операционных сред (ОС), в которых ИПС функционируют над ПрО. При этом имеет место задача минимизации (унификации) ИПС при максимуме множества, представляемых ПрО (адаптируемость ИПС к ПрО) и инвариантности ИПС по отношению к ОС. Актуализируется проблема оптимальной организации вычислительного процесса, для решения которой СКП должна обладать рядом специфических свойств.

СКП должна обеспечивать при распределенной обработке информации интерактивность не только между пользователем и системой, но и между элементами системы, т.е. она должна обладать свойством коммуникабельности.

Для обеспечения адаптивности к особенностям ПрО и пользователей СКП должна быть параметрической. Разнообразие состава пользователей предполагает возможность вложить свой интеллект в создаваемый продукт, наилучшим образом использовать знания пользователя, умения, навыки, опыт, т.е. СКП должна обладать достаточно высокой интеллектуальностью.

Таким образом, в данной работе речь идёт об интерактивных системах коллективного пользования параллельного действия (ИСКППД), обладающих свойствами параметричности, коммуникабельности и интеллектуальности.

В качестве единой методологической концепции создания такой СКП предложена структурно-базовая технология (СБТ) [3], важнейшей особенностью которой является представление СКП в виде сочетания следующих составных частей ($\mathfrak{S} = \langle \mathfrak{I}, \mathfrak{C}, \mathfrak{M} \rangle$), как изображено на рис. 1:

$\mathfrak{I}$ – интерфейс системы с внешней средой ($\mathfrak{I} = \bigcup_{N}^{i=0} L_i$, где N – количество категорий пользователей; L_0 – язык администратора системы, L_i (i=1, 2, …, N) – язык пользователя категории i);

$\mathfrak{C}$ – управление системой ($\mathfrak{C}=\langle L, S, M \rangle$, где L – язык взаимодействия с управляющим компонентом; S – резидентная программа управляющего компонента; M – модель управляющего компонента);

$\mathfrak{M}$ – модель предметной области ($\mathfrak{M}=\langle \mathfrak{D}, \mathfrak{R}, \mathfrak{A} \rangle$);

$\mathfrak{D}$ – база данных ($\mathfrak{D}=\langle \mathfrak{D}_o, \mathfrak{D}_c \rangle$, где $\mathfrak{D}_o$ – БД объекта, $\mathfrak{D}_c$ – БД среды);

$\mathfrak{R}$ – база отношений между элементами $\mathfrak{D}$;

$\mathfrak{A}$ – база алгоритмов взаимодействия отношений $\mathfrak{R}$ и, быть может, БД $\mathfrak{D}$.

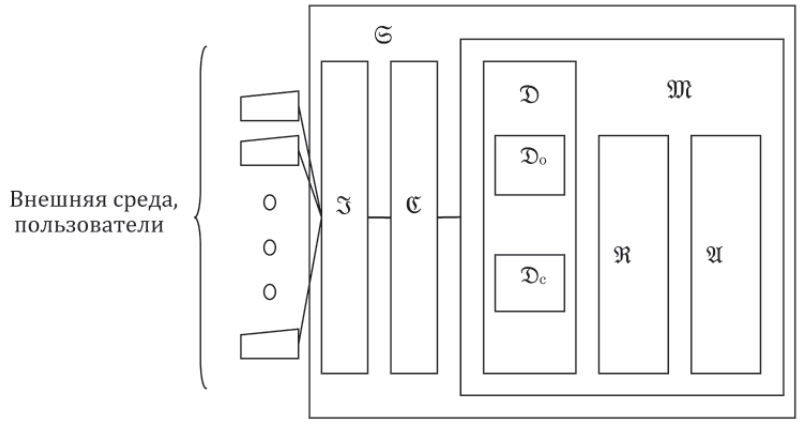


Рис. 1. Обобщённая структура сложной системы

Основная часть

Целью данной статьи является исследование особенностей диалогового обеспечения как одного из множества аспектов СКП и СБТ и, соответственно, предметом статьи является в основном диалоговое обеспечение (компонент $\mathfrak{I}$). Выделение $\mathfrak{I}$, $\mathfrak{C}$ и $\mathfrak{M}$, а также $\mathfrak{D}$ и $\mathfrak{R}$ отображает важнейшую особенность СБТ, обусловливающую ориентацию ДС СКП на различные классы объектов и пользователей и на представление знаний в системе, обеспечивающее адаптивность и расширяемость ДС за счёт единых методов накопления и представления знаний из различных ПрО. Это достигается за счёт создания интегрированной модели из совокупности моделей ПрО, обслуживаемой одним монитором, универсальным по функциям и способам реализации. Такая интегрированная модель состоит из двух компонентов: M_D – интегрированная модель данных (БД) и M_S – совокупность схем вычислений, представляющая собой множество ориентированных взвешенных графов (возможно, с мультиузлами, представляющими эквифункциональные модули) вида $S = \langle Q, R \rangle$, где Q – множество узлов; $R \subset Q \times Q$ – множество ребер графа.

Узлам графа соответствуют переходы к подграфам более низкого уровня или моменты взаимодействий пользователя с ЭВМ. Для хранения информации о графе в БД используются фреймы, имеющие следующую структуру:

⟨номер фрейма⟩
F ⟨*информационное сообщение*⟩
S ⟨*справочное сообщение*⟩
$\mathbf{P}_1$ ⟨*описатель параметра 1*⟩
. . . . . .
$\mathbf{P}_m$ ⟨описатель параметра *m*⟩
$\mathbf{R}_1$ ⟨*предикат 1*⟩ ⟨*имя модуля*⟩ ⟨*номер фрейма*⟩
. . . . . .
$\mathbf{R}_k$ ⟨предикат *k*⟩ ⟨имя модуля⟩ ⟨номер фрейма⟩

Номер фрейма используется при поиске его в БД. Информационное сообщение **F** – это текст, выдаваемый на экран терминала при обработке данного фрейма управляющим модулем диалогового процесса. Он содержит поля, в которых пользователь формирует ответное сообщение. Если пользователь затрудняется сформировать ответ, он может вызвать на экран справочное сообщение **S**.

При обработке текста ответного сообщения описателями $\mathbf{P}_1$, $\mathbf{P}_2$, …, $\mathbf{P}_m$ формируется вектор параметров шага диалога, который используется для выбора пути продолжения диалога и для вычислений, выполняемых функциональными модулями. Количество параметров на каждом шаге определяется конкретными условиями. В частности, для диалога типа меню используется единственный параметр, указывающий номер предполагаемой альтернативы. Модификации компонента $\mathfrak{A}$ в большинстве случаев сводятся к использованию стандартных средств обслуживания библиотек ОС. Для обслуживания модели $\mathfrak{M}$ необходимы специальные средства программного обеспечения (ПО), инвариантного к специфике ПрО.

Анализ структуры ДС позволяет сделать вывод о том, что функции управляющего компонента $\mathfrak{C}$ и средства организации компонентов $\mathfrak{M}$ и $\mathfrak{I}$ можно реализовать в виде отдельного, достаточно универсального программного комплекса, в котором можно выделить три уровня иерархии: системных процессов, функциональных процессов, функциональных программных модулей. Уровень системных процессов представляет дополнительные средства организации интерактивных систем (управления асинхронными процессами, возникающими в СКП), основная цель которых – обеспечить взаимодействие абонентов СКП с БД и базой программ (БП) путем расширения состава функций ОС за счет:

– организации параллельной работы абонентов и прикладных программ в режиме диалога с учетом приоритета пользователя;

– обслуживания абонентов данными по их заявкам без указания путей доступа к ним, особенностей и места их расположения;

– обеспечения доступа к системе непрофессиональных пользователей.

Функции уровня системных процессов можно реализовать на базе одного из стандартных телекоммуникационных мониторов, что определяется конкретными условиями эксплуатации ДС. На этом уровне выделяются три основных процесса: управления терминалами, управления данными, монитор функциональных процессов.

Процесс управления терминалами выполняет известные функции и все изменения конфигурации терминального оборудования ЭВМ вызывают изменения только в этом процессе и не влияют на другие компоненты системы. Каждому активному терминалу соответствует отдельный пользовательский функциональный процесс – подзадача монитора. Монитор функциональных процессов должен быть активным в течение всей работы ДС и обеспечивать разделение ресурсов системы между пользователями, работающими в режиме коллективного доступа.

При реализации функций управления данными учитываются требования возможности хранения больших объемов информации, поиска информации по произвольной комбинации логических признаков, одновременного доступа к данным для нескольких процессов без нарушения целостности данных, жесткие временные ограничения на поиск данных. Этот процесс можно реализовать на базе СУБД, управляющей интегрированной БД и обеспечивающей режим мультидоступа к данным.

Основным назначением монитора функциональных процессов является организация информационного взаимодействия этих процессов друг с другом, с терминалами системы и с БД предметной области. Уровень функциональных процессов представляется обслуживающими, вычислительными и диалоговыми процессами. При разработке архитектуры диалогового процесса принята основная гипотеза о существовании некоторой фиксированной последовательности действий, выполняемых управляющим модулем этого процесса в узлах графа, описывающего схему диалога. Такая последовательность действий не зависит от специфики предметной области, что является предпосылкой для создания универсального (в некотором смысле) управляющего модуля диалогового процесса. Этот модуль управляет ходом диалогового процесса в соответствии со структурой конкретной схемы диалога. Для каждого приложения составляется схема диалога, реализуемого под управлением диалогового монитора (ДМ). В качестве инструментария используется специальный комплекс программ разработчика ДС. Для создания схемы задается её дескриптор с общей информацией о схеме диалога и её параметрах (уникальное имя схемы, номера начального и конечного состояний, размеры общей области параметров схемы, текст комментария) и дескрипторы состояний, содержащие информацию о действиях, выполняемых в этом состоянии.

Возможны следующие типы состояний: управляющее – U, информационное – I, информационно-управляющее – C,

форматное – F, вычислительное – *V,* макросостояние – M. В этих состояниях выполняются функции формирования монитором в буфере экрана допустимых ответов (U, F), выделения «окон» для ввода данных пользователем и задания запросов с синтаксисом для ответа (F), выдачи буфера экрана, сформированного функциональным модулем предыдущего состояния, приема ответа и его обработки (I ,V), блокировки обменов с терминалами и вычисления (V), выдачи информационных сообщений (I, V), перехода к новой схеме диалога (M), инициации общесистемных функций (протоколирование диалога, вызов каталогизированных ответов для нескольких связанных состояний, получение справок о допустимых ответах о состоянии и о схеме диалога в целом) и др.

Информация о структуре схем диалога представляет собой один из компонентов модели ПрО, хранится в специальных файлах и сопровождается по единой технологии с проблемными данными.

Инструментарий создания схем диалога предоставляет возможность проектирования параллельного процесса и непосредственного участия пользователя в оптимизации программы (параллельного вычислительного процесса), применяя свои знания о естественном параллелизме данных и процедур их обработки в своей ПрО и различные стратегии распараллеливания вплоть до выделения максимального параллелизма. При этом уместно говорить о системе диалоговой мультиобработки [3], состоящей из трёх основных блоков: распараллеливатель, оптимизатор и исполнитель (рис. 2) множеств. При этом частично упорядоченное множество иерархической структуры Q интерпретируется как иерархическая сеть. Обозначим через $n_{i_1,i_2,\ldots,i_l}$ число независимости подмножества $\mathcal{Q}_{i_1,i_2,\ldots,i_l} \subseteq \mathcal{Q}$, составляющего элемент $A_{i_1,i_2,\ldots,i_l}$ l-го уровня. Тогда имеет место утверждение: минимальное число цепей, покрывающих Q, будет равно

$$N = \sum_{i_k=1}^{J} \sum_{j=1}^{k} \max \max n_{i_1,i_2,\ldots,i_j} - M + 1,$$

где J – глубина иерархии; M – количество элементов, для каждого из которых число независимости отлично от нуля. Оно представляет собой обобщение теоремы Дильворта для иерархических сетей. Следовательно, применение метода последовательного углубления (МПУ) [2], теоремы Дильворта и других средств к диалоговым схемам как к иерархическим сетям позволит их параллельное конструирование и выполнение. Задача определения числа независимости $n_{i_1,i_2,\ldots,i_l}$ может быть сформулирована и решена как задача линейного программирования транспортного типа.

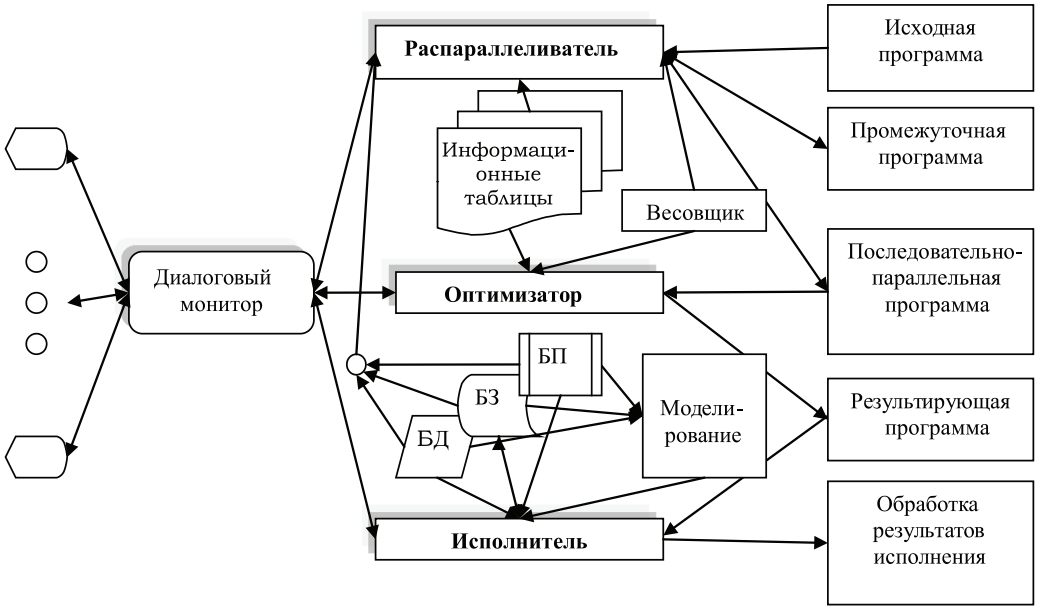


Рис. 2. Общая структура СКППД

Наличие в СКП простых в освоении и адаптивных диалоговых средств способствует участию в проектировании модели ПрО и вычислительных схем над ней специалистов-пользователей, а возможности представления знаний в системе позволяют передавать опыт и знания пользователя системе, что постепенно повышает её интеллектуальность.

Одним из примеров ДС рассматриваемого типа может служить ДИСУМ [4],

предназначенная для автоматизации разработки прикладных ДС и управления интерактивным взаимодействием пользователей с программными модулями и БД в режиме коллективного доступа. ДИСУМ используется в прикладных ДС и качестве стандартного управляющего компонента, и область её применения определяется функциональной направленностью прикладного ПО моделируемой ПрО.

ДИСУМ ориентирована на пользователей следующих категорий: прикладной программист, проектировщик ДС, конечный пользователь (рис. 3). Прикладному программисту ДИСУМ предлагает средства организации диалога и средства доступа к данным предметной области. Проектировщику ДС предоставляется единая технология организации диалогового процесса пользователя, средства описания диалога и объектов, участвующих в нем, инструментарий для разработки и отладки проектируемой ДС. Для конечного пользователя **ДИСУМ** обеспечивает все необходимые возможности, соблюдая при этом единую технологию решения задач в диалоговом режиме, не зависящую от проблемной направленности задач.

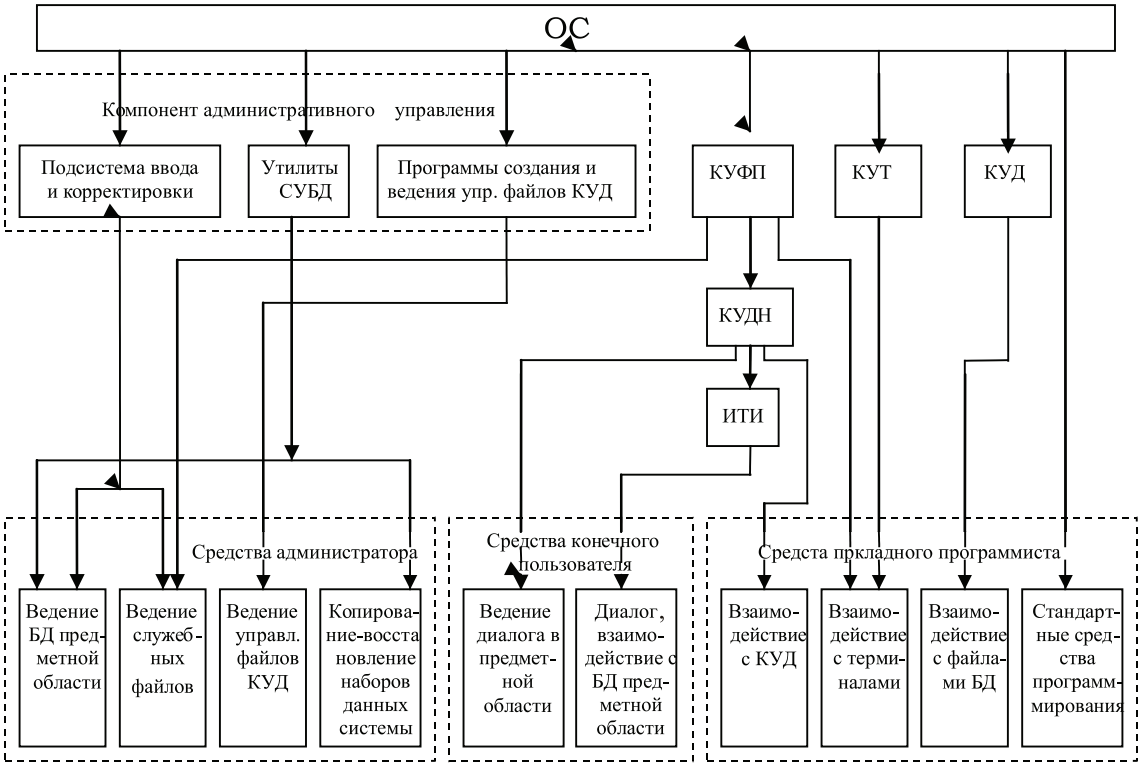


Рис. 3. Структурно-функциональная схема ДИСУМ

ДИСУМ состоит из шести функциональных компонентов, адаптируемых к типовым программным средствам и предназначенных для управления административного, вычислительными работами, процессами в режиме реального времени, терминалами, данными, диалогом. В отличие от традиционных ДС ДИСУМ скомпонована из автономных подсистем, выполняющих строго определенные функции, каждая из которых может быть использована в других системах после незначительных модификаций. Это даёт возможность адаптировать ДИСУМ как к различным предметным областям, классам задач, типовым программным средствам, так и к различным технологиям обработки данных в режиме коллективного пользования. Настройка ДИСУМ на конкретное применение включает в себя составление описаний пользователей, определение структуры данных, формирование БД, создание библиотек функциональных модулей, генерацию описания схемы диалога. Каждый компонент ДИСУМ параметризован, схема, сценарий и информационные сообщения диалога параметрически настраиваемы.

Уровень системных процессов ДИСУМ представлен тремя компонентами, имеющими статус отдельных заданий операционной системы (ОС), управления функциональными процессами (КУФП), данными (КУД) и терминалами (КУТ) (рис. 4). Основной функцией КУФП является разделение вычислительных и информационных ресурсов ДС между параллельно выпол-

няемыми диалоговыми процессами пользователей. КУД обеспечивает выполнение команд манипулирования данными, поступающими в соответствии с программами функциональных процессов ДС. Функции КУТ обеспечиваются стандартными программами управления сообщениями (ПУС). КУДН предназначен для исполнения команд манипулирования данными, а ИТИ – инвариантный табличный интерфейс – выполняет функции экранного редактора данных информационной базы. В качестве объекта уровня функциональных процессов рассматривается диалоговый процесс пользователя, имеющий статус подзадачи КУФП. Каждому активному пользователю ДС соответствует отдельная копия диалогового процесса. Управляющей программой процесса является диалоговый монитор (ДМ) – комплекс универсальных программ, обеспечивающих ведение диалога в соответствии с определенными схемами диалога. Схема диалога представляет собой многослойную однородную сеть фреймоподобных элементов, описывающих отдельные шаги (состояния) диалога в виде некоторой последовательности элементарных действий по обеспечению диалога. Функциональные модули являются объектами уровня функциональных программных модулей, служат носителями процедурных знаний о предметной области ДС и реализуют функции собственно прикладной ДС. Предполагается, что в ДС реализован специальный диалоговый комплекс программ, обеспечивающий возможность создания, модификации и отладки схем диалога разрабатываемых ДС.

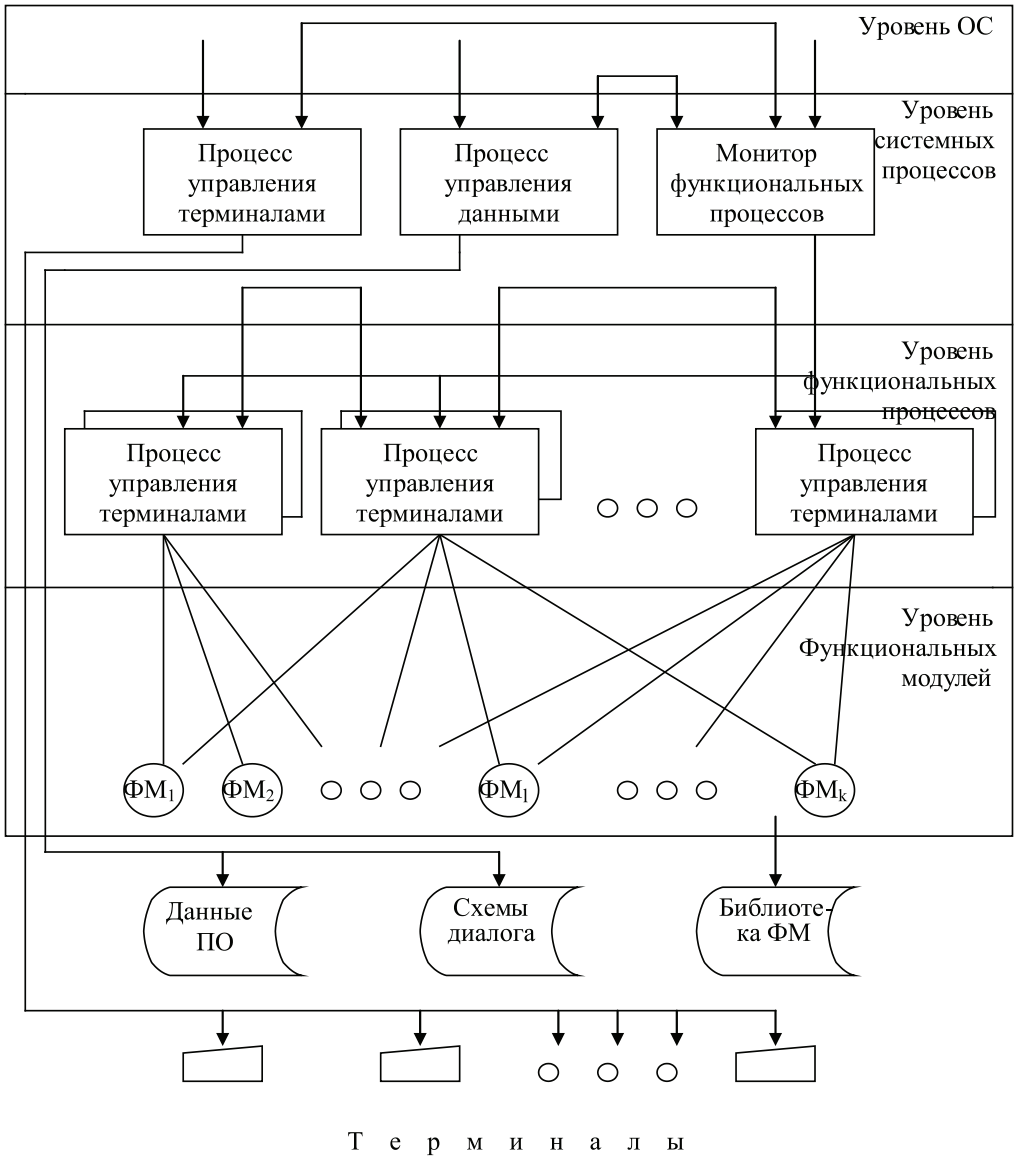


Рис. 4. Архитектура программного обеспечения диалоговой системы

Заключение

Таким образом, в статье рассматривается новый подход (метод, технология) к разработке диалоговых средств систем коллективного пользования. Он органически вписывается в разработанную ранее автором СБТ создания СКППД с элементами искусственного интеллекта, в которой изначально были предусмотрены важные свойства информационных систем, которые впоследствии стали определяющими для виртуальных и облачных сред и других перспективных информационных технологий. Реализация идей автора в диалоговой системе коллективного пользования ДИСУМ нашла применение во многих сферах.

Список литературы

1. Форд Л.Р., Фалкерсон Д.Р. Потоки в сетях. – М.: Мир,1966. – 272 с.

2. Халилов, А.И. Метод последовательного углубления и некоторые его применения // Теория и практика системного программирования: Сб. науч тр. ИК АН УССР. – Киев. –1976. – С. 180–191.

3. Халилов А.И. Структурно-базовая технология создания систем коллективного пользования: монография. – 2-е изд. – Махачкала: ИД «МавраевЪ», 2011. –133 с.

4. Халилов А.И., Шилкин А.И., Шутков И.М. Вопросы совершенствования ДИСУМ в прикладной среде коллективного пользования // Базы данных и знаний в автоматизированных региональных системах: сб. науч. тр. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1991. С. – 123–127.

5. Шон Б.Е. Компьютерные средства коллективной работы в сети. / Информационные технологии в бизнесе. Бизнес-класс / под ред. М. Желены – СПб.: Питер, 2002.

References

1. Ford L.R., Falkerson D.R. Flows in Networks. M.: Mir, 1966. 272 p.

2. Khalilov A.I. Method of Sequential Increase and Some of its Applications // Theory and Practice of System Programming: Sun. Researchtr Troy IS USSR Kiev 1976. pp. 180–191.

3. Khalilov A.I. Structure and Underlying Technology of Creation of Systems of Collektiv Use: Monograph: Ed. 2. Makhachkala: ID «Mavraev`» 2011. 133 p.

4. Khalilov A.I., Shilkin A.I., Shutkov I.M. Improving DISUM in the Application Environment for Collective Use. Researcher, Tr. Databases and Knowledge in Automated Regional Systems. Kiev: Publishing House «Naukova dumka». 1991. pp. 123–127.

5. Sean B. Amr. Computer Team Collaboration Network/ Information Technology in Business. Businessclass/Under Ed. by M. Zhelena S-Pb: Piter, 2002.

Рецензенты:

Адамадзиев К.Р., д.т.н., профессор, член РАЕ, зав. кафедрой информационных технологий и моделирования экономических процессов Дагестанского государственного университета, г. Махачкала;

Курбанмагомедов К.Д., д.т.н., профессор, директор Дагестанского института (филиала) Московского государственного открытого университета, г. Махачкала.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 004.02

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА ДЛЯ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ ПОДБОРА КОЛЛЕКТИВА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ИННОВАЦИОННЫХ НАУКОЁМКИХ ПРОЕКТОВ

[1]Хэбе Н.А., [2]Ковшов Е.Е.

[1]ФГБОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет», Рязань, e-mail: comsystech@land.ru$

[2]ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, e-mail: e.kovshov@stankin.ru

Предложен один из вариантов метода рационализации подбора научно-технических работников для выполнения инновационных наукоёмких проектов с применением генетических алгоритмов, позволяющих одновременно манипулировать многими параметрами и генерировать новые решения посредством применения различных операторов. В отличие от других методов оптимизации генетические алгоритмы, как правило, анализируют различные области пространства решений одновременно и поэтому они более приспособлены к нахождению новых областей с лучшими значениями целевой функции. В рассматриваемом процессе рационализации управления подбором научно-технического коллектива для выполнения инновационных наукоёмких проектов исследуемое пространство параметров достаточно велико, и задача не требует строгого нахождения глобального оптимума – достаточно за короткое время найти приемлемое, наиболее подходящее локальное решение. Определены понятия генетического алгоритма, подробно рассмотрена последовательность его выполнения, представленная в виде блок-схемы.

Ключевые слова: генетический алгоритм, инновационный проект, научно-технический коллектив, прикладное программное обеспечение

THE USE OF GENETIC ALGORITHMS TO STREAMLINE SELECTION OF THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL STAFF COLLECTIVE FOR HIGH PERFORMANCE INNOVATION PROJECTS

[1]Khebe N.A., [2]Kovshov E.E.

[1]Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, e-mail: comsystech@land.ru$

[2]Moscow State University of Technology «Stankin», Moscow, e-mail: e.kovshov@stankin.ru

Proposed a variant of the method for rationalization the selection of scientific and technical workers to perform the innovative high-tech projects using genetic algorithms, allowing simultaneously manipulating many parameters and generating new solutions through the application of different operators. Unlike other methods, optimization, genetic algorithms, as a rule, analyze the various areas of space solutions at the same time and therefore they are more adapted to finding new areas with the best values of the objective function. In this process of streamlining the management of selection of scientific-technical group for the delivery of innovative high-tech projects target space of parameters is large enough, and the task does not require strict finding a global optimum – for a very short time to find an acceptable, the most appropriate local solution. Identified the concepts of the genetic algorithm considered the sequence of its implementation, presented in the form of a flowchart.

Keywords: genetic algorithm, innovative design, scientific-technical staff, applied software

Управление инновационным развитием наукоёмкого предприятия является достаточно сложной и многокритериальной задачей, от решения которой во многом зависят его качественные организационно-технические и экономические показатели, способность к удержанию конкурентных преимуществ в отрасли, а также успешная интеграция в мировое экономическое пространство. Для успешного функционирования наукоёмкого предприятия в условиях инновационного развития профессиональная деятельность научно-технического коллектива является ведущим фактором, определяющим основу разработки инновационных проектов и их последующей реализации. Представители научно-технического коллектива должны обладать способностью к восприятию и внедрению инноваций (инновационных проектов) на своем рабочем месте, а также к продуцированию инновационной активности. Соответственно, в системе управления научно-техническим коллективом наукоёмкого предприятия необходимо создание условий для развития человеческого потенциала, в частности, инновационного, для чего требуется разработка не только ряда мероприятий по его развитию, но и критериев подбора научно-технических работников для реализации самих инновационных проектов.

Исходя из этого, необходимо разработать программно-математический аппарат, обеспечивающий рационализацию подбора состава научно-технического коллектива для выполнения инновационных наукоёмких проектов.

Для решения поставленной задачи целесообразно применение аппарата генетических алгоритмов [5, 6], который составляет адекватный инструментарий решения оптимизационных задач управления не только подбором научно-технического коллектива для выполнения инновационных проектов, но и, как следствие, инновационным развитием наукоёмкого предприятия в целом.

Генетический алгоритм (ГА) представляет собой метод оптимизации, основанный на концепциях естественного отбора и генетики. ГА позволяет решать задачи прогнозирования, классификации, поиска оптимальных вариантов и совершенно незаменим в тех случаях, когда в обычных условиях решение задачи основано на интуиции или опыте, а не на строгом (в математическом смысле) ее описании [5].

В настоящее время используется новая парадигма решений оптимизационных задач на основе ГА и их различных модификаций [6]. ГА осуществляют поиск баланса между эффективностью и качеством решений за счет «выживания сильнейших альтернативных решений» в неопределенных и нечетких условиях [4, 7].

ГА отличаются от других оптимизационных и поисковых процедур следующим:

- работают в основном не с параметрами задачи, а с закодированным множеством параметров;
- осуществляют поиск не путем улучшения одного решения, а путем использования сразу нескольких альтернатив на заданном множестве решений;
- используют целевую функцию (ЦФ), а не ее различные приращения для оценки качества принятия решений;
- применяют не детерминированные, а вероятностные правила анализа оптимизационных задач.

Для работы ГА выбирают множество натуральных параметров оптимизационной проблемы и кодируют их в последовательность конечной длины в некотором алфавите [7]. Они работают до тех пор, пока не будет выполнено заданное число генераций (итераций алгоритма) или на некоторой генерации будет получено решение определенного качества, или, когда найден локальный оптимум, то есть возникла преждевременная сходимость и алгоритм не может найти выход из этого состояния. В отличие от других методов оптимизации эти алгоритмы, как правило, анализируют различные области пространства решений одновременно, и поэтому они более приспособлены к нахождению новых областей с лучшими значениями ЦФ.

Как правило, научно-технический коллектив для выполнения инновационных проектов [1, 4] подбирают с помощью поэтапной процедуры, отражённой на рис. 1. При этом на каждом из этапов отсеивается часть претендентов. В зависимости от должности претендента или специфики инновационной деятельности наукоёмкого предприятия претерпевают изменения последовательность и важность этапов, а также критерии отбора научно-технических работников: общие характеристики (пол, возраст, место проживания, семейное положение), образование, наличие ученых степеней и званий, опыт работы (разработка и реализация инновационных проектов), специальные навыки (генерация инновационных идей, инновационное мышление и др.), личностные качества и т.д.

В рассматриваемом процессе оптимизации управления подбором научно-технического коллектива для выполнения инновационных наукоёмких проектов исследуемое пространство параметров достаточно велико, и задача не требует строгого нахождения глобального оптимума – достаточно за короткое время найти приемлемое, наиболее подходящее решение, в связи с чем наиболее целесообразно использовать ГА на этапе № 3 (рис. 1). Для работы ГА следует определить исходные данные для процесса подбора научно-технического работника для выполнения инновационного проекта (табл. 1).

Таблица 1

Исходные данные для работы ГА

1	Научно-технический работник	$N = \{1 \ldots F\}$, F – число научно-технических работников
2	Инновационный проект	$I = \{1 \ldots K\}$, K – число инновационных проектов

Каждый объект (элемент любого вектора из табл. 1) можно представить в виде совокупности атрибутов, численно характеризующих данный объект. Атрибуты определены на ограниченном множестве положительных значений. Вектор подбора: $NTRINN = \{N_1, N_2, \ldots, N_v\}$, где N_v – номер научно-технического работника, подобранного на I-й инновационный проект, $I = \{1, \ldots, K\}$, $N = \{1, .., F\}$.

Таким образом, задача подбора научно-технического работника (НТР) на выполнение определенного инновационного проекта сводится к задаче выбора такого варианта

вектора ***NTRINN*** из числа возможных, в котором с учетом ограничений и критериев он будет в максимальной степени способствовать достижению поставленной цели.

Чтобы определить критерии отбора, следует сформулировать требования, предъявляемые к научно-техническому работнику, необходимые для соответствующего вида инновационной деятельности. Критерии необходимо формировать так, чтобы они всесторонне характеризовали как научно-технического работника, с одной стороны, так и инновационный проект (табл. 2), с другой.

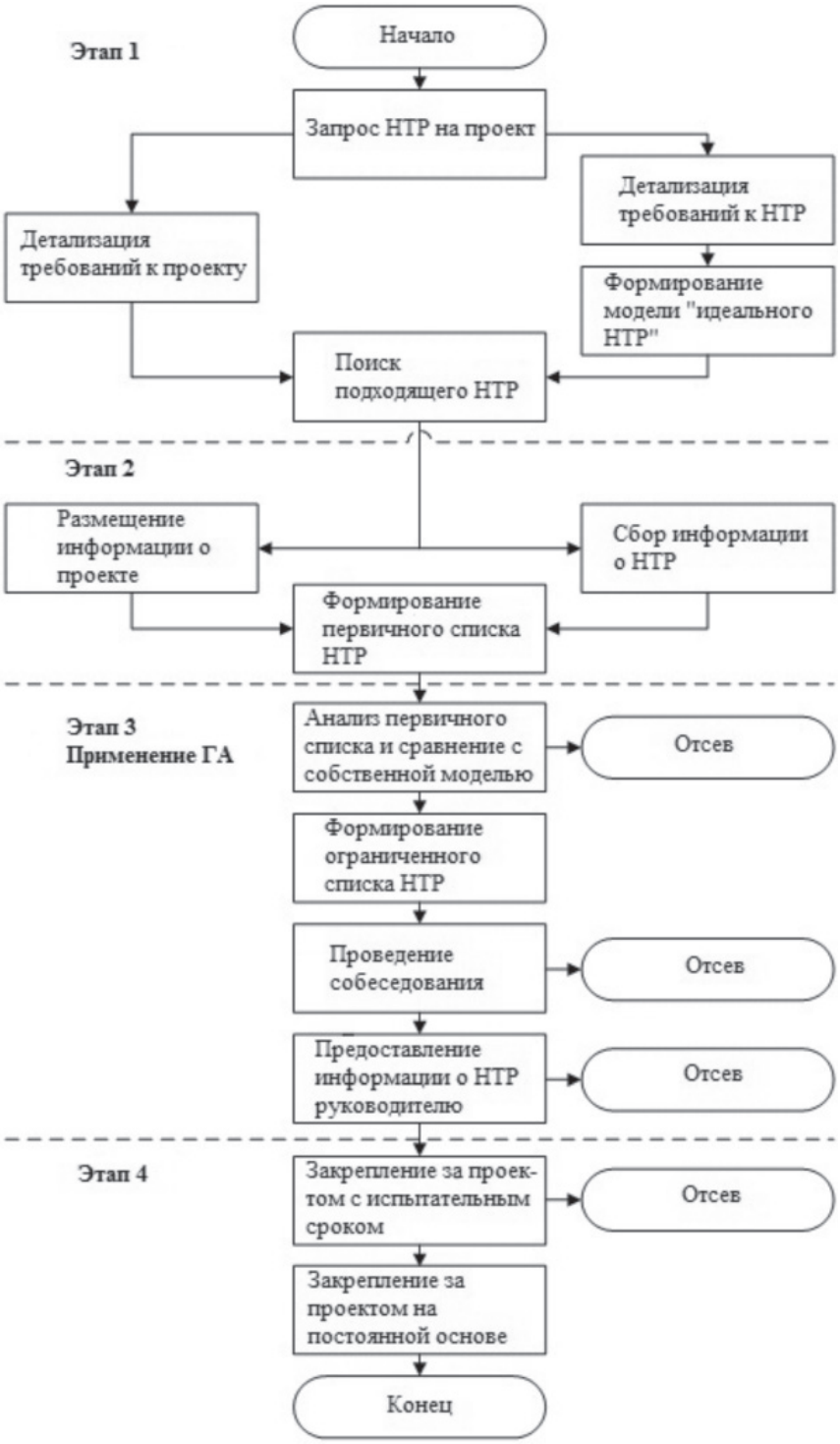


Рис. 1. Последовательность подбора научно-технических работников для выполнения инновационного наукоёмкого проекта

Таблица 2

Определение характеристик и значений атрибутов

Атрибут	Возможные значения атрибута	Значение коэффициента	Относительный вес атрибута
Научно-технический работник			
Образование	Высшее Ученая степень Ученое звание	1 2 3	2
Квалификация	Низкая Средняя Высокая	1 2 3	3
Опыт работы	Не учитывается НИОКР Инновационный проект	1 2 3	3
Специальные навыки	Не учитывается Нет Есть	1 2 3	2
Должность	Рабочие Специалисты (ИТР) Руководители	1 2 3	2
Инновационный проект			
Эффективность	Бюджетная Финансовая Народохозяйственная (экономическая)	1 2 3	3
Классификация	Исследовательский Организационный Научно-технический	1 2 3	3
Уровень	Местный Региональный Федеральный	1 2 3	2
Время исполнения	Краткосрочный Среднесрочный Долгосрочный	1 2 3	2
Целевой результат	Подрывной (абсолютно новые технологии) Поддерживающий (совершенствование имеющихся технологий) Универсальный	1 2 3	1

Ограничения:

1. Весовой коэффициент научно-технического работника должен быть больше или равен весовому коэффициенту инновационного проекта: $W_N >= W_I$

2. Число инновационных проектов должно быть меньше или равно числу научно-технических работников.

Критерии:

1. На конкретный инновационный проект должен быть выбран один научно-технический работник.

Вес научно-технического работника и инновационного проекта определяется по следующим формулам:

$$W_{N_i} = \prod_{j=1}^{F} (N_{i,j})^{n_j}, \quad (1)$$

где $N_{i,j}$ – значение j-го атрибута у i-го объекта из вектора научно-технических работников, $i = \{1 \ldots F\}$, n_j – относительный вес j-го атрибута у i-ого объекта.

$$W_{I_i} = \prod_{j=1}^{K} (I_{i,j})^{n_j}, \quad (2)$$

где $I_{i,j}$ – значение j-го атрибута у i-го объекта из вектора инновационных проектов; $i = \{1 \ldots K\}$, n_j – относительный вес j-го атрибута у i-го объекта.

Следует отметить следующее: поскольку научно-технический работник может быть назначен только на выполнение одного инновационного проекта, следовательно, в рассматриваемых хромосомах каждый ген (номер научно-технического работника) должен встречаться только один раз. Такая разновидность хромосом называется «перечислимые хромосомы с уникальными генами» и часто используется в комбинаторных задачах. Стандартная операция скрещивания для этого типа хромосом некорректна, поэтому здесь используется более сложная схема двухточечного скрещивания.

Для организации работы ГА и его последующей реализации необходимо определить следующие понятия.

1. Целевая функция, численно характеризующая результат подбора научно-технического работника:

$$F(NRTINN) = F(NTRINN)_{\text{Max}} - \sum_{i=1}^{I}(W_{Ii} \cdot W_{Ni} \cdot Z(NTRINN_i)), \quad (3)$$

где *NTRINN* – вектор подбора; W_{Ii} – вес инновационного проекта в ***i***-м подборе; W_{Ni} – вес научно-технического работника; $F(NRTINN)_{\text{Max}}$ – максимальное значение целевой функции

$$Z(x) = \begin{cases} 1, \text{ если на один проект из } x \le 1; \\ 0, \text{ если на один проект из } x > 1. \end{cases} \quad (4)$$

2. Популяция – совокупность из нескольких векторов *NTRINN***.**

3. Размер популяции – общее число элементов в векторах *NTRINN***.** Размер популяции задают до начала работы ГА, и в течение всего периода работы он остается постоянным.

