
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

№ 11 2016
Часть 3
ISSN 1812-7339

Журнал издается с 2003 г.

Электронная версия: <http://fundamental-research.ru>

Правила для авторов: <http://fundamental-research.ru/ru/rules/index>

Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 33297

Главный редактор

Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор

Зам. главного редактора

Бичурин Мирза Имамович, д.ф.-м.н., профессор

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.т.н., проф. Бошенятов Б.В. (Москва); д.т.н., проф. Важенин А.Н. (Нижний Новгород); д.т.н., проф. Гилёв А.В. (Красноярск); д.т.н., проф. Гоц А.Н. (Владимир); д.т.н., проф. Грызлов В.С. (Череповец); д.т.н., проф. Захарченко В.Д. (Волгоград); д.т.н. Лубенцов В.Ф. (Ульяновск); д.т.н., проф. Мадера А.Г. (Москва); д.т.н., проф. Пачурин Г.В. (Нижний Новгород); д.т.н., проф. Пен Р.З. (Красноярск); д.т.н., проф. Петров М.Н. (Красноярск); д.т.н., к.ф.-м.н., проф. Мишин В.М. (Пятигорск); д.т.н., проф. Калмыков И.А. (Ставрополь); д.т.н., проф. Шалумов А.С. (Ковров); д.т.н., проф. Леонтьев Л.Б. (Владивосток); д.т.н., проф. Дворников Л.Т. (Красноярск), д.э.н., проф. Макринова Е.И. (Белгород); д.э.н., проф. Роздольская И.В. (Белгород); д.э.н., проф. Коваленко Е.Г. (Саранск); д.э.н., проф. Зарецкий А.Д. (Краснодар); д.э.н., проф. Тяглов С.Г. (Ростов-на-Дону); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.э.н., проф. Серебрякова Т.Ю. (Чебоксары); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.э.н., проф. Апенько С.Н. (Омск)

Журнал «Фундаментальные исследования» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. **Свидетельство – ПИ № 77-15598.**

Все публикации рецензируются.

Доступ к журналу бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ (двухлетний) = 1,162.

Учредитель – ИД «Академия Естествознания»

Издательство и редакция: Издательский Дом «Академия Естествознания»

Ответственный секретарь редакции –

Бизенкова Мария Николаевна –

+7 (499) 705-72-30

E-mail: **edition@rae.ru**

Почтовый адрес

г. Москва, 105037, а/я 47

АКАДЕМИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ,

редакция журнала «ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ»

Подписано в печать 14.12.2016

Формат 60х90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Технический редактор

Митронова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С.

Усл. печ. л. 27,5

Тираж 1000 экз. Заказ ФИ 2016/11

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Технические науки (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

СОЗДАНИЕ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ С ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫМ КОМПОЗИЦИОННЫМ ТЕРМОБАРЬЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ПАРОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИН <i>Баданина Ю.В., Комков М.А., Бочкарев С.В., Павловская К.В.</i>	461
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЕГО РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ <i>Баяндина Ю.С., Хорошев Н.И.</i>	467
ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ОТДЕЛЕНИЯ СГУЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ ФАБРИКИ ПАО «УРАЛКАЛИЙ» <i>Билоус О.А.</i>	471
ОЦЕНКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ <i>Бочкарев С.В., Обухов Е.С.</i>	476
ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ «ОБЛАЧНЫХ» ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ <i>Братчиков И.А., Шмидт И.А., Елисеев А.С., Анисимова Т.В.</i>	482
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В МЕСТАХ ПЕРЕХОДА ВЫЕМКИ В НАСЫПЬ <i>Бургунтудинов А.М., Косолапов О.А.</i>	489
ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЧАСТИ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ <i>Валетов И.И., Шмидт И.А.</i>	495
СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ДОКУМЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ <i>Васнев Н.В., Шмидт И.А.</i>	500
БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ С АДАПТИВНЫМ НАБЛЮДАТЕЛЕМ СКОРОСТИ И НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УГЛА <i>Даденков Д.А., Белоногов А.В., Варзаносов П.В.</i>	505
АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОВЕРКИ, УЧЕТА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В PLM-СИСТЕМЕ TEAMCENTER <i>Елтышев Д.К., Кулик В.Д.</i>	510
СЛЕДЯЩИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С АДАПТИВНЫМИ К ЗАДАЮЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ЭТАЛОННЫМИ МОДЕЛЯМИ <i>Казанцев В.П., Лыков А.Н., Даденков Д.А.</i>	515
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОНА В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ <i>Козлова С.В., Феценко А.А., Широков А.А.</i>	521
МОДИФИКАЦИЯ ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ЗИГЛЕРА – НИКОЛЬСА И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ СРЕДСТВАМИ МАТЛАВ <i>Коломыцев В.Г., Рустамханова Г.И.</i>	526
ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕЧЕТКИХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ <i>Копылов В.И., Муравьев Д.И., Коломыцев В.Г., Рустамханова Г.И.</i>	532

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ <i>Костыгов А.М., Лузянин И.С., Артемов С.А., Гвозденко С.В.</i>	537
АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ELPLEK» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ <i>Кухарчук А.В., Жданова Д.И., Квитко Я.И., Кожевников Н.А., Чепкасов А.И.</i>	543
К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ <i>Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Мишуриных С.В.</i>	548
СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ ТОКА И СКОРОСТИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ <i>Лыков А.Н., Казанцев В.П.</i>	553
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ <i>Малых О.В., Хорошев Н.И.</i>	558
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭТАПЕ ЕЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ <i>Мелюхина М.И., Широков А.А.</i>	563
ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ОЦЕНОК АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧЕ РАНЖИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ <i>Мошкин С.А., Елтышев Д.К.</i>	568
К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДОЖИМНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» <i>Никулин Н.В., Мишуриных С.В., Ромодин А.В.</i>	573
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ <i>Павлов Н.В., Лейзгольд К.А., Ромодин А.В.</i>	578
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГОФРОТАРЫ <i>Плотников М.С., Хорошев Н.И.</i>	583
ОБЗОР МЕТОДОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СКРЫТОЙ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА «ВЫЖИВАЕМОСТИ» ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ <i>Рашидов А.Р., Шмидт И.А.</i>	588
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ <i>Ромодин А.В., Кухарчук А.В., Мишуриных С.В.</i>	593
РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДЕ MEHBIOS DEVELOPMENT STUDIO <i>Солодкий Е.М., Терехин А.А., Юсупов И.Р.</i>	599
К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ Г. ПЕРМИ <i>Трушников К.П., Ромодин А.В., Мишуриных С.В.</i>	604
ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ НА ООО «ПЕРМСКИЙ КАРТОН» <i>Фещенко А.А., Широков А.А.</i>	609