4. Демос – один вектор *NTRINN*. Популяция разделяется на несколько различных демосов (подпопуляций), которые впоследствии развиваются параллельно и независимо. Число демосов равно частному от деления размера популяции на число вакансий. Эта величина также постоянна и задается до начала работы ГА.

5. Особь – один элемент из вектора *NTRINN***.**

6. Ген – элемент *N* или *I* из вектора *NTRINN***.**

7. Критерий прекращения работы ГА: получение решения требуемого качества; попадание решения в глубокий локальный оптимум целевой функции; истечение допустимого времени поиска.

Следующий шаг – это определение характеристик и значений атрибутов (табл. 2), от которых зависят весовые коэффициенты кандидата и вакансии.

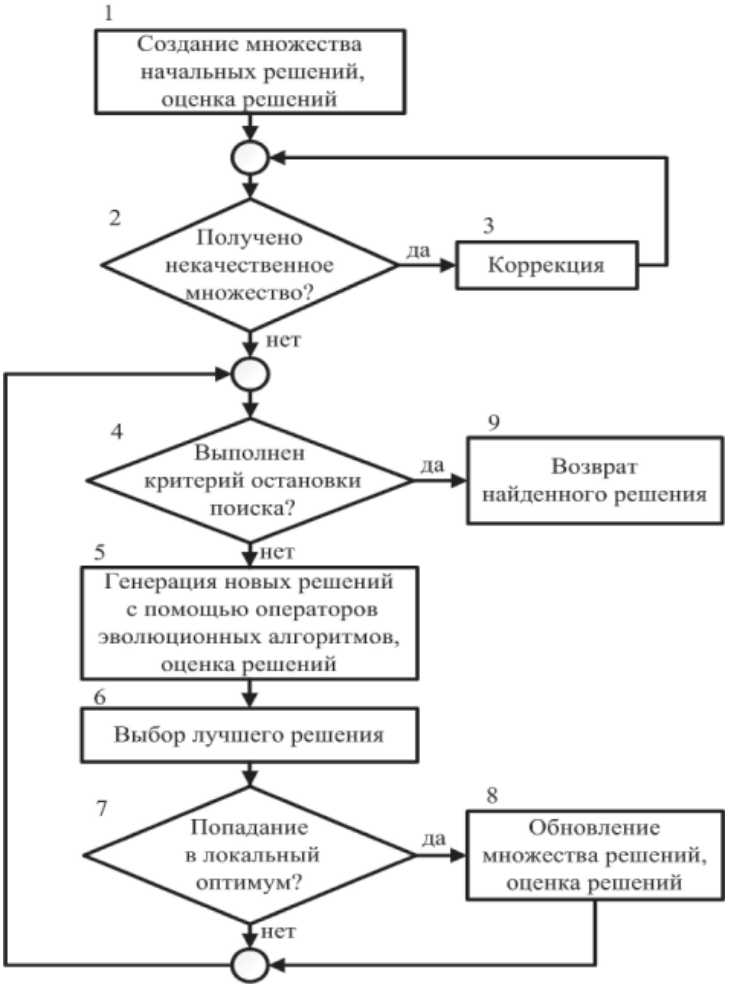


Рис. 2. Блок-схема работы ГА для получения оптимального решения

Последовательность работы генетического алгоритма для получения оптимального решения задачи рационализации подбора сотрудников научно-технического коллектива при выполнения инновационных наукоёмких проектов изображена в виде блок-схемы, которая представлена на рис. 2. Программная реализация модели ГА процесса рационализации подбора сотрудников научно-технического коллектива для выполнения инновационных наукоёмких проектов осуществляется в среде программирования Embarcadero® RAD Studio XE5 с использованием как проприетарных [2], так и свободно-распространяемых библиотек модулей и программных компонентов [1], преимущественно с открытым исходным кодом [3, 4].

Список литературы

1. Батова М.М., Ковшов Е.Е., Смирнов О.С. Разработка информационных систем инновационного промышленного предприятия на основе унифицированного модульного подхода // Инновации, 2011. – № 5. – С. 102–106.

2. Борисенко Е.В., Ковшов Е.Е. Применение инструментальных средств обработки корпоративной информации на основе программно-аппаратных технологий // Вестник МГТУ «Станкин». – М.: МГТУ «Станкин», 2010. – № 3. – С. 123–129.

3. Гофман В.Э., Хомоненко А.Д. Работа с базами данных в Delphi – 2-е изд. – СПб: БХВ-Петербург, 2002. – 624 с.:ил.

4. Ковшов Е.Е., Горяева О.В. Применение генетического алгоритма при оценке рисков инновационных проектов // Российское предпринимательство. – М.: Изд-во «Креативная экономика» – Вып. 3, ноябрь 2010. – С. 85–92.

5. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Состояние. Проблемы. Перспективы // Известия РАН. ТиСУ. – 1999. – № 1. – С. 144–160.

6. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: пер. с польск. И.Д. Рудинского. – М.: Горячая линияТелеком, 2004. – 452 с.: ил.

7. Чеканин В.А., Ковшов Е.Е., Хуэ Н.Н. Повышение эффективности эволюционных алгоритмов при решении оптимизационных задач упаковки объектов // Системы управления и информационные технологии. – 2009. – № 3. – С. 63–67.

References

1. Batova M.M., Kovshov E.E., Smirnov O.S. Razrabotka informacionnyx sistem in-novacionnogo promyshlennogo predpriyatiya na osnove unificirovannogo modul'-nogo podxoda // Innovacii, 2011. no. 5. pp. 102–106.

2. Borisenko E.V., Kovshov E.E. Primenenie instrumental'nyx sredstv obrabotki korporativnoj informacii na osnove programmno-apparatnyx texnologij // Vestnik MGTU «Stankin». M.: MGTU «Stankin», 2010. no. 3, pp. 123–129.

3. Gofman V.E'., Xomonenko A.D. Rabota s bazami dannyx v Delphi 2-e izd. SPb: BXV-Peterburg, 2002. 624 pp.:il.

4. Kovshov E.E., Goryaeva O.V. Primenenie geneticheskogo algoritma pri ocenke ris-kov innovacionnyx proektov // Zhurnal «Rossijskoe predprinimatel'stvo». M.: Izd-vo «Kreativnaya e'konomika» Vypusk 3, noyabr' 2010. pp. 85–92.

5. Kurejchik V.M. Geneticheskie algoritmy. Sostoyanie. Problemy. Perspektivy // Izvestiya RAN. TiSU. 1999. no. 1. pp. 144–160.

6. Rutkovskaya D., Pilin'skij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algo-ritmy i nechetkie sistemy: Per. s pol'sk. I.D. Rudinskogo. M.: Goryachaya liniya-Telekom, 2004. 452 p.: il.

7. Chekanin V.A., Kovshov E.E., Xue' N.N. Povyshenie e'ffektivnosti e'volyucionnyx algoritmov pri reshenii optimizacionnyx zadach upakovki ob»ektov // Sistemy upravleniya i informacionnye texnologii. 2009. no. 3. pp. 63–67.

Рецензенты:

Самарин Ю.Н., д.т.н., профессор кафедры информатики, вычислительной техники и автоматизации в медиаиндустрии, МГУП имени Ивана Федорова, г. Москва;

Фролов Е.Б., д.т.н., профессор кафедры информационных технологий и вычислительных систем, ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 621.642.39.03-025.71-034.14

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ВЫСТУПА ОКРАЙКИ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО СТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕЗЕРВУАРА ПРИ РАЗВИТИИ НЕРАВНОМЕРНОЙ ОСАДКИ НАРУЖНОГО КОНТУРА ДНИЩА

Чепур П.В., Тарасенко А.А., Тарасенко Д.А.

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com; chepur@me.com, zuleen@mail.ru

В статье рассмотрен вопрос влияния выступа окрайки на напряженно-деформированное состояние вертикального стального цилиндрического резервуара вместимостью 20000 м^3. Исследован осесимметричный случай нагружения резервуара гидростатической нагрузкой, приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкций резервуара для различных величин выступа окрайки. Также смоделирован неосесимметричный случай нагружения, вызванный неравномерной осадкой наружного контура днища, при этом рассмотрены различные значения выступов окрайки. Подробно описана процедура моделирования неравномерной осадки наружного контура днища путем вырезки сегментов фундаментного кольца заданного размера. Получены зависимости возникающих напряжений от высоты стенки резервуара. Приведены эпюры прогибов и напряжений для различных конструкций резервуара. Сделаны выводы по выбору оптимального значения выступа окрайки для вертикальных стальных резервуаров типоразмера РВС-20000.

Ключевые слова: резервуар, фундамент, напряженно-деформированное состояние, неравномерные осадки наружного контура днища, ANSYS, САПР, выступ окрайки

THE STRESS-STRAINED STATE RESEARCH OF STEEL STORAGE TANKWITH A LIP PROTRUSIONINFLUENCE LINKED OUTER CIRCUIT BOTTOM DIFFERENTIAL SETTLEMENT

Chepur P.V., Tarasenko A.A., Tarasenko D.A.

Tyumen State Oil and Gas Institute, Tyumen,
e-mail: a.a.tarasenko@gmail.com, chepur@me.com, zuleen@mail.ru

The article presents the stress-strained state research of steel storage tank 20000 m^3 with a lip protrusion influence. The researchers considered axisymmetric case of vertical steel storage tank hydrostatic loading, the results of stress-strain state of the tank structures for different values of the projection selvages presented in the article. Nonaxisymmetric case of loading is modeled, caused differential settlement of outer circuit bottom, so different values of lip protrusion considered. The authors presented procedure of modelling differential settlements of outer contour of the bottom by cutting segments of the foundation ring. The nassed stresses dependence on tank storage wall height obtained. The deformation, strain and stress curves of different tank constructions are widely shown.

Keywords: aboveground oil tank, foundation, the stress-strain state, differential settlement outer circuit of the bottom, ANSYS, CAD, lip protrusion

С развитием нефтегазовой промышленности география объектов инфраструктуры магистрального транспорта нефти постепенно расширяется на территории со сложными климатическими и геологическими условиями. Это приводит к необходимости более детально подходить к вопросам обеспечения надежности промышленных объектов. Вертикальные стальные резервуары, являясь неотъемлемым звеном в структуре добычи и магистрального транспорта нефти, требуют особого подхода к обеспечению надежности конструкций. Резервуар – сооружение, испытывающее значительные эксплуатационные нагрузки (гидростатическое давление столба жидкости, снеговая и вакуумметрическая нагрузка, ветровая нагрузка, а также вес установленного оборудования, сейсмическая нагрузка). Суммарная нагрузка от веса конструкций резервуара передается на железобетонное фундаментное кольцо, которое, в свою очередь, опирается на грунтовое основание. Согласно статистическим данным, опубликованным в работах [3, 4, 5], 33 % обследованных резервуаров имеют показатели неравномерности осадки значительно превышающие допустимые. Статистика приводится для 310 исследованных резервуаров типоразмеров от 400 до 50000 м^3. В работах [6, 7, 8, 9] исследованы особенности изменения НДС резервуаров при неравномерных осадках.

Широко известно аналитическое решение для узла сопряжения стенки с днищем при осесимметричной постановке, полученное методом сил для полоски единичной ширины [1], в котором изменение величины выступа окрайки существенно изменяет общее напряженно-деформированное состояние конструкции. Для новых резервуаров

в ГОСТ Р 59910-2008 рекомендовано выступ листов окрайки за стенку резервуара назначать в интервале 50–100 мм.

Авторами проанализированы результаты проведения дефектоскопии более 300 резервуаров, выполненной НПП «Симплекс». Некоторые иллюстрации проблемы представлены на рис. 1. Как следует из анализа, величина выступа находится в пределах 15–150 мм и может изменять свою величину по радиусу РВС либо образовывать дефект типа «ступенька». В таких местах создаются зоны повышенных напряжений даже при обычных сливо-наливных операциях. Рекомендуется при ремонтах резервуаров устранять подобные дефекты. Однако значительная часть резервуаров с дефектами по-прежнему эксплуатируется, имея и более сложные условия нагружения. Авторами предлагается рассмотреть случай неосесимметричного нагружения оболочки, вызванного неравномерной осадкой наружного контура днища РВС-20000, для различной величины выступа окрайки. Модель РВС-20000 реализована в среде ANSYS Workbench 14.5.

Недостаточный выступ окрайки

Недопустимо большой выступ окрайки

Неравномерный выступ окрайки

Недопустимый выступ окрайки («ступенька»)

Недопустимая деформация листов металла окрайки

Рис. 1. Примеры недопустимых выступов окрайки

Расчетная схема представлена на рис. 2 и включает в себя действие нагрузки от веса стационарного покрытия и оборудования, снегового покрова и собственного веса стенки резервуара.

Фундаментное кольцо опирается на основание со значением коэффициента постели 200 МПа/м^3. Для решения контактной задачи используются конечные элементы CONTA175 и TARGE170, взаимодействие элементов конструкций требует назначения контактной пары (contactpair) поверхностей или твердых тел, где один из объектов – контактный (contact), а другой – целевой (target). Зоны контакта фундаментного кольца и грунтового основания, а также контакта центральной части днища и основания рассматриваются как «упруго закрепленные» (elasticsupport). На рис. 2 представлена расчетная схема.

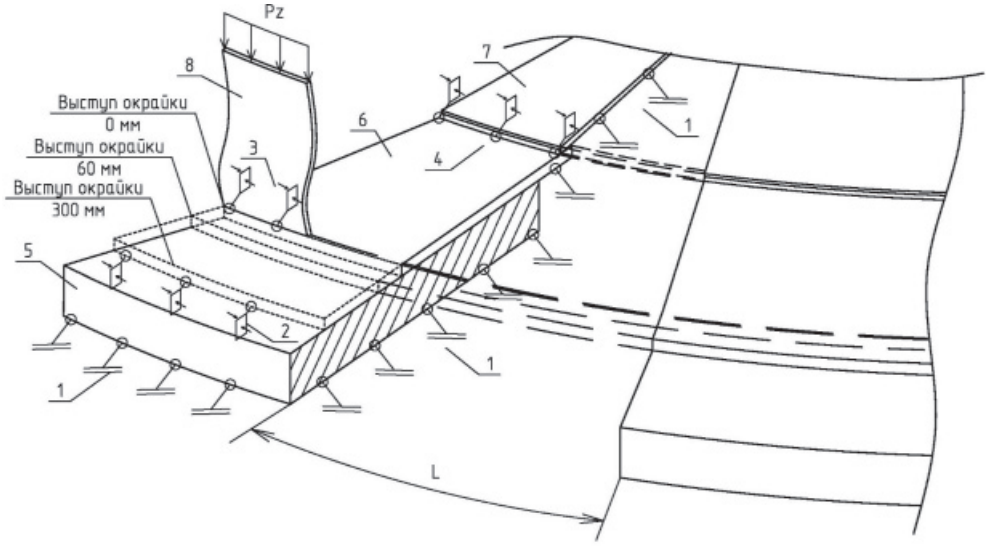


Рис. 2. Расчетная схема:
1 – упругое закрепление «elasticsupport»; 2 – контакт фундаментного кольца и окрайки (manualcontactregion «surfacebodytosolid»); 3 – контакт листов стенки и окрайки (manualcontactregion «surfacebodytoedge»); 4 – контакт окрайки и центральной части днища (manualcontactregion «surfacebodytosurfacebody»); 5 – кольцевой фундамент; 6 – окрайка; 7 – центральная часть днища; 8 – стенка; Pz– суммарная нагрузка от веса стационарного покрытия и оборудования, снегового покрова и собственного веса стенки резервуара; L – дуговой размер зоны просадки

Геометрическая модель резервуара построена в соответствии со значениями, принятыми в типовом проекте для РВС-20000 (ТП 704-1-60). Радиус резервуара составляет 22,85 м, высота стенки 11,92 м. Толщина стенки для первого пояса – 13 мм, для 2–8 поясов – 11 мм. Листы стенки выравниваются по внутреннему краю. В предлагаемой модели стенка, окрайка, днище, кольцо жесткости представлены оболочечными конечными элементами SHELL181. Кровля моделируется балочными конечными элементами BEAM4 и состоит из 48 двутавров, профиль I35Б1поГОСТ 8239-89. Материал металлоконструкций – сталь малоуглеродистая низколегированная 09Г2С.

В расчетах величина окрайки изменяется от 0 до 300 мм. Просадочные зоны задаются путем удаления части фундамента, согласно рекомендациям [2]. Неравномерная осадка резервуара моделируется путем вырезки сегмента фундаментного кольца размером L (рис. 3). Для удобства представления результатов расчетов предлагается использовать безразмерный, принятый в теории оболочек параметр n, который учитывает размер зоны нагружения (осадки резервуара):

$$n = \pi R/L, \qquad (1)$$

где L – дуговой размер зоны просадки; R – радиус резервуара.

Автором предлагается расчет НДС резервуара при значениях $n = 2$, 6 (на рис. 3 представлена схема моделирования просадочной зоны при различных значениях n).

В таблице представлена схема планирования эксперимента. Опыт предполагает наличие двух факторов. Первым фактором (a) является величина выступа окрайки с тремя комбинациями: недостаточный выступ – 0 мм (a_1), нормативный выступ – 60 мм (a_2), недопустимо большой выступ – 300 (a_3). Вторым фактором (b) является значение коэффициента n, при этом автором предлагается 2 возможные комбинации: $n = 2$ (b_1), $n = 6$ (b_2).

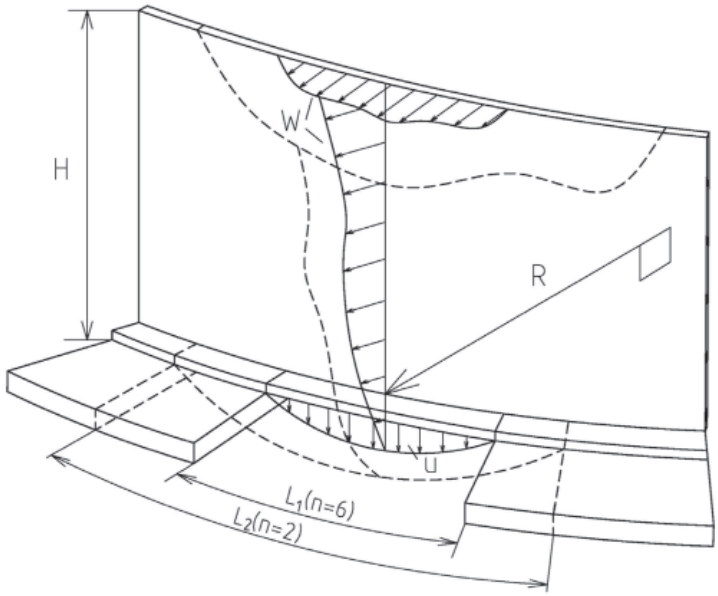


Рис. 3. Схема моделирования просадочной зоны:
L – дуговой размер зоны просадки; R – радиус резервуара; H – высота резервуара; W – радиальные перемещения стенки; u – вертикальные перемещения стенки и окрайки

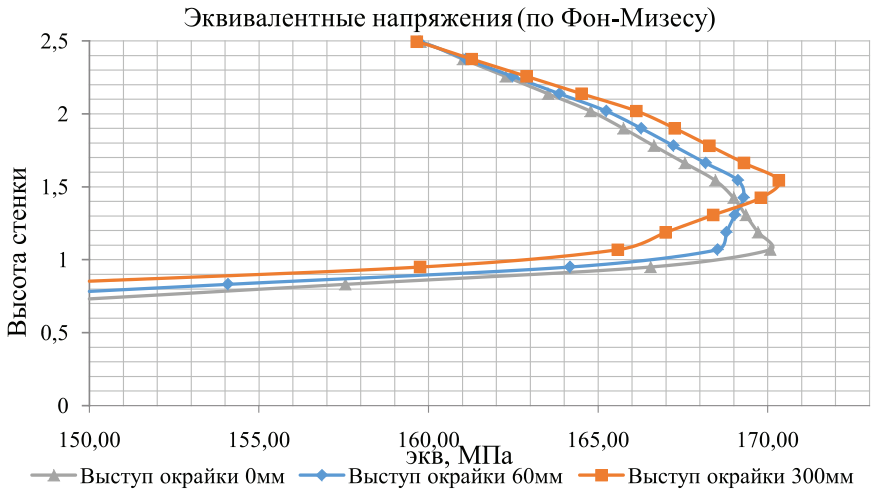


Рис. 4. Случай осесимметричного загружения (без осадок) с учетом гидростатического давления (увеличен масштаб по высоте стенки)

Фактор *b*

Фактор *a*	I	II
I	$a_1\ b_1$	$a_1\ b_2$
II	$a_2\ b_1$	$a_2\ b_2$
III	$a_3\ b_1$	$a_3\ b_2$

Выводы

– Авторами создана модель резервуара, позволяющая определять изменение НДС резервуара при неравномерных осадках с учетом реальной величины выступа окрайки.

– Выступ окрайки 60 мм обеспечивает наименьшие напряжения и прогибы стенки резервуара при неравномерной осадке.

– При неравномерной осадке наружного контура днища появляются предельные прогибы несущих балок стационарной кровли, расположенных над просадочной зоной.

– Наибольшие напряжения в стенке при неравномерной осадке возникают на высоте 1–2,5 м. над краями просадочной зоны (с двух сторон).

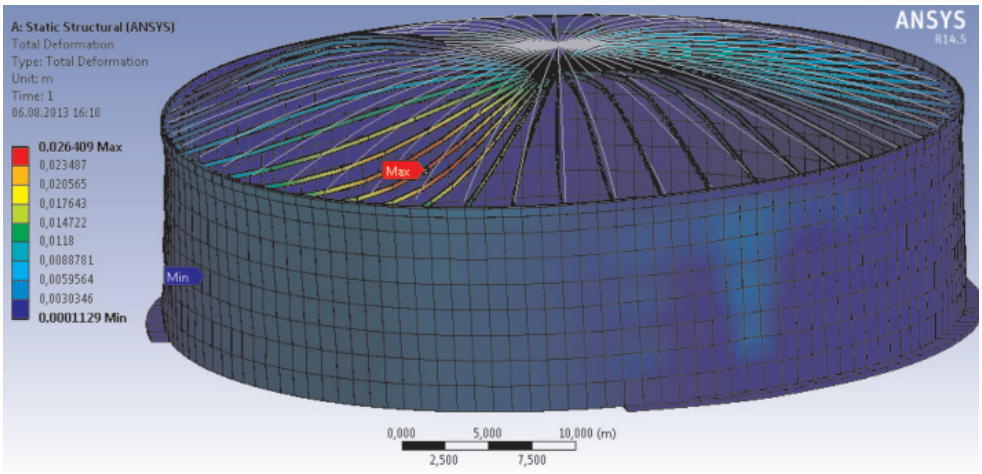


Рис. 5. Эпюра перемещений конструкций кровли в случае неосесимметричного загружения при n = 2. Выступ окрайки 0 мм, отсутствует гидростатическая нагрузка

Список литературы

1. Сафарян М.К. Металлические резервуары и газгольдеры. – М.: Недра, 1987. – 200 с.

2. Слепнев И.В. Напряженно-деформированное упруго-пластическое состояние стальных вертикальных цилиндрических резервуаров при неравномерных осадках основания: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М., 1988. – 229 с.

3. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние крупногабаритных резервуаров при ремонтных работах: дис. ... д-ра. техн. наук. – Тюмень, 1999. – 254 с.

4. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Макаров А.И. и др. Методы ремонта элементов конструкций стальных вертикальных цилиндрических резервуаров после длительной эксплуатации (инструкция). – АООТ «Сибнефтепровод». – Тюмень, 1997. – 264с.

5. Тарасенко А.А. Напряженно-деформированное состояние вертикальных стальных резервуаров при ремонтных работах. – М.: ОАО Изд-во «Недра», 1999. – 271 с.

6. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г. Экспериментальное исследование деформаций стенки резервуара при неравномерных осадках оснований. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 6. – С. 12.

7. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Саяпин М.В., Николаев Н.В. Напряженно-деформированное состояние стенки резервуара при неравномерных осадках основания. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – №3. – С. 87.

8. Тарасенко А.А., Хоперский Г.Г., Овчар З.Н., Николаев Н.В. Определение неравномерной составляющей осадки резервуаров, вызывающей неосесимметричную деформацию. – Известия вузов «Нефть и газ». – Тюмень, 1997. – № 5. – С. 104.

9. Хоперский Г.Г. Исследование напряженно-деформированного состояния стенки резервуара при неравномерных осадках основания. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Тюмень: ТюмГНГУ, 1998. – 197 с.

References

1. Safarjan M.K. Metallicheskie rezervuary i gazgol'dery [Steel storage tanks and gasholders]. Moscow, Nedra, 1987. 200 p.

2. Slepnev I.V. Naprjazhenno-deformirovannoe uprugo-plasticheskoe sostojanie stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov pri neravnomernyh osadkah osnovanija. Diss. kand. tehn. nauk [Stress-strain elastic-plastic state steel vertical cylindrical tanks with irregular settlement base. Candidate technical sciences dissertation]. Moscow, MISI im. V.V. Kujbysheva, 1988. 228 p.

3. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie krupnogabaritnyh rezervuarov pri remontnyh rabotah: dis. dokt. tehn. nauk [Stress-strained state of large-sized tanks during repairs. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1999. 254 p.

4. Tarasenko A.A., Hoperskiy G.G., Makarov A.I. and others. Metody remonta jelementov konstrukcij stal'nyh vertikal'nyh cilindricheskih rezervuarov posle dlitel'noj jekspluatacii (instrukcija). AOOT «Sibnefteprovod» [Repair methods of steel storage tanks elements after long-time exploitation The Instruction of OAO «Sibnefteprovod»]. Tyumen, 1997. 267 p.

5. Tarasenko A.A. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov pri remontnyh rabotah [Stress-strained state of storage steel tanks during repairs]. Moscow. OAO Izdatel'stvo «Nedra». 1999. 271 p.

6. Tarasenko A.A., Hoperskiy G.G. Jeksperimental'noe issledovanie deformacij stenki rezervuara pri neravnomernyh osadkah osnovanij. Izvestija vuzov «Neft' i gaz» [Experimental research of steel storage tank's wall deformation with differential settlement of foundations – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 1997. no. 6, pp. 12.

7. Tarasenko A.A., Hoperskij G.G., Sajapin M.V., Nikolaev N.V. Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie stenki rezervuara pri neravnomernyh osadkah osnovanija [Stress-strain state of the steel storage tank's wall with differential settlement of foundation – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 1997. no.3, pp. 87.

8. Tarasenko A.A., Hoperskij G.G., Ovchar Z.N., Nikolaev N.V. Opredelenie neravnomernoj sostavljajushhej osadki rezervuarov, vyzyvajushhej neosesimmetrichnuju deformaciju. [The definition of non-uniform component of precipitation tanks, causing deformation of the non-axisymmetric – Academic news «Oil and gas»]. Tyumen, 1997. no.5, pp. 104.

9. Hoperskiy G.G. Issledovanie napryajenno-deformirovannogo sostoyaniya stenki rezervuara pri neravnomernih osadkah osnovaniya: dis. cand. tehn. nauk [Stress-strained state of storage steel tanks with differential settlements of outer counter of the bottom. Doctor technical sciences dissertation]. Tyumen, 1998. 197 p.

Рецензенты:

Обухов А.Г., д.ф.-м.н., профессор кафедры «Высшая математика», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г. Тюмень;

Мерданов Ш.М., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Транспортные и технологические системы», ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации, г. Тюмень.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 672.71

МЕТОДИКА РАСЧЕТА КОРПУСА БУРАВА ВОЗРАСТНОГО НА ПРОЧНОСТЬ

Шегельман И.Р., Суханов Ю.В., Васильев А.С., Клюев Г.В., Лукашевич В.М.

Карельский научно-исследовательский институт лесопромышленного комплекса (КарНИИЛПК), Петрозаводск, e-mail: lvm-dov@mail.ru

Проведен анализ зависимости толщины стенки бурава возрастного от материала, из которого он изготовлен. Предложена методика расчета бурава возрастного на прочность. При прочностном расчете были учтены: анизотропия древесины, возможные наклоны и колебания бурава возрастного при вкручивании в древесину, пороки строения ствола дерева. Прочностной расчет в целях точности получаемых результатов велся по нескольким теориям прочности: III (наибольших касательных напряжений) и IV (энергии формоизменения) теориями прочности для стержней из сталей, и дополнительно по V (теория Мора) теории для стержней из чугуна. Предложены материалы, которые можно использовать для изготовления бурава возрастного. Расчеты показали, что определяющим фактором при расчете бурава возрастного на прочность являются не только усилия резания, но и напряжения изгиба. Данное обстоятельство говорит о целесообразности использования буравов возрастных совместно со специальными направляющими устройствами, что приведет к уменьшению наружного диаметра возрастных буравов и тем самым позволит уменьшить вред, наносимый дереву при взятии керна, а также использовать более дешевые материалы с более низкими прочностными характеристиками.

Ключевые слова: бурав возрастной, материал, методика, теория прочности, толщина стенки

METHOD OF STRENGTH CALCULATION OF AN INCREMENT BORER BODY

Shegelman I.R., Sukhanov Y.V., Vasilev A.S., Klyuev G.V., Lukashevich V.M.

Karelian scientific Research Institute timber industry, Petrozavodsk, e-mail: lvm-dov@mail.ru

The authors analyzed the dependence of thickness of an increment borer wall on the material that an increment borer is made of. They suggested a method of strength calculation of an increment borer. The following factors were considered with strength calculation: anisotropy of wood, possible inclination and fluctuation of an increment borer while twisting-in into wood, flaws in the structure of a tree trunk. In order to get accurate results, strength calculation was made according to several strength theories: III (the greatest shearing stress) and IV (distortion energy) strength theories for bars made of steel, and also according to V (Mohr theory) theory for bars made of cast iron. The authors suggested the materials that can be used for manufacturing of an increment borer. The calculation showed that the determining factor for strength calculation of an increment borer is not only cutting force, but also bending stress. This circumstance proves reasonability of using increment borers combined with special directing devices, which will result in decrease of external diameter of increment borers and thereby allow reducing the harm, made to a tree while taking the core. It will also allow using cheaper materials with lower strength properties.

Keywords: increment borer, material, method, strength theory, wall thickness

В Петрозаводском государственном университете (ПетрГУ) интенсифицированы научно-исследовательские работы в области развития рационального природопользования. Одним из направлений работ является совершенствование конструкции бурава возрастного – инструмента, предназначенного для взятия из ствола дерева цилиндрического образца древесины (керна) диаметром 4…6 мм для определения возраста по годичным слоям [6].

Постановка задачи

В результате проведенного исследования, результаты которого изложены в работе [2], был найден ряд технических решений [7 и др.] по совершенствованию данного инструмента. По этим техническим решениям был подан ряд заявок в ФГБУ «Федеральный институт промышленной собственности» на получение патентов на полезные модели. По нескольким из них уже получены положительные решения на выдачу патентов на полезные модели – это: заявка № 2013118815 «Бурав возрастной для извлечения керна древесины» от 23.04.2013, заявка № 2013121070 «Бурав для взятия керна древесины» от 07.05.2013, заявка № 2013125828 «Направляющее устройство для бурава» от 04.06.2013.

Для того чтобы была возможность создать усовершенствованную конструкцию бурава возрастного «в металле», а также установления оптимальных геометрических размеров, исходя из действующих в процессе его эксплуатации нагрузок и применяемых при изготовлении материалов, возникла необходимость в проведении прочностных расчетов его элементов.

Бурав возрастной классической конструкции (бурав Пресслера) [9] представляет собой полый трубчатый стержень, на одном конце которого выполнена режущая головка конической формы с винтовой нарезкой, а на другом конце устанавливается рукоятка. Стержень бурава ввинчивается в древесину на определенную глубину, а далее, с помощью специально устройства,

называемого экстрактором, керн отрывается от древесины ствола и извлекается из трубчатого стержня бурава.

Существует два принципиально разных исполнения буравов по способу внедрения режущей головки в древесину.

Первое исполнение – когда бурав внедряется в дерево, перерезая волокна древесины без образования стружки. У такого бурава режущая головка имеет коническую форму с наружной винтовой нарезкой, которая позволяет бураву при вращении совершать поступательное движение вглубь ствола дерева. Примером может служить широко используемая конструкция оригинального приростного бурава Мэттсона [5]. В зависимости от конструкции винтовая нарезка может быть двух- или трехзаходная [5]. Скорость поступательного движения зависит от угла наклона винтовой линии.

Второе исполнение – когда на торцевой поверхности режущей головки бурава выполнены зубья, которые перерезают волокна древесины по мере внедрения режущей головки в ствол дерева с образованием стружки. Примером может служит конструкция, описанная в авторском свидетельстве [4].

При использовании бурава второй конструкции, когда происходит перерезание волокон древесины с последующим отводом стружки, наносится меньший вред растущему дереву, чем при использовании бурава первой конструкции, когда происходит сминание с последующим разрывом волокон древесины, ведущее к «размочаливанию» наружной поверхности керна и внутренней поверхности, образуемого в стволе дерева отверстия, даже при незначительном затуплении рабочей кромки бурава. Кроме того, при взятии пробы древесины буравом первой конструкции значительно выше вероятность повреждения керна (сдвиг по годичным слоям), что связано с тем, что волокна сминаются с последующим разрывом, а не перерезаются, как при использовании бурава второй конструкции. Таким образом, использование бурава возрастного, работающего с образованием стружки, является предпочтительным.

Методика расчета на прочность

Рассмотрим бурав возрастной, работа которого сопровождается образованием стружки. При силовом анализе конструкции было установлено, что одной из наиболее нагруженных деталей является корпус бурава, представляющий собой полый цилиндрический стержень, который работает на скручивание и изгиб.

При расчете за базовую конструкцию было решено принять бурав возрастной для взятия проб в сухой древесине [8]. Бурав представляет собой трубчатый стержень (корпус) с режущей головкой на одном конце и хвостовиком, служащим для крепления рукоятки, на другом. Головка имеет режущие элементы и боковые направляющие канавки для вывода стружки из зоны резания.

Для проведения расчета корпуса бурава возрастного на прочность необходимо определить действующие на рассчитываемый элемент нагрузки, к которым относятся: крутящий момент, изгибающий момент.

Для определения крутящего момента, нагружающего стержень бурава при его вкручивании в древесину, необходимо знать усилия резания. Работу бурава, сопровождающуюся образованием стружки, можно рассмотреть как работу центрового сверла, в этом случае для расчета применима методика профессора А.Л. Бершадского [3].

Мощность резания центрового сверла, Вт

$$P_{\text{рез}} = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot K \cdot V_s}{(4 \cdot 60)},$$

где D – наружный диаметр сверла, мм; K – удельная работа резания, КДж/см^3; V_s – скорость подачи инструмента, м/мин.

Удельная работа резания при поперечном сверлении

$$K = k + \frac{p}{S_z},$$

где S_z – подача на зуб, мм; k, p – коэффициенты, зависящие от диаметра сверла и породы древесины, находятся по справочным таблицам.

Подача на зуб

$$S_z = \frac{S_o}{z} = \frac{1000 \cdot V_s}{(z \cdot n)},$$

где S_o – подача инструмента на оборот, мм; z – число зубьев (режущих элементов); n – частота вращения инструмента, мин$^{-1}$.

Потребный крутящий момент при работе трубчатого бурава

$$M_{\text{кр}} = \frac{S_o}{8000} \cdot \left[K_D \cdot D^2 - K_d \cdot d^2 \right],$$

где S_o – подача бурава за один оборот, мм; D – наружный диаметр режущей головки бурава, мм; d – внутренний диаметр режущей головки бурава, мм; K_D – удельная работа резания сверла диаметром D; K_d – удельная работа резания сверла диаметром d.

При прочностном расчете бурава возрастного следует учитывать, что древесина является анизотропным материалом, а значит, на усилие резания будут влиять положение ствола дерева (например, его

наклон), возможные наклон и колебание стержня бурава при вкручивании в древесину. Кроме того, необходимо учитывать пороки строения ствола дерева. Например, при попадании бурава в значительно более твердую древесину сучьев, усилия резания возрастают многократно и возможно заклинивание инструмента. И если в это время работник приложит чрезмерные усилия, то полый цилиндрический корпус бурава может не выдержать такой нагрузки. Обломок инструмента может остаться в древесине, что может повлечь за собой повреждение деталей и узлов лесозаготовительной техники при заготовке этого дерева в будущем.

В связи с вышесказанным в качестве расчетных нагрузок со стороны человека, работающего с буравом, было решено принять максимальное усилие на рукоятке, согласно ГОСТ 21753-76 «Система «Человек-машина». Рычаги управления. Общие эргономические требования» составляет: при работе одной рукой $F = 147{,}15$ Н (15 кгс); при работе двумя руками $F = 196{,}2$ Н (20 кгс).

Как уже отмечалось выше, в связи с особенностями работы бурава возрастного рабочий может прикладывать к его рукоятке не только усилия кручения, но и непроизвольно нагружать стержень бурава напряжениями изгиба, особенно сильно это проявляется при выкручивании инструмента, когда тот заклинило в стволе дерева. В этом случае возникает сложно напряженное состояние, при котором проверку прочности следует вести по эквивалентным напряжениям с использованием теорий прочности.

В настоящий момент существует множество теорий прочности, но совершенной теории нет. При расчете деталей из пластичных материалов рекомендуется применять теорию наибольшей удельной потенциальной энергии формоизменения, а для деталей из хрупких материалов – теорию Мора. Для большей достоверности проверки воспользуемся III (наибольших касательных напряжений) и IV (энергии формоизменения) теориями прочности для стержней из сталей, и дополнительно проверим по V (теория Мора) теории для стержней из чугуна.

Для расчета стержня из пластичного материала воспользуемся формулами III (наибольших касательных напряжений) или IV (энергетической) теории прочности, согласно которым эквивалентное напряжение

$$\sigma_{\text{экв III,IV}} = \frac{M_{\text{экв III,IV}}}{W_{\text{ос}}},$$

где $M_{\text{экв III,IV}}$ – эквивалентный момент по третьей или четвертой теории; $W_{\text{ос}}$ – осевой момент сопротивления трубчатого круглого сечения.

Эквивалентный момент по третьей и четвертой теории при расчете на изгиб с кручением

$$M_{\text{экв III}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_{\text{кр}}^2};$$

$$M_{\text{экв IV}} = \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + 0{,}75 \cdot M_{\text{кр}}^2},$$

где $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент; $M_{\text{кр}}$ – крутящий момент.

$$W_{\text{ос}} = \frac{\pi \cdot D^3}{32} \cdot \left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right),$$

где D и d – соответственно наружный и внутренний диаметр стержня бурава.

Для расчета стержня из хрупкого материала воспользуемся формулами V теории прочности (Мора), согласно которым эквивалентное напряжение

$$\sigma_{\text{экв V}} = \frac{M_{\text{экв V}}}{W_{\text{ос}}},$$

где $M_{\text{экв V}}$ – эквивалентный момент по теории Мора.

Эквивалентный момент по теории Мора при расчете на изгиб с кручением

$$M_{\text{экв V}} = 0{,}5 \cdot (1 - K) \cdot M_{\text{изг}} + 0{,}5 \cdot (1 + K) \cdot \sqrt{M_{\text{изг}}^2 + M_{\text{кр}}^2},$$

где $K = [\sigma р]/[\sigma сж]$ – коэффициент.

Крутящий момент на ручке-футляре при кручении двумя руками

$$M_{\text{кр}} = F \cdot h_{\text{ф}},$$

где $h_{\text{ф}}$ – длина рукоятки.

Изгибающий момент в начале заглубления бурава

$$M_{\text{изг}} = F \cdot h,$$

где h – длина стержня бурава.

Условие прочности стержня бурава

$$\sigma_{\text{экв III}} < [\sigma];$$

$$\sigma_{\text{экв IV}} < [\sigma];$$

$$\sigma_{\text{экв V}} < [\sigma],$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение для материала стержня бурава.

Для того чтобы корпус бурава не погнулся в процессе его работы, необходимо

проверить трубчатый стержень бурава на устойчивость:

$$\sigma_{уст} = \frac{F_{ос}}{(\varphi \cdot A)} \le [\sigma_{сж}],$$

где $F_{ос}$ – осевая сила, сжимающая стержень, Н; φ – коэффициент продольного изгиба, показывающий снижение допускаемого напряжения; A – площадь поперечного сечения; $[\sigma_{сж}]$ – допускаемое напряжение материала стержня.

Коэффициент продольного изгиба находится по справочным таблицам, в зависимости от материала и конструктивной гибкости стержня (λ).

$$\lambda = \frac{L_{ст} \cdot \omega}{i_{min}},$$

где $L_{ст}$ – длина стержня бурава; $\omega = 2$ – коэффициент, учитывающий способ закрепления концов стержня, для нашего случая; i_{min} – минимальный радиус инерции поперечного сечения.

Минимальный радиус инерции трубчатого сечения

$$i_{min} = \frac{1}{4}\sqrt{(D^2 + d^2)}.$$

Корпус бурава необходимо проверить по условиям прочности и жесткости.

Условие прочности

$$\tau_{max} = \frac{16M_{кр}}{\pi D^3\left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)} \le [\tau],$$

где τ_{max} – максимальное касательное напряжение, Па; $[\tau]$ – допускаемое касательное напряжение, Па.

Условие жесткости

$$\varphi_{max} = \frac{32M_{кр}l}{G\pi D^4\left(1 - \left(\frac{d}{D}\right)^4\right)} \le [\varphi],$$

где φ_{max} – максимальный коэффициент продольного изгиба, показывающий снижение допускаемого напряжения; $[\varphi]$ – допускаемый угол скручивания, рад; G – модуль упругости вала при сдвиге, МПа; l – длина бурава, м.