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ	
<i>Хорошев Н.И., Баяндина Ю.С.</i>	615
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ JSON-МОДЕЛИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ	
<i>Шмидт И.А., Васенев Н.В.</i>	620
ФОРМИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУИ В ДВУХКАМЕРНЫХ ПЛАЗМОТРОНАХ	
<i>Щицын Ю.Д., Косолапов О.А.</i>	626
Экономические науки (08.00.00)	
ПРОГНОЗ АРХИТЕКТУРЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН	
<i>Аслаева С.Ш., Гатауллин Р.Ф.</i>	631
ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ	
<i>Кауфман Н.Ю.</i>	636
АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ	
<i>Пузакова А.А., Севастьянова И.Г.</i>	641
ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ АКТИВИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Сахарова Л.А.</i>	647
ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО В ВЕНЧУРНОМ БИЗНЕСЕ РОССИИ	
<i>Севастьянова И.Г., Пузакова А.А.</i>	653
ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ КОРПОРАТИВНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОАО «ГАЗПРОМ НЕФТЕХИМ САЛАВАТ»	
<i>Хафизов А.М., Малышева О.С., Семенов А.В., Сиразиев Д.И., Саниев Д.Ф., Гареев И.М.</i>	657
О ПРОБЛЕМАХ НАЛОГОВОЙ ПОЛИТИКИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ	
<i>Цапулина Ф.Х., Казакова Н.Ю., Герасимова И.Н.</i>	662
КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ	
<i>Шашло Н.В.</i>	668

CONTENTS

Technical sciences (05.02.00, 05.13.00, 05.17.00, 05.23.00)

ESTABLISHMENT OF TUBING WITH HIGH-PERFORMANCE COMPOSITE THERMAL BARRIER COATING FOR STEAM-HEAT PROCESSING WELLS <i>Badanina Yu.V., Komkov M.A., Bochkarev S.V., Pavlovskaya K.V.</i>	461
COMPLEX EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT IN ITS PLANNING MAINTENANCE AND REPAIR WORK <i>Bayandina Yu.S., Khoroshev N.I.</i>	467
INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF PUMP UNITS AT THE INSPIRATION SECTION OF SYLVINITE FACTORY PAO «URALKALI» <i>Bilous O.A.</i>	471
THE ESTIMATION OF MATHEMATICAL METHODS USED TO PREPARATION OF DATA <i>Bochkarev S.V., Obukhov E.S.</i>	476
BUILDING AN EFFECTIVE ARCHITECTURE OF CLOUD WEB-BASED BUSINESS APPLICATIONS <i>Bratchikov I.A., Shmidt I.A., Eliseev A.S., Anisimova T.V.</i>	482
THERMOPHYSICAL PROPERTIES CHANGES OF THE HIGHWAYS IN THE CUT-TO-FILL LOCATIONS <i>Burgonutdinov A.M., Kosolapov O.A.</i>	489
INTEGRATED INFORMATION ENVIRONMENT OF AIRCRAFT ENGINE LIFE-CYCLE MANAGEMENT IN TERMS OF LOGISTICS SUPPORT ANALYSIS <i>Valetov I.I., Shmidt I.A.</i>	495
REGISTRATION SYSTEM PARAMETERS TESTING OF COMPLEX PRODUCTS, BASED ON DOCUMENT-ORIENTED DATABASE SYSTEMS <i>Vasnev N.V., Shmidt I.A.</i>	500
SENSORLESS VECTOR CONTROL WITH THE ADAPTIVE SPEED OBSERVER AND DIRECT ELECTRICAL ANGLE CORRECTION <i>Dadenkov D.A., Belonogov A.V., Varzanosov P.V.</i>	505
AUTOMATIZATION OF DIGITAL ENGINEERING DOCUMENTATION VERIFICATION, ACCOUNTING AND DISTRIBUTION PROCESSES IN TEAMCENTER PLM-SYSTEM <i>Eltyshv D.K., Kulik V.D.</i>	510
SERVO DRIVE SYSTEMS WITH ADAPTIVE TO POSITION COMMANDS REFERENCE MODELS <i>Kazantsev V.P., Lykov A.N., Dadenkov D.A.</i>	515
ANALYSIS OF EFFICIENCY OF EQUIPMENT IN PULP AND PAPER INDUSTRY <i>Kozlova S.V., Feschenko A.A., Shirokov A.A.</i>	521
MODIFICATION OF THE ZIEGLER-NICHOLS'S STEP RESPONSE TUNING METHOD AND OPTIMIZATION PID PARAMETERS BY MEANS MATLAB <i>Kolomytsev V.G., Rustamkhanova G.I.</i>	526
THE STUDY OF CLASSICAL AND FUZZY PID-CONTROLLERS FOR TIME-DEPENDENT CONTROL OBJECTS <i>Kopylov V.I., Muravev D.I., Kolomytsev V.G., Rustamkhanova G.I.</i>	532
INTELLIGENT ANALYSIS OF COMPLEX NON-STATIONARY SIGNALS ON THE EXAMPLE OF ELECTROCARDIOGRAPHICAL SIGNALS <i>Kostygov A.M., Luzyanin I.S., Artemov S.A., Gvozdenko S.V.</i>	537

ANALYSIS OF THE USE OF THE SOFTWARE «ELPLEK» FOR MODELLING RELAYING <i>Kukharchuk A.V., Zhdanova D.I., Kvitko Ya.I., Kozhevnikov N.A., Chepkasov A.I.</i>	543
TO THE ISSUE OF THE FORECASTING OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION BY POWER-GENERATING EQUIPMENT OF THE OIL AND GAS PRODUCING INDUSTRY ENTERPRISES <i>Leyzgold K.A., Romodin A.V., Mishurinskikh S.V.</i>	548
THE SYNTHESIS OF CURRENT AND SPEED REGULATORS PARAMETERS CONSIDERING ELASTIC CONNECTIONS <i>Lykov A.N., Kazantsev V.P.</i>	553
IMPROVE RESOURCE EFFICIENCY IN INVESTMENT PROJECTS <i>Malykh O.V., Khoroshev N.I.</i>	558
ELECTRICAL ENERGY SAVING AT THE STAGE OF CONSUMPTION <i>Melyuhina M.I., Shirokov A.A.</i>	563
DEFINITION OF FUZZY ASSESSMENTS OF ALTERNATIVES IN THE PROBLEM OF ELECTRIC POWER FACILITIES RANGING <i>Moshkin S.A., Eltyshev D.K.</i>	568
TO THE ISSUE OF ENERGY EFFICIENCY INCREASE OF ELECTRIC BOOSTER PUMP STATIONS OF THE LLC «LUKOIL-PERM» <i>Nikulin N.V., Mishurinskikh S.V., Romodin A.V.</i>	573
ASSESSMENT OF THE HARMONIC COMPONENTS INFLUENCE ON A VOLTAGE DISTORTION FACTOR IN THE INDUSTRIAL ENTERPRISE POWER SUPPLY SYSTEM <i>Pavlov N.V., Leyzgold K.A., Romodin A.V.</i>	578
IMPROVING THE PRODUCTION LOGISTICS EFFICIENCY IN MANUFACTURING CORRUGATED PACKAGING <i>Plotnikov M.S., Khoroshev N.I.</i>	583
REVIEW OF METHODS AND IMPLEMENTATION OF THE HIDDEN MARKOV MODEL ALGORITHM FOR INNOVATIVE PROJECTS «VIABILITY» ANALYSIS <i>Rashidov A.R., Shmidt I.A.</i>	588
EFFICIENCY EVALUATION OF ENERGY SAVING MEASURES AT THE GAS AND OIL PRODUCING INDUSTRY ENTERPRISES <i>Romodina A.V., Kukharchuk A.V., Mishurinskikh S.V.</i>	593
CREATION OF THE VECTOR CONTROL SYSTEM WITH USE MEBIOS DEVELOPMENT STUDIO <i>Solodkiy E.M., Terekhin A.A., Yusupov I.R.</i>	599
ON METHODOLOGY OF LONG-TERM FORECASTING OF ELECTRICITY NETWORK POWER CONSUMPTION IN PERM CITY <i>Trushnikov K.P., Romodin A.V., Mishurinskikh S.V.</i>	604
PROCESS PROVIDING ENGINEERING DOCUMENTATION TO LLC «PERMSKIY KARTON» <i>Feschenko A.A., Shirokov A.A.</i>	609
STATISTICAL METHOD FOR DETERMINING OPTIMAL PERIODICITY FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT <i>Khoroshev N.I., Bayandina Yu.S.</i>	615
THE CHOICE OF THE OPTIMAL JSON MODEL FOR STORING TEST RESULTS <i>Shmidt I.A., Vasenev N.V.</i>	620

CREATING THE OUTPUT PARAMETERS OF THE JETS IN THE TWO-CHAMBER
PLASMA TORCHES

Schitsyn Yu.D., Kosolapov O.A. 626

Economic sciences (08.00.00)

FORECAST OF ECONOMIC SPACE ARCHITECTURE BASHKORTOSTAN

Aslaeva S.Sh., Gataullin R.F. 631

PRECONDITIONS OF FORMATION OF MANAGERIAL INNOVATIONS
IN THE CONDITIONS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES

Kaufman N.Yu. 636

ANALYSIS OF DYNAMICS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF PERM KRAI

Puzakova A.A., Sevastyanova I.G. 641

ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC FORMS OF ACTIVIZATION OF STATE
REGULATION OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTION

Sakharova L.A. 647

PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN THE VENTURE CAPITAL BUSINESS IN RUSSIA

Sevastyanova I.G., Puzakova A.A. 653

THE IMPACT OF THE STRATEGY OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY
ON THE ACTIVITIES OF JSC «GAZPROM NEFTEKHIM SALAVAT»

Khafizov A.M., Malysheva O.S., Semenov A.V., Siraziev D.I., Saniev D.F., Gareev I.M. 657

ABOUT PROBLEMS OF TAX POLICY OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX OF RUSSIA

Tsapulina F.Kh., Kazakova N.Yu., Gerasimova I.N. 662

AN INTEGRATED APPROACH TO ENSURING OF THE ENTERPRISES
ECONOMIC SECURITY

Shashlo N.V. 668

УДК 662.998:665.6

СОЗДАНИЕ НАСОСНО-КОМПРЕССОРНЫХ ТРУБ С ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫМ КОМПОЗИЦИОННЫМ ТЕРМОБАРЬЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ ПАРОТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИН

¹Баданина Ю.В., ¹Комков М.А., ²Бочкарев С.В., ²Павловская К.В.

¹Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, e-mail: m_komkov@list.ru;

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: m_komkov@list.ru

Настоящая статья посвящена исследованию и созданию насосно-компрессорных труб (НКТ) с высокоэффективным композиционным термобарьерным покрытием для добычи высоковязкой нефти с больших глубин. Рассмотрены существующие и используемые на данный момент конструкции НКТ – «термокейсы» – трубы с вакуумированием межтрубного пространства. Создана труба НКТ с высокоэффективным композиционным теплоизоляционным покрытием из материала на основе базальтового волокна, которая позволит с минимальными потерями доставлять высокотемпературный пар (температура пара – до 420 °С и давление до 30 МПа и выше) в призабойную зону, что позволит значительно повысить уровень добычи нефти в осложненных условиях эксплуатации. Проведен сравнительный анализ существующих труб и предлагаемой модели НКТ с базальтовой теплоизоляцией по основным характеристикам, которым должны соответствовать трубы для добычи нефти паротепловым методом.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, паротепловый метод нефтеотдачи, «термокейс», насосно-компрессорная труба, теплоизоляционные материалы, базальтовые волокна, метод фильтрационного осаждения, цилиндрические кольца, скорлупа

ESTABLISHMENT OF TUBING WITH HIGH-PERFORMANCE COMPOSITE THERMAL BARRIER COATING FOR STEAM-HEAT PROCESSING WELLS

¹Badanina Yu.V., ¹Komkov M.A., ²Bochkarev S.V., ²Pavlovskaya K.V.

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: m_komkov@list.ru;

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: m_komkov@list.ru

This article is devoted to the exploration and creation of pump-compressor pipes (TUBING) with high-performance composite thermal barrier plated heavy oil extraction from great depths. Considered existing and used at the moment construction TUBING – «thermocase» – the evacuation pipe clearance. Created pipe TUBING with high-performance composite insulating coating of basalt fiber based material that allows with minimal losses to deliver high-temperature steam (steam temperature-up to 420 °C and pressures up to 30 MPa and above) in the bottom zone, which will significantly increase the level of oil extraction in complicated conditions. Comparative analysis of the existing pipes and TUBING offered model with basalt heat insulation on the main features of which should correspond to the pipes for oil extraction steam heat method.