Результаты расчета

По представленной методике был проведен расчет бурава возрастного на прочность для нескольких материалов (стали: Ст.3, 50Г, 50Х, 35ХМ, 40ХФА; чугун: ВЧ-60). Исходные данные, используемые при расчете, представлены в таблице.

Расчетные размеры бурава

Показатель	Значение	Примечание
Длина стержня L, м	0,25	для Северо-Запада РФ
Внутренний диаметр бурава d, мм	5,15	размер керна 0,2 дюйма
Внешний диаметр бурава D, мм	9,5	

Проведенные расчеты показали, что в качестве материала для изготовления бурава можно применять следующие конструкционные легированные стали: 50Х, 35ХМ, 40ХФА. Стали: Ст.3 и 50Г не удовлетворили условию прочности. Также проверку на прочность прошел высокопрочный чугун с шаровидным графитом ВЧ-60.

Расчеты показали, что определяющими факторами при расчете бурава возрастного на прочность являются не только усилия резания, но и напряжения изгиба. Данное обстоятельство говорит о целесообразности использования буравов возрастных совместно со специальными направляющими устройствами. Примером такой конструкции может служить устройство [1].

Использование направляющего устройства позволит использовать буравы с более тонкой стенкой без опасности поломки при работе в полевых условиях, что приведет к уменьшению их наружного диаметра и тем самым позволит уменьшить вред, наносимый дереву при взятии керна, а также использовать более дешевые материалы с более низкими прочностными характеристиками. Но при этом не стоит забывать о том, что используемый для изготовления корпусных элементов бурава материал должен обладать высокую стойкость к коррозии и иметь малым коэффициентом трения по дереву.

Работа выполняется при поддержке Программы стратегического развития ПетрГУ в рамках реализации комплекса мероприятий по развитию научно-исследовательской деятельности.

Список литературы

1. Алметов А.Н. Бурав для извлечения керна древесины // Патент РФ № 1007970, 16.11.1999.

2. Бурав возрастной и пути его совершенствования [Электронный ресурс] / И.Р. Шегельман, В.М. Лукашевич, А.С. Васильев, Ю.В. Суханов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2. Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1743 (дата обращения: 12.08.2013).

3. Глебов И.Т. Резание древесины: учебное пособие – Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. – 228 с.

4. Копытков В.В., Михайлов М.И. Бурав для взятия кернов древесины // Патент СССР № 4755440, 12.07.1989. Бюл. № 4.

5. Лесотаксационное оборудование компании Haglof Sweden [Электронный ресурс] – Режим доступа htttp://www.haglof.ru (дата обращения: 12.08.2013).

6. Шегельман И.Р. Лесная промышленность и лесное хозяйство: Словарь: 4-е изд., перераб. и доп. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2008. – 278 с.

7. Шегельман И.Р., Лукашевич В.М., Васильев А.С. Совершенствование конструкции бурава возрастного [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 3. Режим доступа: – Режим доступа: http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1829 (дата обращения: 12.08.2013).

8. Einsatzhinweise [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.schneidwerkzeugmechanik.de/einsatzhinweise.html (дата обращения: 12.08.2013).

9. Pressler M.R. Der forstliche Zuwachsbohrer neuester Construction und dessen praktische Bedeutung und Anwendung für die forstliche Forschungs // Tharandter forstliches Jahrbuch, 1866. – № 17. – P. 137–210.

References

1. Almetov A.N. Burav dlya izvlecheniya kerna drevesiny. Patent RF № 2163865. 16.11.1999.

2. Shegelman I.R., Lukashevich V.M., Vasilev A.S., Sukhanov Yu.V. Burav vozrastnoy i puti ego sovershenstvovaniya. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, no. 2. Available at: http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1743 (accessed 12.08.2013).

3. Glebov I.T. Rezanie drevesiny. – Ekaterinburg: UGLTU, 2007. 228 p.

4. Kopytkov V.V., Mikhaylov M. I. Burav dlya vzyatiya kernov drevesiny no. 1007970. 12.07.1989.

5. Haglof Sweden. Available at: htttp://www.haglof.ru. (accessed 12.08.2013).

6. Shegelman I.R. Lesnaya promyshlennost i lesnoe khozyaystvo: slovar: Petrozavodsk: PetrGU, 2008. 278 p.

7. Shegelman I.R., Lukashevich V.M., Vasilev A.S., Sovershenstvovanie konstruktsii burava vozrastnogo. Inzhenernyy vestnik Dona, 2013, no. 3. Available at: http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2013/1829 (accessed 12.08.2013).

8. Einsatzhinweise Available at: http://www.schneidwerkzeugmechanik.de/einsatzhinweise.html (accessed 12.08.2013).

9. Pressler M.R. Der forstliche Zuwachsbohrer neuester Construction und dessen praktische Bedeutung und Anwendung für die forstliche Forschungs // Tharandter forstliches Jahrbuch, 1866. no. 17. pp. 137–210.

Рецензенты:

Питухин А.В., д.т.н., профессор, декан Лесоинженерного факультета, Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск;

Григорьев И.В., д.т.н., профессор кафедры «Технология лесозаготовительных производств», Санкт-Петербургский государственный технический университет имени С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 6 20.178.16

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ И РЕЛЬЕФ ПОВЕРХНОСТИ ТРЕНИЯ ФЕРРИТНО-ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ, НАНОСТРУКТУРИРОВАННОЙ МЕГАПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Яковлева С.П., Махарова С.Н., Винокуров Г.Г., Мордовской П.Г., Стручков Н.Ф.

ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук», Якутск, e-mail: mordov@yandex.ru

Исследована износостойкость стали 09Г2С после объемного наноструктурирования с применением мегапластической деформации методом равноканального углового прессования (РКУП) при 20°С и последующего низкотемпературного отжига при 350 и 450°С. Показано, что формирование ультрамелкозернистой (УМЗ) структуры после РКУП обеспечило многократное снижение величины массового износа материала по сравнению с исходным крупнозернистым состоянием. Дальнейшее диспергирование структуры при низкотемпературном отжиге после РКУП обусловило дополнительное снижение массового износа в 2,2 раза. Исследованы высотные параметры шероховатости и построены опорные кривые поверхностей трения. Рост износостойкости стали с нано-, субмикронной структурой связан с образованием рельефа с меньшими колебаниями параметров Ra и Rz; график опорных кривых имеет большую длину опорной поверхности, происходит оптимизация площадей вершин и впадин для заданных условий трения.

Ключевые слова: низколегированная сталь, равноканальное угловое прессование, наноструктура, износостойкость, поверхность трения, шероховатость

INCREASING OF WEAR RESISTANCE AND RELIEF OF THE FRICTION SURFACE OF THE FERRITE-PEARLITIC STEEL NANOSTRUCTURED BY SEVERE PLASTIC DEFORMATION

Yakovleva S.P., Maharova S.N., Vinokurov G.G., Mordovskoy P.G., Struchkov N.F.

Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, Yakutsk, e-mail: mordov@yandex.ru

We investigated the wear resistance of the steel 09G2C after the bulk nanostructuring using a severe plastic deformation by equal-channel angular pressing (ECAP) at 20°C and subsequent low-temperature annealing at 350 and 450°C. It is shown that formation of the ultrafine-grained structure after ECAP provided the multiple decreasing of the mass wear compared with the initial coarse-grained state. Further dispersion of structure during low temperature annealing after ECAP caused to additional reduction of the mass wear 2,2 times. Roughness parameters and supporting curves of the friction surfaces were investigated. The growth of wear resistance of the steel with nano-, submicron structure connected with the formation of relief with less fluctuations in parameters of Ra and Rz; supporting curves have a long supporting surface, the effective areas of peaks and valleys for the preset conditions of the friction.

Keywords: Low alloy steel, equal channel angular pressing, nanostructure, wear resistance, friction surface, roughness

Структурированию металлов методами мегапластической деформации, в частности, РКУ прессованием в последние годы уделяется достаточно широкое внимание. Но по-прежнему остаются неясными многие аспекты поведения таких материалов при различных внешних нагрузках. Практика промышленного использования РКУП требует более полных сведений об изменении строения и свойств наноструктурированных материалов в процессе последующей эксплуатации, в том числе в условиях контактного нагружения.

Материалы и методы исследования

При реализации РКУП заготовка продавливается через стальную матрицу с двумя каналами с одинаковыми поперечными сечениями, пересекающимися под углом Ф, обычно равном 90° [1, 2, 3]. Площадь поперечного сечения образца, подвергнутого прессованию, практически не меняется.

Исследования проведены на широко применяемой в условиях холодного климата стали 09Г2С. Химический состав стали 09Г2С: C – 0,09; Si – 0,64; Mn – 1,26; P – 0,007; $S < 0,003$; Cr-0,08; Ni-0,1; Al-0,02; Cu-0,14; V-0,002; Nb-0,01; Ti-0,013. Заготовки стали 09Г2С диаметром 20 мм и длиной 100 мм прессовали на установке для холодного РКУП при 20°С с углом пересечения каналов Ф = 90°. РКУП проводили с двумя циклами прессования по маршруту Вс (поворот на 90° после каждого цикла прессования), после РКУП образцы подвергли низкотемпературному отжигу при 350 и 450°С с выдержкой в течение 1 часа (ТО).

Микроструктура стали 09Г2С в исходном состоянии ферритно-перлитная, размер зерна феррита колеблется в пределах 4…35 мкм (средний диаметр 10 мкм). Микроструктура после РКУП состоит из распределенных в деформированной ферритной матрице карбидов диаметром ~300…500 нм [4]. Средний размер ферритных областей, свободных от перлита, равен ~5 мкм. При термической обработке материала после проведенного РКУП размер ферритных площадок уменьшается, продолжается процесс диспергирования карбидов, сопровождающийся их сфероидизацией и рассредоточением; размер карбидов – первые десятки нм [4].

Механические свойства полученных образцов приведены в табл. 1 [5,6]. Для сравнения даны значения механических свойств стали 09Г2С согласно ГОСТ 19281-89. РКУП обусловило почти

трехкратное повышение предела текучести σ_T и предела прочности σ_B по сравнению с исходным состоянием. Сближение этих показателей является весьма характерным для сталей в высокопрочном состоянии. Резкое увеличение прочности считается следствием и свидетельством перехода в УМЗ структуру и НС. Наибольшее значение прочности имеет образец после холодного РКУП и последующего нагрева до 350 °С, за ним – образец после холодного РКУП без нагрева.

Таблица 1

Прочностные свойства стали 09Г2С после различных видов обработки

Режимы обработки	$\sigma_Т$, Па	$\sigma_В$, Па	δ, %
Горячекатаное состояние или термообработка (ТО) по ГОСТ 19281-89	325	470	21
РКУП при 20 °С, без ТО	930	1300	4
РКУП при 20 °С, отжиг при 350°	985	1400	3
РКУП при 20 °С, отжиг при 450°	850	1195	4
РКУП при 350 °С	910	1000	4,8

Методика исследования. Трибологические испытания по схеме трения «диск-колодка» проводили в условиях трения скольжения со смазкой машинным маслом на серийной машине трения СМЦ-2; контактная площадь образца 5×10 мм. Контртело представляло собой диск из порошка ПР-Н70Х17С4Р4 с добавлением 0,2 % $CoAl_2O_4$ (Co – 35,1 %; Al – 22,1 %; O_2 – 41,4 %) с микротвердостью 9220 МПа, диаметр диска 0,05 м, высота 0,01 м. Режимы испытаний: нагрузка 170 Н, частота вращения вала – 5 об/с, путь трения 5600 м с шагом 700 м, трение с граничной смазкой. Профилометрия поверхности трения образцов выполнена с помощью профилометра SJ-201. Массовый износ определялся весовым методом.

Опорные кривые строили в относительных координатах, когда по оси абсцисс откладывается относительная опорная длина профиля $tp = \sum l_i / l$, а по оси ординат – деформация выступов $\varepsilon = a_i / R_{max}$ (согласно ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики») [6].

Интенсивность износа высчитывалась по формуле $I = \Delta m / L$, где Δm износ образца, равный $m_i - m_{i+1}$, т.е. разность массы до и после испытания образца, L – пройденный образцом путь трения.

Результаты исследования и их обсуждение

Износостойкость ферритно-перлитных сталей определяется комплексом физико-механических характеристик, зависящих от количества и дисперсности структурно-свободного феррита, размера и формы карбидных частиц, деформационного поведения, сопротивления возникновению микротрещин. Повышению износостойкости способствуют: рост твердости феррита, оптимальное распределение дисперсных частиц карбидной фазы и т.д. [7] Появление наноразмерных элементов в субмикрокристаллической структуре значительно улучшило износостойкость: по массовому износу – более чем в 2,5 раза по сравнению с УМЗ структурой, полученной РКУП без ТО. На рис. 1 показан массовый износ образцов, обработанных РКУП и ТО (график для исходного образца не показан, т.к. значения массового износа крупнозернистого образца в десять и более раз превосходят значения для УМЗ образцов). Лучшей износостойкостью обладает сталь, обработанная по режиму РКУП с низкотемпературным отжигом при 350 °С, для которой на стадии приработки происходит снижение массового износа более чем в 4,7 раза по сравнению с образцом после РКУП без ТО.

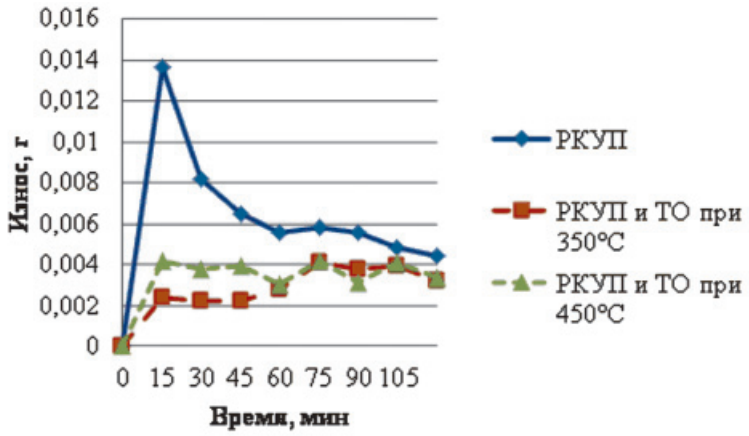


Рис. 1. Массовый износ образцов после РКУП и ТО

На рис. 2 показано изменение шероховатости Ra в процессе трения образцов в исходном крупнозернистом состоянии и после РКУП с последующей термической обработкой. Следует отметить колебательный характер изменения параметра Ra для поверхности трения всех образцов по всему пути трения, что объясняется цикличностью процесса трения: упрочнения (наклеп) и разупрочнения (разрушение поверхности и удаление частичек износа) поверхности трения. Изменение значений Ra для образцов после РКУП без ТО и с ТО при 450°С наиболее монотонно убывающее, что может быть связано с более направленной и интенсивной по сравнению с исходным образцом самоорганизацией структуры под воздействием трибонагрузок.

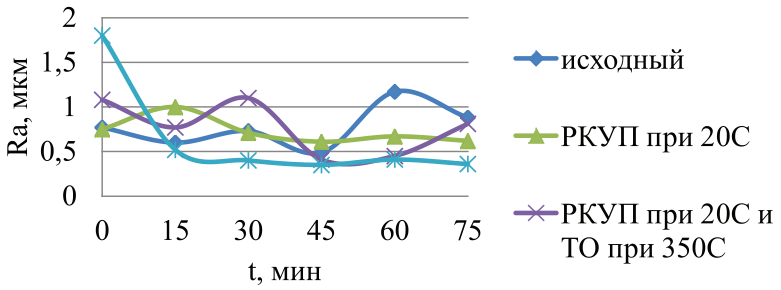


Рис. 2. Изменение Ra образцов по пути трения в зависимости от термомеханической обработки

Оценка шероховатости поверхности только по высоте неровностей и среднему арифметическому отклонению (Rz и Ra) является недостаточной, т.к. при одинаковом значении Rz и Ra профиль поверхности может иметь различную форму, что существенно влияет на условия трения. Например, малое количество высоких вершин снижает фактическую площадь контакта, а большое количество средних вершин увеличивает площадь контакта.

Известно, что реальный вид поверхности трения износостойкого материала должен иметь оптимальную величину фактической площади контакта, которая в неявном виде описывается длиной опорной поверхности и величиной площади вершин на графике опорных кривых (рис. 3). Чем больше длина опорной поверхности трения, тем меньше вероятность появления очагов контактного разрушения, образования надиров и т.д. Рельеф поверхности трения также должен обладать достаточным размером впадин, которые необходимы, например, для удержания смазки на поверхности трения: слишком большая величина впадин способствует стеканию масла с поверхности трения, а малая величина препятствует эффективному маслоудержанию, что приводит к сухому трению скольжения и, как следствие, увеличению износа.

На рис. 3 показаны графики опорных кривых для образцов без термомеханической обработки в исходном состоянии и после РКУП при различных режимах с интервалом трения 15, 30, 45, 60 и 75 минут. Также на рис. 3 показаны типичные профилограммы поверхности трения после 45 минут трибоиспытаний. Относительная длина опорной поверхности, площади вершин и впадин исследуемых образцов приведены в табл. 2. Исходный крупнозернистый образец имеет наименьшее значение опорной поверхности, что является следствием особенностей рельефа поверхности с большим количеством вершин и впадин. Данный профиль поверхности имеет малую фактическую площадь контакта, что вызывает более интенсивное оттеснение материала, разрушение поверхностного слоя и удаление частичек износа в местах фактического контакта под действием сил трения, т.е. происходит дальнейшее образование новых вершин и впадин.

Меньшую площадь вершин и впадин имеют образцы после РКУП, т.е. поверхность является более гладкой и близкой к равновесной шероховатости. Обработка РКУП и отжиг при 350°С дали наибольшее относительное значение опорной поверхности (85%) изнашиваемого образца, малое значение площади вершин (0,1 мкм²) и достаточное значение площади впадин (0,12 мкм²).

Снижение высотных параметров шероховатости, увеличение длин опорных кривых поверхностей трения, оптимизация площадей вершин и впадин для заданных условий трения указывают на формирование в активном слое структур, обеспечивающих повышение сопротивления материала процессам трибодеструкции.

Выводы

1. Трибологические испытания в условиях трения-скольжения показали, что

равноканальное угловое прессование стали 09Г2С при 20 °С с последующим низкотемпературным отжигом, обусловливающее появление структур в виде субмикрокристаллической ферритной матрицы, армированной ультрадисперсными частицами карбида, обеспечило снижение величины массового износа более чем в 10 раз по сравнению с исходным крупнозернистым состоянием материала. Последующий низкотемпературный отжиг вызвал дальнейшее диспергирование ферритной матрицы и карбидов (размер карбидов составляет первые десятки нанометров), что обеспечило дополнительное снижение массового износа в 2,2 раза.

Таблица 2

Параметры шероховатости образцов после 45 мин трения

Режимы обработки	Относительная длина опорной поверхности, %	Площадь вершин, мкм^2	Площадь впадин, мкм^2
Исходное состояние	72 ± 6	0,18 ± 0,11	0,20 ± 0,04
РКУП при 20 °С, без ТО	82 ± 2	0,10 ± 0,03	0,17 ± 0,04
РКУП при 20 °С, ТО при 350 °С	85 ± 4	0,10 ± 0,06	0,12 ± 0,05
РКУП при 20 °С, ТО при 450 °С	84 ± 6	0,09 ± 0,05	0,07 ± 0,02

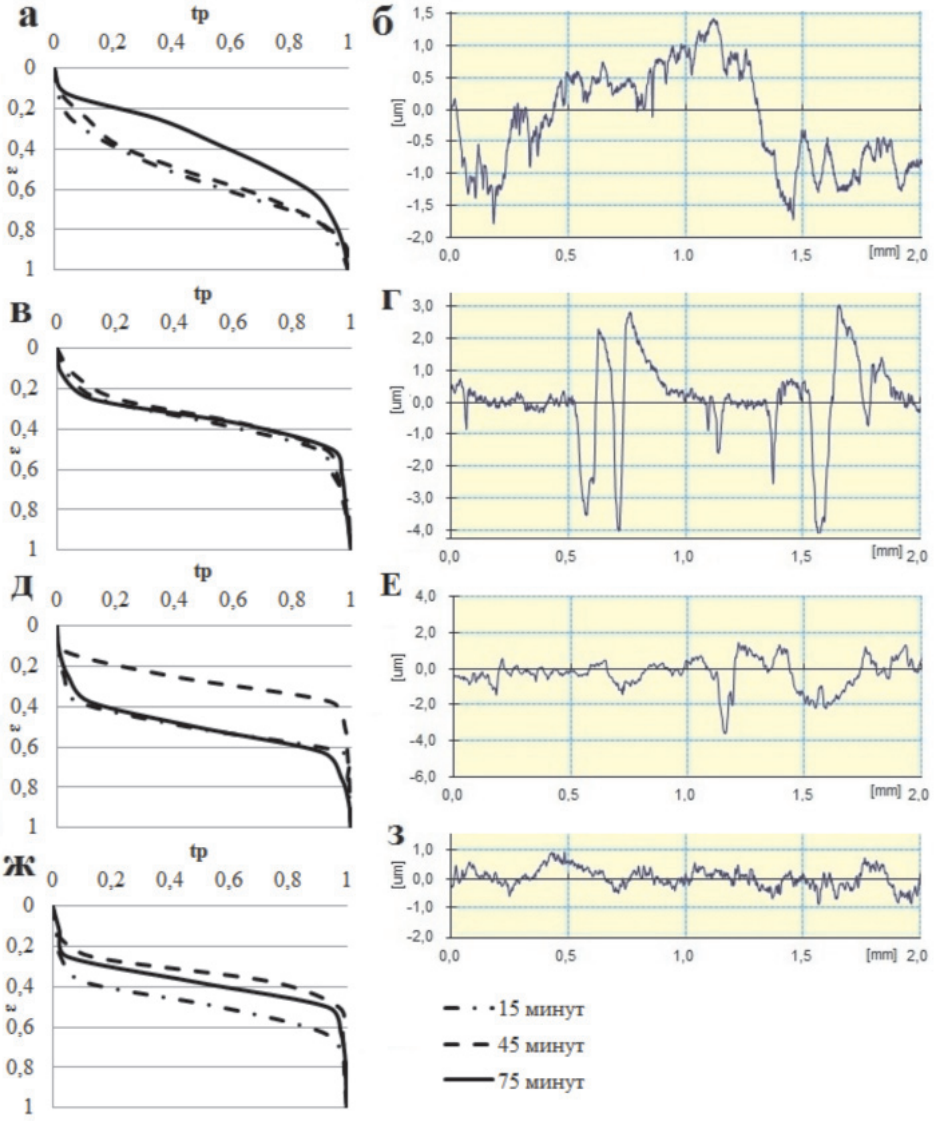


Рис. 3. Графики опорных кривых шероховатости после 15, 45 и 75 мин трибоиспытаний (а – исходное состояние; в – РКУП; д – РКУП и ТО350 °С; ж – РКУП и ТО450 °С) и профиль поверхности износа после 45 мин трибоиспытаний (б-исходное состояние; г – РКУП; е – РКУП и ТО350 °С; з – РКУП и ТО450 °С)

2. Исследование высотных параметров шероховатости и опорных кривых поверхностей трения показало, что рост износостойкости стали 09Г2С с нано-, субмикронной структурой, сформированной при РКУП и последующей термической обработке, связан с образованием рельефа с меньшими колебаниями параметров Ra и Rz; график опорных кривых имеет большую длину опорной поверхности, происходит оптимизация площадей вершин и впадин для заданных условий трения.

Список литературы

1. Валиев Р.З., Александров И.В. Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией. – М.: Логос, 2000. – 272 с.

2. Валиев Р.З. Развитие равноканального углового прессования для получения ультрамелкозернистых металлов и сплавов // Металлы. – 2004. – № 1. – С. 15–22.

3. Добаткин С.В., Одесский П.Д., Пиппан Р., Рааб Г.И., Красильников Н.А., Арсенкин А.М.. Теплое и горячее равноканальное угловое прессование низкоуглеродистых сталей // Металлы. – 2004. – № 1. – С. 110–119.

4. Яковлева С.П., Махарова С.Н., Борисова М.З. Образование наноразмерных элементов структуры в стали 09Г2С при низкотемпературном отжиге после интенсивной пластической деформации // Деформация и разрушение материалов и наноматериалов: сб. материалов III межд. конференции (Москва, 12-13 окт. 2009г.). – М., 2009. – Т. 1. – С. 256–257.

5. Яковлева С.П., Махарова С.Н., Мордовской П.Г. Комплексное повышение эксплуатационных свойств низколегированной стали путем объемного наноструктурирования // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 6. – С. 47–48.

6. Богданович П.Н., Прушак В.Я. Трение и износ в машинах: учеб. для вузов. – Минск: Выш. шк., 1999. – 374 с.

7. Яковлева С.П., Махарова С.Н., Мордовской П.Г., Борисова М.З., Винокуров Г.Г. Износостойкость и поверхность трения низколегированной стали с разным размером зерна // Металлургия машиностроения. – 2011. – № 4. – С. 26–29.

References

1. Valiev R.Z., Aleksandrov I.V. Nanostructurnye materially poluchinye intensivnoy plasticheskoy deformatsiey [Nanostructured materials produced by severe plastic deformation]. Moskow, Logos, 2000. 272 p.

2. Valiev R.Z. Metally –Metalls, 2004, no. 1, pp. 15–22.

3. Dobatkin S.V., Odesskiy P.D., Pippan P., Raab G.I., Krasilnikov N.A., Arsenkin A.M. Metally –Metalls, 2004, no. 1, pp. 110–119.

4. Yakovleva S.P., Maharova S.N., Borisova M.Z. Sbornik materialov III mezhdunarodnoy konferentsii «Deformatsiya Irazrusheniemateria lovinanomaterialov» (Soursbook IIIth International Conference «Deformation and Fracture of Materials and Nanomaterials»). Moskow, 2001, no. 1, pp. 256–257.

5. Yakovleva S.P., Maharova S.N., Mordovskoy P.G. Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya, 2011, no. 6, pp. 47–48.

6. Bogdanovich P.N., Prushak V.Ya. Trenieiiznosv mashinakh [Friction and wear in machines]. Minsk, High school, 1999. 374 p.

7. Yakovleva S.P., Maharova S.N., Mordovskoy P.G., Borisova M.Z., Vinokurov G.G. Metallurgiyamashinostroeniya Metallurgy of Machinery Construction, 2011, no. 4. pp. 26–29.

Рецензенты:

Ишков А.М., д.т.н., профессор, зав. отд. ритмологии и эргономики северной техники, Федеральное государственное учреждение науки «Якутский научный центр» Сибирского отделения РАН, г. Якутск;

Ткач С.М., д.т.н., директор, ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения РАН», г. Якутск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 378.146:519.23:004.9

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ВЕДУЩИХ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ РОССИЙСКИХ ВУЗОВ НА ОСНОВЕ ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ 2013 ГОДА

Арефьев В.П., Михальчук А.А.

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: aamih@tpu.ru

Проведен многомерный статистический анализ качества набора абитуриентов в российские ведущие конкурентоспособные вузы на основе результатов вступительных испытаний 2013 года, включающих *средний балл ЕГЭ* 2013, разность между средними баллами зачисленных по результатам ЕГЭ 2012–2013, количество студентов, зачисленных на бюджетные места, а также долевое количество студентов, принятых на бюджетные места по конкурсу баллов ЕГЭ, по олимпиадам и по целевому набору. Составляющими статистического метода исследования являются корреляционный, факторный, кластерный и дисперсионный анализы. Выявлена высоко значимая отрицательная корреляционная зависимость между долевым *количеством* абитуриентов, принятых по конкурсу баллов ЕГЭ и по олимпиадам. С помощью факторного анализа построена 3-факторная модель показателей вступительных испытаний 2013. В построенном 3-мерном факторном пространстве вступительных испытаний проведена кластеризация ведущих российских вузов. Подробно рассмотрена 10-и кластерная высококачественная модель 17-ти ведущих вузов, позволяющая выделять группы вузов, однородных по совокупности показателей. Для каждого показателя выделены группы однородных кластеров. Результаты подобной кластеризации вузов могут быть учтены в рамках проходящей реформы высшего образования, например, при финансировании вузов или сокращении их количества.

Ключевые слова: корреляционный, факторный, кластерный и дисперсионный анализы, вступительные испытания

CLUSTERING OF LEADING COMPETITIVE RUSSIAN HIGH SCHOOLS ON THE BASIS OF INTRODUCTORY TRIALS OF 2013

Arefyev V.P., Mihalchuk A.A.

National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, e-mail: aamih@tpu.ru

The many-dimensional statistical analysis of quality of a gang of entrants is spent to the Russian leading competitive high schools on the basis of outcomes of the introductory trials 2013 including a mean score of Unified State Examination 2013, a difference between mean scores enlisted by results of Unified State Examination 2013–2012, an amount of the students enlisted on budgetary places, and also a share amount of the students accepted on budgetary places on competition of points of Unified State Examination, on a olympiad and on a target gang. Components of a statistical method of research are correlative, factor, cluster and dispersing analyses. Highly significant negative correlative association between a share amount of the entrants accepted on competition of points of Unified State Examination and on a olympiad is revealed. By means of a component analysis 3 factor model of indicators of introductory trials 2013 is constructed. In constructed 3 measured factor space of introductory trials it is spent clustering of leading Russian high schools. Explicitly 10 cluster high-quality model 17 leading high schools is considered, allowing to select groups of the high schools homogeneous for a population of indicators. For each indicator groups of homogeneous clusters are selected. Outcomes similar clustering of high schools can be considered within the limits of passing reform of higher education, for example, at financing of high schools or reduction of their amount.

Keywords: correlative, factor, cluster and dispersing analyses, introductory trials

В результате реформирования современного российского высшего образования все вузы выстраиваются в своеобразную иерархическую пирамиду, вершиной которой являются два вуза-лидера (МГУ и СПбГУ), затем следуют федеральные (ФУ) и национальные исследовательские (НИУ) университеты и т.д. [9, 10, 13, 14]. В 2013 году был определен перечень ведущих конкурентоспособных российских вузов (ВКВУЗ) – получателей субсидий для повышения конкурентоспособности на мировой арене [1]. Одним из основных показателей оценки эффективности образовательной деятельности вузов является средний балл ЕГЭ студентов, принятых по результатам ЕГЭ [10, 12, 13]. При этом по совокупности показателей оценки эффективности деятельности вузов формируется сводный показатель. В данной работе, аналогично [2–5, 8], проведен кластерный анализ российского элитного образования на основе вступительных испытаний 2013 г., в значительной степени опирающихся на результаты ЕГЭ как индикатор качества обучения [11]. Рейтинг вузов РФ по среднему баллу ЕГЭ ($m_{ЕГЭ}$) [7], показывающий уровень знаний абитуриентов 2013 года, поступивших на бюджетные места в государственные вузы страны, возглавляет МГИМО, у которого средний балл ЕГЭ – 95,6 по 100-балльной шкале. В табл. 1 для выборки ВКВУЗ, расширенной лидерами МГУ и СПбГУ, из показателей вступительных испытаний (ПВИ) кроме $m_{ЕГЭ}$ приведены также разность $m_{ЕГЭ}$

между 2013 и 2012 гг. (*Dm*), количество студентов, зачисленных на бюджетные места (*N*), а также количество студентов (в % к *N*), принятых на бюджетные места по конкурсу баллов ЕГЭ ($N_{ЕГЭ}$), по олимпиадам ($N_О$) [6] и по целевому набору ($N_Ц$).

Таблица 1

ПВИ 2013 г. ВКВУЗ

Ранг ВКВУЗ ($m_{ЕГЭ}$)	Ранг вузов ($m_{ЕГЭ}$)	ВКВУЗ	$m_{ЕГЭ}$, баллы	Стандартизированная шкала					
				$m_{ЕГЭ}$	*Dm*	$N_{ЕГЭ}$	$N_О$	$N_Ц$	*N*
1	2	НИУ МФТИ	93,2	1,8	–1,1	0,6	–0,1	–0,5	–0,9
2	4	НИУ ВШЭ	89	1,3	–1,2	**–3,3**	**3,4**	–1,1	0,3
3	6	МГУ	88,1	1,2	–0,7	0,4	0,2	–1,0	**2,3**
4	7	СПбГУ	87,8	1,2	–0,1	0,3	0,1	–1,2	0,9
5	16	НИУ МИФИ	84,6	0,8	**2,2**	0,2	–0,5	0,8	–1,0
6	29	Новосиб. гос. НИУ	82,2	0,5	0,4	–0,1	0,8	–1,4	–0,9
7	47	НИУ СПб ИТМО	80,5	0,3	–0,1	–0,3	0,6	–0,3	–0,5
8	72	Казанский ФУ	76,8	–0,1	0,4	0,8	–0,7	–0,1	0,6
9	78	СПб политехн. НИУ	75,8	–0,3	–0,0	–0,4	–0,2	1,0	0,4
10	90	НИУ МИСиС	74,6	–0,4	**1,4**	**1,4**	–0,7	–0,7	–1,2
11	94	СПб ЛЭТИ	74,4	–0,4	1,1	–0,6	–0,5	**2,1**	–0,6
12	109	Нижегород. гос. НИУ	73	–0,6	–0,7	0,3	–0,4	0,0	–0,7
13	116	Томский политехн. НИУ	72,4	–0,7	0,6	–0,4	0,5	–0,0	–0,1
14	138	Самар. аэрокосм. НИУ	70,3	–0,9	0,1	0,1	–0,4	0,8	–0,7
15	154	Томский гос. НИУ	69,4	–1,0	–1,6	0,9	–0,7	–0,6	–0,3
16	156	Уральский ФУ	69,4	–1,0	–1,0	–0,5	–0,5	**1,5**	**1,9**
17	255	Дальневосточный ФУ	64,6	–1,6	0,2	0,4	–0,7	0,5	0,4

Составляющими статистического метода исследования являются корреляционный, факторный, кластерный и дисперсионный анализы. Статистический анализ проводился в системе Statistica [15]. В силу разнородности ПВИ они были стандартизированы.

Результаты проверки ПВИ на корреляционную зависимость (матрица коэффициентов парных корреляций Пирсона *r*) приведены в табл. 2. Жирным шрифтом выделены значимые корреляции: высоко значимая (на уровне значимости $p \approx 0{,}000016 < 0{,}0005$) отрицательная между $N_{ЕГЭ}$ и $N_О$; статистически значимая ($0{,}005 < p \approx 0{,}029 < 0{,}05$) отрицательная между $m_{ЕГЭ}$ и $N_Ц$; статистически значимая ($0{,}005 < p \approx 0{,}036 < 0{,}05$) положительная между $m_{ЕГЭ}$ и $N_О$; слабо значимая ($0{,}005 < p \approx 0{,}057 < 0{,}05$) отрицательная между $N_О$ и $N_Ц$; слабо значимая ($0{,}005 < p \approx 0{,}093 < 0{,}05$) отрицательная между *Dm* и *N*.

Таблица 2

Матрица коэффициентов парных корреляций Пирсона *r* ПВИ

	$m_{ЕГЭ}$	*Dm*	$N_{ЕГЭ}$	$N_О$	$N_Ц$	*N*
$m_{ЕГЭ}$	1,00	–0,08	–0,24	***0,51***	**–0,53**	0,03
Dm	–0,08	1,00	0,24	–0,31	0,30	**–0,42**
$N_{ЕГЭ}$	–0,24	0,24	1,00	**–0,85**	–0,04	–0,17
$N_О$	0,51	–0,31	–0,85	1,00	**–0,47**	0,08
$N_Ц$	–0,53	0,30	–0,04	–0,47	1,00	0,02
N	0,03	–0,42	–0,17	0,08	0,02	1,00

Наличие корреляционной зависимости ПВИ предполагает использование факторного анализа, основанного на оценках корреляций (факторных нагрузок) между исходными показателями и факторами (или «новыми» показателями) в рамках выбранной факторной модели и позволяет узнать значимость факторов. С помощью факторного анализа построена 3-факторная модель ПВИ ВКВУЗ 2013 года (табл. 3). В табл. 3 жирным шрифтом выделены наиболее значимые (основные) повернутые факторные

нагрузки (частные коэффициенты корреляции) показателей на факторы, что позволяет по совокупности этих показателей интерпретировать соответствующие факторы, приписывая им наиболее существенные черты значимых показателей. В нижней строке приведены доли объясненной данным фактором дисперсии исходных показателей, иными словами, весовые коэффициенты факторов. Накопленная дисперсия 3-мя факторами ≈ 80%.

Таблица 3

Матрица факторной структуры ПВИ ВКВУЗ 2013 года

17-ПВИ	Ф1	Ф2	Ф3
$m_{ЕГЭ}$	**0,762**	0,074	0,324
Dm	–0,244	**0,808**	–0,159
$N_{ЕГЭ}$	0,079	0,112	**–0,989**
$N_{О}$	0,420	–0,079	**0,886**
$N_{Ц}$	**–0,932**	0,113	–0,015
N	–0,104	**–0,848**	0,081
Доля фактора	0,284	0,235	0,317

Согласно табл. 3, высокие факторные нагрузки ПВИ распределились по факторам следующим образом.

Фактор Ф1 – составной, характеризуется в основном $m_{ЕГЭ}$ и $N_{Ц}$, связанных отрицательной корреляционной связью (чем больше $m_{ЕГЭ}$, тем меньше $N_{Ц}$) и дополнительно $m_{ЕГЭ}$ и $N_{О}$, связанных положительной корреляционной связью (чем больше $m_{ЕГЭ}$, тем больше $N_{О}$). Таким образом, положительная часть Ф1 интерпретируется в основном как $m_{ЕГЭ}$ и дополнительно $N_{О}$, а отрицательная – как $N_{Ц}$.

Фактор Ф2 – составной, характеризуется Dm и N, связанных отрицательной корреляционной связью (чем больше Dm, тем меньше N). Таким образом, положительная часть Ф1 интерпретируется как Dm, а отрицательная – как N.

Фактор Ф3 – самый весомый (**0,317**), составной, характеризуется $N_{О}$ и $N_{ЕГЭ}$, связанных отрицательной корреляционной связью (чем больше $N_{О}$, тем меньше $N_{ЕГЭ}$). Таким образом, положительная часть Ф3 интерпретируется как $N_{О}$, а отрицательная – как $N_{ЕГЭ}$.

В построенном 3-мерном факторном пространстве {Ф1, Ф2, Ф3} проведена кластеризацию ВКВУЗ. При этом в качестве меры близости выбрано евклидово расстояние, а в качестве правила объединения двух кластеров использован метод Уорда. Методом древовидной кластеризации построено иерархическое дерево (рис. 1). В зависимости от выбора расстояния объединения можно получить соответствующее число кластеров. Так, например, расстоянию объединения, равного 1,5 (красная пунктирная горизонтальная прямая) соответствуют 10 кластеров (К1–К10), расстоянию объединения, равного 4 (зеленая пунктирная горизонтальная прямая), соответствуют 4 кластера (К1 + К3 + К8, К2, К4 + К5 + К6, К7 + К9 + К10). Таким образом, выбор значения связующего расстояния позволяет проводить кластеризацию на любом уровне, то есть строить кластерную модель с любым наперед заданным числом кластеров. При этом, увеличивая расстояния объединения, можно отслеживать динамику объединения кластеров по мере уменьшения степени их однородности. Например, сначала на уровне расстояния объединения 0,7 объединяются близкие по совокупности ПВИ вузы МФТИ и СПбГУ в кластер К1, а затем на уровне расстояния объединения 1,8 к ним присоединяется МГУ, отличающийся от них аномально большим значением N.

Наряду с методом древовидной кластеризации применен также метод K-средних, проводящий классификацию объектов (ВКВУЗ) по заданному количеству кластеров. Алгоритм метода K-средних, перемещая объекты в разные кластеры с целью минимизации изменчивости внутри кластеров и максимизации изменчивости между кластерами, оценивает качество кластеризации ВКВУЗ по каждому фактору посредством параметрического дисперсионного анализа (табл. 3) как сильно значимое (на уровне значимости $0{,}0005 < p < 0{,}005$).

После оценки качества классификации рассчитываются средние значения показателей по каждому кластеру для оценивания значимости их различий между собой. Графики средних кластеров ВКВУЗ в исходном пространстве ПВИ представлены линейными графиками на рис. 2.

Для каждого ПВИ согласно апостериорному критерию наименьших значений разности (НЗР) выделены однородные (различающиеся незначимо, то есть на уровне значимости $p > 0{,}10$) иногда пересекающиеся группы кластеров (рис. 2), расположенные в порядке убывания средних:

- $m_{ЕГЭ}$: {К1–К5}, {К5–К8}, {К6–К10}.
- Dm : {К4, К6, К7}, {К6, К7, К9, К5}, {К9, К5, К1, К8, К3, К10, К2}.
- $N_{О}$: {К2}, {К5, К3, К1}, {К3, К1, К9, К10, К4, К7, К8, К6}.
- $N_{ЕГЭ}$: {К6, К8}, {К8, К1, К3, К4, К9, К5, К10, К7}, {К2}.
- $N_{Ц}$: {К7, К10}, {К4, К9, К8}, {К8, К6, К1, К5, К3, К2}.
- N: {К3, К10}, {К2, К1, К9, К8, К7, К5, К4, К6}.

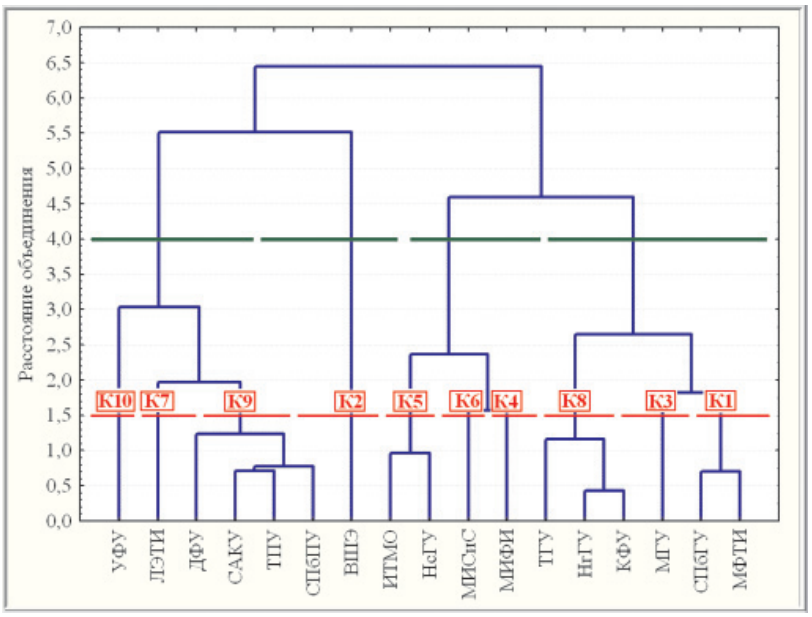


Рис. 1. Дендрограмма ВКВУЗ в пространстве {Ф1, Ф2, Ф3}

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа кластеризации ВКВУЗ по факторам

Факторы	Дисперсионный анализ					
	Между SS	cc	Внутри SS	cc	F	значим. p
Ф1	15,33	9	0,67	7	17,88	**0,0005**
Ф2	14,76	9	1,24	7	9,24	**0,0039**
Ф3	15,17	9	0,83	7	14,25	**0,0010**

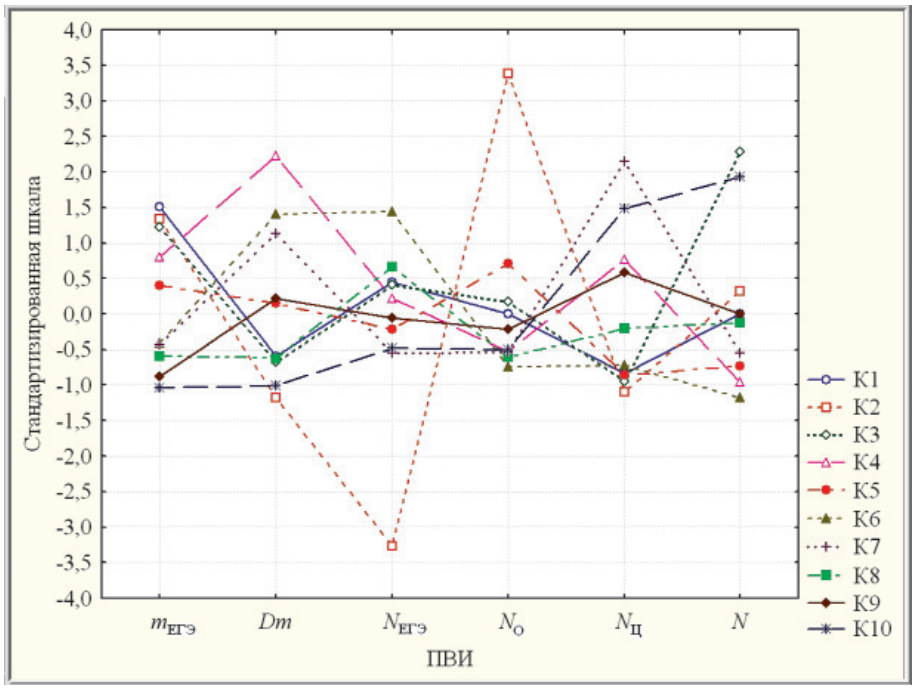


Рис. 2. Линейные графики кластерных средних ВКВУЗ в пространстве ПВИ

Результаты кластерного анализа ВКВУЗ по совокупности показателей (рис. 2) позволяют провести качественную классификацию ВКВУЗ в номинальной шкале измерений, полагая в качестве уровня «Средний» – стандартизированный интервал (–0,5; +0,5) для ПВИ. Аномально высокие значения (> + 2,0) определяют уровень «**Лидер**», а аномально низкие значения (< –2,0) определяют уровень «**Аутсайдер**». Промежуточные значения между средними и аномальными определяют уровень «Выше среднего» и «Ниже среднего» соответственно. Монокластеры характеризуются аномальными значениями по некоторым показателям: К2 (ВШЭ) – **Лидер** по $N_О$ и **Аутсайдер** по $N_{ЕГЭ}$ при уровне «Выше среднего» по $m_{ЕГЭ}$, К3 (МГУ) – **Лидер** по N при уровне «Выше среднего» по $m_{ЕГЭ}$, К4 (МИФИ) – **Лидер** по Dm, «Ниже среднего» по N при уровне «Выше среднего» по $m_{ЕГЭ}$ и $N_Ц$, К7 (ЛЭТИ) – **Лидер** по $N_Ц$ при уровне «Выше среднего» по Dm, К6 (МИСиС) имеет уровень «Выше среднего» по Dm и $N_{ЕГЭ}$, Ниже среднего по N, $N_О$ и $N_Ц$ при уровне «Средний» по $m_{ЕГЭ}$, К10 (УФУ) имеет уровень «Выше среднего» по N и $N_Ц$ при Ниже среднего по $m_{ЕГЭ}$ и Dm. Составные кластеры менее выразительны, но тем не менее имеют свои выразительные черты: К1 (МФТИ, СПбГУ) имеет уровень «Выше среднего» по $m_{ЕГЭ}$, К5 (ИТМО, НсГУ) имеет уровень «Средний–Выше среднего» по $m_{ЕГЭ}$ и $N_О$ при «Ниже среднего» по N и $N_Ц$, К8 (КФУ, НгГУ, ТГУ) имеет уровень «Выше среднего» по $N_{ЕГЭ}$, Ниже среднего по $m_{ЕГЭ}$ и Dm при уровне «Средний–Ниже среднего» по $N_О$, К9 (ТПУ, САКУ, СПбПУ, ДФУ) имеет уровень «Средний–Ниже среднего» по $m_{ЕГЭ}$ за счет слабого звена ДФУ и уровень «Средний–Выше среднего» по $N_Ц$ за счет слабого звена ТПУ.

Результаты подобной кластеризации вузов могут быть учтены в рамках проходящей реформы высшего образования, например, при финансировании вузов или сокращении их количества.

Выводы

1. На основании корреляционного анализа показателей вступительных испытаний в ведущие вузы выявлена высоко значимая наиболее сильная отрицательная корреляционная зависимость между *долевым количеством* абитуриентов, принятых по конкурсу баллов ЕГЭ и по олимпиадам.

2. В рамках кластерного анализа в 6-мерном пространстве ПВИ построена кластерная модель 17-и ведущих вузов, позволяющая проводить кластеризацию на любом уровне, т.е. строить кластерную модель с любым наперед заданным числом кластеров, что дает возможность выделять группы вузов, однородных по совокупности ПВИ.

3. Подробно рассмотрена высоко значимая 10-кластерная модель. Для каждого показателя выделены группы однородных кластеров. На основе результатов кластеризации проведена качественная классификация ведущих вузов.

Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» № 1.604.2011 и поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» по контрактам П691.

Список литературы

1. 15 вузов стали победителями конкурса на получение субсидии для вхождения в мировые рейтинги университетов (8 июля 2013 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://минобрнауки.рф/новости/3503 (дата обращения: 12.10.13)

2. Акерман Е.Н., Михальчук А.А., Трифонов А.Ю. Кластеризация социально-экономических вузов на основе рейтингов вступительных испытаний // Вестник Томского государственного университета. – 2013. – № 367. – С. 100–104.

3. Арефьев В.П. и др. Кластеризация классических университетов на основе вступительных испытаний // Открытое и дистанционное образование. – 2011. – № 3. – С. 20–31.

4. Арефьев В.П., Михальчук А.А., Болтовский Д.В. Многомерный статистический анализ рейтингов педагогических университетов на основе вступительных испытаний // Вестник Томского государственного педагогического университета. – 2012. – Вып. 2 (117). – С. 46–52.

5. Арефьев В.П., Михальчук А.А. Применение методов математической статистики для классификации рейтингов технических университетов на основе вступительных испытаний [Электронный ресурс] // Вестник науки Сибири. – 2012 .– Т. 4. – № . 3. – С. 37–43. – Режим доступа: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/350 (дата обращения: 12.10.13).

6. Гордеева Т.О. и др. Эффективность различных систем конкурсного отбора студентов // Вестник Московского университета. Серия 20: Педагогическое образование. – 2013. – № 1. – С. 38–54.

7. Качество бюджетного приема в государственные вузы – 2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.hse.ru/ege/second_section2013/rating/2013/48994839/gos/ (дата обращения: 12.10.13).

8. Михальчук А.А., Арефьев В.П. Кластерный анализ современного архитектурного образования на основе вступительных испытаний [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № . 6. – С. 1–8. – Режим доступа: http://www.science-education.ru/106-7483 (дата обращения: 12.10.13).

9. Национальные исследовательские университеты (26.04.2010) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.mon.gov.ru/pro/niu/ (дата обращения: 12.10.13).

10. Национальный рейтинг университетов 2012/2013 г. (05/06/2013) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://unirating.ru/txt.asp?rbr = 29 (дата обращения: 12.10.13).

11. Никифорова Е.П. Единый государственный экзамен как индикатор качества обучения // Теория и практика общественного развития. – 2013. – № 2. – С. 96–98.

12. Показатели мониторинга деятельности федеральных государственных высших учебных заведений и их филиалов (24 декабря 2012 года) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://минобрнауки.рф/новости/2932 (дата обращения: 12.10.13).

13. Рейтинг ВУЗов России 2013[Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://raexpert.ru/rankings/vuz/vuz_rus_2013/ (дата обращения: 12.10.13).

14. Федеральные университеты (20/07/2011) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.mon.gov.ru/pro/pnpo/fed/ (дата обращения: 12.10.13).

15. Халафян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2008. – 512 с.

References

1. *Minobrnauki* (2013) Available at:: http://minobrnauki.rf/novosti/3503 (accessed 12 October 2013).

2. Akerman E.N., Mihal'chuk A.A., Trifonov A.Ju. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, no. 367, pp. 100–104.

3. Aref'ev V.P., Mihal'chuk A.A., Boltovskij D.V. *Otkrytoe i distancionnoe obrazovanie*, 2011, no. 3, pp. 20–31.

4. Aref'ev V.P., Mihal'chuk A.A., Boltovskij D.V. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2012, no. 2 (117), pp. 46–52.

5. Aref'ev V.P., Mihal'chuk A.A. *Vestnik nauki Sibiri,* 2012, vol. 4, no. 3, pp. 37-43. – available at: http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/350.

6. Gordeeva T.O., Osin E.N., Kuzmenko N.E., Leontiev D.A., Ryzhova O.N. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 20: Pedagogicheskoe obrazovanie,*2013, no.1, pp. 38-54.

7. *Kachestvo bjudzhetnogo priema v gosudarstvennye vuzy* (2013) Available at: http://www.hse.ru/ege/second_section2013/rating/2013/48994839/gos/ (accessed 12 October 2013).

8. Mihal'chuk A.A., Aref'ev V.P. *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*, 2012, no. 6, available at: http://www.science-education.ru/106-7483.

9. *Nacional'nye issledovatel'skie universi*tety (2010) Available at: http://old.mon.gov.ru/pro/niu/ (accessed 12 October 2013).

10. Nacional'nyj rejting universitetov 2012/2013 (2013) Available at: http://unirating.ru/txt.asp?rbr = 29 (accessed 12 October 2013).

11. Nikiforova E.P. *Teorija i praktika obshhestvennogo razvitija,* 2013, no. 2, pp. 96–98.

12. *Minobrnauki* (2012) Available at: http://minobrnauki.rf/novosti/2932 (accessed 12 October 2013).

13. Rejting VUZov Rossii (2013) Available at: http://raexpert.ru/rankings/vuz/vuz_rus_2013/ (accessed 12 October 2013).

14. *Federal'nye universitety* (2011) Available at: http://old.mon.gov.ru/pro/pnpo/fed/ (accessed 12 October 2013).

15. Halafjan A.A. *Statistica 6. Statisticheskij analiz dannyh*. Moscow, Binom-Press, 2008. 512 p.

Рецензенты:

Трифонов А.Ю., д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики и математической физики, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск;

Арефьев К.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры высшей математики, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 532.529 + 629

УДАРНАЯ И ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ТЕОРИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ РАЗРЫВОВ – ЗАДАЧА КОНСТРУИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ УДАРНЫХ И ДЕТОНАЦИОННЫХ ВОЛН

Булат П.В.

ООО НОЦ «Динамика», Санкт-Петербург, e-mail: pavelbulat@mail.ru

Рассмотрены ударная и детонационная волна с точки зрения теории интерференции газодинамических разрывов. Рассмотрены основные принципы и понятия детонационного горения, проанализированы режимы медленного и детонационного горения. В статье кратко описана классификация газодинамических разрывов. Сформулированы условия динамической совместности для волновых структур, состоящих из ударных и детонационных волн. Поставлена задача и определена цель конструирования оптимальной УВС для организации детонационного горения. Предложена методика решения задачи конструирования устойчивой экстремальной УВС при помощи теории особенностей гладких отображений. Описанная теория предоставляет методические основы проектирования камер сгорания реактивных двигателей с детонационным горением. В статье приведен обзор литературы, относящейся к созданию теории интерференции газодинамических разрывов, описана история формирования математического аппарата для проектирования оптимальных УВС.

Ключевые слова: детонационный двигатель, ударная волна, детонационное горение, газодинамический разрыв

SHOCK AND DETONATION WAVE IN TERMS OF VIEW OF THE THEORY OF INTERFERENCE GAS DYNAMIC DISCONTINUITIES – THE TASK OF DESIGNING THE OPTIMAL CONFIGURATION OF SHOCK AND DETONATION WAVES

Bulat P.V.

SEC Dynamics ltd, St. Petersburg, e-mail: pavelbulat@mail.ru

The shock and detonation wave were examined from the point of view of the theory of interference of gas-dynamic discontinuities. The main concepts and principle of detonation combustion were examined, the slow-burning and detonation combustion were analyzed. The article briefly describes the classification of gas-dynamic discontinuities. The conditions of dynamic compatibility for wave structures consisting of shock and detonation waves. The problem of constructing an optimal shock-wave structures (SWS) for the organization of detonation combustion was defined. A method for solving the problem of designing a sustainable extreme SWS using theory of singularities of smooth mappings, was proposed. The theory described provides a methodological framework design of the combustion chambers of jet engines with detonation combustion. This article provides an overview of literature related to the theory of interference gas-dynamic discontinuities, describes the history of the formation of mathematical tools for the design of optimal SWS.

Keywords: engine detonation, shock wave, detonation combustion, gas-dynamic discontinuity

Детонационное горение – основные понятия и термины

Дозвуковые режимы горения объединяются общим термином «дефлаграция». Зона реакции при послойном (меделенном) горении сосредоточена в тонком слое – фронте пламени. Пламенем принято называть область горения, испускающую видимый свет. Механизм распространения послойного горения – тепловой или диффузионно-тепловой. Воспламенение свежих слоев вещества происходит за счет их прогрева теплом, поступающим из зоны химической реакции, и за счет диффузии химически активных частиц. Скорость фронта пламени относительно исходного вещества всегда дозвуковая.

В газовых смесях фронт нормального горения (ламинарное пламя, рис. 1) распространяется со скоростями от десятков сантиметров до десятка метров в секунду. При турбулизации газового потока скорость горения и эффективная толщина его фронта возрастают за счет конвективного переноса пламени местными пульсационными течениями. Такое горение называют турбулентным (рис. 1, справа).

Начальная стадия развития экзотермической реакции в некотором объеме вещества, завершающаяся резким ростом температуры за счет тепловыделения и появления пламени, носит название воспламенения. Различают самовоспламенение, возникающее за счет самопроизвольных внутренних процессов при определенных начальных термодинамических параметрах системы и граничных условиях, и вынужденное воспламенение (зажигание), производимое с помощью постороннего источника, например, нагретого тела, электрической искры, лазера или путем подвода горячих продуктов сгорания.

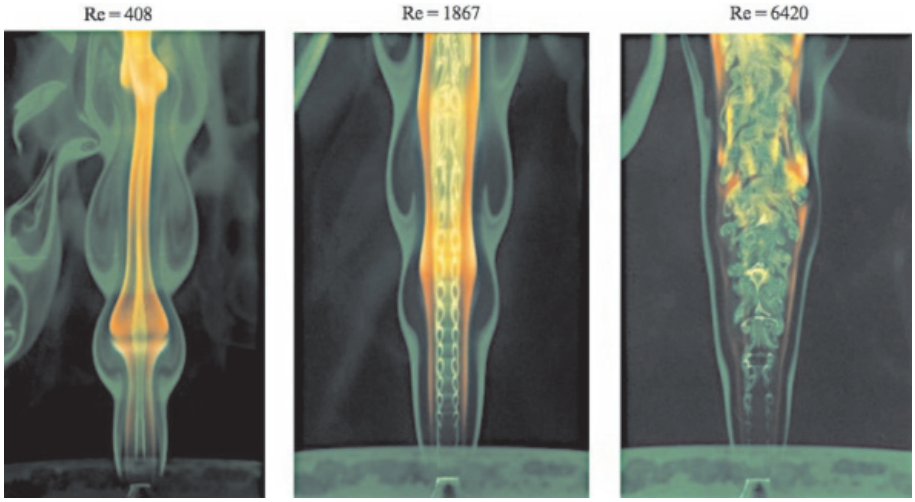


Рис. 1. Ламинарное, переходное и турбулентное горение

Законы динамической совместности на ударной волне и детонационной волне

Газодинамические разрывы (ГДР) бывают нулевого порядка Φ_0 (центр волны разрежения/сжатия, скачок уплотнения, ударная волна, детонационная волна и поверхность скольжения), на которых терпят разрыв газодинамические параметры течения (P, v, ϑ) и первого порядка, называемые также слабыми разрывами (разрывные характеристики, слабые тангенциальные разрывы) Φ_1, на которых терпят разрыв первые производные газодинамических переменных. Можно определить особенности (разрывы) Φ_i пространства газодинамических переменных любого порядка.

Условия динамической совместности (УДС) на ГДР Φ_0, связывающие параметры течения до разрыва и за ним, выводятся из законов сохранения потока вещества, потока энергии, компонент потока импульса, записанных перед разрывом и за ним. В качестве параметра в этих соотношениях выступает интенсивность разрыва J (чаще всего она определяется как отношение давления за разрывом к давлению перед ним).

Дифференциальные условия динамической совместности (ДУДС) Φ_0 связывают неравномерности течения перед скачком и за ним

$$N_i = c_i \sum_{j=1}^{5} A_{ij} N_j .$$

Коэффициенты A_{ij}, c_i опубликованы в работе В.Н. Ускова [1]. В целях общности в уравнения добавлены $N_4 = \delta / y$ ($\delta = 0$ в плоском течении) и $N_5 = K_\sigma^4$ (кривизна скачка уплотнения). УВС удобно изучать на плоскости ударных поляр $\ln J - \beta$, прозванных за характерный вид (рис. 2) сердцевидными кривыми (β – угол разворота потока на скачке).

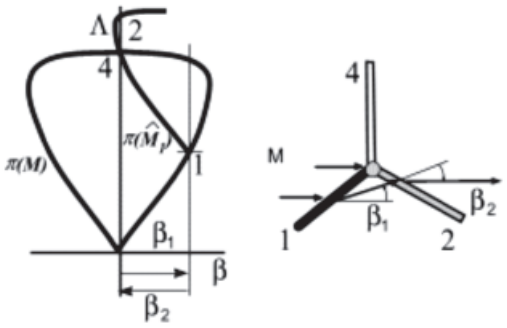


Рис. 2. Сердцевидная кривая и тройная конфигурация ударных волн

Анализ режимов медленного и детонационного горения по аналогии со скачками и ударными волнами удобно производить на плоскости адиабат (рис. 3) с помощью кривой Гюгонио (КГ), связывающей давление и удельный объем при различных режимах горения в предположении, что протяженность фронта горения (дефлаграции или детонации) мала и может быть заменена бесконечно тонким экзотермическим скачком.

Ударная адиабата связывает параметры идеального газа до ударной волны и за ней. Исходное состояние вещества до ударной волны и зоны горения характеризуются параметрами P_0, V_0. Прямая, проведенная через точку P_0, V_0 и какую-либо точку на КГ, называется прямой Михельсона или прямой Рэлея. На КГ имеются две точки касания с прямыми Михельсона, по одной на каждой ветви, причем верхней точке соответствует минимальная скорость распространения волны для верхней ветви, нижней точке касания – максимальная скорость волны для нижней.

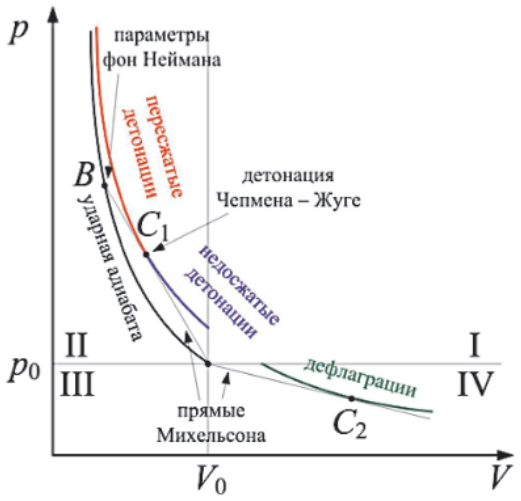


Рис. 3. Ударная адиабата (черная) и кривая Гюгонио (разноцветная)

Скорость волны для всех точек верхней ветви КГ сверхзвуковая, а для нижней ветви – дозвуковая. Таким образом, детонационным волнам соответствует только верхняя ветвь КГ. Ее называют детонационной адиабатой. Нижняя ветвь (на рис. 3 – зеленая) отвечает волнам горения, иначе, дефлаграции.

В точках касания скорость продуктов превращения относительно скачка равна местной скорости звука. Установившаяся детонация, соответствующая точке касания прямой Михельсона к детонационной адиабате, называется детонацией Чепмена–Жуге. Детонации, отвечающие участку КГ выше точки Чепмена–Жуге (на рис. 3 – красный), называют пересжатыми, так как плотность продуктов детонации за их фронтом выше, чем в точке ЧЖ. На участке КГ ниже точки Чепмена–Жуге (на рис. 3 – синий) детонации соответственно называют недосжатыми. Чепмен и Жуге предполагали, что реальные самоподдерживающиеся детонации отвечают именно точке касания. Но известны также различные виды устойчивой пересжатой детонации.

Из сказанного выше следуют два вывода:

– «оставленная в покое» детонационная волна стремится к детонации Чепмена–Жуге, т.е. реализовать более высокие параметры продуктов сгорания за фронтом детонационной волны возможно только в устойчивой пересжатой детонации;

– целью конструирования оптимальной УВС для организации детонационного горения с возможно более высокими параметрами является отыскание множества пересечения областей существования устойчивых экстремальных ТК УВС и устойчивых пересжатых детонаций.

О задаче конструирования устойчивой экстремальной УВС

УДС и ДУДС позволяют составить полный перечень возможных конфигураций взаимодействующих ГДР, а также исследовать область их существования, но они ничего не могут сказать о структурной устойчивости и возможных перестройках УВС при изменении параметра (J). Эта задача решается с помощью теории особенностей гладких отображений. Проектируя оптимальную УВС (в смысле достижения максимума некоторого функционала), мы ставим задачу, например, добиться максимального повышения статического давления за УВС при минимальных потерях полного давления. При этом УВС должна быть структурно устойчива к малым возмущениям.

Структурная устойчивость и возможные перестройки УВС стали предметом исследований в 80-е и 90-е годы. Допустимые перестройки УВС обусловлены выпуклостью ограничения на пространство импульсов функции Гамильтона уравнений типа уравнения Бюргерса [6]. Большой вклад в создание полной классификации возможных перестроек УВС внесли Богаевский [7], Гурбатов и Саичев [9] (1983 г.). Ими выявлено, что, начиная с размерности 2, пространства газовой динамики с четной и нечетной размерностью описываются разными типами геометрий, симплектической и контактной. Таким образом, классификация устойчивых УВС распадается на нетождественные подмножества в зависимости от размерности пространства.

Критической точкой гладкой функции называется точка, в которой дифференциал функции равен 0. Критическая точка называется невырожденной, если второй дифференциал – невырожденная квадратичная форма. Всякая вырожденная критическая точка при малом «шевелении» (Лемма Морса [4]) распадается на несколько невырожденных.

Закон Морса – функции общего положения (структурно устойчивые) имеют лишь невырожденные критические точки. Вырожденные критические точки появляются естественным образом только в тех случаях, когда функция зависит от параметра [12].

Итак, при исследовании УВС на структурную устойчивость, необходимо на плоскости поляр выявить вырожденные критические точки [5], а при исследовании возможных перестроек УВС при изменении параметра (интенсивности скачка) – дважды вырожденные точки. Соответствующие им УВС и их перестройки на практике реализоваться не должны.

Заключение

Таким образом, зная начальное положение УВС и направление ее изменения, можно точно предсказать, как она будет трансформироваться, будет ли течение газа за ней стационарным, нестационарным или колебательным. Используя этот математический аппарат, российские математики нашли все возможные последовательности перестроек ударных волн вплоть до трехмерного случая включительно. Видимо, первыми нашли подтверждение данной теории в ходе вычислительных экспериментов корейские ученые [13]. Они вычисляли трансформацию плоской волны детонации, распространяющейся по круглой трубе. В вычислениях задавались симметричные малые возмущения в начальный момент времени. Картина в точности повторяет схемы перестройки волновых фронтов, приведенные в работе В.И. Арнольда [3]. Таким образом, была создана теория и математический аппарат, достаточный для проектирования оптимальных УВС в детонационной камере сгорания, работающей как в стационарном, так и в импульсном режиме.

С помощью описанного математического аппарата автор решил задачу об отыскании диска Маха в сверхзвуковой струе, а также о колебательном движении тройных конфигураций ударных волн при взаимодействии с перпендикулярной преградой.

Список литературы

1. Арнольд В.И. Лекции об уравнениях с частными производными. – М.:ФАЗИС, 1997. –180 с.
2. Арнольд В.И., Варченко А.Н., Гусейн-Заде С.М. Особенности дифференцируемых отображений. Том 1. Классификация критических точек, каустик и волновых фронтов. М.: Наука, 1982, 304 с., Том 2. Монодромия и асимптотики интегралов. – М.: Наука, 1984. –334 с.
3. Арнольд В.И. Особенности каустик и волновых фронтов. – М.:ФАЗИС, 1996. – 334 с.
4. Богаевский И.А. Особенности распространения коротких волн на плоскости // Мат. Сб. – 1995. – № 186 (11). – С. 35–52.
5. Богаевский И.А. Перестройки особенностей функций минимума и бифуркации ударных волн уравнений Бюргерса с исчезающей вязкостью // Алгебра и анализ. – 1989. – № 1(4). – С. 1–16.
6. Булат П.В., Засухин О.Н., Усков В.Н. Формирование струи при плавном запуске сопла Лаваля // Газодинамика и теплообмен. Вып. 10. Течения газов в каналах и струях. – СПб.: Изд-во СПУ, 1993. – С. 1–22.
7. Гурбатов С.Н., Саичев А.И., Якушин И.Г. Нелинейные волны и одномерная турбулентность в средах без дисперсии // Успехи физ. наук. – 1983. – № 141 (2). – С. 221–255.
8. Усков В.Н. и др. Интерференция стационарных газодинамических разрывов. – Новосибирск: ВО «Наука», 1995. – 180 с.
9. Усков В.Н., Булат П.В., Продан Н.В. История изучения нерегулярного отражения скачка уплотнения от оси симметрии сверхзвуковой струи с образованием диска Маха // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9 (часть 2). – С. 414–420;
10. Усков В.Н., Булат П.В. О задаче проектирования идеального диффузора для сжатия сверхзвукового потока // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 6 (часть 1). – С. 178–184.
11. Усков В.Н., Булат П.В. Об исследовании колебательного движения газового подвеса ротора турбохолодильных и детандерных машин. Часть II. Колебания давления в соплах питающей системы на сверхкритическом режиме работы // Вестник МАХ. – 2012. – № 1. – С. 57–60.
12. Arnold V.I. Wave front evolution and equivariant Morse lemma. Comm. – Pure Appl. Math. – 1976. – № 29(6). – P. 557–582.
13. Deok-Rae Cho, Su-Hee Won, Jae-Ryul Shin, Jeong-Yeol Choi. Numerical study of three-dimensional detonation wave dynamics in a circular tube. – Proceedings of the Combustion Institute. – 2013. – Vol. 34, Issue 2. – P. 1929–1937.

References

1. Arnol'd V.I. *Lekcii ob uravnenijah s chastnymi proizvodnymi*. M.: FAZIS, 1997, 180 p.
2. Arnol'd V.I., Varchenko A.N., Gusejn-Zade S.M. *Osobennosti differenciruemyh otobrazhenij. Tom 1. Klassifikacija kriticheskih tochek, kaustikivolnovyh frontov*. M.: Nauka, 1982, 304 s., *Tom 2. Monodromijai asimptotiki integralov*. M.: Nauka, 1984, 334 p.
3. Arnol'd V.I. *Osobennosti kaustiki volnovyh frontov*. M.:FAZIS, 1996, 334 p.
4. Bogaevskij I.A. *Osobennosti rasprostranenija korotkih voln na ploskosti*. Mat. Sb. 1995, 186 (11), 35–52 p.
5. Bogaevskij I.A. *Perestrojki osobennostej funkcij minimuma i bifurkaciiudarnyh voln uravnenij Bjurgersa s ischezajushh ejvjazkost'ju*. Algebra i analiz, 1989, 1(4), p.1-16.
6. Bulat P.V., Zasuhin O.N., Uskov V.N. *Formirovanie strui pri plavnom zapuske sopla Lavalja* // Gazodinamika i teploobmen. Vol. 10. Techenija gazov v kanalah istrujah. SPb.: Izd-vo SPU, 1993. pp. 1–22.
7. Gurbatov S.N., Saichev A.I., Jakushin I.G. *Nelinejnye volny i odnomernaja turbulentnost' v sredah bezdispersii.* Usphehifiz.Nauk., 1983, 141 (2), pp. 221–255.
8. Uskov V.N. i dr. *Interferencija stacionarnyh gazodinamicheskih razryvov.* Novosibirsk: VO «Nauka», 1995. 180 p.
9. Uskov V.N., Bulat P.V., Prodan N.V. *Istorija izuchenija nereguljatornogo otrazhenija skachka uplotnenija ot osi simmetriisverh zvukov ojstrui s obrazovaniem diska Maha.* // Fundamental'nyeissledovanija. 2012. no. 9 (chast' 2). pp. 414–420.
10. Uskov V.N., Bulat P.V. *O zadache proektirovanija ideal'nogo diffuzora dlja szhatijasverh zvukovogopotoka* // Fundamental'nye issledovanija. 2012. no. 6 (chast' 1). pp.178–184.
11. Uskov V.N., Bulat P.V. *Obissledovanii kolebatel'nogo dvizhenija gazovogo podvesa rotora turboholodil'nyh i detandernyh mashin. Chast'II. Kolebanija davlenija v soplah pitajushhej sistemy nasverh kriticheskom rezhimeraboty* // Vestnik MAN. 2012. no. 1. pp. 57–60.
12. Arnold V.I. Wave front evolution and equivariant Morse lemma. Comm. Pure Appl. Math., 1976, 29(6), 557–582.
13. Deok-Rae Cho, Su-Hee Won, Jae-Ryul Shin, Jeong-Yeol Choi. Numerical study of three-dimensional detonation wave dynamics in a circular tube. Proceedings of the Combustion Institute. Volume 34, Issue 2, 2013, pp. 1929–1937.

Рецензент:

Усков В.Н., д.т.н., профессор Балтийского государственного технического университета «Военмех», г. Санкт-Петербург;

Емельянов В.Н., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Плазмогазодинамика и теплотехника» Балтийского государственного технического университета «Военмех», г. Санкт-Петербург;

Криштоп В.В., д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой «Физика», Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, профессор Университета Kwangwoon University, Korea.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 538.9-405 + 62-1/-9

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ СОРБЦИИ И ДЕСОРБЦИИ ВОДОРОДА ПРИ ПОМОЩИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА GAS REACTION CONTROLLER LP

Кудияров В.Н., Лидер А.М.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: victor31479@mail.ru

Описаны принцип работы, конструкция и основные компоненты автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP, а также методика проведения экспериментов по изучению процессов сорбции и десорбции водорода. Использование комплекса позволяет проводить эксперименты в диапазоне температур от –30 °С до 1000 °С и в диапазоне давлений от 0,02 до 202,64 кПа (для камеры низкого давления) и до 5066 кПа (для камеры высокого давления). Комплекс может быть использован для проведения вакуумного отжига образцов с размерами, не превышающими значения ∅30 мм на 80 мм (для камеры низкого давления). Максимальный размер образцов для камеры высокого давления ограничен значением Æ6 мм на 20 мм. Работоспособность комплекса и достоверность получаемых результатов проверены на образцах $LaNi_5$ и Y.

Ключевые слова: сорбция водорода, десорбция водорода, автоматизированный комплекс

INVESTIGATION OF HYDROGEN SORPTION AND DESORPTION PROCESSES WITH THE HELP OF AUTOMATED COMPLEX GAS REACTION CONTROLLER LP

Kudiiarov V.N., Lider A.M.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: victor31479@mail.ru

The operational principle, construction and main components of automated complex Gas Reaction Controller LP and experimental technique of hydrogen sorption and desorption processes investigation have been described in this work. Using the complex allows to conduct experiments in temperature range from –30 °C to 1000 C and in pressure range from 0,02 to 202,64 kPa (for low-pressure chamber) and for 5066 kPa (for high-pressure chamber). Complex can be used to conduct vacuum annealing of samples with sizes not exceed values ∅30 mm and 80 mm (for low-pressure chamber). The maximum size of samples for high-pressure chamber is Æ6 mm and 20 mm. Complex operability and results reliability have been verified by using samples of $LaNi_5$and Y.

Keywords: hydrogen sorption, hydrogen desorption, automated complex

Изучение процессов сорбции и десорбции водорода представляет интерес для различных фундаментальных и прикладных задач. Так, в сфере водородной энергетики необходимо изучать материалы-накопители водорода [10]. Накопители водорода исследуются на максимальную емкость [13], изучаются условия введения и вывода водорода и количество таких циклов [11]. В ядерной энергетике и в тех отраслях промышленности, где такие гидридообразующие материалы, как сплавы циркония [8], различные марки стали [5], титановые сплавы [7] подвергаются наводораживанию и охрупчиванию, необходимо разрабатывать методы защиты от проникновения водорода. Для этого поверхности этих материалов модифицируют различными воздействиями [9] или наносят на них защитные покрытия [4]. Изучение таких методов зашиты и сравнение эффективности того или иного способа возможно при изучении и сравнении процессов сорбции водорода образцами до нанесения защитных покрытий и после. Также представляет интерес создание неразрушающих методов контроля для определения повышения содержания водорода и формирования гидридов в конструкционных материалах. Для этого необходимо подготавливать серии образцов с заранее заданными различными концентрациями водорода. Подготовка серий образцов также необходима для изучения фундаментальных вопросов в системах материал-водород [1, 6]. Все эти возможности реализованы в автоматизированном комплексе Gas Reaction Controller (GRC) Low Pressure Model. Конструкция автоматизированного комплекса GRC разработана коллективом кафедры Общей физики ФТИ Национального исследовательского Томского политехнического университета. Реализация комплекса осуществлена фирмой Advanced Materials Corporation. В настоящей работе описаны принцип работы, конструкция и основные компоненты, различные режимы работы автоматизированного комплекса GRC LP. Описание методики изучения процессов сорбции и десорбции водорода и проверка достоверности получаемых результатов выполнены на образцах $LaNi_5$ и Y.

Принцип работы

Автоматизированный комплекс GRC разработан для определения количества сорбированного газа различными твердыми телами в различных диапазонах температур и давлений. Принцип работы GRC можно понять из рис. 1.

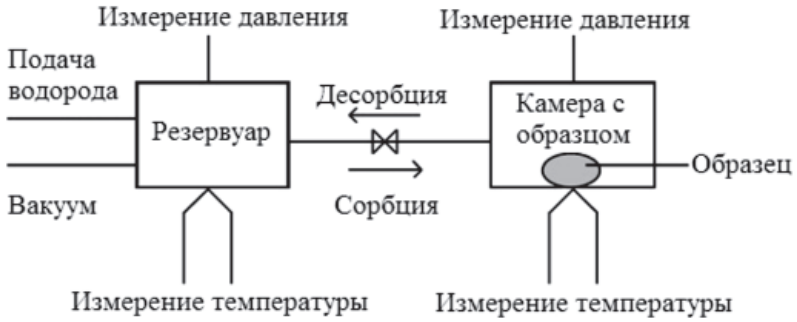


Рис. 1. Принцип работы автоматизированного комплекса GRC

Заданное количество водорода напускается в резервуар и определяется его молярный объем (N_0) по давлению и температуре. Затем открывается клапан между резервуаром и реакционной камерой, и водород передается из резервуара в реакционную камеру. После внедрения водорода в твердое тело реакция завершается, и вычисляется общее молярное количество водорода (N_g) в камере с образцом и в резервуаре.

Молярный объем водорода поглощенного твердым телом (N_S) находится по формуле (1).

$$N_S = N_0 - N_g. \qquad (1)$$

Если в твердом теле уже содержится некоторое известное количество водорода (N_{S0} (к примеру, электрохимическим методом сформированный гидрид), то перед началом реакции необходимо внести значение содержания водорода в программу. Тогда для расчета молярного объема водорода, поглощенного твердым телом, формула (1) изменяется с учетом начальной концентрации водорода в твердом теле (формула (2)).

$$N_S = N_{S0} + N_0 - N_g. \qquad (2)$$

Поскольку молярный объем водорода рассчитывается по закону идеального газа, то точность системы ограничивается точностью измерений давления и температуры. Когда температура постоянно поддерживается одинаковой, точное измерение давления является основным фактором и необходимым условием [2]. При проведении экспериментов по изучению сорбции водорода на GRC точность измерения количества поглощенного водорода составляет 0,3 см^3 при нормальных условиях.

Количество водорода в реакционной камере до, в процессе и после реакции с образцом определяется по давлению водорода, его температуре и занимаемому им объему. Уравнение для одного моля газа записывается по формуле

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{B(T)}{V} + \frac{C(T)}{V^2} + \frac{D(T)}{V^3}, \qquad (3)$$

где $B(T)$, $C(T)$ и $D(T)$ – второй, третий и четвертый коэффициенты, зависящие от температуры. Эти коэффициенты рассчитываются по уравнению Beattie and Bridgeman [14] при помощи пяти констант. Уравнения для коэффициентов представлены в формуле

$$B(T) = B_0 - \frac{A_0}{RTT} - \frac{c}{^3};$$
$$C(T) = -B_0 b + \frac{A_0 a}{RT} - \frac{B_0 c}{T^3}; \qquad (4)$$
$$D(T) = \frac{B_0\, bc}{T^3}.$$

Для водорода значения констант: $A_0 = 0{,}1975$, $a = -0{,}00506$, $B_0 = 0{,}02096$, $b = -0{,}04359$, $c = 504$.

Из уравнений (3) и (4) количество молекул газа в известном объеме и при известных давлении и температуре рассчитывается по формуле

$$n = \frac{\left(\frac{pV}{RT}\right)}{1 + B(T)\frac{n}{V} + C(T)\frac{n^2}{V^2} + D(T)\frac{n^3}{V^3}}. \qquad (5)$$

Значение n определяется операционным методом. Количество поглощенного водорода определяется как в абсолютном значении (см^3), так и в относительном (массовые проценты). Абсолютное значение количества поглощенного водорода определяется как молярный объем водорода, поглощенного твердым телом (рассчитанный по формуле (1) или (2)), умноженный на 22413,6. Относительное значение количества поглощенного в массовых процентах (wt) определяется по формуле

$$wt = \frac{N_S \cdot M_G}{m \cdot 100}, \qquad (6)$$

где m – масса образца и M_G – молярная масса газа (2·1,0079 для водорода). Если известна молярная масса для образца, то

соотношение (x) атомов газа к атомам образца определяется по формуле

$$x = \frac{2N_S}{n/M} = \frac{2M}{M_G}\frac{wt}{100} = \frac{M \cdot wt}{100,79}. \qquad (7)$$

К примеру, если образец $LaNi_5$ (с молярным весом 432 г) сорбировал 1,4 масс.% водорода (значение рассчитывается по формуле (6)), то количество водорода на один моль образца составит 432 г·1,4 масс.% = 6,05 г. Тогда молярное содержание атомов водорода по формуле (7) составит 6,05/1,0079 = 6,00. Таким образом, формула гидрида будет $LaNi_5H_{6,00}$.

Конструкция и основные компоненты

Автоматизированный комплекс GRC, схема которого изображена на рис. 2, состоит из компьютера (1) с программным обеспечением на базе LabVIEW, высокотемпературной печи или криостата (2), камер для образцов (3): низкого (4) и высокого (5) давлений и контроллера (6). Контроллер состоит из электронной системы управления комплексом (7) и вакуумной части. Вакуумная часть состоит из резервуара (8), резервуара низкого давления (9), резервуара высокого давления (10), системы пневмонических и ручных клапанов, дросселей, вакуумметров, натекателей и фильтров. В целях безопасности между резервуарами (низкого и высокого давления) и камерами для образцов установлены системы экстренного удаления водорода (11), через которые водород удаляется при превышении максимально допустимого давления. Для создания и поддержания вакуума в системе используется вакуумный пост (12), состоящий из форвакуумного мембранного и турбомолекулярного насосов. Водород в вакуумную систему подается из баллона (13) или генератора (14). Для предотвращения повреждений соединительных проводов вследствие нагрева между печью и контроллером установлена система охлаждения (15).