Keywords: heavy oil, paradiplomacy method of oil recovery, «thermocase», tubing, insulation materials, basalt fibers, the method of filtration deposition, cylindrical ring, shell

В настоящее время состояние сырьевой базы нефтедобывающей отрасли не только в России, но и за рубежом характеризуется значительным ухудшением структуры запасов нефти. Ввиду истощения легко извлекаемого углеводородного сырья возникла проблема поддержания сложившихся темпов добычи нефти. Одним из эффективных направлений решения указанной проблемы является освоение высоковязких трудноизвлекаемых запасов нефти. По данным открытых источников сети Интернет мировые запасы нефти средней и малой вязкости (при глубине залегания 1500 м) составляют 162,3 млрд тонн, в то же время запасы тяжелой сверхвязкой нефти (при глубине залегания порядка 3000 м) составляют 810 млрд тонн. Степень выработан-

ности запасов ВВН по России составляет не более 10% [6, 9].

При добыче тяжелой нефти с больших глубин возникает трудность, связанная с высокой вязкостью ВВН. Тяжелую нефть в ее природном состоянии невозможно выкачивать обычными методами. В большинстве случаев для того, чтобы обеспечить течение горючей жидкости подобного типа по трубопроводу, необходимо провести ее предварительное растворение или нагревание. Чаще всего применяют следующие методы повышения нефтеотдачи пластов [1, 5, 10, 13]: тепловые, газовые, химические, гидродинамические, физические.

В нашей стране тепловые методы, обладающие рядом преимуществ, одним из которых

является экологичность, получили самое широкое применение (около 30%). Тепловые методы повышения нефтеотдачи пластов, в свою очередь, делятся на: паротепловое воздействие на пласт; внутрипластовое горение; вытеснение нефти горячей водой; пароциклические обработки скважин.

Одним из наиболее эффективных среди тепловых методов можно назвать способ паротеплового воздействия на пласт и пароциклические обработки скважин. Пароциклическую обработку добывающих скважин осуществляют периодическим прямым нагнетанием пара в нефтяной пласт через добывающие скважины с некоторой выдержкой их в закрытом состоянии и последующей эксплуатацией тех же скважин для отбора из пласта нефти с пониженной вязкостью и сконденсированного пара. Цель этой технологии заключается в том, чтобы прогреть пласт и нефть в призабойных зонах добывающих скважин, снизить вязкость

нефти, повысить давление, облегчить условия фильтрации и увеличить приток нефти к скважинам.

Стоит отметить, что при использовании паротепловых методов не происходит внутрипластового горения, которое связано с необходимостью принятия мер по охране окружающей среды и утилизации продуктов горения, по предотвращению коррозии оборудования.

В данный момент паротепловым методам уделяется все больше внимания. Однако существующие конструкции труб не полностью удовлетворяют производственным потребностям по уровню теплотерь и надежности конструкции, а значит, существует проблема создания трубопроводов, способных выдерживать закачку перегретого сухого пара с заданными параметрами на большую глубину. Существует ряд причин, по которым современные трубы не применимы для добычи тяжелой нефти.

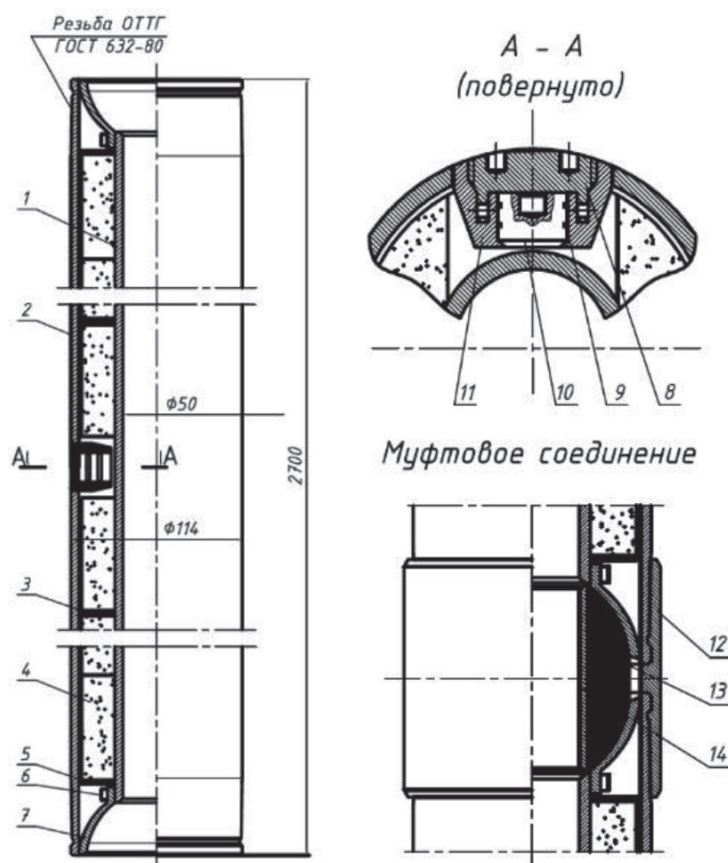


Рис. 1. Теплоизолированная труба НКТ, разработанная во ВНИИГАЗ:

1 – труба внутренняя, 2 – труба наружная, 3 – центратор, 4 – теплоизоляционный материал, 5 – кольцо опорное, 6 – поглощающий состав, 7 – диафрагма, 8 – крышка, 9 – кольцо уплотнительное, 10 – заглушка, 11 – седло, 12 – муфта, 13 – вкладыш, 14 – втулка

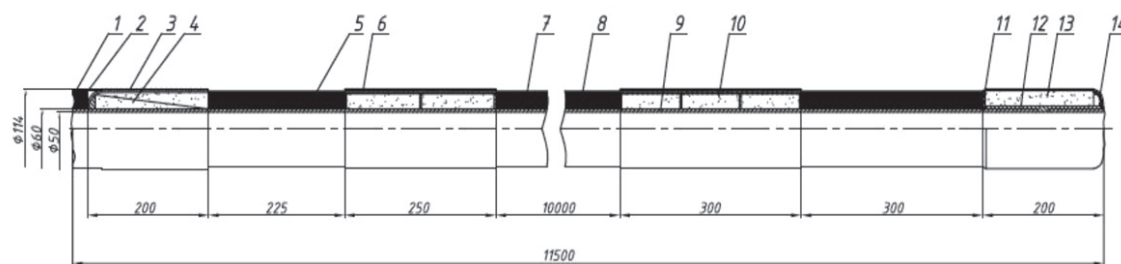


Рис. 2. Общий вид трубы НКТ: 1 – кожух из термопласта; 2 – кольцо из термоизолированного покрытия (ТИП); 3 – примотка кольца из стеклопластика (СП); 4 – секция опоры СП оболочки; 5 – регулярная часть ТИП; 6 – секция гидравлического ключа; 7 – регулярная часть НКТ (и ТИП); 8 – СП оболочки; 9 – труба НКТ; 10 – секция спайдера; 11 – кольцо стальное; 12 – муфта резьбовая; 13 – секция муфты; 14 – крышка профилированная из СП

Во-первых, невозможность существующих труб добывать ВВН с глубин выше 1500 м. Имеющиеся на сегодня термоизолированные насосно-компрессорные трубы в виде сваренных коаксиально расположенных металлических труб с вакуумированием межтрубного пространства (так называемые «термокейсы») не обеспечивают возможность применения их для глубин более 1500 метров из-за большого веса. На рис. 1 показана теплоизолированная НКТ с теплоизоляцией из открыто-пористого материала и вакуумированием межтрубного пространства, разработанная во ВНИИГАЗ [6, 10].