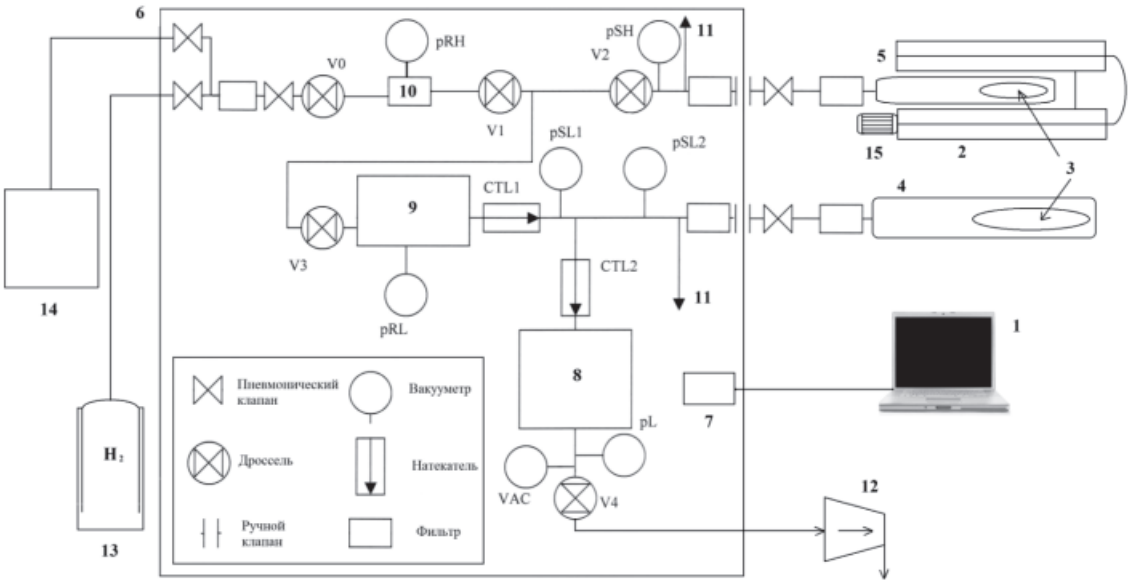


Рис. 2. Схема автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller:
1 – компьютер; 2 – печь/криостат; 3 – образец; 4 – камера низкого давления; 5 – камера высокого давления; 6 – контроллер; 7 – электронная система управления комплексом; 8 – резервуар; 9 – резервуар низкого давления; 10 – резервуар высокого давления; 11 – система экстренного удаления водорода; 12 – вакуумный пост; 13 – баллон с водородом; 14 – генератор водорода; 15 – система охлаждения

Использование криостата и высокотемпературной печи позволяет проводить исследования в диапазоне температур от –30°C до 1000°C. При работе с высокими температурами используется линейный нагрев образца в камере с заданной скоростью нагрева при постоянной откачке. Постоянная откачка необходима для удаления десорбированных газов в процессе нагрева. Линейный нагрев с заданной скоростью и возможность поддержания высокого вакуума в камере делают возможным проведение вакуумного отжига образцов. Максимальный размер образцов ограничен размерами камер: ∅30 мм на 80 мм для камеры низкого давления и Æ6 мм на 20 мм для камеры высокого давления. Максимальное значение давления водорода в камере низкого давления составляет 202,64 кПа, в камере высокого давления – 5066 кПа.

Методика проведения экспериментов

Для решения многих задач, стоящих перед исследователями взаимодействия водорода с материалами, могут быть использованы автоматические режимы работы GRC:

1. SOAK. В камеру с образцом напускается водород с заданным давлением при определенной температуре. Образец выдерживается в данной атмосфере необходимое время. С заданной периодичностью значения давления и температуры и количество поглощенного водорода записываются на компьютер. Данный режим может использоваться для изучения кинетики сорбции водорода и для подготовки образцов с заранее заданными концентрациями.

2. RELEASE. При работе в этом режиме (часто используется сразу после режима SOAK) давление водорода в камере с образцом, уже содержащим водород, постепенно уменьшается. На компьютер фиксируется зависимость количества десорбированного водорода от времени (изучение кинетики десорбции водорода). Многократное использование режимов SOAK и RELEASE без извлечения образца из вакуумной камеры позволяет исследовать максимально возможное количество циклов сорбции и десорбции водорода в материалах-накопителях.

3. PCI. Построение зависимости максимального количества сорбированного (PCI absorption) или десорбированного (PCI desorption) водорода от давления в камере при постоянной температуре. При использовании данного режима можно получить важную информацию о характере реакций сорбции и десорбции водорода, такую как гистерезис сорбции и десорбции водорода и их скорости.

4. Monitor. Регулярная запись на компьютер значений температуры и давления. Режим используется при осуществлении нагрева образца перед напуском водорода и при вакуумном отжиге.

Эксперименты по изучению процессов сорбции и десорбции водорода выполняются в следующей последовательности: образец взвешивается, масса и плотность заносятся в программное обеспечение комплекса, образец помещается в камеру, камера подсоединяется к вакуумной системе и вакуумируется, осуществляется линейный нагрев (либо охлаждение) с непрерывной откачкой. Затем выполняется один из режимов, описанных выше. После завершения режима производится откачка водорода из камеры и охлаждение (либо нагрев).

Для проверки работоспособности комплекса и достоверности получаемых результатов были исследованы образцы $LaNi_5$ и Y. Образец $LaNi_5$ массой 1,6642 г., обернутый кварцевой ватой (0,1086 г.) для предотвращения попадания в камеру маленьких частиц металла, образующихся при сорбции и десорбции водорода, помещался в камеру высокого давления. Образцы активировались для сорбции водорода напусканием и откачкой водорода из камеры по нескольку раз. Затем проводилось исследование в режиме PCI при высоких давлениях и комнатной температуре. Образец *Y* массой 1,2101 г., обернутый танталовой фольгой (с массой 3,3715 г.) и кварцевой ватой (0,58 $см^3$), помещался в камеру низкого давления. Исследование проводилось в режиме PCI при низких давлениях и при температуре 800 °C.

На рис. 3 изображены графики зависимости количества сорбированного и десорбированного образцами водорода от давления в камере. Кинетика сорбции водорода образцами приведена на рис. 4.

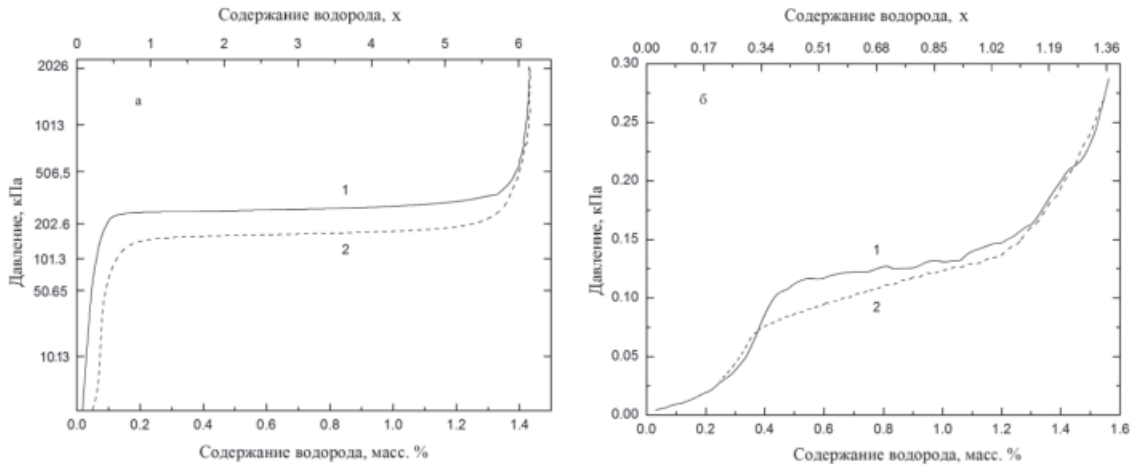


Рис. 3. График зависимости количества сорбированного и десорбированного водорода образцами (а – $LaNi_5$, б – Y) от давления в камере: 1 – сорбция; 2 – десорбция

$LaNi_5$ является очень хорошо исследованным материалом-накопителем водорода, может сорбировать большое количество водорода при комнатной температуре с образованием гидрида $LaNi_5H_6$ и используется при калибровке установок для исследования процессов сорбции и десорбции водорода [3, 12]. Y является менее изученным материалом для накопления водорода, но при повышенной температуре и низких давлениях может сорбировать большое количество водорода. Полученные результаты, представленные на рисунках 3 и 4, хорошо согласуются с результатами других авторов [3, 12]. Это свидетельствует о том, что комплекс правильно сконструирован и точно собран, а получаемые при использовании комплекса результаты являются достоверными.

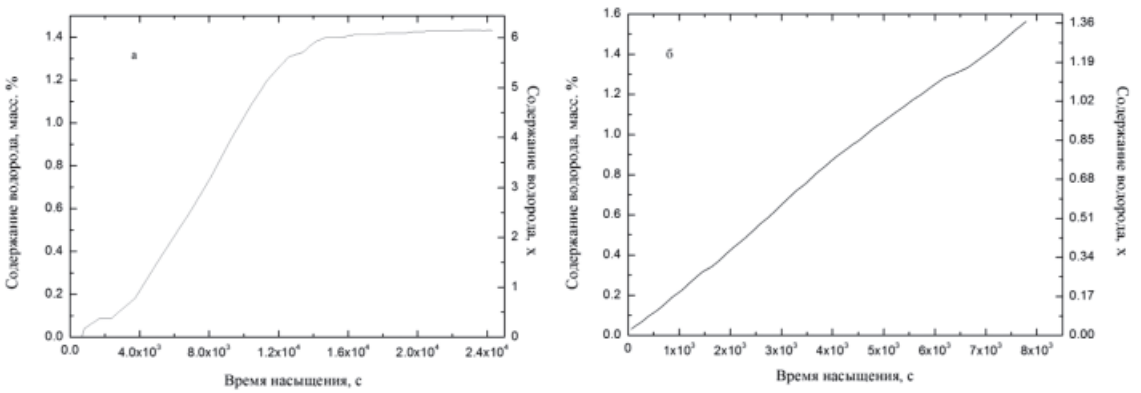


Рис. 4. График зависимости количества сорбированного водорода образцами (а – $LaNi_5$, б – Y) от времени

Заключение

Принцип работы, конструкция и основные компоненты автоматизированного комплекса Gas Reaction Controller LP, а также методика проведения экспериментов по изучению процессов сорбции и десорбции водорода описаны в работе. Использование комплекса позволяет изучать процессы сорбции и десорбции водорода в диапазоне температур от –30 °С до 1000 °С и в диапазоне давлений от 0,02 до 202,64 кПа (для камеры низкого давления) и до 5066 кПа (для камеры высокого давления). Комплекс также может быть использован для проведения вакуумного отжига образцов с размерами, не превышающими значения ∅30 мм на 80 мм (для камеры низкого давления). Максимальный размер образцов для камеры высокого давления ограничен значением Æ6 мм на 20 мм. Проведена проверка работоспособности комплекса и достоверности получаемых результатов на образцах $LaNi_5$ и Y.

Список литературы

1. Кудияров В.Н., Лидер А.М., Пушилина Н.С., Кренинг Х.В. Особенности распределения водорода в титане ВТ1-0 в зависимости от способа насыщения: электролитическим способом и методом Сивертса // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – № . 11 – С. 10–15.

2. BroomD.P., MorettoP. Accuracy in hydrogen sorption measurements // Journal Alloys and Compounds 446-447 (2007) 687–691.

3. Cheng H.H., Deng X.X., Li S.L. et al. Design of PC based high pressure hydrogen absorption/desorption apparatus // International Journal of Hydrogen Energy. – 2007. – № 32. – P. 3046–3053.

4. Denis Levchuk, Harald Bolt, Max Dobeli, Simon Eggenberger, Beno Widrig, Jurgen Ramm. Al-Cr-O thin films as an efficient hydrogen barrier // Surface & Coatings Technology 202 (2008) 5043–5047.

5. DongC.F., LiuZ.Y., LiX.G., ChengY.F. Effects of hydrogen-charging on the susceptibility of X100 pipeline steel to hydrogen-induced cracking // International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 9879–9884.

6. Lider A.M., Pushilina N.S., Kudiiarov V.N., Kroening M. Investigation of hydrogen distribution from the surface to the depth in technically pure titanium alloy with the help of glow discharge optical emission spectroscopy // Applied Mechanics and Materials Vol. 302 (2013) pp. 92–96.

7. Madina V., AzkarateI. Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: hydrogen embrittlement of titanium alloys // International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 5976–5980.

8. McRae G.A., Coleman C.E., Leitch B.W. The first step for delayed hydride cracking in zirconium alloys // Journal of Nuclear Materials 396 (2010) 130–143.

9. Pushilina N.S., Stepanova E.N., Berezneeva E.V., Lider A.M., Chernov I.P., Ivanova S.V. Effect of pulsed electron beam treatment and hydrogen on properties of zirconium alloy // Applied Mechanics and Materials Vol. 302 (2013) pp. 66–71.

10. Rather S., Mehraj-ud-din N., Zacharia R., Hwang S.W., Kim A.R., Nahm K.S. Hydrogen storage of nanostuctured TiO2-impregnated carbon Nanotubes // International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 961–966.

11. Srinivas G., Sankaranarayanan V., Ramaprabhu S. Kinetics of hydrogen absorption in Ho1-xMmxCo2 alloys // Journal of Alloys and Compounds 448 (2008) 159–165.

12. Voskuilen T., Zheng Y., Pourpoint T. Development of a Sievert apparatus for characterization of high hydrogen sorption

materials // International Journal of Hydrogen Energy. 2010. № 35. P. 10387–10395.

13. Zacharia R., Kim K.Y., Hwang S.W., Nahm K.S. Intrinsic linear scaling of hydrogen storage capacity of carbon Nanotubes with the specific surface area // Catalysis Today 120 (2007) 426–431.

14. Z. Physik 62, 95 (1930).

References

1. Kudiiarov V.N., Lider A.M., Pushilina N.S., Kroening M. Osobenosti raspredelenia vodoroda v titane VT1-0 v zavisimosti ot sposoba nasicheniya: electroliticheskimimetodomSivertsa // Mezhdunarodniy nauchniy zhurnal «Alternativnayia energeticaie cologia» no. 11 (115) 2012.

2. Broom D.P., Moretto P. Accuracy in hydrogen sorption measurements // Journal Alloys and Compounds 446–447 (2007) 687–691.

3. Cheng H.H., Deng X.X., Li S.L. et al. Design of PC based high pressure hydrogen absorption/desorption apparatus // International Journal of Hydrogen Energy. 2007. no. 32. pp. 3046–3053.

4. Denis Levchuk, Harald Bolt, Max Dobeli, Simon Eggenberger, Beno Widrig, Jurgen Ramm. Al-Cr-O thin films as an efficient hydrogen barrier // Surface & Coatings Technology 202 (2008) 5043–5047.

5. Dong C.F., Liu Z.Y., Li X.G., Cheng Y.F. Effects of hydrogen-charging on the susceptibility of X100 pipeline steel to hydrogen-induced cracking // International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 9879–9884.

6. Lider A.M., Pushilina N.S., Kudiiarov V.N., Kroening M. Investigation of hydrogen distribution from the surface to the depth in technically pure titanium alloy with the help of glow discharge optical emission spectroscopy // Applied Mechanics and Materials Vol. 302 (2013) pp. 92–96.

7. Madina V., Azkarate I. Compatibility of materials with hydrogen. Particular case: hydrogen embrittlement of titanium alloys // International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 5976–5980.

8. McRae G.A., Coleman C.E., Leitch B.W. The first step for delayed hydride cracking in zirconium alloys // Journal of Nuclear Materials 396 (2010) 130–143.

9. Pushilina N.S., Stepanova E.N., Berezneeva E.V., Lider A.M., Chernov I.P., Ivanova S.V. Effect of pulsed electron beam treatment and hydrogen on properties of zirconium alloy // Applied Mechanics and Materials Vol. 302 (2013) pp. 66–71.

10. Rather S., Mehraj-ud-din N., Zacharia R., Hwang S.W., Kim A.R., Nahm K.S. Hydrogen storage of nanostuctured TiO_2-impregnated carbon Nanotubes // International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 961–966.

11. Srinivas G., Sankaranarayanan V., Ramaprabhu S. Kinetics of hydrogen absorption in $Ho_{1-x}Mm_xCo_2$ alloys // Journal of Alloys and Compounds 448 (2008) 159–165.

12. Voskuilen T., Zheng Y., Pourpoint T. Development of a Sievert apparatus for characterization of high hydrogen sorption materials // International Journal of Hydrogen Energy. 2010. no. 35. pp. 10387–10395.

13. Zacharia R., Kim K.Y., Hwang S.W., Nahm K.S. Intrinsic linear scaling of hydrogen storage capacity of carbon Nanotubes with the specific surface area // Catalysis Today 120 (2007) 426–431.

14. Z. Physik 62, 95 (1930).

Рецензенты:

Мамонтов А.П., д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики Физико-технического института, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Тимченко Н.А., д.ф.-м.н., профессор кафедры общей физики Физико-технического института, ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 615.211.45:547.466(043.3)

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ФОРМ АНИЛОКАИНА В МЕДИЦИНСКУЮ ПРАКТИКУ

Алексеева И.В., Панцуркин В.И.

ГБОУ ВПО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Минздрава России, Пермь, Пермь, e-mail: irina2473@mail.ru

В настоящее время появилась возможность более успешно лечить раневые и воспалительные процессы, используя в составах лекарственных форм высокоэффективный отечественный местный анестетик анилокаин, синтез которого осуществлен в Пермской государственной фармацевтической академии. Ценным свойством анилокаина является выраженное поверхностноанестезирующее действие, а также наличие противовоспалительной и умеренной антимикробной активности, чем он выгодно отличается от применяемых в медицинской практике других местных анестетиков. Для обоснования составов и технологии лекарственных форм анилокаина для наружного применения проведен комплекс технологических, физико-химических, биофармацевтических и фармакологических исследований. Проведенные доклинические и клинические исследования анилокаина в разнообразных лекарственных формах показали его высокую терапевтическую эффективность. Результаты, полученные в ходе экспериментальных исследований, свидетельствуют о возможности и перспективности использования предложенных лекарственных форм для лечения раневых и воспалительных процессов.

Ключевые слова: местные анестетики, анилокаин, мази, суппозитории, пленки лекарственные

STATE AND PROSPECTS OF INTRODUCTION OF MEDICINAL FORMS ANILOCAINE IN MEDICAL PRACTICE

Alekseeva I.V., Pantsurkin V.I.

Perm State Pharmaceutical Academy, Perm, e-mail: irina2473@mail.ru

Now there was a possibility of more to successfully treat the wound and inflammatory processes, using combinations of medicinal forms a highly effective domestic local anesthetic anilocain, the synthesis of which is carried out in the Perm state pharmaceutical Academy. Valuable property anilocaine is expressed surface anaesthesia action, as well as the availability of anti-inflammatory and moderate antimicrobial activity than it favorably differs from those used in medical practice of other local anesthetics. To justify the compositions and the technology of medicinal forms anilocaine for external use a complex of technological, chemical, physical, biopharmaceutical and pharmaceutical research. Conducted preclinical and clinical studies anilocaine in a variety of medicinal forms and demonstrated its high therapeutic efficacy. The results obtained in the pilot study, indicate the possibility and prospects of usage of the offered medicinal forms to treat trauma, and inflammatory processes.

Keywords: local anaesthetics, anilocain, ointments, suppositories, films medicinal

Основная задача отечественной фармацевтической промышленности – обеспечение населения страны не только недорогими и качественными препаратами для лечения особо значимых заболеваний, но и инновационными лекарственными средствами, разработанными и произведенными в России в соответствии с самыми высокими международными стандартами [5].

Несмотря на обилие имеющихся на фармацевтическом рынке медикаментозных средств для местного лечения раневых и воспалительных процессов приходится констатировать, что желаемая степень терапевтического эффекта до сих пор не достигнута. Решению этой задачи, с нашей точки зрения, будет способствовать внедрение в широкую медицинскую практику отечественного анестетика анилокаина, синтез и первичная фармакологическая оценка которого осуществлены в Пермской государственной фармацевтической академии (ПГФА) [7]. Как лекарственное средство анилокаин зарегистрирован (рег. номер 97/292/2) приказом Минздрава РФ № 292 от 3.10.1997 года и внесен в Государственный реестр лекарственных средств России. Он обладает выраженной активностью при всех видах анестезии, превосходя по эффективности тримекаин. Анилокаин в 1,5 раза менее токсичен, чем лидокаин, характеризуется отсутствием отрицательного влияния на дыхание, кровообращение и ЦНС. Ценным свойством анилокаина является выраженное поверхностноанестезирующее действие, а также наличие противовоспалительной и умеренной антимикробной активности, чем он выгодно отличается от применяемых в медицинской практике других местных анестетиков [8]. В связи с этим разработка на его основе лекарственных форм местноанестезирующего и противовоспалительного действия наружного применения для лечения раневых и воспалительных процессов различной этиологии представляется целесообразной.

Цель работы – создание на основе комплекса исследований эффективных и стабильных лекарственных форм анилокаина

для наружного применения, обладающих полифакторным воздействием на раневые и воспалительные процессы.

Ежегодно в Российской Федерации регистрируются более 12 млн больных с раневыми и воспалительными процессами различной этиологии [4], из них у 15 тыс. больных развиваются тяжелые осложнения. Неотъемлемое место в терапии раневых повреждений занимают средства в виде мазевых аппликаций, составляющих в настоящее время 80 % среди готовых дерматологических ЛФ. Их отличает удобство применения, простота изготовления, дешевизна, что имеет немаловажное значение. Практическая медицина на сегодняшний день располагает целым рядом лекарственных препаратов для местного воздействия на I фазу раневого процесса. В то же время ассортимент отечественных препаратов, применяемых для лечения II фазы раневого процесса, весьма ограничен и представлен комбинированными мазями на регулируемой осмотической основе метилдиоксилином и стрептонитолом. К недостаткам данных мазей относится отсутствие в их составе местноанестезирующего компонента, а также наличие стрептоцида с известной антибиотикорезистентностью к нему микроорганизмов. Исходя из современных требований комплексного (обезболивающего, противовоспалительного, ранозаживляющего, антимикробного) действия на рану, а также с учетом реологических характеристик, биологической доступности, умеренной осмотической активности и способности сохранять стабильность в процессе хранения, предложены мазь «Анилкам» на гидрофильной основе и мазь «Аникол» для лечения ран II фазы на эмульсионной основе. Из действующих активных компонентов помимо анилокаина в состав мази «Анилкам» входит диоксидин, проявляющий высокую антимикробную активность, в состав мази «Аникол» – димексид, усиливающий фармакологическое действие анестетика.

Проведенные доклинические исследования мази «Анилкам» показали, что предложенная композиция обладает полифакторным действием на гнойно-воспалительные процессы кожи и слизистых оболочек: обезболивающим, противовоспалительным, антимикробным и является осмотически активной. По эффективности мазь «Анилкам» не уступает мази «Левосин» и имеет более выраженное ранозаживляющее действие, что выражается в сокращении сроков заживления, эпителизации и формирования зрелой волокнистой соединительной ткани типичного гистологического строения в зоне раневого дефекта. Мазь «Анилкам» прошла этап экспертизы возможности безопасного ее применения. В настоящее время решается вопрос о разрешении на проведение клинических исследований.

Доклинические исследования мази «Аникол» подтвердили ее высокую эффективность. На основании отчета по доклиническим исследованиям и сводного отчета по клиническим исследованиям мазь «Аникол» рекомендована для применения в медицинской практике в качестве местноанестезирующего, противовоспалительного и репаративного средства.

Клинические исследования мази «Аникол» проведены в следующих лечебных учреждениях: Военно-медицинской академии (г. С-Петербург); Главном военном клиническом госпитале им. акад. Н.Н. Бурденко; Пермской государственной медицинской академии; Российском государственном медицинском университете, на кафедре общей хирургии (Медсанчасть № 1 АМО ЗИЛ, г. Москва); Ижевской государственной медицинской академии; городской больнице № 2 (г. Тольятти), отделении сердечно-сосудистой хирургии; на кафедрах и отделениях неврологии, хирургической и терапевтической стоматологии, оториноларингологии, акушерства и гинекологии медицинской академии и ОКБ г. Перми; хирургическом отделении медсанчасти № 7 г. Перми; на врачебном здравпункте ООО «ПермТрансГаз».

В ходе исследования установлено, что при применении мази «Аникол» наблюдаются выраженные репаративные процессы в ране, уменьшается экссудация, заживление поверхностных ожоговых и гранулирующих ран происходит на 2–5 суток быстрее, чем в контрольных ранах, что выражается в значительном экономическом эффекте лечения больных. Все пролеченные больные отмечают выраженный анальгетический эффект, наступающий в ближайшее время после перевязки с применением мази. Препарат практически не вызывал никаких побочных эффектов, местных и общих аллергических реакций. Мазь легкопластична, удобна в применении, легко наносится и хорошо удерживается на ране.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать мазь «Аникол» для лечения ран во II фазе раневого процесса после вскрытия абсцессов, флегмон, нагноившихся гематом и атером, фурункулов, карбункулов, трофических язв, пролежней и нагноившихся ран, ожогов I–III А, III Б

ст., для подготовки гранулирующих ран к аутодермопластике, проктологических заболеваниях. Применение мази «Аникол» у больных с трофическими язвами нижних конечностей позволяет значительно ускорить их заживление на фоне выраженного местного обезболивающего, а также противовоспалительного эффектов и уменьшить вероятность аллергических осложнений [1].

Мазь «Аникол» характеризуется проявлением более выраженного местного обезболивающего эффекта, отсутствием местных аллергических реакций, что имеет место при применении мази «Левомеколь». Для мази «Аникол» характерна более выраженная способность усиливать регенерацию тканей, особенно у больных с относительной компенсацией кровообращения в нижних конечностях (больные диабетической ангиопатией и дистальной формой атеросклероза). Эпителизация при применении мази «Аникол» наступала через 2–3 недели, при применении мази «Левомеколь» – через 6–8 недель.

Эффективно применение мази в практике хирургической, терапевтической стоматологии, оториноларингологии, а также неврологии при болеизнуряющих заболеваниях.

Следует отметить, что мазь весьма проста по составу и, в то же время, эффективна по фармакологическому действию. Простота мази должна способствовать уменьшению ее стоимости и, следовательно, доступности для широких слоев населения. Помимо стационарных лечебных учреждений рекомендуется к широкому применению в поликлиниках, а также на фельдшерско-акушерских, медицинских пунктах.

Среди лекарственных форм важное место занимают суппозитории, т.к. их применение позволяет снизить уровень аллергических реакций, пролонгировать лечебный эффект, особенно в очаге воспаления, увеличить скорость всасывания лекарственного вещества и в некоторых случаях снизить дозу. Лекарственные средства, проявляющие местноанестезирующее и противовоспалительное действие, занимают одно из основных мест в лечении больных с проктологической патологией. По последним статистическим данным, в России из каждой тысячи человек 300 страдают различными заболеваниями толстой кишки, околопрямокишечной клетчатки и крестцово-копчиковой области. Насчитывается около 200 наименований болезней – от пресловутого геморроя и анальных трещин до онкологии. Многие из них являются причиной длительной нетрудоспособности и инвалидизации людей разного возраста [6]. Проктологические заболевания часто сопряжены с болевыми ощущениями, что приводит в конечном итоге к истощению коры головного мозга и способствует неблагоприятному результату лечения, а также возможному возникновению и развитию других различных заболеваний организма, поэтому проблема обезболивания в проктологии приобретает первостепенное значение. Применение наркотических обезболивающих средств типа промедола и морфина чревато различными осложнениями. Другие применяемые практикой отечественные лекарственные формы – свечи с новокаином, красавкой, «Анузол», «Неоанузол» – недостаточно эффективны. Составы суппозиториев многокомпонентны, обезболивающая активность их обусловлена анестезином. В целом активность анестезина невелика, что сказывается на использовании в практике повышенных его концентраций (до 20 %). Кроме анестезина в лечении проктологических заболеваний среди местных анестетиков применяются лидокаин (суппозитории «Проктозан») и тримекаин (суппозитории «Симетрид»), являющиеся в настоящее время импортными препаратами. Поэтому сочетание комплекса проявляемых фармакологических свойств анилокаина явилось основанием для разработки на его основе лекарственных форм суппозиториев как для экстемпорального изготовления, так и для промышленного производства.

Проведенные исследования по изучению влияния основообразующих веществ и ПАВ на скорость высвобождения действующего вещества показали, что для суппозиториев анилокаина промышленного производства предпочтительнее использовать гидрофильную основу (сплав ПЭО), для суппозиториев экстемпорального изготовления – гидрофобную. Для суппозиториев с анилокаином разработаны показатели качества: внешний вид, средняя масса, pH водного извлечения, время растворения или время полной деформации, подлинность, количественное определение, микробиологическая чистота. Показатели введены в НД на суппозитории, их апробация на экспериментальных сериях свидетельствует о соответствии ЛФ установленным требованиям [9].

Среди других лекарственных форм для наружного применения перспективными являются пролонгированные ЛФ полифункционального действия – пленки лекарственные, применяющиеся при лечении заболеваний и повреждений

покровных тканей в челюстно-лицевой области. Сравнительное изучение состояния стоматологической помощи за последние 5 лет свидетельствует о возрастающей потребности в полноценном лечении стоматологических заболеваний. Эффективным способом, используемым в стоматологии при лечении заболеваний слизистой оболочки полости рта (СОПР) и кожи, является аппликационная анестезия. Традиционно применяемые с этой целью лекарственные формы (мази, растворы, аэрозоли и т.д.) не решают полностью проблемы снятия воспаления и боли ввиду невозможности точного дозирования лекарственных средств, изменения их концентрации из-за разбавления слюнной жидкостью или раневым экссудатом, болезненности инъекций, неравномерности контакта тампона или мази с тканями, длительности лечения. С этой точки зрения использование пленок лекарственных (ПЛ) открыло новые возможности для лечения заболеваний в челюстно-лицевой области. Данная лекарственная форма по сравнению с традиционными имеет ряд преимуществ: выраженную биологическую доступность и пролонгирующий эффект, заметно сокращает сроки лечения, лучше переносится больными, уменьшает число процедур, обеспечивает точность дозирования лекарственных средств, что сводит к минимуму возможные побочные реакции, имеет длительный срок годности.

На основе анилокаина разработано несколько составов ПЛ: «Анил» (анилокаин), «Анилфур» (анилокаин + фурацилин), «Анилгек» (анилокаин + хлогексидина биглюконат) и «Анилдиокс» (анилокаин + диоксидин). В результате проведения исследований осуществлен отбор оптимальных матриц-носителей для ПЛ с анилокаином, определены их технологические параметры (толщина, время растворения, значение pH водного раствора, потеря массы при высушивании, паропроницаемость, механическая прочность на разрыв). Методом математического планирования выбраны композиции на основах Na КМЦ, Na альгинат и Натросол 250G. На основании биофармацевтических исследований установлено, что выбранные композиции обеспечивают максимальное высвобождение анилокаина, особенно на основе Натросол 250 G. Пленки на основе Na альгинат проявляют пролонгированное действие [3].

Экспериментально-клиническое исследование пленок лекарственных с анилокаином, проведенна в учреждениях стоматологического профиля г. Перми, показало:

✓ пленки обладают анальгезирующим эффектом, что отмечают больные уже в первые часы после операции;

✓ применение пленок способствует уменьшению отека мягких тканей и зоны гиперемии (противовоспалительный эффект анилокаина), что, в свою очередь, влияет на благоприятное заживление;

✓ пленка зачищает послеоперационную линию швов от механических повреждений;

✓ раны на коже и слизистой оболочке длиной 1–1,5 см хорошо эпителизируются под пленкой без первичной хирургической обработки;

✓ пленка, наложенная на лунку удаленного зуба, особенно на линии перелома, разобщает костную рану от полости рта, способствует сохранению и формированию кровяного сгустка;

✓ на коже при ранениях пленка заменяет марлевую асептическую повязку;

✓ адгезия пленок особенно выражена на слизистой оболочке полости рта.

Кроме того, применение ПЛ в сочетании с комплексом лечебных процедур позволяет индивидуализировать лечение с учетом многих факторов, определяющих развитие патологического процесса, реализовать весь комплекс медико-биологических требований к аппликационным лекарственным формам. Немаловажным фактором использования ПЛ является возможность лечения больного на дому после консультации лечащего врача, что способствует экономии времени пациента и медперсонала [2].

Таким образом, разработка и внедрение лекарственных форм анилокаина, имеющих преимущества перед применяемыми лекарственными препаратами и являющиеся перспективными для внедрения в медицинскую практику, позволит избавиться от закупки дорогостоящих импортных препаратов аналогичного фармакологического действия, ускорить сроки лечения больных, уменьшить потребление наркотических препаратов и создать более комфортное лечение пациентов.

Список литературы

1. Алексеева, И.В. Применение мази «Аникол» для лечения II фазы раневого процесса (обзор результатов клинических исследований) // И.В. Алексеева, В.И. Панцуркин // Вестник Воронежского университета. Серия Химия. Биология. Фармация. – 2004. – № 2. – С. 163–168.

2. Апробация нового препарата для местного лечения воспалительных заболеваний пародонта / Л.Е. Леонова, В.И. Панцуркин, И.В. Алексеева и др. // Проблемы стоматологии. – 2005. – № 3. – С. 10–12.

3. Алексеева И.В. Биофармацевтические исследования биорастворимых лекарственных пленок с анилокаином /

И.В. Алексеева, Т.Е. Рюмина, В.И. Панцуркин, Т.Ф. Одегова // Химико-фармацевтический журнал. – 2007. – № 9. – С. 49–52.

4. Блатун Л.А. Возможности современных мазей в лечении гнойных ран, пролежней, трофических язв // Фармацевтический вестник. – 2002. – № 3. – С. 18–19.

5. Власова И. Российская фармпромышленность: что будет завтра? / И. Власова, М. Щетинина // Фармацевтический вестник. – 2004. – № 12. – С. 2.

6. Воробьев Г.И. Геморрой / Г.И. Воробьев, Ю.А. Шелыгин, Л.А. Благодарный. – М.: Митра-Пресс, 2002. – 192 с.

7. Патент РФ № 1146989, 07.04.1994.

8. Патент РФ № 2139050, 10.10.99.

9. Разработка состава, технологии и стандартизация суппозиториев с анилокаином / И.В. Алексеева, Л.А. Чекрышкина, В.И. Панцуркин, Т.Е. Рюмина // Вестник РУДН. Серия Медицина. – 2008. – № 7. – С. 20–24.

References

1. Alekseeva, I.V. Application of the ointment «Anicol» for the treatment of the II phase of the wound process (review the results of clinical trials) // I.V. Alekseeva, V.I. Pantsurkin // Vestnik of Voronezh University. A Series Of Chemistry. Biology. Pharmacy. 2004. no. 2. pp. 163–168.

2. Approbation of the new drug for topical treatment of inflammatory diseases of parodont / L.E. Leonova,V.I. Pantsurkin, I.V. Alekseeva etc. // Problems of stomatology. 2005. no. 3. pp. 10–12.

3. Alekseeva, I.V. Biopharmaceutical research biosoluble drugs-governmental films with anilocain / I.V. Alekseeva, I.E. Ryumina, V.I. Pantsurkin, T.F. Odegova // Chemical-pharmaceutical journal. 2007. no. 9. pp. 49–52.

4. Blatun, L.A. Possibilities of modern ointment in treatment of purulent wounds, bedsores, trophic ulcers / L.A. Blatun // Pharmaceutical journal. 2002. no. 3. pp. 18–190.

5. Vlasova, I. Russian pharmaceutical industry: what will be tomorrow? / I. Vlasova, M. Shchetinina // Pharmaceutical journal. 2004. no. 12. pp. 2.

6. Vorobyev, G.I. Hemorrhoids / G.I Vorobiev, Y.A. Shelygin, L.A. Grateful. M: Mitra Press, 2002. 192 p.

7. Patent PF № 1146989, 07.04.1994.

8. Patent PF № 2139050, 10.10.1999.

9. Development of structure, technology and standardization suppository with anilokain / I.V. Alekseeva, L.A. Chekryshkina, V.I. Pantsurkin, T.E. Ryumina // Vestnik RUDN. A series of Medicine. 2008. no. 7. pp. 20–24.

Рецензенты:

Молохова Е.И., д.фарм.н., профессор кафедры промышленной технологии с курсом биотехнологии, ГБОУ ВПО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пермь;

Олешко О.А., д.фарм.н., профессор кафедры фармацевтической технологии, ГБОУ ВПО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 615.281.8:547.854.4

СИНТЕЗ 1,6-БИС[(БЕНЗИЛОКСИ)МЕТИЛ]ПРОИЗВОДНЫХ УРАЦИЛА И ИХ 1-АЛКОКСИМЕТИЛЬНЫХ АНАЛОГОВ

Гейсман А.Н., Озеров А.А., Новиков М.С.

ГБОУ ВПО «Волгоградский государственный медицинский университет», Волгоград, e-mail: geisman-1@mail.ru

Путём направленного синтеза с использованием силильной модификации реакции Гилберта–Джонсона получен ряд производных урацила, содержащих в положениях 1 и 6 гетероциклического ядра (бензилокси) метильные группы, а также их N^1-алкоксиметильных аналогов. Исходные 6-[(бензилокси)метил]производные урацила были получены в несколько стадий по описанным в литературных источниках методикам из соответствующих γ-арилзамещённых этил-3-оксобутаноатов. Обнаружено, что в ходе алкилирования силилпроизводных α-хлорметиловыми эфирами образование конечных продуктов протекает с низкими или средними выходами, что объясняется воздействием стерических факторов. Выход целевых соединений лежал в пределах от 15 до 55% в случае 1,6-бис[(бензилокси)метил]производных и от 46 до 51% в случае (алкоксиметил)производных. Структуры синтезированных веществ доказаны методами ЯМР-спектроскопии, а чистота – методом тонкослойной хроматографии.

Ключевые слова: производные урацила, ВИЧ, реакция Гилберта–Джонсона, α-хлорметиловые эфиры, алкилирование

THE SYNTHESIS OF 1,6-BIS[(BENZYLOXY)METHYL]URACIL DERIVATIVES AND THEIR 1-ALKOXYMETHYL ANALOGS

Geysman A.N., Ozerov A.A., Novikov M.S.

Volgograd state medical university, Volgograd, e-mail: geisman-1@mail.ru

Targeted synthesis applying silyl modification of Hilbert-Johnson reaction led to the series of uracil derivatives, containing (benzyloxy)methyl groups at positions 1 and 6 of heterocyclic core, and their N^1-alkoxymethyl analogs. Initial 6-[(benzyloxy)methyl]uracil derivatives were obtained from γ-arylsubstituted ethyl 3-oxobutanoates in several steps according to literature protocols. It was noted that alkylation of silyl derivatives with α-chloromethyl ethers leads to either low or medium yields of target products due to steric factors. The yield of target compounds was from 15 to 55% in case of 1,6-bis[(benzyloxy)methyl]derivatives and from 46 to 51% in case (alkoxymethyl) derivatives. The structures of synthesized compounds were confirmed by NMR-spectroscopy, purity – by thin layer chromatography.

Keywords: uracil derivatives, HIV, Hilbert–Johnson reaction, α-chloromethyl ethers, alkylation

Ненуклеозидные ингибиторы обратной транскриптазы занимают важное место среди химиотерапевтических средств, угнетающих репродукцию ВИЧ. Среди соединений данной группы ключевое значение имеют аналоги урацила, содержащие заместители в положениях 1 и 6 гетероциклического фрагмента [2]. Синтез большинства производных данного типа предусматривает получение аналогов урацила, содержащих арильный радикал в шестой позиции гетероцикла с последующим синтезом их силилпроизводных и их алкилированием с применением хлорметиловых эфиров [1, 7] или реагентов, способных генерировать α-хлорэфиры in situ [1, 3].

Цель исследования – синтез новых потенциальных противовирусных агентов – 1,6-бис[(бензилокси)метил]производных урацила и изучение факторов, влияющих на образование конечных продуктов.

Материалы и методы исследования

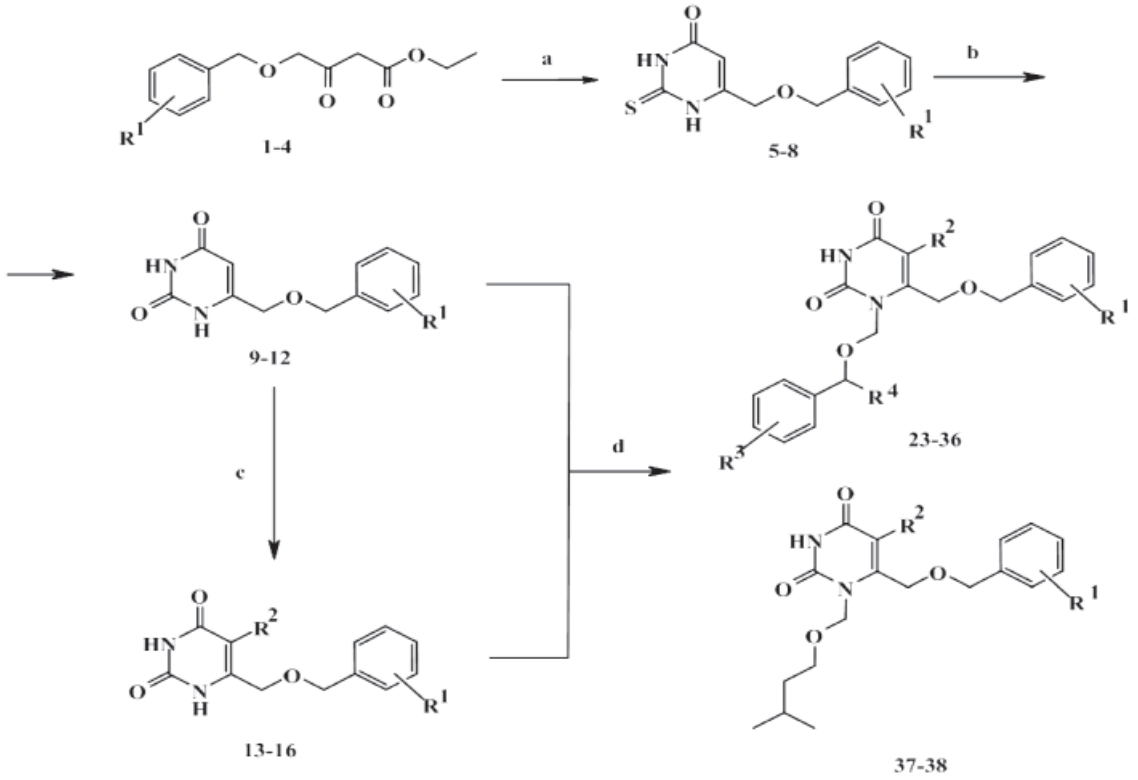
В работе использовались коммерчески доступные растворители и реактивы («Sigma-Aldrich», «Merck», «Acros Organics»). Безводный дихлорметан был получен путём перегонки над оксидом фосфора (V).

Спектры ЯМР ^{1}H- и ^{13}C-регистрировали на спектрометре Bruker Avance-400 (400 МГц для ^{1}H-, 100 МГц для ^{13}C) в ДМСО-D_6 и $CDCl_3$, внутренний стандарт ТМС. Интерпретацию спектров осуществляли с помощью лицензионной программы ACD/HNMR Predictor Pro 3.0 фирмы Advanced Chemistry Development (Канада). Тонкослойную хроматографию выполняли на пластинах Merck TLC Silica gel 60 F_{254}, проявление в парах йода и УФ-свете с помощью УФ-лампы VL-6.LC (Франция). Температуры плавления измерены в стеклянных капиллярах на приборе Mel-Temp 3.0 (Laboratory Devices Inc., США).

Результаты исследования и их обсуждение

6-[(Бензилокси)метил]производные урацила **9-16** были получены по описанным в литературе методикам в две стадии. Исходные этил-4-бензилокси-3-оксобутаноаты **1-4** конденсацией с тиомочевиной в среде метанола в присутствии в качестве основания метилата натрия [5] переводили в соответствующие 2-тиопроизводные **5-8**, которые при десульфурировании 10%-м водным раствором монохлоруксусной кислоты давали соответствующие урацилы **9-12** [3]. 5-Бромзамещённые 6-[(бензилокси)метил]урацилы **28-30** были получены

обработкой соответствующих урацилов раствором брома в диметилформамиде (ДМФА), а введение атомов хлора и йода в пятое положение урацильного фрагмента соединения **23** осуществлялось с использованием N-галогенсукцинимимдов в ДМФА [4,6]. Алкилирование полученных соединений проводилось в условиях силильной модификации реакции Гилберта–Джонсона и заключалось в обработке силилпроизводных 6-[(бензилокси)метил]урацила, полученных кипячением соответствующих урацилов в избытке 1,1,1,3,3,3-гексаметилдисилазана в присутствии каталитических количеств хлорида аммония, хлорметиловыми эфирами (**17-22**) при комнатной температуре в среде безводного дихлорметана в течение 10 часов [7] (схема).



где R^1 = H, 4–Cl, 4–CH_3, 3,5–Cl_2; R^2 = H, Cl, Br, I; R^3 = H, 4–CN, 3,5–Cl_2, 3,5-$(CH_3)_2$; R^4 = H, CH_3

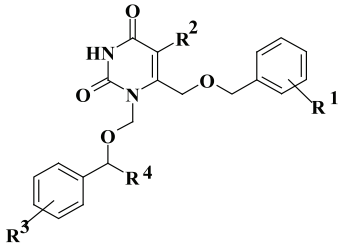
Реагенты и условия:
a – CH_3ONa, CH_3OH, $(NH_2)_2CS$; b – монохлоруксусная кислота, вода, ДМФА;
*c – Br_2, ДМФА/NIS/NCS; d – 1) ГМДС, NH_4Cl; 2) R^3–Bn–OCH(R^4)Cl (**17-21**)*
*или $(CH_3)_2$–CH–$(CH_2)_2$–OCH_2Cl (**22**), ДХМ*

Полученные целевые N^1-(бензилокси)- и (алкокси)метилпроизводные подвергали очистке путём препаративной колоночной хроматографии на силикагеле.

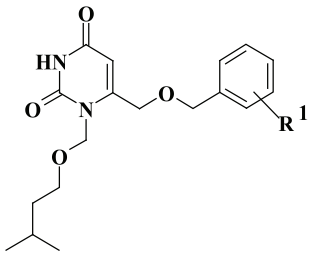
Следует отметить, что продуктами реакции во всех случаях явились исключительно N^1-замещённые соединения, а образования N^3- и N^1,N^3-дизамещённых продуктов отмечено не было. Обнаружено, что за счёт стерического препятствия со стороны (бензилокси)метильной группы в положении 6 гетероцикла выходы продуктов алкилирования составляли 15–55 % в случае 1,6-бис[(бензилокси)метил]производных (**23-36**) и 46–51 % в случае их алкоксиметильных аналогов (**37-38**). Заместители в положениях R^1 и R^2 не оказывали существенного влияния на выход целевого продукта, за исключением 6-[(3,5-дихлорбензилокси)метил]производного, в случае которого выход продукта алкилирования составил лишь 15 %, что может объясняться препятствием для атаки карбкатиона со стороны атома хлора. Применение разветвлённого 1-(фенилэтил)хлорметилового эфира в качестве алкилирующего агента приводит к существенному снижению выхода (32–35 %), что можно объяснить стерическим отталкиванием между дополнительной метильной группой у sp^3-гибридного атома углерода в хлорэфире и радикалом при атоме C^6 в силилированном основании.

Структуры синтезированных веществ и их чистота подтверждены ЯМР-спектроскопией и ТСХ-анализом. Физико-химические данные и выходы конечных продуктов приведены в таблице.

Физико-химические данные N^1-алкокси- и N^1-бензилоксиметилпроизводных 6-[(бензилокси)метил]урацила



23-36



37-38

Соединения	R^1	R^2	R^3	R^4	Выход, %	Тпл, °С	R_f^*
23	H	H	H	H	55	88–90	0,40
24	4–Cl	H	H	H	50	119–122	0,38
25	4–CH_3	H	H	H	51	111–112	0,46
26	3,5–Cl_2	H	H	H	15	118–119	0,39
27	H	Cl	H	H	48	125–126,5	0,66
28	H	Br	H	H	46	136–137,5	0,74
29	4–Cl	Br	H	H	48	126–127	0,73
30	4–CH_3	Br	H	H	44	149–151	0,76
31	H	I	H	H	49	138,5–139,5	0,68
32	H	H	3,5–Cl_2	H	41	112–113	0,36
33	H	H	3,5–$(CH_3)_2$	H	42	107–109	0,48
34	H	H	4–CN	H	49	109–110,5	0,37
35	H	H	H	CH_3	35	116–119	0,50
36	4–Cl	H	H	CH_3	32	143–145	0,48
37	H	–	–	–	51	60–62	0,57
38	4–Cl	–	–	–	46	84–86	0,47

Примечание. * этилацетат-гексан 1:1.

1,6-Бис[(бензилокси)метил]урацил (23). Смесь 0,70 г (3,00 ммоль) 6-[(бензилокси)метил]урацила (**9**), 0,30 г (5,61 ммоль) хлорида аммония и 25 мл (120,00 ммоль) 1,1,1,3,3,3-гексаметилдисилазана нагревали с обратным холодильником в течение 8 часов, избыток гексаметилдисилазана упарили в вакууме, остаток растворили в 20 мл безводного 1,2-дихлорэтана и добавили раствор 0,47 г (3,00 ммоль) бензилхлорметилового эфира (**17**) в 20 мл безводного дихлорметана. Полученный раствор перемешивали при комнатной температуре в течение 6 часов, после чего упарили, остаток очищали путём колоночной хроматографии на силикагеле, элюент – смесь гексан-этилацетат (3:2). Получили 0,58 г (выход 55%) продукта в виде белого мелкокристаллического вещества. R_f = 0,40 (гексан-этилацетат 1:1). $T_{пл}$ = 88–90 °С. ^{1}H ЯМР-спектр (ДМСО–D_6, 400 МГц), δ, м.д., *J* (Гц): 4,51 с (2H, CH_2–C^6); 4,53 с (2H, CH_2–$C^{1'}$); 4,56 с (2H, CH_2–$C^{1''}$); 5,28 с (2H, CH_2–N^1); 5,71 с (1H, H-5); 7,25–7,36 м (10H, ароматические H); 11,36 с (1H, NH). ^{13}C ЯМР-спектр (ДМСО-D_6, 100 МГц), δ, м.д.: 66,3; 70,7; 71,9; 72,4; 101,3; 127,9; 128,0; 128,0; 128,1; 128,6; 128,7; 137,8; 137,8; 152,1; 153,0; 162,9.

Соединения **24-38** были получены аналогично из соответствующих 6-[(бензилокси)метил]урацилов **9-16** и α-хлорметиловых эфиров **17-22**.

Выводы

В ходе проведённой работы осуществлён синтез 14 новых 1,6-бис[(бензилокси)метил]производных урацила и двух их алифатических аналогов. Показано, что на выход продуктов оказывают важное влияние стерические факторы как со стороны радикала при атоме C^6 гетероциклического фрагмента, так и со стороны алкилирующего агента. Полученные соединения представляют интерес как потенциальные агенты для терапии ВИЧ-инфекции.

Список литературы

1. Danel, K. Easy synthesis of 5,6-disubstituted acyclouridine derivatives / K. Danel, E. Larsen, E. B. Pedersen // Synthesis. – 1995. – № 8. – P. 934–936.

2. Design, synthesis, and biological evaluation of 1-[(2-benzyloxyl/alkoxyl)methyl]-5-halo-6-aryluracils as potent HIV-1 non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors with an improved drug resistance profile / Wang X. [et al.] // J. Med. Chem. – 2012. – Vol.55, № 5. – P. 2242–2250.

3. Elshehry, M. Synthesis of new cyclic and acyclic 5-halouridine derivatives as potential antiviral agents / M. Elshehry, J. Balzarini, C. Meier // Synthesis. – 2009. – № 5. – P. 841–847.

4. Kašnar, B. Synthesis of the sulfonylpyrimidine derivatives as a new type of sulfonylcycloureas / B. Kašnar, I. Krizmanić, M. Žinić // Nucleosides Nucleotides. – 1997. – Vol.16, № 7–9. – P. 1067–1071.

5. Reactions of 6-benzyl-5-methyl-2-(methylsulfanyl)pyrimidin-4(3H)-one with aliphatic and aliphatic-aromatic amines / Novakov I. A. [et al.] // Russ. J. Org. Chem. – 2009. – Vol.45, № 5. – P. 773–776.

6. Synthesis and evaluation of 6-methylene-bridged uracil derivatives. Part 1: discovery of novel orally active inhibitors of human thymidine phosphorylase / Yano S. [et al.] // Bioorg. Med. Chem. – 2004. – Vol.12, № 13. – P. 3431–3441.

7. Synthesis of annelated analogues of 6-benzyl-1-(ethoxymethyl)-5-isopropyluracil (MKC-442) using 1,3-oxazine-2,4(3H)-diones as key intermediates / Larsen J. S. [et al.] // J. Chem. Soc., Perkin Trans.1. – 2000. – P. 3035–3038.

References

1. Danel, K. Easy synthesis of 5,6-disubstituted acyclouridine derivatives / K. Danel, E. Larsen, E. B. Pedersen // Synthesis. 1995. no. 8. pp. 934–936.

2. Design, synthesis, and biological evaluation of 1-[(2-benzyloxyl/alkoxyl)methyl]-5-halo-6-aryluracils as potent HIV-1 non-nucleoside reverse transcriptase inhibitors with an improved drug resistance profile / Wang X. [et al.] // J. Med. Chem. 2012. Vol. 55, no. 5. pp. 2242–2250.

3. Elshehry, M. Synthesis of new cyclic and acyclic 5-halouridine derivatives as potential antiviral agents / M. Elshehry, J. Balzarini, C. Meier // Synthesis. 2009. no. 5. pp. 841–847.

4. Kašnar, B. Synthesis of the sulfonylpyrimidine derivatives as a new type of sulfonylcycloureas / B. Kašnar, I. Krizmanić, M. Žinić // Nucleosides Nucleotides. 1997. Vol. 16, № 7-9. P. 1067–1071.

5. Reactions of 6-benzyl-5-methyl-2-(methylsulfanyl)pyrimidin-4(3H)-one with aliphatic and aliphatic-aromatic amines / Novakov I. A. [et al.] // Russ. J. Org. Chem. 2009. Vol. 45, no. 5. pp. 773–776.

6. Synthesis and evaluation of 6-methylene-bridged uracil derivatives. Part 1: discovery of novel orally active inhibitors of human thymidine phosphorylase / Yano S. [et al.] // Bioorg. Med. Chem. 2004. Vol. 12, no. 13. pp. 3431–3441.

7. Synthesis of annelated analogues of 6-benzyl-1-(ethoxymethyl)-5-isopropyluracil (MKC-442) using 1,3-oxazine-2,4(3H)-diones as key intermediates / Larsen J. S. [et al.] // J. Chem. Soc., Perkin Trans.1. 2000. pp. 3035–3038.

Рецензенты:

Симонян А.В., д.фарм.н., профессор кафедры фармацевтической технологии и биотехнологии Волгоградского государственного медицинского университета, г. Волгоград;

Ганичева Л.М., д.фарм.н., доцент кафедры управления и экономики фармации, медицинского и фармацевтического товароведения Волгоградского государственного медицинского университета, г. Волгоград.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 070, 811.16

ПОНЯТИЙНЫЕ ТРАНСФОРМАЦИИ СЛОВА «ИГРА» В ПРАКТИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ИГРОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Волкова И.И.

ГОУ ВПО «Российский университет дружбы народов», Москва, e-mail: irma-irma@list.ru

Данная статья написана в помощь исследователям игровых коммуникаций, которые прицельно изучают эффекты игры и игрофикации в массовых медийных процессах. В статье дается обзор основных подходов к этимологии славянского слова «игра», выявляется смысловая палитра его значений в некоторых языках (в том числе русском, украинском, белорусском, польском, чешском). Автор предлагает: при проведении опросов, анкетирования, глубинного интервью и прочих процедур изучения общественного мнения по поводу игры (в широком смысле) применять технологию предварительных уточняющих вопросов, дающих респондентам возможность сопоставить четыре смысловых ипостаси слова «игра» и выбрать наиболее созвучное им значение. Это необходимо для предупреждения разночтений в понимании глубинного смысла игры, которая, согласно выводам, изложенным в статье, может быть и соперничеством, и фантазией, и спектаклем, и манипуляцией.

Ключевые слова: игра, этимология слова «игра», многозначность, славянские языки

THE CONCEPTUAL TRANSFORMATIONS OF THE WORD «GAME» IN STUDIES OF PLAY INTERACTION

Volkova I.I.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, e-mail: irma-irma@list.ru

This article is written to help researchers of play interaction who specifically study the effects of the game and gamification in mass media. The article provides an overview of the main approaches to the etymology of the Slavic word «game» and also reveals the semantic palette of its meanings in some other languages (including Russian, Ukrainian, Belarusian, Polish, Czech). The author suggests a methodology of preliminarily clarifying questions by carrying out surveys, questionnaires, in-depth interviews and other procedures of the public opinion studies about the game (in the broadest sense). These questions have to give the respondents an opportunity to map the four meanings of the word «game» and then choose the most suited to them. This is necessary to avoid different interpretations in understanding the deeper significance of the game. In accordance with the conclusions set out in this article the game can be a rivalry as well as fantasy, performance or manipulation.

Keywords: game, etymology word «game», polysemy, Slavic languages

Медийное пространство интернета в настоящее время представляет собой массовое сетевое взаимодействие *равноправных* субъектов информационного общения, что является де-факто воплощением смысла *коммуникационного* процесса, который сменил, по мере развития технических средств, однонаправленный *информационный* процесс. Актуальным в связи с этим становится изучение игровых коммуникаций, которые наиболее адекватно, на наш взгляд, отражают ситуацию современных сетевых субъектно-объектных отношений. Однако исследователей подстерегают трудности, связанные с многозначностью слова «игра». Смысловая палитра его значений, не закрепленных в обыденном сознании конкретными словами-символами, порождает не только теоретические, но и практические проблемы, связанные с подменой смыслов и с неоднозначным отношением к играм потенциальных и реальных игроков. Например, если индивид понимает игру исключительно как *интригу*, рано или поздно он отразит в своем восприятии любую игру как манипуляцию и закрепит это в соответствующих действиях.

В данной статье сделана попытка проследить этимологию современного славянского слова *игра* и выявить, какие значения слова «зашифровали» разные понятия в русском, украинском, польском, словацком, чешском, белорусском, болгарском, сербском языках. Мы обратимся к Историко-этимологическому словарю современного русского языка П.Я. Черных [12], Этимологическому словарю русского языка М. Фасмера [10] и некоторым другим, обозначенным ниже.

Феномен игры постоянно привлекает внимание исследователей своей особой стереоскопичностью, многогранностью, – это отличный подарок для пытливых умов. При этом *игру* вряд ли возможно априори воспринимать в качестве научного термина: этот вид деятельности слишком всепроникающий, игрой охвачены многие сферы нашей жизни. Все можно отрицать – любовь, право, красоту, любые проявления серьезного, но нельзя отрицать игру, – так считал Й. Хейзинга [11, с. 23]. Игра многогранна, она неразрывно связана с соревнованием, развлечением, отдыхом; одна и та же активность может быть в одном случае

игрой, в другом – неигрой. Мы привыкли говорить об игре как об общепринятом действии, хорошо знакомом каждому. *Слово игра* прочно вошло в наш быт, в нашу культуру, оно не требует пояснений, поскольку обычно употребляется в контексте. Но иначе обстоит дело с *понятием игра*. В науке, оперирующей понятиями, необходимо точно установленное значение слов, дабы избежать их нестрогого употребления, которое внесет неразбериху в дискуссии и снизит ценность полученных научных результатов. Сложность любых операций с понятием «игра» является следствием многозначности самого слова. Эта многозначность отражается и в словарях, и в языковой практике. Отметим, что слово и понятие связаны между собой и в функциональном, и в этимологическом смысле: слово – материальная основа понятия, но слово не всегда тождественно понятию (так получилось с *игрой* в нашем случае). Для каждого человека или группы людей понятие игры несет прежде всего то, что для них выражает слово. Когда в науке многозначность слова переносится на понятие, возникают проблемы, которые можно решить, если развести разные понятия, существующие в пределах одного и то же слова. Хейзинга в книге «Homo Ludens. Статьи по истории культуры» посвятил специальную главу этой проблеме применительно к греческому, китайскому, английскому языкам и санскриту [11, с. 45–59]. Р. Кайуа в исследовании «Игры и люди» [4, с. 34–36] проанализировал особенности представления французов об *игре*, обратив внимание на метафоричное использование этого слова.

Некоторые исследователи скептически отзывались о самих попытках дать точное определение понятию *игра*, предлагали называть такие поиски «научными играми». Например, С. Миллер в книге «Психология игры» не удержалась от едкого замечания в адрес термина, окрестив его «лингвистической мусорной корзиной», годной для поведения, которое выглядит произвольным и при этом не имеет явной биологической или социальной пользы: «Тот факт, что люди одним словом называют разные виды активной деятельности, не гарантирует возможности объяснения этих действий одним механизмом, или их порождения одинаковыми причинами. Это просто говорит о том, что в обыденной жизни у людей нет необходимости точно определять понятия» [5, с. 5–6]. О многозначности игры упоминали практически все исследователи, так или иначе соприкасавшиеся с этим феноменом, общим местом стало замечание о сложности его использования в научных целях. Философ В. Вольнов, метафорично рассуждая об игре волн и ветра, красок и света, игре естественных и сверхъестественных сил (например, Бога с дьяволом, дьявола с человеком), сделал вывод об игре как космической универсалии и назвал такой подход *панигризмом* [2].

В качестве аргумента в пользу всеобщности игры часто приводят цитату из шекспировской пьесы «Как вам это понравится»: «Весь мир – театр, в нем женщины, мужчины – все актеры». Получается, между игрой и жизнью ставится знак равенства, а значит, познать игру невозможно. Но здесь очевидна подмена тезиса: театр имеет отношение к *игре*, но не идентичен ей по смыслу. Попутно заметим, что, согласно Энциклопедическому словарю крылатых слов и выражений [13], первоисточник фразы из Шекспира – латинский, автор Гай Петроний. «Mundus universus exercet histrionain (весь мир занимается лицедейством)» – было высечено на фронтоне лондонского театра «Глобус», к труппе которого принадлежал Шекспир. А значит, фраза семантически была привязана к лицедейству, а мир уподоблялся *пространству* лицедейства. Смысл иной, нежели в случае «весь мир – театр».

Следует также разделять *понятие* и *термин*: второе уже первого. Термин стремится к однозначности, к единственной трактовке, ему не требуется контекст. В различных научных дисциплинах существует своя система терминов – слов или словосочетаний, которые обозначают конкретное понятие. Поскольку слово *игра* многозначно, а понятия, спрятанные внутри него, ощущаются как глобальные, игра интересует и математиков, и философов, и психологов, и культурологов, и филологов – список можно продолжать. И каждая отрасль знаний склонна к некоторым нюансам в определениях своего ключевого (важного именно для этой науки) понятия, поэтому возникает *терминологическая* игра. Как видим, и здесь мы употребили то самое слово, с которым пытаемся разобраться.

Современное слово *игра* происходит от старославянского и древнерусского (с XI века) игрь, играти (шутливый). Восходит к древнеиндийскому ejati со значением «колебаться», «двигаться», возможно сопоставление с греческим κύματα «волны» и древнескандинавским eikenn «буйный», «дикий». По мнению М. Фасмера [10], слово *игра* родственно литовскому áikštytis «капризничать», «шалить», латышскому aîkstîtiês «кричать», «шуметь». А.В. Семенов, составитель Этимологического словаря русского языка [6], считает, что исходное значение *игры* – пение с пляской.

Если сопоставить все эти значения, легко заметить, что игра изначально связана с шумным развлечением, быстрым движением, безудержным весельем. Но есть ли у *игры* уже на уровне этимологии оценочная окраска, ощущалась или нет лексически несерьезность игры? Если старославянский корень отсылает нас как к первооснове к понятию *шутка*, стоит обратиться к его толкованию в Словаре Д.Н. Ушакова [9]. И здесь, через противопоставление «шутливое–серьезное» («игра–неигра») мы обнаружим многозначность изучаемого понятия. Ушаков определяет шутку как нечто, что говорят или делают ради развлечения, возбуждения смеха; это забава, шалость. Приведем несколько словарных примеров, где лексически обыгрывается противопоставление *шутки* (игры) и серьезного дела, уместность или неуместность игры, появляется дополнительное значение – *одурачить*. «Я сшучу с тобой такую шутку, что будет тебе не по желудку (А. Островский). Леший шутку славную над нами подшутил! (Н. Некрасов). Шутки шутками, крепость потешная, но при случае в ней можно было и отсидеться (А. Толстой). Ты, я вижу, работаешь не на шутку (И. Тургенев)» [9].

Слово *игра* родилось с двойным значением, которое выражает двойственное отношение славян к развлечению как таковому. Во-первых, отсутствует строгое понятие игры как отдыха, это вроде бы забава, но не простая, не примитивная, иногда она может обернуться, говоря современным языком, манипуляцией. Во-вторых, игра подчас выступает помехой серьезному делу, которое все-таки важнее.

Игра как определяемое слово разделяется на две группы понятий в зависимости от главного *определяющего* слова – *занятие* или *исполнение*. Соответственно, игра-занятие может быть *что это* или *во что*. А игра-исполнение – *на чем*. Рассмотрим эти понятия поочередно.

Итак, *игра во что* – это занятие нетрудового характера, препровождение времени с целью развлечься, позабавиться или со спортивной целью, при этом наличествуют определенные правила. Отметим, что речь идет об отглагольном существительном (игра от *играть*). Тот, кто играет, называется в русском языке игроком или игруном. В первом случае слово имеет номинативный (в том числе и самономинативный) оттенок, например, игрок сборной по футболу, игрок в карты. Во втором случае подчеркиваются функциональные характеристики действия и эмоциональный настрой игрока: игрун – это человек, который любит резвиться, получать удовольствие от игры. Мы видим, что одно и то же слово-действие, описанное через участников, получает разные значения, отраженные в общем смысловом поле: существуют игры с целью развлечения и игры спортивные (сюда можно отнести и многие бытовые и карточные игры), где забава не является главной характеристикой. Украинский язык, где существует слово ігра (чаще употребляется *гра*), для детских игр предлагает специальное слово *гульня*. А для игрока в карты есть особое название – *картяр* (в русском языке, соответственно, *картежник*).

На белорусском языке *гульня* употребляется во всех случаях как русское *игра во что,* например, шахматная игра – шахматная гульня. Смоленский областной словарь В.Н. Добровольского [3], изданный до революции, в 1914 году, толкует *гульню* как праздное препровождение времени, соединенное с забавами, при этом *игрище* – «танцевальный вечер с маскарадом у крестьянских парней и девок» [3, с. 293–294], а *игрица* – сваха. То есть игра – не просто праздник, а нечто вроде вечера знакомств с флиртом, который, быть может, приведет к свадьбе. Напомним, что Смоленская область граничит с Белоруссией. Интересно, что в этом словаре отсутствует объяснение слова *игра* (в значении *во что*). В Словаре П.Я. Черных глаголу *гулять* дается следующее объяснение: «веселиться, быть свободным от работы, ходить не торопясь» [12, с. 226].

В остальных славянских языках *игра во что* представлена словами, сходными по звучанию и начертанию (с вариантом ударения на первом слоге), либо с русским *игра* (болгарский, сербский, словенский), либо с украинским *гра* (польский, словацкий, чешский).

Следующий понятийный блок *игра на чем* – исполнение музыкального произведения на одном или нескольких инструментах. Участник такого действия уже не называется игроком, он *исполнитель*. Белорусы именно *игру на* называют игрой. Большинство славянских языков, используют *игру в* значении *игра на*. Однако в болгарском и сербском в ходу другое слово – свирене, свира (игра на музыкальном инструменте). Например, на сербском языке игра на пианино – свира клавир. Сразу вспоминается свирель – деревянная дудочка, синоним – сопилка. У европейских народов есть легенда о волшебной свирели, которая была изготовлена из камыша, выросшего на могиле убитой девушки. Играешь на свирели, и она рассказывает о преступлении так, что слезы не сдержать. По версии А.В. Семенова, слово *свирель*, производное

от глагола «свиряти» (свистеть, играть на флейте), появилось в древнерусском языке в одиннадцатом веке. Восходит к общеславянскому корню svьr-, родственному литовскому surma – «дудка, свирель», или, как вариант, к древнеиндийским svarati (звучит), svaras (звук), древнеисландскому svarra (бушевать, свистеть) [6].

Но это не относится к идиоме «игра на нервах»: во многих языках (словенском, словацком, чешском, польском, болгарском и др.) *игра* меняется на *война*, например, на польском – wojna nerwów. Этот пример опосредованно демонстрирует понятийную связь игры с войной (соревнованием, битвой), которая наличествует в русском языке.

Следующее значение: *игра что это*. П.Я. Черных предлагает одно значение – сценическое исполнение роли [12, с. 334]. Сегодня участник сценической игры именуется артистом, актером. В словаре древнерусского языка И.И. Срезневского [8] находим другое слово, называющее комического актера, – *игрьць*. Отметим, что так же звался прежде и человек, играющий на музыкальном инструменте (поговорка: и жнец, и швец, и на дуде игрец).

Белорусский язык дает в данном значении (игра как сценическое исполнение) слово *гульня*, сербский – *глумление*. Стоит обратить снимание на последнее слово, происходящее от старославянского корня *глум*. Прежде производные от данного корня широко использовались в просторечии в ситуациях, связанных с развлекательными действиями. В старочешском языке существовало слово hluma (актер). В словенском можно и теперь встретить слово gluma – шутка. В древнерусском языке с одиннадцатого века отмечено употребление глагола *глумитися* в значении веселиться, забавляться, были в употреблении слова *глумъ* (забава, шум), *глумьць* (скоморох, фигляр). В настоящее же время в русском и украинском языках глагол *глумиться* сохранился в значении *издеваться*, *оскорбительно насмехаться*. Можно сравнить с древнеанглийским gleam (бурное веселье) и древнеисландским glaumr (шумная радость).

В современном академическом Словаре русского языка есть еще два значения *игры что это*. Одно связано с визуальным восприятием быстрой смены красок, световых пятен (например, игра солнечных лучей); второе – с преднамеренным рядом действий, преследующим определенную цель (например, политическая игра, любовная игра) [7, с. 628]. В Словаре В.Н. Добровольского встречаем утраченное ныне значение: игра – это пение птиц [3, с. 293].

Обратим внимание еще на одно слово, родственное *игре*: на этимологию прилагательного *игрений*. Так говорят о конской масти – когда конь светло-рыжий с белесоватыми гривой и хвостом. В славянских языках, кроме украинского, подобное слово с таким значением отсутствует. История прилагательного *игрений* отразила взаимодействие и взаимопроникновение слов из тюркских и славянских источников. Как наименование конской масти *игрений* могло быть заимствовано из алтайского языка: jагран – рыжий. Обычно в тюркских языках это слово не имеет *г* перед *р*, зачастую с начальным *ж*: йийрен (ногайский), жийрон (узбекский), жерен (туркменский), жийрен (каракалпакский), жирэн (уйгурский). Получается, что *игрений* как тюркское заимствование должно было произноситься как *ерений*, *ереневый* (в окающих говорах) или *ирений*, *иреневый* (в акающих русских говорах) [12, с. 335]. Славянское влияние прослеживается по линии «игра – играти – игреный». Последнее слово в цепочке значит «шутливый». Таким образом, произошло соединение семантики слов *игра*, *рыжий*. Следует отметить, что в былинах об Илье Муромце игрений конь означает не масть, а нрав – «игривый, добрый, богатырский». Интересно, что значение слова «рыжий» восходит к греческому театру, к цирку, к карнавалу: рыжий цвет маски, рыжий парик ассоциировались с хитростью, притворством.

Заметим попутно, что в разные эпохи в России и других славянских странах актуализировались те или иные варианты контекстного употребления слова *игра*. Например, в Большой Советской Энциклопедии, отражающей реалии страны 1930–1940-х годов, в статье «Игры» [1, с. 426–430] объясняются отдельными пунктами следующие виды игр (это полный список): народная игра, спортивная, военизированная, математическая. Для современного человека такой набор игр неизбежно вызывает вопросы.

Итак, мы рассмотрели этимологию слова *игра,* выявили, что одно и то же слово обозначает в славянских языках понятийный ряд, составляющие которого на уровне семантики не пересекаются явно, но имеют опосредованные связи. Можно выделить четыре магистральных семантических направления; они образуют на базе слова *игра* четыре особых смысловых и художественных реальности, в которых есть помимо языкового уровня символический, исторический и мифологический. С лингвистической точки зрения *игра* в четырех понятийных трансформациях имеет, пусть

и неявно ощущаемый, но все-таки общий семантический смысл, следовательно, это явление можно назвать полисемией (в отличие от омонимии).

Таким образом, целесообразно при изучении общественного мнения по поводу игр (в самом широком смысле) выявить через уточняющие вопросы, какое содержание вкладывает респондент в понятие «игра». Как вариант конкретизации предлагаем выразить *игру* через четыре иных слова, которые передают, на наш взгляд, суть выявленных понятий-направлений: соревнование (игра во что), творчество (игра на), фантазия (актерская игра), интрига (манипулятивная игра).

Список литературы

1. Большая Советская Энциклопедия: в 65 т. / под ред. О.Ю. Шмидта. Т. 27. – М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1933. – 959 с.

2. Вольнов В. Феномен игры [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://v-volnov.narod.ru/SmallWorks/PhenomenonOfPlay.htm (дата обращения: 19.11.13).

3. Добровольский В.Н. Смоленский областной словарь. – Смоленск: Типография П.А.Силина, 1914. – 1022 с.

4. Кайуа Р. Игры и люди: Статьи и эссе по социологии культуры. – М.: ОГИ, 2007. – 304 с.

5. Миллер С. Психология игры. – СПб.: Университетская книга, 1999. – 320 с.

6. Семенов А.В. Этимологический словарь русского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// enc-dic.com/semenov/ (дата обращения: 10.11.13).

7. Словарь русского языка: В 4-х т. / АН СССР, Ин-т рус. яз.; под ред. А.П. Евгеньевой. Т.1 – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Рус. яз., 1981. – 698 с.

8. Срезневский И.И. Материалы для словаря древнерусского языка по письменным памятникам. Том 1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://imwerden.de/cat/modules.php?name = books&pa = showbook&pid = 895 (дата обращения: 10.11.13).

9. Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н. Ушакова [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// http://www.mirslovushakova.ru/ (дата обращения: 10.11.13).

10. Фасмер М. Этимологический словарь русского языка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// fasmerbook.com/ (дата обращения: 10.11.13).

11. Хейзинга Й. Homo ludens. Статьи по истории культуры. – М.: Прогресс – Традиция, 1997. – 416 с.

12. Черных П.Я. Историко-этимологический словарь современного русского языка. Т.1 – 2-е изд., стереотип. – М.: Рус. яз., 1994. – 622 с.

13. Энциклопедический словарь крылатых слов и выражений / Авт.-сост. В.Серов. – М.: Локид-Пресс, 2005. – 852 с.

References

1. Bolshaya Sovetskaya Entsiklopedia: 65 v. Ed. Shmidt O.Yu., v. 27, Moscow, 1933, 959 p.

2. Volnov V. Fenomen igry (The Phenomenon of the Game), available at: http://v-volnov.narod.ru/SmallWorks/PhenomenonOfPlay.htm.

3. Dobrovolskiy B.N. Smolenskiy oblastnoy slovar (Smolensk regional dictionary) – Smolensk, 1914, 1022 p.

4. Kayua R.(Caillois R.) Igry i lyudi: stati po sociologii kultury (Games and People: articles on the sociology of culture). Moscow, 2007, 304 p.

5. Miller S. (Millar S.) Psihologiya igry (Psychology Game), S-Petersburg, 1999, 320 p.

6. Semenov A.V. Etimologicheskiy slovar russkogo yazika (Etymological dictionary of Russian language), available at: http:// enc-dic.com/semenov.

7. Slovar russkogo yazika (Dictionary of Russian language): 4 v. The Academy of Sciences of the USSR, Ed. Evgeneva A.P., v.1, Moscow, 1981, 698 p.

8. Sreznevskiy I.I. Materialy dlya slovarya drevnerusskogo yazyka po pismennym pamyatnikam (Materials for a dictionary of ancient language of the written monuments), available at: http://imwerden.de/cat/modules.php?name = books&pa = show book&pid = 895.

9. Tolkovyy slovar russkogo yazika (Dictionary of Russian language). Ed. Ushakov D.N., available at: http://www.mirslovushakova.ru.

10. Fasmer M. Etimologicheskiy slovar russkogo yazika (Etymological dictionary of Russian language), available at: http:// fasmerbook.com.

11. Heyzinga Yo. (Huizinga J.) Homo ludens. Stati po istorii kultury (Articles on the history of culture), Moscow, 1997, 416 p.

12. Chernykh P.Ya. Istoriko-etimologicheskiy slovar sovremennogo russkogo yazika (Historical and Etymological Dictionary of the Modern Russian Language), v.1, Moscow, 1994, 622 p.

13. Entsiklopedicheskiy slovar krylatych slov i vyrazheniy (Encyclopedic Dictionary of Proverbs and Sayings and Expressions). Comp. Serov V., Moscow, 2005, 852 p.

Рецензенты:

Готовцева А.Г., д.ф.н., доцент кафедры литературной критики факультета журналистики Института Массмедиа, ФГБОУ ВПО «Российский государственный гуманитарный университет», г. Москва;

Уразова С.Л., д.ф.н., доцент, зав. научно-исследовательским сектором, ФГБОУ ДПО «Академия медиаиндустрии», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 81’37

КОММУНИКАТИВНО-ПРАГМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОНИМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РОМАНА В. СКОТТА «АЙВЕНГО»

Волкова О.А., Серебряков А.А.

ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Ставрополь, e-mail: domvolkovih@yandex.ru

Данная статья посвящена изучению коммуникативно-прагматических особенностей ономастикона, функционирующего в романе В. Скотта «Айвенго». Онимы романа несут на себе значимую смысловую нагрузку, имеют необычный звуковой облик, обладают скрытым ассоциативным фоном. Имена героев романа, а также названия замков, исторических мест стилистически верны и точны, полностью соответствуют всему духу, идее, замыслу произведения, отражают характерный колорит и какой-то специальный смысл, особое значение, в котором концентрировано выражена авторская интенция. Антропонимикон произведения имеет двойственную мотивацию: с одной стороны, мотивационные связи соответствуют реальному именнику, с другой, антропонимическая система осознается как искусственная, мотивированная ассоциативными связями в контексте содержания самого произведения, описывающего не только быт и нравы средневековой Англии, но также психологию и поведение героев в этот период времени. Имена главных героев произведения, взаимодействуя с прилагательными, функционирующими в тексте, создают историческую тональность произведения, отражают авторскую позицию, особое видение пространства. В тексте произведения антропонимы осуществляют различные функции: прагматическую, коммуникативную, номинативную, концептуальную, эстетическую, стилистическую, эмоционально-оценочную и др.

Ключевые слова и фразы: прагматический потенциал, культурно-языковая реалия, ономастикон, антропонимика, мотивация, функция

COMMUNICATIVE AND PRAGMATIC FEATURES OF ANTHROPONIMICS IN THE NOVEL «IVANHOE» BY W. SCOTT

Volkova O.A., Serebryakov A.A.

North-Caucasus Federal University, Stavropol, e-mail: domvolkovih@yandex.ru

The article discusses research of communicative and pragmatic features of onomastics functioning in the novel «Ivanhoe» by W. Scott. Onomastics of the novel contains significant meaning, has unusual sound shape, possesses hidden associative background. The names of the main characters, the names of castles, historic places are stylistically true and accurate, fully corresponds with soul, idea and intention of the novel, reflect typical coloring and special sense, emphasis, where author’s intention is expressed highly concentrated. Anthroponimics of the novel has a dual motivation: on the one hand, motivational relations correspond with a real list of names, on the other hand, the anthroponymic system is perceived as artificial, motivated with associative links in the context of the work itself, describing not only the life and customs of Medieval England, but also psychology and behavior of the characters during this period. The names of the main characters, interacting with adjectives functioning in the text, create a historical tone of the novel, reflect the author’s position and particular vision of space. In the text of the work. Anthroponyms perform various functions: pragmatic, communicative, nominative, conceptual, aesthetic, stylistic, emotional, evaluative.

Keywords and phrases:. pragmatic potential, cultural-linguistic realia, onomastics, anthroponimics, motivation, function

В художественной литературе сложился специальный прием использования «характеристических» имен, многие из которых являются культурно-языковыми реалиями той эпохи, которую автор произведения избрал в качестве повествовательной основы. В последнее время многие лингвисты справедливо отмечают привилегированное положение онимов в ткани художественного произведения: имя собственное наделяется автором богатством и разнообразием ассоциативных связей, которые раскрываются в семантическом пространстве текста, выполняя целый ряд прагматических функций. Особый интерес в этом плане представляет ономастическое творчество В. Скотта, отличающееся интенционально обусловленным своеобразием и значительным прагматическим потенциалом.

Творчество В. Скотта занимает значимое место в зарубежной литературе. Однако адекватного литературоведческого и лингвистического анализа оно не получило, малоизученным остается и ономастическое пространство его произведений, под которым мы понимаем непосредственно имена собственные, ономастические реалии, антропонимы, топонимы, эргонимы, маркировки и т.д. Акцент в данной статье будет сделан на литературных антропонимах, функционирующих в ткани романа В. Скотта «Айвенго», многочисленных и разнообразных по своему составу, поэтому классификация их может проводиться по различным основаниям.

а) Традиционным является структурный анализ именований персонажей.

По числу входящих компонентов антропонимы можно подразделить на одночленные, двучленные и трехчленные. Так, в тексте романа зафиксированы 354 антропонимические единицы, представляющие собой различные именования персонажей. Наиболее многочисленными – 233 из 354 – являются однословные номинации, основу которых составляют имена и прозвища. Двучленная модель представлена 121 конструкцией, среди которых есть несколько традиционных конструкций типа «имя + фамилия» (28 единиц), в то время как преобладают здесь конструкции типа «атрибут + имя» – 33 единицы, «имя + прозвище» – 16 единиц, «имя + титул» – 34 единицы. Наименьшим количеством представлены трехчленные именования, т.е. имена, в состав которых входят три и более слова-онима (французский образец), – 17 единиц, хотя они и принадлежат главным действующим лицам.