Во-вторых, на сегодняшний момент максимальная рабочая температура закачиваемого в нефтяные скважины пара не превышает 200–250 °С. В то же время практика добычи высоковязких и трудноизвлекаемых нефтей показывает, что температуру закачки пара в глубоко залегающие пласты необходимо повысить до 420–450 °С с переходом к пласту пара с температурой до 350–400 °С, обеспечивающей снижение эффективной вязкости нефти и растворение отложений, которые также снижают уровень добычи нефти в осложненных условиях эксплуатации [13].

В связи с вышеизложенным задача создания новых высокоэффективных теплоизолирующих систем с высокими теплоизоляционными свойствами, предназначенных для добычи сверхвязкой нефти, является весьма актуальной и востребованной промышленностью.

Создание НКТ с высокоэффективными композиционными термобарьерными покрытиями позволит с минимальными потерями доставлять высокотемпературный пар в призабойную зону, снижать степень обводненности добывающих скважин, более эффективно вести борьбу с отложениями,

что позволит значительно повысить уровень добычи нефти в осложненных условиях эксплуатации, в том числе при добыче высоковязкой и трудноизвлекаемой нефти.

Такая модель трубы, позволяющая проводить закачку пара с температурой до 420 °С и давлением до 30 Мпа, с теплоизоляцией из высокопористого материала на основе базальтового волокна, была создана совместно МГТУ им. Н.Э. Баумана и ЗАО «КОМПОМАШ-ТЭК» (рис. 2) [7].

Конструкция теплоизолированного трубопровода состоит из нескольких труб, свинчиваемых между собой непосредственно в месте эксплуатации. Каждая труба имеет основные секции:

- секция опоры СП оболочки;
- секция гидравлического ключа;
- секция спайдера;
- секция муфты для свинчивания труб между собой;
- регулярная часть НКТ.

Главным элементом НКТ с многослойным ТИП является НКТ Ø60,3×5 мм ГОСТ 633-80, материалом которой является теплоустойчивая низколегированная сталь 20Х3МВФ. В качестве основного теплоизолирующего материала используется материал на основе короткого базальтового волокна.

Основным методом изготовления теплоизоляционного материала (ТИМ) из коротких базальтовых волокон [2] является метод фильтрационного осаждения волокон из жидкой пульпы, применяющийся при формировании теплозащитных плиток и цилиндрических колец небольшой высоты [3, 11, 12, 14]. В то же время применение длиномерных цилиндрических колец не представляется возможным, поэтому покрытие может быть выполнено только из скорлуп с последующей их сборкой в замок по образующим цилиндра (рис. 3).

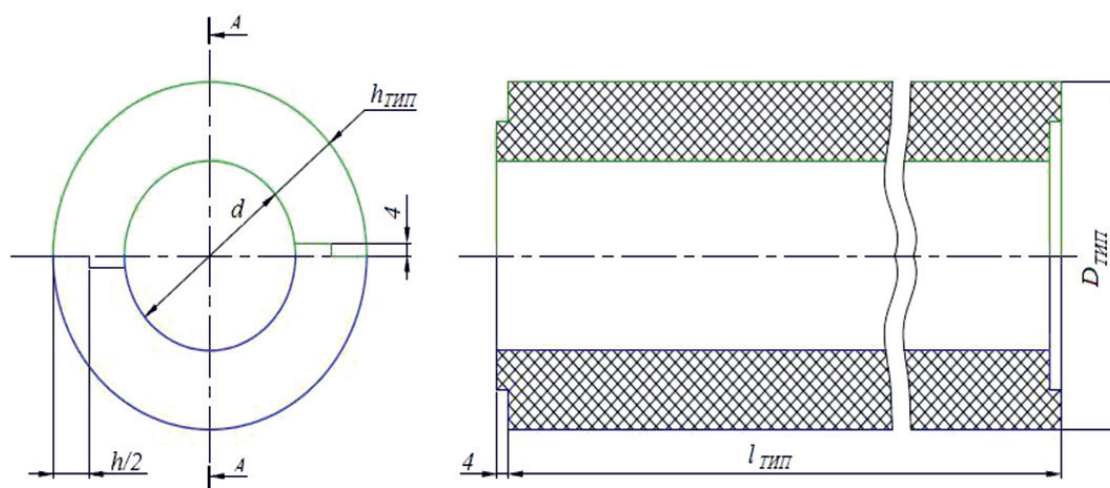


Рис. 3. Геометрия цилиндрических скорлуп из коротких базальтовых волокон;
 $d = 60 \pm 0,2$ мм; $l_{тип} = 255 \pm 0,1$ мм; $h_{тип} = 25 \pm 0,1$ мм

Основные характеристики сравнения трубы «термокейс» с НКТ из ТИМ на основе базальтового волокна

Характеристики сравнения	Трубы с вакуумной теплоизоляцией «Термокейсы»	Предлагаемый вариант трубы с базальтовой теплоизоляцией
Глубина скважины, м	До 1500	До 3000
Max рабочая температура, °C	350	450
Погонная масса трубы, кг/м	32,3	9,7
Стоимость погонного метра трубы, \$	800	350
Температура за обсадной трубой, °C	60	60
Количество сборок-разборок	2	5
Предельный срок службы	~ 6 мес.	~ 15 мес.
Увеличение нефтеотдачи	7–10%	40–45%

Эффективность применения теплоизоляции оценивалась путем сравнения с теплоизоляцией в НКТ трубах с вакуумной теплоизоляцией. Ориентируясь на характеристики вакуумно-изолированных труб НКТ, для которых допустимой считается потеря теплового потока по длине трубы $q_1 = 150$ Вт/м [8], можно предварительно рассчитать толщину теплоизолирующего покрытия (ТИП) из базальтовых волокон по формуле

$$q = \frac{q_1}{\pi \cdot d} = \frac{2}{d} \cdot \frac{\lambda_{тип} \cdot (T_1 - T_2)}{\ln \frac{d + 2 \cdot h_{тип}}{d}}, \quad (1)$$

где $d = 60$ мм – наружный диаметр НКТ; $\lambda_{тип}$ – среднее значение коэффициента теплопроводности базальтового покрытия в диапазоне температур ($T_1 - T_2$); $T_1 = 400$ °C – температура на внутренней

стенке трубы НКТ; $T_2 = 60$ °C – температура на наружной стороне покрытия трубы НКТ; $h_{тип}$ – толщина теплоизоляции НКТ.