Всего в тексте прямых объектов номинации 354, из них 6 имеют вариативные именования, причем почти все из этих персонажей имеют наибольшее число вариаций – от 2 до 7. Это, прежде всего, имена главных действующих лиц и имена героев, наиболее значимых для повествования. Например: *Cedric the Saxon (Седрик Сакс) – Saxon (Саксонец) – Saxon thane (Саксонский Тан) – Cedric Rotervudsky (Седрик Ротервудский); Wilfred Ivanhoe (Уилфред Айвенго) – Ivanhoe (Айвенго) – Knight Disinherited (Рыцарь Лишенный Наследства) – Wilfred (Уилфред) – Desdichado – Disinherited (Лишенный Наследства); Athelstane (Ательстан) – Athelstane Komingsburgsky (Ательстан Комингсбургский), Athelstane the Unready (Ательстан Неповоротливый); King Richard the Lionheart (Король Ричард Львиное Сердце) – Richard the Lionheart (Ричард Львиное Сердце) – Richard (Ричард) – The King of England (Король Англии) – Richard I (Ричард I) – Richard English (Ричард Английский) – The Black Knight (Черный Рыцарь) – Knight of the Fetterlock (Рыцарь Висячего Замка) – Black Night of the Fetterlock (Черный Рыцарь Висячего Замка) – Black couch potato (Черный Лентяй); Prince John (Принц Джон) – Prince (Принц) – Prince of Anjou (Принц Анжуйский); Loxley (Локсли) – Robin Hood (Робин Гуд) – Locksley of Sherwood Forest (Локсли из Шервудского леса), Robert of Locksley (Роберт из Локсли) – The King of Sherwood (Шервудский король); Waldemar Fitz Urs (Вальдемар Фиц-Урс) – blue knight (Синий Рыцарь)*. Такие именования составляют прагматически значимое ядро антропонимического пространства В. Скотта. Остальные объекты номинации в тексте романа не имеют антропонимических вариаций (например: *lady Rowena – леди Ровена, Rebecca – Ревекка, Isaac – Исаак, Wamba – Вамба, Gurt – Гурт* и др.).

Параллельные именования присущи также главным героям произведения. Если в предыдущих случаях типа *Ричард Львиное Сердце – Ричард I* можно усмотреть развитие и реализацию одного и того же семантического признака, обусловленного контекстом произведения (ср.: Львиное Сердце – I «первый, главенствующий, большой, храбрый, яркий»), рассматривая такие именования как семантические варианты антропонима, то в случае *Ричард Львиное Сердце* и *Черный Лентяй* такие именования, данные по различным основаниям, следует считать параллельными, выполняющими различные характеризующие функции и обладающие значительным прагматическим потенциалом.

б) Антропонимы романа-трилогии могут классифицироваться по ономастическим разрядам: личные имена, фамилии, прозвища.

С точки зрения языковой принадлежности выделяются собственно английские имена, а также имена, восходящие к антропониконам других языков и наречий. Наиболее многочисленны именования, функционирующие, как правило, со словами, называющими титул, звание или же с числительными: *Richard I (Ричард I); Henry II (Генрих II); Wilhelm II (Вильгельм II); Edward III (Эдуард III); Wilfred (Уилфред); Athelstane (Ательстан)*. Имена, восходящие к антропониконам французского языка: *Brian de Boisguillebert (Бриан де Буагильбер); Reginald Front-de-Boeuf (Реджинальд Фрон де Беф); Waldemar Fitzurse (Вальдемар Фиц-Урс); Maurice de Bracy (Морис де Браси); Philippe de Malvuazen (Филипп де Мальвуазен); Gilles de Molverer (Жиль де Мольверер), Philip French (Филипп Французский), William de Vivil (Уильям де Вивиль), Steven de Martival (Стивен де Мартиваль), Jacques Fitz Dotrel (Жак Фиц Дотрель)*, используются для обозначения норманнов, поскольку нормандский язык выработался как принятие местных старофранцузских диалектов завоевателями-норманнами, говорившими на старонормандском и развился в региональные языки Франции, существующие и сейчас. Антропонимы, заимствованные из еврейского языка: *Isaac (Исаак), Ishmael (Измаил), Rebecca (Ревекка), Kirdzhat Jairam (Кирджат Джайрам), Abraham (Авраам), Joseph (Иосиф), Nathan Ben Samuel (Натан Бен-Самуэль), Lazarus (Лазарь)*, служат для того, чтобы придать произведению исторический колорит, т.е.

изобразить «старую» Англию XII века. Евреи являлись неотъемлемой частью населения Британии XI–XIII вв., и В. Скотт, по праву считавшийся «отцом» исторического романа, не мог не изобразить израильский народ в канве своего произведения. «Первые письменные указания о заселении Англии евреями относятся к 1066 г., когда после победы под Стингсом в том же году Вильгельм Завоеватель установил в Англии правление норманнов. Он же пригласил евреев, занимающихся коммерческой деятельностью, которые, по его мнению, могли принести пользу в завоеванной Англии» [2, с. 340–342]. Имена-онимы, взятые из арабского языка: Abdullah (Абдалла), Mahmoud (Махмуд), Mohammed (Мухаммед), Sultan Saladin (султан Салладин), «обладающие способностью передавать значимую для реципиента информацию, используются автором с целью сделать эту информацию закрытой для «непосвященных» или инокультурных восприемников» [3, с. 4]. Таким образом, В. Скотт дает арабские имена евреям и упоминает о Коране с целью приблизить «осведомленного» читателя к истории Англии, наиболее отчетливо обрисовать реальную историю Англии и ее народа.

В некоторых случаях автор мотивирует процесс номинации персонажа, наделяя их интенциональным прагматическим потенциалом: *Loxley (Локсли) – Robin Hood (Робин Гуд)* «*– Call me no longer* ***Locksley,*** *my Liege, but know me under the name which, I fear, fame hath blown too widely not to have reached even your royal ears: I am* ***Robin Hood of Sherwood Forest****»* [12, с. 464]. *– Не зовите меня более* ***Локсли,*** *государь, и узнайте то имя, которое получило широкую известность и, быть может, достигло даже и вашего царского слуха… Я* ***Робин Гуд из Шервудского леса*** [10, с. 414]. Прагматически отмеченным является и то, как В. Скотт оправдывает насмешливое прозвище Ательстана, которое тот получил отнюдь не случайно: «*But with the blood of this ancient royal race many of their infirmities had descended to* ***Athelstane****. He was comely in countenance, bulky and strong in person, and in the flower of his age; yet inanimate in expression, dull-eyed, heavy-browed, inactive and sluggish in all his motions, and so slow in resolution, that the soubriquet of one of his ancestors was conferred upon him, and he was very generally called* ***Athelstane the Unready***» [12, с. 84]. *– Но вместе с царственной кровью своих предков* ***Ательстан*** *унаследовал и многие из их слабостей. Он был высокого роста, крепкого телосложения, в цвете лет, но его красивое лицо было так вяло, глаза смотрели так тупо и сонно, движения были так ленивы, и он был так медлителен в своих решениях, что его прозвали* ***Ательстаном Неповоротливым*** [10, с. 91].

В некоторых случаях «иноязычность» именования подчеркивается фонетическим обликом слова (ср.: *Kirdzhat Jairam – Кирджат Джайрам, Salah ad-Din – Салах-аддин*), однако языковая принадлежность не квалифицируется. Вполне возможно, что часть таких конструкций относится к искусственным номинациям, создаваемым писателем по определенным моделям. Собственно английские имена, представленные в тексте романа, тесно соприкасаются практически с таким же количеством имен собственных французского происхождения. Такое соотношение онимов объясняется историческими факторами. «В 1066 году под предводительством герцога Вильгельма Нормандского, впоследствии Завоевателя, норманны завоевали и покорили Англию, разбив в битве при Гастингсе последнего короля англо-саксов Гарольда Годвинсона. Герцог Вильгельм Завоеватель основал в 1066 году нормандскую династию английских королей. На восточных берегах господствовали скандинавы. С земли франков в Англию нормандцы пришли уже как носители французского языка, французской культуры и французского феодального государственного устройства. Завоеватели принесли с собою французский язык — его северный, нормандский диалект. Но память о своих героических предках была жива. Со временем нормандцы мигрировали и оккупировали некоторые территории в Европе. В течение ближайших после завоеваний, столетий в Англии образовался англо-нормандский диалект, включавший, как видно из названия, элементы и английского, и нормандского» [1, с. 14].

Значительное число именований являются также собственно английскими, однако квалифицировать их довольно сложно: это имена-прозвища, обладающие самым высоким прагматическим потенциалом с целью характеристики персонажа. В словаре английской ономастической терминологии прозвище трактуется как «дополнительное имя, данное человеку окружающими людьми в соответствии с его характерной чертой, сопутствующим его жизни обстоятельствам или по какой-либо аналогии» [8, с. 145]. В основу таких именований положены следующие прагматически релевантные признаки:

– род занятий героя, профессия: **Robin Hood (Робин Гуд)**: «*King of outlaws, and Prince of good fellows! – said the King* [12, с. 465]. *– Стало быть, король разбойников, глава добрых молодцов? – сказал*

король» [10, с. 414]. **Richard the Lionheart (Ричард Львиное Сердце)**: «*Wars, showing that the King has earned him this rumor proud nickname – Lionheart – the country and the people nothing but poverty and turmoil, did not bring»* [12, с. 475]. *«Войны, свидетельствующие о том, что король заслужил данное ему молвой гордое прозвище – Львиное Сердце, – стране и народу ничего, кроме обнищания и смуты, не приносили»* [10, с. 440].

– внешняя характеристика героя: **Athelstane the Unready (Ательстан Неповоротливый)**: «*… he was so slow in his decisions, and he was very generally called Athelstan the Unready»* [12, с. 84]. «*… и он был так медлителен в своих решениях, что его прозвали Ательстаном Неповоротливым*» [10, с. 91]. Данный герой «утверждается в сознании читателей своим внешним видом, чертами характера, поступками, мыслями, своеобразной речью» [9, с. 12– 13].

– особенности характера героя, отражение его внутреннего мира: **Sedric the Saxon (Седрик Сакс)**: «*…from the countenance of this proprietor, that he was of a frank, but hasty and choleric, temper…his fase was broad, with large blue eyes, open and frank features, fine teeth, and a well-formed head, altogether expressive of that sort of good humour which often lodges with a sudden and hasty temper* [12, с. 32– 33]. «*По лицу Седрика было видно, что он человек прямолинейный, нетерпеливый и вспыльчивый. …широкое лицо с большими голубыми глазами дышало смелостью и прямотой и выражало такое благодушие, которое легко сменяется вспышками внезапного гнева*» [10, с. 48]. Очевиден прагматический потенциал номинации *Седрик Сакс* – автор попытался создать имя по образу и подобию поведения самого героя. «Ономастические ассоциации являются одним из путей наполнения собственного имени в художественном тексте смысловой нагрузкой» [9, с. 19]. Имя *Седрик Сакс* можно отнести к категории значащих антропонимов, т.е. данный оним обладает наивысшей степенью семантической активности и не нуждается в дополнительных комментариях. Вторая часть онима *Сакс* указывает на национальную принадлежность героя, что в итоге позволяет В. Скотту создать яркий впечатляющий образ [9, с. 23].

– одеяние героя, его доспехи или вооружение: **Knight Disinherited (Рыцарь, Лишенный Наследства):** «*His suit of armour was formed of steel, richly inlaid with gold, and the device on his shield was a young oaktree pulled up by the roots, with the Spanish word Desdichado, signifying Disinherited*» [12, с. 96]. «*На нем был стальной панцирь с богатой золотой насечкой; девиз на его щите изображал молодой дуб, вырванный с корнем; под ним была надпись на испанском языке; «Desdichado», что означает «Лишенный наследства*» [10, с. 100]. В данном случае оним *Рыцарь, Лишенный Наследства,* приобретает статус характеризующего онима. Такое имя собственное было необходимо автору для того, чтобы дать авторскую оценку персонажа. «Говорящее имя для того и наделено способностью «говорить», в отличие от обычных, «немых», нейтральных имен, чтобы акцентировать соответствующую мысль, идею, тенденцию» [9, с. 24].

Антропонимы в зависимости от степени известности носителя имени могут квалифицироваться, по мнению С.В. Перкас, как «воплощенные» – «невоплощенные». Автор отмечает, что «реализация таких аллюзий предъявляет повышенные требования к осведомленности, эрудиции читателя, уровню читательской культуры… В случае успешной реализации аллюзии резко усиливают эстетическое воздействие художественного текста на читателя. Это воздействие основано на интенсивных ассоциативных связях, соединяющих данный текст с внеязыковой реальностью» [7, с. 8]. В тексте исследуемого нами произведения «воплощенные» антропонимы представлены, хотя и незначительно в силу специфики жанра. К числу таких имен можно отнести следующие: *Henry II, Wilhelm II, Edward III, St. Mary, the Blessed Virgin, St. John, the Lord God, Richard the Lionheart, the blessed Aaron, William the Conqueror, St. Mark, St. Hubert, St. Anthony, St. Thomas, the Virgin Mary, St. Vitol, St. Julian. (Генрих II, Вильгельм II, Эдуард III, Св. Мария, Пресвятая Дева, Св. Иоанн, Господь Бог, Ричард Львиное Сердце, блаженный Аарон, Вильгельм Завоеватель, Св. Марк, Св. Губерт, Св. Антоний, Св. Фома, Пресвятая Богородица, Св. Виталь, Св. Юлиан* и др.). В историческом произведении даже незначительное количество «воплощенных» имен позволяет ввести повествование в канву английской и мировой культуры, осмыслить на этом фоне разворачивающийся сюжет. Благодаря именно таким антропонимам, многие из которых являются реалиями, на страницах романа мы видим все слои средневековой Англии: и саксонскую знать, и норманнских рыцарей, и духовенство, и крестьян.

Изучение имен собственных, функционирующих в романе В. Скотта «Айвенго», позволило сделать следующие выводы. Произведение В. Скотта насыщено именами собственными, причем наиболее

значимыми в функционально-прагматическом аспекте являются антропонимы. Антропонимикон произведения имеет двойственную мотивацию: с одной стороны, мотивационные связи соответствуют реальному именнику, с другой, антропонимическая система осознается как искусственная, мотивированная ассоциативными связями в контексте содержания самого произведения, описывающего не только быт и нравы средневековой Англии, но также психологию и поведение героев в этот период времени. Имена главных героев произведения выполняют ряд функций: прагматическую, коммуникативную, номинативную, идиостилистическую и др. Взаимодействуя с прилагательными, функционирующими в тексте, ономастикон романа создает историческую тональность произведения, отражает авторскую позицию, особое видение пространства.

Список литературы

1. Гуревич А.Я. Походы викингов. – М., 2005. – 352 с.

2. Дубнов С.М. Изгнание евреев из Англии // Краткая история евреев. – Ростов-на-Дону, 2000. – С. 546–549.

3. Зинин С. И.. Введение в русскую антропонимию. – Ташкент, 1972. – 277 с.

4. Карпенко Ю.А. Специфика имени собственного в художественной литературе // Филологические науки. – М., 1986. – Т. XXXI. – С. 5–22.

5. Михайлов В.Н. Роль ономастической лексики в структурно-семантической организации художественного текста // Русская ономастика. – Одесса: Сб. науч. тр., 1984. – С. 106.

6. Немировская Т.В. Некоторые проблемы литературной ономастики // Актуальные вопросы русской ономастики. – Киев, 1988. – С. 112–122.

7. Перкас С.В. Парадигматические и синтагматические аспекты лингвистического потенциала топонимов в современном английском языке: Автореф. дисс. … канд. филол. наук. – М., 1980. – 16 с.

8. Подольская Н.В. Словарь русской ономастической терминологии. – М., 1988. – 192 с.

9. Рогалев А.Ф. Имя и образ: Художественная функция имен собственных в литературных произведениях и сказка. – Гомель, 2007. – 224 с.

10. Скотт В. «Айвенго». – М., 1990 – 476 с.

11. Фонякова О.И. О системном анализе имен собственных в художественном тексте // Проблемы комплексного анализа языка и речи: межвуз. сб. науч. тр. – Л., 1982. – С. 83–89.

12. Sir Walter Scott «Ivanhoe». – M., 2010. – 528 c.

References

1. Gurevich A.Ja. Pohody vikingov. M., 2005. 352 p.

2. Dubnov S.M. Izgnanie evreev iz Anglii // Kratkaja istorija evreev. Rostov-na-Donu, 2000. pp. 546 549.

3. Zinin S. I. Vvedenie v russkuju antroponimiju. Tashkent, 1972. 277 p.

4. Karpenko Ju.A. Specifika imeni sobstvennogo v hudozhestvennoj literature // Filologicheskie nauki. M., 1986. T. XXXI. zz. 5–22.

5. Mihajlov V.N. Rol' onomasticheskoj leksiki v strukturno-semanticheskoj organizacii hudozhestvennogo teksta // Russkaja onomastika. Odessa: Sb. nauch. tr., 1984. S. 106.

6. Nemirovskaja T.V. Nekotorye problemy literaturnoj onomastiki // Aktual'nye voprosy russkoj onomastiki. Kiev, 1988. pp. 112–122.

7. Perkas S.V. Paradigmaticheskie i sintagmaticheskie aspekty lingvisticheskogo potenciala toponimov v sovremennom anglijskom jazyke: Avtoref. diss. … kand. filol. nauk. M., 1980. 16 p.

8. Podol'skaja N.V. Slovar' russkoj onomasticheskoj terminologii. M, 1988. 192 p.

9. Rogalev A.F. Imja i obraz: Hudozhestvennaja funkcija imen sobstvennyh v literaturnyh proizvedenijah i skazka. Gomel', 2007. 224 p.

10. Skott V. «Ajvengo». M., 1990 476 p.

11. Fonjakova O.I. O sistemnom analize imen sobstvennyh v hudozhestvennom tekste // Problemy kompleksnogo analiza jazyka i rechi: mezhvuz. sb. nauch. tr. L., 1982. pp. 83–89.

12. Sir Walter Scott «Ivanhoe». Moskva, 2010. 528 p.

Рецензенты:

Серебрякова С.В., д.ф.н., профессор кафедры теории и практики перевода, ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь;

Леденёв Ю.Ю., д.ф.н., профессор, зав. кафедрой иностранных языков, ФГБОУ ВПО «Ставропольский государственный аграрный университет», г. Ставрополь.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

УДК 81’367

ГРАММАТИЧЕСКАЯ КАТЕГОРИЯ ПРОСТОГО ВРЕМЕНИ В ДРЕВНЕАНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Гурова Ю.И.

Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов, Санкт-Петербург, e-mail: gurovayulia@yandex.ru

Статья посвящена диахроническому изучению грамматических конструкций настоящего, прошедшего и будущего времени на примере комплексного анализа древнеанглийского языка с точки зрения исторической лингвистики. Основное содержание статьи – исследование одного из сложных грамматических явлений английского языка – видовременной системы. В нашей статье мы рассматриваем случаи употребления простого времени в синтаксической структуре предложения в древнеанглийский период, для того чтобы выделить отдельные морфологические, лексические средства данного аспекта в английском языке и проанализировать случаи его использования. В данной статье исследованы и проанализированы наиболее часто используемые грамматические конструкции простого времени в английском языке с точки зрения диахронии.

Ключевые слова: древнеанглийский язык, индикатив, претерит, морфологические, лексические средства, синтаксическая структура предложения

HISTORIC ASPECT OF THE INDEFINITE TENSES IN THE OLD ENGLISH LANGUAGE

Gurova Y.I.

Saint-Petersburg University of Humanities and Social Sciences, St. Petersburg, e-mail: gurovayulia@yandex.ru

The article is devoted to the diachronic study of the grammatical constructions based on the example of the complex analysis for Present, Past and Future Indefinite of the Old English language from the point of historical linguistics. There is researched one of the complex phenomena of the English language – Indicative Mood. There are regarded the usage of grammatical cases of the Indefinite Tenses in the diachronic structure of a sentence in the Old English period so as to sort out some morphological, lexical means of the given aspect in the history of the English language and analyze the cases of its use. There are researched and analyzed the most common useful means of the indicative constructions in the English language in diachrony.

Keywords: the Old English language, Indicative Mood, preterit, morphological, lexical means, diachronic structure of a sentence

Данная статья посвящена диахроническому изучению грамматики древнеанглийского языка, а именно исследованию простого времени (Indefinite Tenses). Цель предлагаемой статьи – изучить структуру английского предложения и его закономерности, выявить основные особенности изъявительных предложений и специфику их использования на синхронном срезе древнеанглийского периода. Чтобы раскрыть всю полноту изъявительного предложения в древнеанглийском языке (далее ДА), необходимо определить способы и средства его выражения, проанализировать случаи его использования в речи. С этой целью необходимо проследить случаи употребления изъявительного наклонения в синтаксической структуре предложения и выделить отдельные морфологические средства.

Материалы и методы исследования

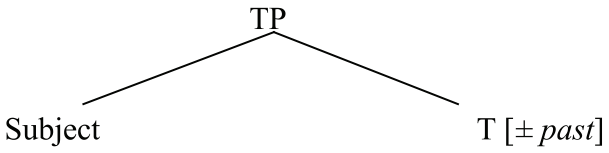
Ранее проводился ряд исследований, посвященных анализу грамматических форм английского языка в диахронии, в основном аспектологического порядка (Kroch A.; Taylor A. 2000; Jespersen O. 2006, Pullum G. 1982; Duffley Patrick J. 1992;; Хомский Н. 1981; Адмони В.Г., Ярцева В.Н. 1978 г.; Иванова И.П., Чахоян Л.П., Беляева Т.М. 1999; Маковский М.М. 1986, 1996], в которых описаны способы выражения видовых значений, структура языка, метрика или грамматика текста. Но, несмотря на многочисленные успешные работы в области диахронической грамматики, основные вопросы, связанные с развитием изъявительного наклонения в германских языках в диахронии, не получают однозначного решения.

Основной материал для исследования составили тексты древнеанглийского языка. Статус изъявительного предложения изучался в 140 микроконтекстах поэтических памятников VIII–XII вв. Корпус текстов, подвергаемых анализу, включает около 8000 строк, в том числе поэму «Деор» (Deor, 273 строки), «Гимн Кэдмона» (Bede’s story of Caedman, 153 строки) и различные версии перевода (95 строк), «Сон Руда» (The Dream of Rood, 156 строки), и другие произведения. Выбор текстов обусловлен наличием описаний мироустройства и пространственных концептов, иллюстрирующих архаичную мифопоэтическую модель мира. Примеры, приводимые в тексте статьи, сопровождаются построчным авторским переводом на современный английский язык, позволяющим максимально наглядно представить функционирование древнего слова в контексте.

Результаты исследования и их обсуждение

Обзор исторических данных показывает, что категория времени у глагола древнеанглийского периода была крайне бедна

и включала в себя только две формы: настоящее и прошедшее время. Данные категории образовывались с помощью синтетических форм. Эти два времени имеют перечень формальных признаков, которыми обладает составная часть целого предложения T (характеризует временную соотнесенность и структуру события).



Категория времени ДА глагола

В древнеанглийский период существовало только два времени: настоящее и прошедшее. Другие времена либо подразумеваются в тексте, либо выражаются с помощью наречий. Формой выражения настоящего времени является внешняя флексия, которая присоединяется к основе настоящего времени. Структура предложения будет выглядеть следующим образом:

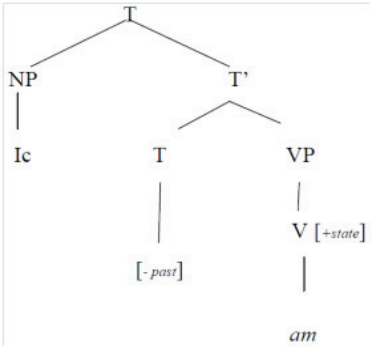
(1) L. 5: *Hu <u>begæst þu</u> weorc þin? – How do <u>you do</u> your work?*

[T – V – Agr – sg2] ⟷ begæst [Present – state – sg2]

Существовали две формы глагола to be – wesan / beon. Обе формы имели идентичный перевод, но были различными в использовании. Глагол wesan спрягался в настоящем и прошедшем времени, использовался для называния факта действия (состояния) в настоящем или прошедшем (T – Tense Phase, VP – Verb Phase, Agr – Agreement). В трансформационном виде схема древнеанглийского предложения выглядит следующим образом:

(2) *L. 2:* *Ic <u>eom</u> munuc.*

I <u>am</u> a monk.



[T – V – Agr – sg1] ⟷ *am* [Present – state – sg1]

Глагол beon не имел спряжения в прошедшем времени, использовался для длительного (бесконечного) действия.

(3) *<u>Ælfred kyning</u> **<u>hateð</u>** gretan Wærferð biscep his wordum luflice ond freondlice…*[3]
*<u>King Alfred</u> **<u>sends</u>** greetings to Bishop Wærferth with his loving and friendly words….*

[T – V – Agr – sg3] ⟷ hateð [Present – state – sg3];

[T – V – Agr – sg3] ⟷ sends [Present – state – sg3].

Форма настоящего времени также использовалась для передачи будущего действия. Настоящие формы глагола beon – bið, bēoð использовались чаще для обозначения будущего, нежели is, sint.

(4) *L. 3…and of þæs treowes wæstme, þe <u>is</u> onmiddan neorxenawange…*[6: The Fall of Man]
…but of the fruit of the tree which <u>is</u> in the middle of the garden…

[T – V – Agr – sg3] ⟷ is [Present – state – sg3]

Иногда можно встретить в одном предложении сочетание настоящего и прошедшего времени (present + past), но данные конструкции встречаются крайне редко, их происхождение сомнительно.

(5) L. 1-2: *Hwæt, ic swefna cyst secgan wylle,*
hwæt me gemætte to midre nihte...[6: The Dream of Root]
Behold, I wish to tell the best of dreams which I dreamt at the middle of the night…

[T – Vmod + V – Agr – sg1] ⟷ secgan wylle [Fut – Vmod + V – sg1];
[T – V – Agr – sg1] ⟷ dreamt [Past – state – sg1]

Формы для выражения значения будущего времени отсутствовали. Существовало несколько способов передачи будущего значения. Один из них – это использование глаголов в настоящем времени с обстоятельственными словами, уточняющими, что действие относится именно к будущему времени. Одновременно весь широкий контекст мог показывать отнесенность действия к сфере будущности.

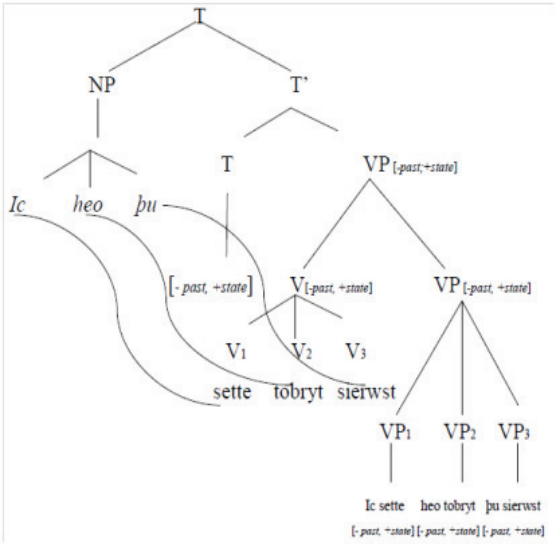
(6) L. 5: Ic sette feondrædene betweox þe and þam wife and þinum ofspringe and hire ofspringe; heo tobryt þin heafod and þu sierwst ongean hire ho [6: The Fall of Man].
I will put enmity between you and the woman, and between your offspring and her offspring. He will bruise your head, and you will bruise his heel.

[T – V -Agr – sg1] ⟷ sette [Pres – state – sg1]

[T – V -Agr – sg3] ⟷ tobryt [Pres – state – sg3]

[T – V -Agr – sg2] ⟷ sierwst [Pres – state – sg2]

В трансформационном виде схема древнеанглийского предложения выглядит следующим образом:



Для передачи значения будущего совершенного использовалось настоящее время:
(7) L. 107-9…. þæt hē þonne wile dēman, se āh dōmes geweald, ānra gehwylcum swā hē him ærur hēr on þyssum lænum līfe geearnaþ [6: The Dream of Root].
He who has power of judgement, He then will sentence each one, just as he shall have earned for himself here in this temporary life.

[T – V -Agr – sg3] ⟷ geearnaþ [Pres – state – sg3]

Второй способ – это использование составного сказуемого, где один из членов является модальным глаголом, а другой – инфинитивом. Чаще всего в качестве модальных глаголов выступали sculan и willan, которые имели свое основное модальное значение: sculan – долженствования, а willan – желания или волеизъявления.

(8) L. 1: *Hwæt! Ic swefna cyst secgan wylle..*[6: The Dream of Root]
Listen, I will tell the best of visions..

[T – Vmod + V – Agr – sg1] ⟷ wylle secgan [Fut – Vmod + V – sg1]

Данный способ передачи будущего времени является источником и прототипом образования формы будущего времени в современном английском языке, но в древнеанглийский период основной функцией составного сказуемого с глаголами, обладающими модальным значением, является совсем не передача временного значения, т.к. сами глаголы sculan и willan имеют свое четкое лексическое модальное значение.

(9) L.1: *Nu sculon herian heofonrices Weard…*[1: Cædmon's Hymn: West Saxon Version]
Now [we] must praise [the] Guardian of [the] heavenly kingdom…

[T – Vmod + V – Agr – pl] ⟷ sculon herian [Fut – Vmod + V – pl]

Помимо данных глаголов употреблялись и некоторые другие, которые в составе сложного сказуемого кроме своего основного, модального значения имели оттенок значения будущего времени. К таким глаголам относятся: cunnan – знать; durran – дерзать, сметь; mōtan – должен; maȝan – мочь.

(10) L. 27: *Þæs ofereode, þisses swa mæg* [6: Dear].
That was overcome, so may this be.

[T – V – Agr – sg] ⟷ mæg [Pres – V – sg]

При употреблении модальных конструкций для передачи будущего времени модальные глаголы имели более или менее яркое временно́е значение. Данный процесс начал происходить уже к концу ДА периода, т.к. модальность глаголов начала постепенно стираться, и в сознании людей описательная модальная конструкция стала восприниматься как форма для выражения будущего времени.

(11) L. 9-10: Nis nu cwicra nan þe ic him modsefan minne durre sweotule asecgan [1: Wanderer]
There is none now living to whom I dare clearly speak of my innermost thoughts.

[T – Vmod + V – Agr – sg1] ⟷ durre asecgan [Pres – Vmod + V – sg1]

Для передачи значения будущего совершенного использовались модальные глаголы:

(12) L. 112-113: Til biþ se þe his treowe gehealdeþ, ne sceal næfre his torn to rycene: beorn: of his breostum: acyþan, nemþe he ær þa bote cunne, eorl mid elne gefremman [1: Wanderer].
It is good for him who retains his faith: never shall a man express too quickly the grief from his heart, unless he already knows (will have known) the remedy a hero must act with courage.

[T – V – Agr – sg3] ⟷ cunne [Pres – V – sg3]

Единственный глагол, который имел форму будущего – это глагол biþ и его словоформы.

(13) L. 89-90: Micel biþ se meotudes egsa, forþon hi seo molde oncyrreð…[6: Seafarer]
Great is the terrible power of the Ordainer before which the earth will quake…

[T – V – Agr – sg3] ⟷ biþ [Pres – V – sg3]

Таким образом, формы настоящего времени, а также модальные глаголы используются не только для обозначения действия в настоящем, но и в будущем: действие, по форме образования относящееся к настоящему времени, при использовании глаголов совершенного вида или наречий будущего времени приобретает значение будущности.

Категория относительного будущего в прошедшем существовала в ДА период и передавалась двумя способами:

1) с помощью форм прошедшего времени сослагательного наклонения;

2) с помощью составного сказуемого с модальными глаголами scullan в прошедшем времени (sceolde).

(14) L. 30-31: *Hu ic werig oft in brimlade bidan sceolde* [7: Seafarer].
How often I weary endured on the ocean-way.

Как уже было сказано, в ДА период было только две временные категории: категории настоящего и прошедшего времени. Прошедшее время использовалось в самом широком смысле для обозначения любых действий, произошедших в прошлом (включая

и те, что в современном английском языке выражаются формами Past Continuous, Past Perfect, Present Perfect и другими аналитическими формами). Формой выражения значения прошедшего времени служит внутренняя и внешняя флексия. Для ДА языка характерно деление всех глаголов на две группы: сильные и слабые. Различие между этими группами заключалось в способе, согласно которому образовывалась форма для выражения прошедшего времени. В сильную группу входили глаголы, форма прошедшего времени которых выражалась посредством чередования гласных в корне слова (индоевропейский аблаут, который характерен для всех германских языков). Вторая группа глаголов – это слабые глаголы, которые представляют собой особую категорию, свойственную только германским языкам. Для образования формы прошедшего времени к основе слабого глагола настоящего времени присоединялся особый дентальный суффикс.

(15) Matt: 7.24: Se wisa wer timbrode his hus ofer stan [6: The Man who Built his House on Sand].

The wise man built his house on stone.

[T – V – Agr – sg3] ⟷ timbrode [Past – V – sg3]

Форма прошедшего времени в древнеанглийский период употребляется для обозначения различных действий, совершенных или совершаемых в прошлом:

(16) Matt: 7.27: Þa com þær micel flod, and þær bleowon windas, and ahruron on þæt hus, and hit ne feoll: soþlice….[6: The Man who Built his House on Sand].

Then a great flood came there, and winds blew there,
and fell down upon the house, and it did not fall…..

[T – V – Agr – sg3] ⟷ com [Past – V – sg3];

[T – V – Agr – pl3] ⟷ bleowon; ahruron [Past – V – pl3];

[T – V – Agr – sg3] ⟷ feoll [Past – V – sg3].

Доминантным было противопоставление форм прошедшего (andwyrde), настоящего (etað) в значении будущего времени в прямой речи:

(*17) L. 2:* *Pæt wif andwyrde: 'Of þara treowa wæstme þe sind on Paradisum we etað* [6: The Fall of Man].

The woman said to the serpent, 'Of the fruit of the trees of the garden we may eat.

[T – V – Agr – sg3] ⟷ andwyrde [Past – V – sg3];

[T – V – Agr – pl1] ⟷ etað [Present – V – pl1].

Прошедшее время включало в себя действия, передаваемые в современном английском языке формами прошедшего длительного, прошедшего совершенного, настоящего совершенного времен и другими аналитическими формами глаголов.

(18) Mat. 13-25: *Soðlice þa ða men slepon, þa com his feonda sum…*[4]

But while men were sleeping, one of his enemies came…

[T – V – Agr – pl3] ⟷ slepon [Past – V – pl3]

Характер действия можно было понять благодаря наречиям, союзам, а дополнительные оттенки значения времени могли передаваться с помощью контекста. Наглядный пример того, что прошедшее время использовалось в самом широком смысле для обозначения любых действий, произошедших в прошлом или в настоящем (результат):

(19) L. 11: God cwæð: 'Hwa sægde þe þæt þu nacod wære, gif þu ne æte of þam treowe þe ic þe bebead þæt þu of ne æte?' (6: Daniel 6)

God said, 'Who told you that you were naked? Have you eaten from the tree that I commanded you not to eat from?'

[T – V – Agr – sg1] ⟷ sægde [Past – V – sg1];

[T – V – Agr – sg2] ⟷ wære [Past – V – sg2]

[T – V – Agr – sg2] ⟷ æte [Past – V – sg2];

[T – V – Agr – sg1] ⟷ bebead [Past – V – sg1]

[T – V – Agr – sg2] ⟷ æte [Past – V – sg2]

В данном примере форма прошедшего времени woldon обозначает совершенное действие, предшествующее другому действию в прошлом в сослагательном наклонении, – в современном английском языке оно передается формой прошедшего совершенного времени (Conditional III).

При использовании глаголов sculan, willan + инфинитив для образования будущего времени в формах сослагательного наклонения данные семантические конструкции начинают выполнять функцию значения будущего в прошедшем.

(20) L. 40-41: ... þa him mid scoldon on flodes æht feor gewitan [2].

... that hence should go far o'er the flood with him floating away.

[T – Vaux + V – Agr – sg3] ⟷ scoldon gewitan [Past – Vaux + V – sg3]

Категория относительного будущего уже существовала в древнеанглийский период и выражалась с помощью форм прошедшего времени сослагательного наклонения и с помощью составного сказуемого с модальными глаголами scullan и willan в прошедшем времени.

(21) L. 34-35: Þær geændade æppel and attor, þæt heo næfre ne wolde on hus bugan [1: Woden's nine herbs charm].

There brought about the apple and poison, that she would never enter a house.

[T – Vaux + V – Agr – sg3] ⟷ wolde bugan [Past – Vaux + V – sg3]

Можно увидеть формирование формы будущего в прошедшем совершенного времени. Для образования данной конструкции используется составное сказуемое в форме прошедшего совершенного времени habban (прошедшее время) + причастие прошедшего времени.

(22) L. 1550-1552: Hæfde ðá forsíðod sunu Ecgþéowes under gynne grund Géata cempa nemne him heaðobyrne helpe gefremede…[2]

Then he would have perished, the son of Edgetheow, under the yawning ground, the champion of the Geats, except that him the war-byrnie provided help…

[T – Vaux + V – Agr – sg3] ⟷ hæfde forsíðod [Past – Vaux + V – sg3]

Выводы

Таким образом, в древнеанглийском языке грамматическая категория простого времени имеет свои особенности: одна и та же форма одного и того же глагола может употребляться в разных значениях, например, форма настоящего времени используется для выражения настоящего, будущего и прошедшего времени. Временное значение глагола варьировалось в зависимости от структуры всего предложения и его семантико-стилистического типа.

В современном английском языке вид является категорией, уточняющей характер протекания действия в пределах категории времени, т.е. является подчиненной категорией, а категория времени – ведущей. Это означает, что формы вида не могут существовать самостоятельно, в отрыве от временных форм. Иначе обстоит дело при обращении к истории языка: первоначально в общегерманском языке, как и в индоевропейском праязыке, различались не времена, а глагольные виды, т.е. формы, отличающиеся друг от друга характеристикой протекания действия во времени.

Список литературы/References

1. Anglo-Saxon poetry / an anthology of Old English poems tr. S. A. J. Bradley. – London: Dent, 1982. – 559 p.

2. Hieatt, A. Kent. Beowulf and Other Old English Poems. – New York: Bantam Books. 1983. – 149 p.

3. Keynes and M. Lapidge, eds. Alfred the Great: Asser's Life of King Alfred and Other Contemporary Sources. – London: 013. – P. 13–126 (Alfred's Preface to Gregory's Pastoral Care).

4. Old English. The Portal to the Language of the Anglo-Saxons / Электронный ресурс. Режим доступа: http://old-engli.sh/course-text1trans.html – Old English. The Portal to the Language of the Anglo-Saxons (дата обращения: 18.02.2013). (King James Bible: Mat. 13–25)

5. Pope, John C., ed. Homilies of Ælfric: 2 volumes. – London: Oxford University Press, 1968. – P. 259–260 (L. 5).

6. Readings in Old English / Электронный ресурс. Режим доступа: URL:http://www.arts.gla.ac.uk/STELLA/readings/OE/ISAAC.HTM. (дата обращения: 18.02.2013). (The Dream of Root: L. 1–2).

7. The Exeter Book, ed. George Philip Krapp and Elliott van Kirk Dobbie. – New York: Columbia University Press, 1936. – P. 143–47 (Seafarer: L. 30–31 (1100 г.)).

Рецензенты:

Копчук Л.Б., д.ф.н., профессор, заведующая кафедрой германской филологии РГПУ им. А.И. Герцена, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена, г. Санкт-Петербург;

Рыжова Н.И., д.п.н., профессор, директор департамента НИР НОУ ВПО «Санкт-Петербургский гуманитарный университет профсоюзов», г. Санкт-Петербург.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.

(http://www.rae.ru/fs/)

В журнале «Фундаментальные исследования» в соответствующих разделах публикуются научные обзоры, статьи проблемного и фундаментального характера по следующим направлениям.

1. Архитектура
2. Биологические науки
3. Ветеринарные науки
4. Географические науки
5. Геолого-минералогические науки
6. Искусствоведение
7. Исторические науки
8. Культурология
9. Медицинские науки
10. Педагогические науки
11. Политические науки
12. Психологические науки
13. Сельскохозяйственные науки
14. Социологические науки
15. Технические науки
16. Фармацевтические науки
17. Физико-математические науки
18. Филологические науки
19. Философские науки
20. Химические науки
21. Экономические науки
22. Юридические науки

При написании и оформлении статей для печати редакция журнала просит придерживаться следующих правил.

1. Заглавие статей должны соответствовать следующим требованиям:

– заглавия научных статей должны быть информативными (Web of Science это требование рассматривает в экспертной системе как одно из основных);

– в заглавиях статей можно использовать только общепринятые сокращения;

– в переводе заглавий статей на английский язык не должно быть никаких транслитераций с русского языка, кроме непереводимых названий собственных имен, приборов и др. объектов, имеющих собственные названия; также не используется непереводимый сленг, известный только русскоговорящим специалистам.

Это также касается авторских резюме (аннотаций) и ключевых слов.

2. Фамилии авторов статей на английском языке представляются в одной из принятых международных систем транслитерации (см. далее раздел «Правила транслитерации»)

Буква	Транслит	Буква	Транслит	Буква	Транслит	Буква	Транслит
А	A	**З**	Z	**П**	P	**Ч**	CH
Б	B	**И**	I	**Р**	R	**Ш**	SH
В	V	**й**	Y	**С**	S	**Щ**	SCH
Г	G	**К**	K	**Т**	T	**Ъ, Ь**	опускается
Д	D	**Л**	L	**У**	U	**Ы**	Y
Е	E	**М**	M	**Ф**	F	**Э**	E
Ё	E	**Н**	N	**Х**	KH	**Ю**	YU
Ж	ZH	**О**	O	**Ц**	TS	**Я**	YA

На сайте http://www.translit.ru/ можно бесплатно воспользоваться программой транслитерации русского текста в латиницу.

3. В структуру статьи должны входить: введение (краткое), цель исследования, материал и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы или заключение, список литературы, сведения о рецензентах. Не допускаются обозначения в названиях статей: сообщение 1, 2 и т.д., часть 1, 2 и т.д.

4. Таблицы должны содержать только необходимые данные и представлять собой обобщенные и статистически обработанные материалы. Каждая таблица снабжается заголовком и вставляется в текст после абзаца с первой ссылкой на нее.