Считая, что пористость $\varepsilon = V_{пор} / V_{тип} = 0,92 \dots 0,93$, найдем среднее значение коэффициента теплопроводности материала покрытия:

$$\lambda_{тип}^{cp} = (1 - \varepsilon) \cdot \lambda_{бв}^{cp} + \varepsilon \cdot \lambda_{возд}^{cp} = 0,0408 \text{ Вт/(м} \cdot \text{K)}. \quad (2)$$

Подставив $\lambda_{тип}^{cp}$ из (2) в (1), определим толщину теплоизоляции для трубы НКТ: $h_{тип} = 25$ мм. Разработанный теплоизоляционный материал имеет плотность $\rho_{тип} = 195$ кг/м³ и прочность на сжатие при 10%-й деформации, равную 0,42 МПа.

Погонную массу теплоизоляции трубы НКТ из базальтовых волокон и защитной

оболочки из намотанного стеклопластика определим по формулам:

$$M_{\text{тип}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{\text{тип}}^2 - d_{\text{нкт}}^2) \cdot \rho_{\text{тип}};$$

$$M_{\text{сп}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{\text{сп}}^2 - d_{\text{тип}}^2) \cdot \rho_{\text{сп}}, \quad (3)$$

где $d_{\text{тип}} = 110$ мм – наружный диаметр теплоизоляции; $d_{\text{нкт}} = 60$ мм – диаметр трубы НКТ; $D_{\text{сп}} = 114$ мм – диаметр стеклопластиковой оболочки; $\rho_{\text{сп}} = 2,05$ кг/м³ – плотность стеклопластика. Подставив числовые значения в формулы (3), получим: $M_{\text{тип}} = 1,44$ кг/м, масса стеклопластиковой оболочки с герметизирующим слоем $M_{\text{сп}} = 1,47$ кг/м, что в сумме с погонной массой стальной трубы НКТ диаметром 60 мм, равной 6,8 кг/м, составит 9,7 кг/м. Это, соответственно, в 2,02 и 3,33 раза меньше погонной массы труб НКТ с вакуумной теплоизоляцией [4]. Основные характеристики сравнения трубы с вакуумной теплоизоляцией и трубы с базальтовой теплоизоляцией приведены в таблице.

Сравнительный анализ по основным характеристикам, которым должны соответствовать трубы НКТ (рабочая температура, глубина скважины, погонная масса трубы, температура за обсадной трубой и т.д.), показал, что предложенная конструкция теплоизолированного трубопровода с композиционным покрытием из материала на основе базальтового волокна, отвечает всем необходимым техническим требованиям. Обеспечивает надежность работы при заданных тепловых и механических нагрузках. Применение данной конструкции для добычи тяжелой нефти оправдано благодаря снижению массы изделия в целом, вследствие чего появляется возможность добычи нефти с больших глубин.

Заключение

Для паротепловой добычи трудноизвлекаемой нефти, залегающей на глубине свыше 1000–2000 метров, предложена конструкция трубы НКТ с высокоэффективным композиционным термобарьерным покрытием из материала на основе базальтового волокна, которая по своим характеристикам превосходит существующие на сегодняшний день трубы.

Исследование выполнено при поддержке «Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» по программе «УМНИК-2015» по договору № 7159ГУ2/2015 от 03.08.2015 г.

Список литературы

1. Амелин И.Д., Сургучев М.Л., Давыдов А.В. Прогноз разработки нефтяных залежей на поздней стадии // Недр. – 1994. – С. 308.

2. Базальтовое супертонкое волокно «MINOL» [Электронный ресурс] // Нижегородский завод тепло- и звукоизоляционных материалов. Режим доступа: <http://uteplitel-minol.ru/holst/> (дата обращения: 27.02.2015).

3. Джигрис Д.Д., Волынский А.К., Козловский П.П. Основы технологии получения базальтовых волокон и их свойства // Базальтовые волокнистые композиционные материалы и конструкции. – Киев: Наукова думка, 1980. – С. 81.

4. Комков М.А., Баданина Ю.В., Тимофеев М.П. Разработка и исследование термостойких покрытий трубопроводов из коротких базальтовых волокон [Электронный ресурс] // Инженерный журнал: наука и инновации. 2014. – Вып. 2; Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/machine/hidden/1203.htm> (дата обращения: 01.03.2015).

5. Крянев Д.Ю., Жданов С.А. Применение методов увеличения нефтеотдачи пластов в России и за рубежом. Опыт и перспективы // Бурение и нефть. Специализированный журнал. – 2011. Режим доступа: <http://burneft.ru/archive/issues/2011-02/8>.

6. Кудинов В.И. Основы нефтегазопромыслового дела // Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований. – 2004. – С. 720.

7. Пат. на полезную модель 121855 Российская Федерация. Труба теплоизолированная / Моисеев В.А., Моисеев А.В., Фролов В.И., Комков М.А.; заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Компомаш – ТЭК». – № 2012128161; заявл. 06.07.12; опубл. 10.11.12, Бюл. № 31. 3 с.

8. Пат. 2129202 Российская Федерация. Теплоизолированная колонна (термоизолированная труба НКТ) / Кудинов В.И., Богомольный Е.И., Завьялов М.П., Багиров Г.Р.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Удмуртнефть». – № 97114110/03; заявл. 12.08.97; опубл. 20.04.99, Бюл. № 4. 9 с.

9. Сургучев Л.М. Увеличение нефтеотдачи пластов: статус и перспективы // Материалы II Международного научного симпозиума. – 2009. – С. 62–69.

10. Сучков, Б.М. Добыча нефти из карбонатных коллекторов. – Москва – Ижевск: РХД, 2005. – С. 686.

11. Тарасов В.А., Смирнов Ю.В., Тимофеев М.П., Филимонов А.С. Режимы фильтрационного осаждения элементов теплозащиты РКТ // Полет. Общероссийский научно-технический журнал. – 2007. – № 5. – С. 52–55.

12. Филимонов А.С., Тарасов В.А., Комков М.А., Моисеев В.А., Тимофеев М.П., Герасимов Н.В. Экспериментальный анализ свойств перспективных теплоизоляционных материалов машиностроения, полученных методом фильтрационного осаждения // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». (Специальный выпуск № 3). – 2012. – С. 175–184.

13. Шелепов В.В. Состояние сырьевой базы нефтяной промышленности России / Повышение нефтеотдачи пластов. – 2008. – № 4. – С. 43–67.

14. Komkov M.A. Rheological Properties of Polymer Binders Used in the Windings of Products of Composite Materials // Polymer Science Series D. – 2013. – vol. 6. iss. 1. – P. 26–30.

References

1. Amelin I.D., Surguchev M.L., Davydov A.V. Prognosty razrabotki nefityanyh zalezhej na pozdney stadii // Nedra. 1994. pp. 308.
2. Bazaltovoe supertonkoe volokno «MINOL» [Elektronnyj resurs] // Nizhegorodskij zavod teplo- i zvukoizoljacionnyh materialov. Rezhim dostupa: <http://uteplitel-minol.ru/holst/> (data obrashhenija: 27.02.2015).
3. Dzhigris D.D., Volynskij A.K., Kozlovskij P.P. Osnovy tehnologij poluchenija bazaltovyh volokon i ih svojstva // Bazaltovye voloknistye kompozicionnye materialy i konstrukcii. Kiev: Naukova dumka, 1980. pp. 81.
4. Komkov M.A., Badanina Ju.V., Timofeev M.P. Razrabotka i issledovanie termostojkih pokrytij truboprovodov iz

korotkih bazaltovyh volokon [Elektronnyj resurs] // Inzhenernyj zhurnal: nauka i innovacii. 2014. Vyp. 2; Rezhim dostupa: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hidden/1203.htm> (data obrashhenija: 01.03.2015).

5. Krjanev D.Ju., Zhdanov S.A. Primenenie metodov uvelichenija nefteotdachi plastov v Rossii i za rubezhom. Opyt i perspektivy // Burenie i nef't. Specializirovannyj zhurnal. 2011. Rezhim dostupa: <http://burneft.ru/archive/issues/2011-02/8>.

6. Kudinov V.I. Osnovy neftegazopromyslovogo dela // Moskva-Izhevsk: Institut komp'yuternyh issledovanij. 2004. pp. 720.

7. Pat. na poleznuju model 121855 Rossijskaja Federacija. Truba teploizirovannaja / Moiseev V.A., Moiseev A.V., Frolov V.I., Komkov M.A.; z'javitel i patentoobladatel Zakrytoe akcioner'noe obshhestvo «Kompomash TJeK». no. 2012128161; z'javl. 06.07.12; opubl. 10.11.12, Bjul. no. 31. 3 p.

8. Pat. 2129202 Rossijskaja Federacija. Teploizirovannaja kolonna (termoizirovannaja truba NKT) / Kudimov V.I., Bogomolnyj E.I., Zavjalov M.P., Bagirov G.R.; z'javitel i patentoobladatel Otkrytoe akcioner'noe obshhestvo «Udmurtneft». no. 97114110/03; z'javl. 12.08.97; opubl. 20.04.99, Bjul. no. 4. 9 p.

9. Surguchev L.M. Uvelichenie nefteotdachi plastov: status i perspektivy // Materialy II Mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma. 2009. pp. 62–69.

10. Suchkov, B.M. Dobycha nef'ti iz karbonatnyh kolektorov. Moskva Izhevsk: RHD, 2005. pp. 686.

11. Tarasov V.A., Smirnov Ju.V., Timofeev M.P., Filimonov A.S. Rezhimy filtracionnogo osazhdenija jelementov teplozashhity RKT // Polet. Obshherossijskij nauchno-tehnicheskij zhurnal. 2007. no. 5. pp. 52–55.

12. Filimonov A.S., Tarasov V.A., Komkov M.A., Moiseev V.A., Timofeev M.P., Gerasimov N.V. Jeksperimentalnyj analiz svojstv perspektivnyh teploizoljacionnyh materialov mashinostroenija, poluchennyh metodom filtracionnogo osazhdenija // Vestnik MGTU im. N.Je. Bauman. Ser. «Mashinostroenie». (Specialnyj vypusk no. 3). 2012. pp. 175–184.

13. Shelepov V.V. Sostojanie syrevoj bazy nef'tjanoj promyshlennosti Rossii / Povyshenie nefteotdachi plastov. 2008. no. 4. pp. 43–67.

14. Komkov M.A. Rheological Properties of Polymer Binders Used in the Windings of Products of Composite Materials // Polymer Science Series D. 2013. vol. 6. iss. 1. pp. 26–30.

УДК 658.58:303.732

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ЕГО РЕМОНТНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Баяндина Ю.С., Хорошев Н.И.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: yu.bayandina@mail.ru, horoshev@msa.pstu.ru*

В статье рассмотрен вопрос повышения точности планирования ремонтно-профилактических работ электрооборудования. Использование многокритериальной оценки для определения количественных и качественных показателей технического состояния оборудования позволяет максимально увеличить качество его обслуживания и ремонта, свести к минимуму денежные и временные затраты. Проведен анализ и выбор ключевых факторов, влияющих на планирование сроков ремонтно-профилактических работ оборудования. На основе аналитического метода иерархий разработана структура критериев для группы исследуемых электродвигателей. Проведено ранжирование электродвигателей по степени критичности их технического состояния с целью планирования для них сроков вывода в ремонт. Предложенный способ повышения эффективности технического обслуживания и ремонта электрооборудования имеет практический интерес и может быть использован в промышленных условиях, поскольку позволяет своевременно предупреждать возникновение критических аварийных ситуаций, в том числе в условиях неопределенности.

Ключевые слова: планирование, техническое обслуживание и ремонт, оборудование, техническое состояние

COMPLEX EVALUATION OF TECHNICAL CONDITION OF ELECTRICAL EQUIPMENT IN ITS PLANNING MAINTENANCE AND REPAIR WORK

Bayandina Yu.S., Khoroshev N.I.

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: yu.bayandina@mail.ru,
horoshev@msa.pstu.ru*

In article the question of improving the accuracy of planning maintenance and repair work electrical equipment. Using the multicriteria evaluation for determining quantitative and qualitative indicators the state of technical equipment maximizes the quality of its maintenance and repair, to minimize the time and money costs. The analysis and selection of the key factors, influencing the scheduling of maintenance and repair work the equipment. On the basis of the analytical method hierarchies, hierarchical structure of the criteria for a group of motors has been developed. Conducted ranking electric motors by the degree criticality of their technical state in order to plan for them timetable for the withdrawal repair. Proposed method for increasing efficiency the maintenance and repair electrical equipment has a practical interest and can be used in industrial applications, since it allows a timely manner to prevent the occurrence critical emergency situations, including in conditions of uncertainty.