5. Количество графического материала должно быть минимальным (не более 5 рисунков). Каждый рисунок должен иметь подпись (под рисунком), в которой дается объяснение всех его элементов. Для построения графиков и диаграмм следует использовать программу Microsoft Office Excel. Каждый рисунок вставляется в текст как объект Microsoft Office Excel.

6. Библиографические ссылки в тексте статьи следует давать в квадратных скобках в соответствии с нумерацией в списке литературы. Список литературы для оригинальной

статьи – не менее 5 и не более 15 источников. Для научного обзора – не более 50 источников. Список литературы составляется в алфавитном порядке – сначала отечественные, затем зарубежные авторы и оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008.

Списки литературы представляются в двух вариантах:

1. В соответствии с с ГОСТ Р 7.0.5 2008 (русскоязычный вариант вместе с зарубежными источниками).

2. Вариант на латинице, повторяя список литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники

Новые требования к оформлению списка литературы на английском языке (см. далее раздел «ПРИСТАТЕЙНЫЕ СПИСКИ ЛИТЕРАТУРЫ» – ПРАВИЛ ДЛЯ АВТОРОВ).

7. Объем статьи не должен превышать 8 страниц А4 формата (1 страница – 2000 знаков, шрифт 12 Times New Roman, интервал – 1,5, поля: слева, справа, верх, низ – 2 см), включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы. Публикация статьи, превышающей объем в 8 страниц, возможна при условии доплаты.

8. При предъявлении рукописи необходимо сообщать индексы статьи (УДК) по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющейся в библиотеках.

9. К рукописи должен быть приложен краткий реферат (резюме) статьи на русском и английском языках. Новые требования к резюме (см. далее раздел «АВТОРСКИЕ РЕЗЮМЕ (АННОТАЦИИ) НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ» – ПРАВИЛ ДЛЯ АВТОРОВ).

Объем реферата должен включать минимум 100-250 слов (по ГОСТ 7.9-95 – 850 знаков, не менее 10 строк). Реферат объемом не менее 10 строк должен кратко излагать предмет статьи и основные содержащиеся в ней результаты. Реферат подготавливается на русском и английском языках.

Используемый шрифт – полужирный, размер шрифта – 10 пт. **Реферат на английском языке должен в начале текста содержать заголовок (название) статьи, инициалы и фамилии авторов также на английском языке.**

10. Обязательное указание места работы всех авторов. (Новые требования к англоязычному варианту – см. раздел «НАЗВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ» – ПРАВИЛ ДЛЯ АВТОРОВ), их должностей и контактной информации.

11. Наличие ключевых слов для каждой публикации.

12. Указывается шифр основной специальности, по которой выполнена данная работа.

13. Редакция оставляет за собой право на сокращение и редактирование статей.

14. Статья должна быть набрана на компьютере в программе Microsoft Office Word в одном файле.

15. Статьи могут быть представлены в редакцию двумя способами:

- **Через «личный портфель» автора**
- **По электронной почте edition@rae.ru**

Работы, поступившие через «Личный ПОРТФЕЛЬ автора» публикуются в первую очередь

Взаимодействие с редакцией посредством «Личного портфеля» позволяет в режиме on-line представлять статьи в редакцию, добавлять, редактировать и исправлять материалы, оперативно получать запросы из редакции и отвечать на них, отслеживать в режиме реального времени этапы прохождения статьи в редакции. Обо всех произошедших изменениях в «Личном портфеле» автор дополнительно получает автоматическое сообщение по электронной почте.

Работы, поступившие по электронной почте, публикуются в порядке очереди по мере рассмотрения редакцией поступившей корреспонденции и осуществления переписки с автором.

Через «Личный портфель» или по электронной почте в редакцию одномоментно направляется полный пакет документов:

- материалы статьи;
- *сведения об авторах;*
- *копии двух рецензий докторов наук (по специальности работы);*
- *сканированная копия сопроводительного письма (подписанное руководителем учреждения) – содержит информацию о тех документах, которые автор высылает, куда и с какой целью.*

Правила оформления сопроводительного письма.

Сопроводительное письмо к научной статье оформляется на бланке учреждения, где выполнялась работа, за подписью руководителя учреждения.

Если сопроводительное письмо оформляется не на бланке учреждения и не подписывается руководителем учреждения, оно должно быть **обязательно** подписано всеми авторами научной статьи.

Сопроводительное письмо обязательно (!) должно содержать следующий текст.

Настоящим письмом гарантируем, что опубликование научной статьи в журнале «Фундаментальные исследования» не нарушает ничьих авторских прав. Автор (авторы) передает на неограниченный срок учредителю журнала неисключительные права на использование научной статьи путем размещения полнотекстовых сетевых версий номеров на Интернет-сайте журнала.

Автор (авторы) несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор (авторы) подтверждает, что направляемая статья негде ранее не была опубликована, не направлялась и не будет направляться для опубликования в другие научные издания.

Также удостоверяем, что автор (авторы) согласен с правилами подготовки рукописи к изданию, утвержденными редакцией журнала «Фундаментальные исследования», опубликованными и размещенными на официальном сайте журнала.

Сопроводительное письмо сканируется и файл загружается в личный портфель автора (или пересылается по электронной почте – если для отправки статьи не используется личный портфель).

• копия экспертного заключения – содержит информацию о том, что работа автора может быть опубликована в открытой печати и не содержит секретной информации (подпись руководителя учреждения). Для нерезидентов РФ экспертное заключение не требуется;

• копия документа об оплате.

Оригиналы запрашиваются редакцией при необходимости.

Редакция убедительно просит статьи, размещенные через «Личный портфель», не отправлять дополнительно по электронной почте. В этом случае сроки рассмотрения работы удлиняются (требуется время для идентификации и удаления копий).

16. В одном номере журнала может быть напечатана только одна статья автора (первого автора).

17. В конце каждой статьи указываются сведения о рецензентах: ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, город, рабочий телефон.

18. Журнал издается на средства авторов и подписчиков. **Плата с аспирантов (единственный автор) за публикацию статьи не взимается.** Обязательное представление справки об обучении в аспирантуре, заверенной руководителем учреждения. Оригинал справки с печатью учреждения высылается по почте по адресу: 105037, Москва, а/я 47, Академия естествознания. Сканированные копии справок не принимаются.

19. Представляя текст работы для публикации в журнале, автор гарантирует правильность всех сведений о себе, отсутствие плагиата и других форм неправоверного заимствования в рукописи произведения, надлежащее оформление всех заимствований текста, таблиц, схем, иллюстраций. Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных и прочих сведений.

Редакция не несет ответственность за достоверность информации, приводимой авторами. Автор, направляя рукопись в Редакцию, принимает личную ответственность за оригинальность исследования, поручает Редакции обнародовать произведение посредством его опубликования в печати.

Плагиатом считается умышленное присвоение авторства чужого произведения науки или мыслей или искусства или изобретения. Плагиат может быть нарушением авторско-правового законодательства и патентного законодательства и в качестве таковых может повлечь за собой юридическую ответственность Автора.

Автор гарантирует наличие у него исключительных прав на использование переданного Редакции материала. В случае нарушения данной гарантии и предъявления в связи с этим претензий к Редакции Автор самостоятельно и за свой счет обязуется урегулировать все претензии. Редакция не несет ответственности перед третьими лицами за нарушение данных Автором гарантий.

Редакция оставляет за собой право направлять статьи на дополнительное рецензирование. В этом случае сроки публикации продлеваются. Материалы дополнительной экспертизы предъявляются автору.

20. Направление материалов в редакцию для публикации означает согласие автора с приведенными выше требованиями.

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

УДК 615.035.4

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРИОДА ТИТРАЦИИ ДОЗЫ ВАРФАРИНА У ПАЦИЕНТОВ С ФИБРИЛЛЯЦИЕЙ ПРЕДСЕРДИЙ. ВЗАИМОСВЯЗЬ С КЛИНИЧЕСКИМИ ФАКТОРАМИ

[1]Шварц Ю.Г., [1]Артанова Е.Л., [1]Салеева Е.В., [1]Соколов И.М.

[1]ГОУ ВПО «Саратовский Государственный медицинский университет им. В.И.Разумовского Минздравсоцразвития России», Саратов, Россия (410012, Саратов, ГСП ул. Большая Казачья, 112), e-mail: kateha007@bk.ru

Проведен анализ взаимосвязи особенностей индивидуального подбора терапевтической дозы варфарина и клинических характеристик у больных фибрилляцией предсердий. Учитывались следующие характеристики периода подбора дозы: окончательная терапевтическая доза варфарина в мг, длительность подбора дозы в днях и максимальное значение международного нормализованного отношения (МНО), зарегистрированная в процессе титрования. При назначении варфарина больным с фибрилляцией предсердий его терапевтическая доза, длительность ее подбора и колебания при этом МНО, зависят от следующих клинических факторов – инсульты в анамнезе, наличие ожирения, поражения щитовидной железы, курения, и сопутствующей терапии, в частности, применение амиодарона. Однако у пациентов с сочетанием ишемической болезни сердца и фибрилляции предсердий не установлено существенной зависимости особенностей подбора дозы варфарина от таких характеристик, как пол, возраст, количество сопутствующих заболеваний, наличие желчнокаменной болезни, сахарного диабета II типа, продолжительность аритмии, стойкости фибрилляции предсердий, функционального класса сердечной недостаточности и наличия стенокардии напряжения. По данным непараметрического корреляционного анализа изучаемые нами характеристики периода подбора терапевтической дозы варфарина не были значимо связаны между собой.

Ключевые слова: варфарин, фибрилляция предсердий, международное нормализованное отношение (МНО)

CHARACTERISTICS OF THE PERIOD DOSE TITRATION WARFARIN IN PATIENTS WITH ATRIAL FIBRILLATION. RELATIONSHIP WITH CLINICAL FACTORS

[1]Shvarts Y.G., [1]Artanova E.L., [1]Saleeva E.V., [1]Sokolov I.M.

[1]Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, Saratov, Russia (410012, Saratov, street B. Kazachya, 112), e-mail: kateha007@bk.ru

We have done the analysis of the relationship characteristics of the individual selection of therapeutic doses of warfarin and clinical characteristics in patients with atrial fibrillation. Following characteristics of the period of selection of a dose were considered: a definitive therapeutic dose of warfarin in mg, duration of selection of a dose in days and the maximum value of the international normalised relation (INR), registered in the course of titration. Therapeutic dose of warfarin, duration of its selection and fluctuations in thus INR depend on the following clinical factors – a history of stroke, obesity, thyroid lesions, smoking, and concomitant therapy, specifically, the use of amiodarone, in cases of appointment of warfarin in patients with atrial fibrillation. However at patients with combination Ischemic heart trouble and atrial fibrillation it is not established essential dependence of features of selection of a dose of warfarin from such characteristics, as a sex, age, quantity of accompanying diseases, presence of cholelithic illness, a diabetes of II type, duration of an arrhythmia, firmness of fibrillation of auricles, a functional class of warm insufficiency and presence of a stenocardia of pressure. According to the nonparametric correlation analysis characteristics of the period of selection of a therapeutic dose of warfarin haven't been significantly connected among themselves.

Keywords: warfarin, atrial fibrillation, an international normalized ratio (INR)

Введение

Фибрилляция предсердий (ФП) – наиболее встречаемый вид аритмии в практике врача [7]. Инвалидизация и смертность больных с ФП остается высокой, особенно от ишемического инсульта и системные эмболии [4]…

Список литературы

1….

References

1…

Рецензенты: ФИО, ученая степень, звание, должность, место работы, город.

Единый формат оформления пристатейных библиографических ссылок в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 2008 «Библиографическая ссылка»
(Примеры оформления ссылок и пристатейных списков литературы на русском языке)

Статьи из журналов и сборников:

Адорно Т.В. К логике социальных наук // Вопр. философии. – 1992. – № 10. – С. 76-86.

Crawford P.J. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works / P.J. Crawford, T.P. Barrett // Ref. Libr. – 1997. – Vol. 3, № 58. – P. 75–85.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, могут не повторяться в сведениях об ответственности.

Crawford P.J., Barrett T.P. The reference librarian and the business professor: a strategic alliance that works // Ref. Libr. – 1997. – Vol. 3, № 58. – P. 75–85.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Корнилов В.И. Турбулентный пограничный слой на теле вращения при периодическом вдуве/отсосе // Теплофизика и аэромеханика. – 2006. – Т. 13, №. 3. – С. 369–385.

Кузнецов А.Ю. Консорциум – механизм организации подписки на электронные ресурсы // Российский фонд фундаментальных исследований: десять лет служения российской науке. – М.: Науч. мир, 2003. – С. 340–342.

Монографии:

Тарасова В.И. Политическая история Латинской Америки: учеб. для вузов. – 2-е изд. – М.: Проспект, 2006. – С. 305–412

Допускается предписанный знак точку и тире, разделяющий области библиографического описания, заменять точкой.

Философия культуры и философия науки: проблемы и гипотезы: межвуз. сб. науч. тр. / Сарат. гос. ун-т; [под ред. С. Ф. Мартыновича]. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1999. – 199 с.

Допускается не использовать квадратные скобки для сведений, заимствованных не из предписанного источника информации.

Райзберг Б.А. Современный экономический словарь / Б.А. Райзберг, Л.UJ. Лозовский, Е.Б. Стародубцева. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 494 с.

Заголовок записи в ссылке может содержать имена одного, двух или трех авторов документа. Имена авторов, указанные в заголовке, не повторяются в сведениях об ответственности. Поэтому:

Райзберг Б.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2006. – 494 с.

Если авторов четыре и более, то заголовок не применяют (ГОСТ 7.80-2000).

Авторефераты

Глухов В.А. Исследование, разработка и построение системы электронной доставки документов в библиотеке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2000. –18 с.

Диссертации

Фенухин В.И. Этнополитические конфликты в современной России: на примере Северокавказского региона : дис. ... канд. полит, наук. – М., 2002. – С. 54–55.

Аналитические обзоры:

Экономика и политика России и государств ближнего зарубежья : аналит. обзор, апр. 2007 / Рос. акад. наук, Ин-т мировой экономики и междунар. отношений. – М. : ИМЭМО, 2007. – 39 с.

Патенты:

Патент РФ № 2000130511/28, 04.12.2000.

Еськов Д.Н., Бонштедт Б.Э., Корешев С.Н., Лебедева Г.И., Серегин А.Г. Оптико-электронный аппарат // Патент России № 2122745.1998. Бюл. № 33.

Материалы конференций

Археология: история и перспективы: сб. ст. Первой межрегион, конф. – Ярославль, 2003. – 350 с.

Марьинских Д.М. Разработка ландшафтного плана как необходимое условие устойчивого развития города (на примере Тюмени) // Экология ландшафта и планирование землепользования: тезисы докл. Всерос. конф. (Иркутск, 11-12 сент. 2000 г.). – Новосибирск, 2000. – С. 125–128.

Интернет-документы:

Официальные периодические издания : электронный путеводитель / Рос. нац. б-ка, Центр правовой информации. [СПб.], 20052007. URL:

http://www.nlr.ru/lawcenter/izd/index.html (дата обращения: 18.01.2007).

Логинова Л. Г. Сущность результата дополнительного образования детей // Образование: исследовано в мире: междунар. науч. пед. интернет-журн. 21.10.03. URL:

http://www.oim.ru/reader.asp7nomers 366 (дата обращения: 17.04.07).

http://www.nlr.ru/index.html (дата обращения: 20.02.2007).

Рынок тренингов Новосибирска: своя игра [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://nsk.adme.ru/news/2006/07/03/2121 .html (дата обращения: 17.10.08).

Литчфорд Е.У. С Белой Армией по Сибири [Электронный ресурс] // Восточный фронт Армии Генерала А.В. Колчака: сайт. – URL: http://east-front.narod.ru/memo/latchford.htm (дата обращения 23.08.2007).

Примеры оформления ссылок и пристатейных списков литературы на латинице:

На библиографические записи на латинице не используются разделительные знаки, применяемые в российском ГОСТе («//» и «–»).

Составляющими в библиографических ссылках являются фамилии всех авторов и названия журналов.

Статьи из журналов:

Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

Dyachenko, V.D., Krivokolysko, S.G., Nesterov, V.N., and Litvinov, V.P., *Khim. Geterotsikl. Soedin*., 1996, no. 9, p. 1243

Статьи из электронных журналов описываются аналогично печатным изданиям с дополнением данных об адресе доступа.

П р и м е р описания статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P., *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, Vol. 5, No. 2, available at: www. ascusc.org/ jcmc/vol5/ issue2.

Материалы конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma «ovye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi*» (Proc. 6th Int. Technol. Symp. «New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact»). Moscow, 2007, pp. 267–272.

Главное в описаниях конференций – название конференции на языке оригинала (в транслитерации, если нет ее английского названия), выделенное курсивом. В скобках дается перевод названия на английский язык. Выходные данные (место проведения конференции, место издания, страницы) должны быть представлены на английском языке.

Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):

Belaya kniga po nanotekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchenykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. Moscow, LKI, 2007.

Nenashev M.F. *Poslednee pravitel'tvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union [*Ot katastrofy k vozrozhdeniju: prichiny i posledstvija razrushenija SSSR*]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Kanevskaya R.D. *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 2002. 140 p.

Latyshev, V.N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friktsionnye protsessy pri rezanie metallov* (Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting), Ivanovo: Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

Ссылка на Интернет-ресурс:

APA Style (2011), Available at: http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx (accessed 5 February 2011).

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov (Rules for the Citing of Sources) Available at: http://www.scribd.com/doc/1034528/ (accessed 7 February 2011)

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ РЕЦЕНЗИИ

РЕЦЕНЗИЯ

на статью (Фамилии, инициалы авторов, полное название статьи)

Научное направление работы. Для мультидисциплинарных исследований указываются не более 3 научных направлений.

Класс статьи: оригинальное научное исследование, новые технологии, методы, фундаментальные исследования, научный обзор, дискуссия, обмен опытом, наблюдения из практики, практические рекомендации, рецензия, лекция, краткое сообщение, юбилей, информационное сообщение, решения съездов, конференций, пленумов.

Научная новизна: 1) Постановка новой проблемы, обоснование оригинальной теории, концепции, доказательства, закономерности 2) Фактическое подтверждение собственной концепции, теории 3) Подтверждение новой оригинальной заимствованной концепции 4) Решение частной научной задачи 5) Констатация известных фактов

Оценка достоверности представленных результатов.

Практическая значимость. Предложены: 1) Новые методы 2) Новая классификация, алгоритм 3) Новые препараты, вещества, механизмы, технологии, результаты их апробации 4) Даны частные или слишком общие, неконкретные рекомендации 5) Практических целей не ставится.

Формальная характеристика статьи.

Стиль изложения − хороший, (не) требует правки, сокращения.

Таблицы − (не) информативны, избыточны.

Рисунки − приемлемы, перегружены информацией, (не) повторяют содержание таблиц.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Статья актуальна, обладает научной и практической новизной, рекомендуется для печати.

Рецензент Фамилия, инициалы

Полные сведения о рецензенте: Фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень и звание, должность, сведения об учреждении (название с указанием ведомственной принадлежности), адрес, с почтовым индексом, номер, телефона и факса с кодом города).

Дата Подпись

Подлинность подписи рецензента подтверждаю: Секретарь

Печать учреждения

ПРАВИЛА ТРАНСЛИТЕРАЦИИ

Произвольный выбор транслитерации неизбежно приводит к многообразию вариантов представления фамилии одного автора и в результате затрудняет его идентификацию и объединение данных о его публикациях и цитировании под одним профилем (идентификатором – ID автора)

Представление русскоязычного текста (кириллицы) по различным правилам транслитерации (или вообще без правил) ведет к потере необходимой информации в аналитической системе SCOPUS.

НАЗВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ

Использование общепринятого переводного варианта названия организации является наиболее предпочтительным. Употребление в статье официального, без сокращений, названия организации на английском языке позволит наиболее точно идентифицировать принадлежность авторов, предотвратит потери статей в системе анализа организаций и авторов. Прежде всего, это касается названий университетов и других учебных заведений, академических и отраслевых институтов. Это позволит также избежать расхождений между вариантами названий организаций в переводных, зарубежных и русскоязычных журналах. Исключение составляют не переводимые на английский язык наименований фирм. Такие названия, безусловно, даются в транслитерированном варианте.

Употребление сокращений или аббревиатур способствует потере статей при учете публикаций организации, особенно если аббревиатуры не относятся к общепринятым.

Излишним является использование перед основным названием принятых в последние годы составных частей названий организаций, обозначающих принадлежность ведомству, форму собственности, статус организации («Учреждение Российской академии наук…», «Федеральное государственное унитарное предприятие…», «ФГОУ ВПО…», «Национальный исследовательский…» и т.п.), что затрудняет идентификацию организации.

В свете постоянных изменений статусов, форм собственности и названий российских организаций (в т.ч. с образованием федеральных и национальных университетов, в которые в настоящее время вливаются большое количество активно публикующихся государственных университетов и институтов) существуют определенные опасения, что еще более усложнится идентификация и установление связей между авторами и организациями. В этой ситуации **желательно в статьях указывать полное название организации**, включенной, например, в федеральный университет, **если она сохранила свое прежнее название.** В таком случае она будет учтена и в своем профиле, и в профиле федерального университета:

Например, варианты Таганрогский технологический институт Южного федерального университета:

Taganrogskij Tekhnologicheskij Institut Yuzhnogo Federal’nogo Universiteta;

Taganrog Technological Institute, South Federal University

В этот же профиль должны войти и прежние названия этого университета.

Для национальных исследовательских университетов важно сохранить свое основное название.

(В соответствии с рекомендациями О.В. Кирилловой, к.т.н., заведующей отделением ВИНИТИ РАН члена Экспертного совета (CSAB) БД SCOPUS)

АВТОРСКИЕ РЕЗЮМЕ (АННОТАЦИИ) НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ

Необходимо иметь в виду, что аннотации (рефераты, авторские резюме) на английском языке в русскоязычном издании являются для иностранных ученых и специалистов основным и, как правило, единственным источником информации о содержании статьи и изложенных в ней результатах исследований. Зарубежные специалисты по аннотации оценивают публикацию, определяют свой интерес к работе российского ученого, могут использовать ее в своей публикации и сделать на неё ссылку, открыть дискуссию с автором,

запросить полный текст и т.д. Аннотация на английском языке на русскоязычную статью по объему может быть больше аннотации на русском языке, так как за русскоязычной аннотацией идет полный текст на этом же языке.

Аналогично можно сказать и об аннотациях к статьям, опубликованным на английском языке. Но даже в требованиях зарубежных издательств к статьям на английском языке указывается на объем аннотации в размере 100-250 слов.

Перечислим обязательные качества аннотаций на английском языке к русскоязычным статьям. Аннотации должны быть:

– информативными (не содержать общих слов);
– оригинальными (не быть калькой русскоязычной аннотации);
– содержательными (отражать основное содержание статьи и результаты исследований);
– структурированными (следовать логике описания результатов в статье);
– «англоязычными» (написаны качественным английским языком);
– компактными (укладываться в объем от 100 до 250 слов).

В аннотациях, которые пишут наши авторы, допускаются самые элементарные ошибки. Чаще всего аннотации представляют прямой перевод русскоязычного варианта, изобилуют общими ничего не значащими словами, увеличивающими объем, но не способствующими раскрытию содержания и сути статьи. А еще чаще объем аннотации составляет всего несколько строк (3-5). При переводе аннотаций не используется англоязычная специальная терминология, что затрудняет понимание текста зарубежными специалистами. В зарубежной БД такое представление содержания статьи совершенно неприемлемо.

Опыт показывает, что самое сложное для российского автора при подготовке аннотации – представить кратко результаты своей работы. Поэтому одним из проверенных вариантов аннотации является краткое повторение в ней структуры статьи, включающей введение, цели и задачи, методы, результаты, заключение. Такой способ составления аннотаций получил распространение и в зарубежных журналах.

В качестве помощи для написания аннотаций (рефератов) можно рекомендовать, по крайней мере, два варианта правил. Один из вариантов – российский ГОСТ 7.9-95 «Реферат и аннотация. Общие требования», разработанные специалистами ВИНИТИ.

Второй – рекомендации к написанию аннотаций для англоязычных статей, подаваемых в журналы издательства Emerald (Великобритания). При рассмотрении первого варианта необходимо учитывать, что он был разработан, в основном, как руководство для референтов, готовящих рефераты для информационных изданий. Второй вариант – требования к аннотациям англоязычных статей. Поэтому требуемый объем в 100 слов в нашем случае, скорее всего, нельзя назвать достаточным. Ниже приводятся выдержки из указанных двух вариантов. Они в значительной степени повторяют друг друга, что еще раз подчеркивает важность предлагаемых в них положений. Текст ГОСТа незначительно изменен с учетом специфики рефератов на английском языке.

КРАТКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО НАПИСАНИЮ АВТОРСКИХ РЕЗЮМЕ (АННОТАЦИЙ, РЕФЕРАТОВ К СТАТЬЯМ)
(подготовлены на основе ГОСТ 7.9-95)

Авторское резюме ближе по своему содержанию, структуре, целям и задачам к реферату. Это –краткое точное изложение содержания документа, включающее основные фактические сведения и выводы описываемой работы.

Текст авторского резюме (в дальнейшем – реферата) должен быть лаконичен и четок, свободен от второстепенной информации, отличаться убедительностью формулировок.

Объем реферата должен включать минимум 100-250 слов (по ГОСТу – 850 знаков, не менее 10 строк).

Реферат включает следующие аспекты содержания статьи:

– предмет, тему, цель работы;
– метод или методологию проведения работы;
– результаты работы;
– область применения результатов;
– выводы.

Последовательность изложения содержания статьи можно изменить, начав с изложения результатов работы и выводов.

Предмет, тема, цель работы указываются в том случае, если они не ясны из заглавия статьи.

Метод или методологию проведения работы целесообразно описывать в том случае, если они отличаются новизной или представляют интерес с точки зрения данной работы. В рефератах документов, описывающих экспериментальные работы, указывают источники данных и характер их обработки.

Результаты работы описывают предельно точно и информативно. Приводятся основные теоретические и экспериментальные результаты, фактические данные, обнаруженные взаимосвязи и закономерности. При этом отдается предпочтение новым результатам и данным долгосрочного значения, важным открытиям, выводам, которые опровергают существующие теории, а также данным, которые, по мнению автора, имеют практическое значение.

Выводы могут сопровождаться рекомендациями, оценками, предложениями, гипотезами, описанными в статье.

Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата. Следует избегать лишних вводных фраз (например, «автор статьи рассматривает...»). Исторические справки, если они не составляют основное содержание документа, описание ранее опубликованных работ и общеизвестные положения в реферате не приводятся.

В тексте реферата следует употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций (не применимых в научном английском языке).

В тексте реферата на английском языке следует применять терминологию, характерную для иностранных специальных текстов. Следует избегать употребления терминов, являющихся прямой калькой русскоязычных терминов. Необходимо соблюдать единство терминологии в пределах реферата.

В тексте реферата следует применять значимые слова из текста статьи.

Сокращения и условные обозначения, кроме общеупотребительных (в том числе в англоязычных специальных текстах), применяют в исключительных случаях или дают их определения при первом употреблении.

Единицы физических величин следует приводить в международной системе СИ.

Допускается приводить в круглых скобках рядом с величиной в системе СИ значение величины в системе единиц, использованной в исходном документе.

Таблицы, формулы, чертежи, рисунки, схемы, диаграммы включаются только в случае необходимости, если они раскрывают основное содержание документа и позволяют сократить объем реферата.

Формулы, приводимые неоднократно, могут иметь порядковую нумерацию, причем нумерация формул в реферате может не совпадать с нумерацией формул в оригинале.

В реферате не делаются ссылки на номер публикации в списке литературы к статье.

Объем текста реферата в рамках общего положения определяется содержанием документа (объемом сведений, их научной ценностью и/или практическим значением).

ВЫДЕРЖКА ИЗ РЕКОМЕНДАЦИЙ АВТОРАМ ЖУРНАЛОВ ИЗДАТЕЛЬСТВА EMERALD

(http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm)

Авторское резюме (реферат, abstract) является кратким резюме большей по объему работы, имеющей научный характер, которое публикуется в отрыве от основного текста и, следовательно, само по себе должно быть понятным без ссылки на саму публикацию. Оно должно излагать существенные факты работы, и не должно преувеличивать или содержать материал, который отсутствует в основной части публикации.

Авторское резюме выполняет функцию справочного инструмента (для библиотеки, реферативной службы), позволяющего читателю понять, следует ли ему читать или не читать полный текст.

Авторское резюме включает:

1. Цель работы в сжатой форме. Предыстория (история вопроса) может быть приведена только в том случае, если она связана контекстом с целью.

2. Кратко излагая основные факты работы, необходимо помнить следующие моменты:

– необходимо следовать хронологии статьи и использовать ее заголовки в качестве руководства;

– не включать несущественные детали (см. пример «Как не надо писать реферат»);

– вы пишете для компетентной аудитории, поэтому вы можете использовать техническую (специальную) терминологию вашей дисциплины, четко излагая свое мнение и имея также в виду, что вы пишете для международной аудитории;

– текст должен быть связным с использованием слов «следовательно», «более того», «например», «в результате» и т.д. («consequently», «moreover», «for example»,» the benefits of this study», «as a result» etc.), либо разрозненные излагаемые положения должны логично вытекать один из другого;

– необходимо использовать активный, а не пассивный залог, т.е. «The study tested», но не «It was tested in this study» (частая ошибка российских аннотаций);

– стиль письма должен быть компактным (плотным), поэтому предложения, вероятнее всего, будут длиннее, чем обычно.

П р и м е р ы , как не надо писать реферат, приведены на сайте издательства (**http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm?part=3&**). Как видно из примеров, не всегда большой объем означает хороший реферат.

На сайте издательства также приведены примеры хороших рефератов для различных типов статей (обзоры, научные статьи, концептуальные статьи, практические статьи) **http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/abstracts.htm?part=2&PHPSESSID=hdac5rtkb73ae013ofk4g8nrv1.**

(В соответствии с рекомендациями О.В. Кирилловой, к.т.н., заведующей отделением ВИНИТИ РАН члена Экспертного совета (CSAB) БД SCOPUS)

ПРИСТАТЕЙНЫЕ СПИСКИ ЛИТЕРАТУРЫ

Списки литературы представляются в двух вариантах:

1. В соответствии с с ГОСТ Р 7.0.5 2008 (русскоязычный вариант вместе с зарубежными источниками).

2. Вариант на латинице, повторяя список литературы к русскоязычной части, независимо от того, имеются или нет в нем иностранные источники.

Правильное описание используемых источников в списках литературы является залогом того, что цитируемая публикация будет учтена при оценке научной деятельности ее авторов, следовательно (по цепочке) –организации, региона, страны. По цитированию журнала определяется его научный уровень, авторитетность, эффективность деятельности его редакционного совета и т.д. Из чего следует, что наиболее значимыми составляющими в библиографических ссылках являются фамилии авторов и названия журналов. Причем для того, чтобы все авторы публикации были учтены в системе, необходимо в описание статьи вносить всех авторов, не сокращая их тремя, четырьмя и т.п. Заглавия статей в этом случае дают дополнительную информацию об их содержании и в аналитической системе не используются, поэтому они могут опускаться.

Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry,* 2008, no. 11, pp. 54–57.

Такая ссылка позволяет проводить анализ по авторам и названию журнала, что и является ее главной целью.

Ни в одном из зарубежных стандартов на библиографические записи не используются разделительные знаки, применяемые в российском ГОСТе («//» и «–»).

В Интернете существует достаточно много бесплатных программ для создания общепринятых в мировой практике библиографических описаний на латинице.

Ниже приведены несколько ссылок на такие сайты:

http://www.easybib.com/
http://www.bibme.org/

http://www.sourceaid.com/

При составлении списков литературы для зарубежных БД важно понимать, что чем больше будут ссылки на российские источники соответствовать требованиям, предъявляемым к иностранным источникам, тем легче они будут восприниматься системой. И чем лучше в ссылках будут представлены авторы и названия журналов (и других источников), тем точнее будут статистические и аналитические данные о них в системе SCOPUS.

Ниже приведены примеры ссылок на российские публикации в соответствии с вариантами описанными выше.

Статьи из журналов:

Zagurenko A.G., Korotovskikh V.A., Kolesnikov A.A., Timonov A.V., Kardymon D.V. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 2008, no. 11, pp. 54–57.

Dyachenko, V.D., Krivokolysko, S.G., Nesterov, V.N., and Litvinov, V.P., *Khim. Geterotsikl. Soedin*., 1996, no. 9, p. 1243

Статьи из электронных журналов описываются аналогично печатным изданиям с дополнением данных об адресе доступа.

П р и м е р описания статьи из электронного журнала:

Swaminathan V., Lepkoswka-White E., Rao B.P., *Journal of Computer-Mediated Communication*, 1999, Vol. 5, No. 2, available at: www. ascusc.org/ jcmc/vol5/ issue2.

Материалы конференций:

Usmanov T.S., Gusmanov A.A., Mullagalin I.Z., Muhametshina R.Ju., Chervyakova A.N., Sveshnikov A.V. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo Simpoziuma «ovye resursosberegayushchie tekhnologii nedropol'zovaniya i povysheniya neftegazootdachi*» (Proc. 6th Int. Technol. Symp. «New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact»). Moscow, 2007, pp. 267–272.

Главное в описаниях конференций – название конференции на языке оригинала (в транслитерации, если нет ее английского названия), выделенное курсивом. В скобках дается перевод названия на английский язык. Выходные данные (место проведения конференции, место издания, страницы) должны быть представлены на английском языке.

Книги (монографии, сборники, материалы конференций в целом):

Belaya kniga po nanotekhnologiyam: issledovaniya v oblasti nanochastits, nanostruktur i nanokompozitov v Rossiiskoi Federatsii (po materialam Pervogo Vserossiiskogo soveshchaniya uchenykh, inzhenerov i proizvoditelei v oblasti nanotekhnologii [White Book in Nanotechnologies: Studies in the Field of Nanoparticles, Nanostructures and Nanocomposites in the Russian Federation: Proceedings of the First All-Russian Conference of Scientists, Engineers and Manufacturers in the Field of Nanotechnology]. Moscow, LKI, 2007.

Nenashev M.F. *Poslednee pravitel'tvo SSSR* [Last government of the USSR]. Moscow, Krom Publ., 1993. 221 p.

From disaster to rebirth: the causes and consequences of the destruction of the Soviet Union [*Ot katastrofy k vozrozhdeniju: prichiny i posledstvija razrushenija SSSR*]. Moscow, HSE Publ., 1999. 381 p.

Kanevskaya R.D. *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* (Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development). Izhevsk, 2002. 140 p.

Latyshev, V.N., *Tribologiya rezaniya. Kn. 1: Friktsionnye protsessy pri rezanie metallov* (Tribology of Cutting, Vol. 1: Frictional Processes in Metal Cutting), Ivanovo: Ivanovskii Gos. Univ., 2009.

Ссылка на Интернет-ресурс:

APA Style (2011), Available at: http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx (accessed 5 February 2011).

Pravila Tsitirovaniya Istochnikov (Rules for the Citing of Sources) Available at: http://www.scribd.com/doc/1034528/ (accessed 7 February 2011)

Как видно из приведенных примеров, чаще всего, название источника, независимо от того, журнал это, монография, сборник статей или название конференции, выделяется курсивом. Дополнительная информация –перевод на английский язык названия источника приводится в квадратных или круглых скобках шрифтом, используемым для всех остальных составляющих описания.

Из всего выше сказанного можно сформулировать следующее краткое резюме в качестве рекомендаций по составлению ссылок в романском алфавите в англоязычной части статьи и пристатейной библиографии, предназначенной для зарубежных БД:

1. Отказаться от использования ГОСТ 5.0.7. Библиографическая ссылка;
2. Следовать правилам, позволяющим легко идентифицировать 2 основных элемента описаний –авторов и источник.
3. Не перегружать ссылки транслитерацией заглавий статей, либо давать их совместно с переводом.
4. Придерживаться одной из распространенных систем транслитерации фамилий авторов, заглавий статей (если их включать) и названий источников.
5. При ссылке на статьи из российских журналов, имеющих переводную версию, лучше давать ссылку на переводную версию статьи.

(В соответствии с рекомендациями О.В. Кирилловой, к.т.н., заведующей отделением ВИНИТИ РАН члена Экспертного совета (CSAB) БД SCOPUS)

Оплата издательских расходов составляет:

3500 руб. – для авторов при предоставлении статей и сопроводительных документов в редакцию через сервис Личный портфель;

5500 руб. – для авторов при предоставлении статей и сопроводительных документов в редакцию по электронной почте без использования сервиса Личного портфеля;

4200 руб. – для оплаты издательских расходов организациями при предоставлении статей и сопроводительных документов в редакцию через сервис Личный портфель;

6200 руб. – для оплаты издательских расходов организациями при предоставлении статей и сопроводительных документов в редакцию по электронной почте без использования сервиса Личного портфеля;

Для оформления финансовых документов на юридические лица просим предоставлять ФИО директора или иного лица, уполномоченного подписывать договор, телефон (обязательно), реквизиты организации.

Банковские реквизиты:

Получатель: ООО «Организационно-методический отдел Академии Естествознания» или ООО «Оргметодотдел АЕ»*

*** Просим указывать только одно из предоставленных названий организации. Иное сокращение наименования организации получателя не допускается. При ином сокращении наименования организации денежные средства не будут получены на расчетный счет организации!!!**

ИНН 6453117343

КПП 645301001

р/с 40702810700540002324

Банк получателя: Нижегородский филиал ОАО «Банк Москвы» г. Нижний Новгород

к/с 30101810100000000832

БИК 042282832

Назначение платежа*: Издательские услуги. Без НДС. ФИО автора.

*В случае иной формулировки назначения платежа будет осуществлен возврат денежных средств!

Копия платежного поручения высылается через «Личный портфель автора», по e-mail: edition@rae.ru или по факсу +7 (8452)-47-76-77.

Библиотеки, научные и информационные организации, получающие обязательный бесплатный экземпляр печатных изданий

№	Наименование получателя	Адрес получателя
1.	Российская книжная палата	121019, г. Москва, Кремлевская наб., 1/9
2.	Российская государственная библиотека	101000, г. Москва, ул.Воздвиженка, 3/5
3.	Российская национальная библиотека	191069, г. Санкт-Петербург, ул. Садовая, 18
4.	Государственная публичная научно-техническая библиотека Сибирского отделения Российской академии наук	630200, г. Новосибирск, ул. Восход, 15
5.	Дальневосточная государственная научная библиотека	680000, г. Хабаровск, ул. Муравьева-Амурского, 1/72
6.	Библиотека Российской академии наук	199034, г. Санкт-Петербург, Биржевая линия, 1
7.	Парламентская библиотека аппарата Государственной Думы и Федерального собрания	103009, г. Москва, ул.Охотный ряд, 1
8.	Администрация Президента Российской Федерации. Библиотека	103132, г. Москва, Старая пл., 8/5
9.	Библиотека Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова	119899, г. Москва, Воробьевы горы
10.	Государственная публичная научно-техническая библиотека России	103919, г. Москва, ул.Кузнецкий мост, 12
11.	Всероссийская государственная библиотека иностранной литературы	109189, г. Москва, ул. Николоямская, 1
12.	Институт научной информации по общественным наукам Российской академии наук	117418, г. Москва, Нахимовский пр-т, 51/21
13.	Библиотека по естественным наукам Российской академии наук	119890, г. Москва, ул.Знаменка 11/11
14.	Государственная публичная историческая библиотека Российской Федерации	101000, г. Москва, Центр, Старосадский пер., 9
15.	Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук	125315, г. Москва, ул.Усиевича, 20
16.	Государственная общественно-политическая библиотека	129256, г. Москва, ул.Вильгельма Пика, 4, корп. 2
17.	Центральная научная сельскохозяйственная библиотека	107139, г. Москва, Орликов пер., 3, корп. В
18.	Политехнический музей. Центральная политехническая библиотека	101000, г. Москва, Политехнический пр-д, 2, п.10
19.	Московская медицинская академия имени И.М. Сеченова, Центральная научная медицинская библиотека	117418, г. Москва, Нахимовский пр-кт, 49
20.	ВИНИТИ РАН (отдел комплектования)	125190, г. Москва, ул. Усиевича,20, комн. 401.

ЗАКАЗ ЖУРНАЛА «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

Для приобретения журнала необходимо:
1. Оплатить заказ.
2. Заполнить форму заказа журнала.
3. Выслать форму заказа журнала и сканкопию платежного документа в редакцию журнала по **e-mail: edition@rae.ru.**

Стоимость одного экземпляра журнала (с учетом почтовых расходов):

Для физических лиц – 1150 рублей
Для юридических лиц – 1850 рублей
Для иностранных ученых – 1850 рублей

ФОРМА ЗАКАЗА ЖУРНАЛА

Информация об оплате способ оплаты, номер платежного документа, дата оплаты, сумма	
Сканкопия платежного документа об оплате	
ФИО получателя полностью	
Адрес для высылки заказной корреспонденции индекс обязательно	
ФИО полностью первого автора запрашиваемой работы	
Название публикации	
Название журнала, номер и год	
Место работы	
Должность	
Ученая степень, звание	
Телефон указать код города	
E-mail	

Образец заполнения платежного поручения:

Получатель ИНН 6453117343 КПП 645301001 ООО «Организационно-методический отдел» Академии Естествознания	Сч. №	40702810700540002324
Банк получателя Нижегородский филиал ОАО «Банк Москвы» г. Нижний Новгород	БИК к/с	042282832 30101810100000000832

НАЗНАЧЕНИЕ ПЛАТЕЖА: «ИЗДАТЕЛЬСКИЕ УСЛУГИ. БЕЗ НДС. ФИО»

Особое внимание обратите на точность почтового адреса с индексом, по которому вы хотите получать издания. На все вопросы, связанные с подпиской, Вам ответят по телефону: 8 (8452)-47-76-77.

По запросу (факс 8 (8452)-47-76-77, E-mail: stukova@rae.ru) высылается счет для оплаты подписки и счет-фактура.