Keywords: planning, maintenance and repairs, equipment, technical condition

Эффективность использования электрооборудования напрямую зависит от объема и периодичности технического обслуживания и ремонта электродвигателей. На начальном этапе планированием занимаются специалисты подразделений, которые отвечают либо за конкретный технологический участок, либо за определенный вид оборудования [3]. Принимая решение о необходимости проведения профилактических мероприятий, для агрегатов, узлов или сборочных единиц, необходимо учитывать множество критериев и накладываемые ограничения трудового, временного и финансового характера. В данном случае использование многокритериальной оценки количественных и качественных показателей является целесообразным и актуальным, так как появляется возможность максимально увеличить качество технического обслуживания и ремонта электрооборудования и свести к минимуму денежные и временные затраты.

Цель и задачи исследования

Цель заключается в повышении эффективности планирования профилактических и ремонтных мероприятий электрооборудования путем использования многокритериальной оценки его технического состояния. Для этого необходимо на основе метода анализа иерархий разработать иерархическую структуру критериев, ранжировать объекты по степени их критичности.

Для решения задачи планирования ТОиР был выбран метод анализа иерархий (МАИ), который включает в себя следующие этапы:

- 1) определение цели;
- 2) декомпозиция исходной многокритериальной проблемы;
- 3) построение иерархии (цель, критерии, альтернативы);
- 4) ранжирование альтернатив [2].

Во время принятия решения учитываются не только фактическое техническое состояние, условия эксплуатации, влияние внешней среды, электромеханические, но

и субъективные (случайные) факторы. Ухудшение технического состояния электрооборудования происходит непрерывно как при работе электрооборудования в нормативных, так и в ненормативных условиях эксплуатации. Это связано с накопительным характером развития дефектов и повреждений в конструктивных элементах и сборочных единицах электрооборудования.

Разработка иерархии критериев для планирования технического обслуживания и ремонта

Для реализации комплексной оценки планирования ТОиР электроэнергетического оборудования необходимо формализовать множество критериев количественного и качественного характера. Чтобы проанализировать проблему принятия решения МАИ, разработана иерархическая структура для группы электродвигателей вакуумной системы бумагоделательной машины, которая представлена на рисунке. Данные локальные (частные) критерии (f) можно описать следующим образом:

- $f_1(x)$ – механические критерии;
- $f_2(x)$ – электрические критерии;
- $f_3(x)$ – химические критерии;
- $f_4(x)$ – тепловые критерии;
- $f_5(x)$ – технические критерии;
- $f_6(x)$ – производственная среда [5].

Далее сформирована матрица парных сравнений, которая представлена в табл. 1,

она показывает отношение критериев друг другу [1]. Чтобы установить относительную важность элементов иерархии, используют девятибалльную шкалу предпочтений по Саати: 1/9, 1/8, 1/7, 1/6, 1/5, 1/4, 1/3, 1/2, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, где 1 – равные по значимости критерии; 3 – слабое преобладание критерия; 5 – существенная значимость; 7 – сильная значимость; 9 – очень сильная (очевидная) значимость критерия.

Промежуточные значения (2, 4, 6, ...) проставляются тогда, когда необходимо выбрать среднее между двумя степенями предпочтения.

При составлении матрицы использовали формулу

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \quad (1)$$

где a_{ij} – отношение критерия i к критерию j . При сравнении критерия самим с собой, на пересечении строк $a_{ii} = 1$. Согласно матрице парных сравнений необходимо сформировать вектор приоритетов критерия W_a :

$$W_a = \frac{\sqrt[n]{a_{j1} \cdot a_{j2} \cdot \dots \cdot a_{jn}}}{\sum_{j=1}^n \sqrt[n]{a_{j1} \cdot a_{j2} \cdot \dots \cdot a_{jn}}}, \quad (2)$$

где j – порядковый номер критерия; n – количество критериев.



Иерархическая структура критериев оценки технического состояния электродвигателя

Таблица 1

Матрица парных сравнений локальных критериев

Критерии	Критерии						Нормальное значение весового критерия (W_a)
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	
f_1	1	1/2	1/3	5	1/3	1/2	0,098
f_2	2	1	1/3	5	1/3	1/3	0,115
f_3	3	3	1	3	4	1/2	0,267
f_4	1/5	1/5	1/3	1	1/2	1/5	0,045
f_5	3	3	1/4	2	1	1/3	0,146
f_6	2	3	2	5	3	1	0,326

Далее аналогично провели сравнение критериев второго уровня, используя формулы (1), (2). В общем виде матрица сравнения показателей критериев представлена в табл. 2.

Таблица 2

Матрица сравнений показателей критериев в общем виде

$f_n(x)$	f_{n1}	f_{n2}	...	f_{nj}
f_{n1}	1	a_{12}	...	a_{1j}
f_{n2}	$1/a_{12}$	1	...	a_{2j}
...	...	...	...	...
f_{nj}	$1/a_{1j}$	$1/a_{2j}$	...	1

Ранжирование объектов по степени критичности состояния

Следующим этапом рассчитываем коэффициенты превосходства альтернатив принимаемых решений. В качестве альтернатив рассматривается группа электродвигателей вакуумной системы. Опишем альтернативы (A) следующим образом:

- A_1 – электродвигатель трубопроводки (30 кВт);
- A_2 – электродвигатель ВН-1 (150 кВт);
- A_3 – электродвигатель ВН-2 (250 кВт);
- A_4 – электродвигатель ВН-3 (315 кВт);
- A_5 – электродвигатель ВН-4 (150 кВт);
- A_6 – электродвигатель ВН-5 (110 кВт).

Согласно матрице парных сравнений необходимо сформировать вектор приоритетов альтернатив W_A :

$$W_A = \frac{\sqrt[m]{b_{i1} \cdot b_{i2} \cdot \dots \cdot b_{im}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt[m]{b_{i1} \cdot b_{i2} \cdot \dots \cdot b_{im}}}, \quad (3)$$

где m – количество альтернатив; i – порядковый номер альтернативы.

Следующим шагом необходимо построить матрицы альтернатив, которые в большей мере определены локальными критериями. Результирующая матрица в общем виде представлена в табл. 3.

Таблица 3

Матрица сравнений альтернатив по показателю критерия

$f_{nj}(x)$	A_1	A_2	...	A_m
A_1	1	b_{12}	...	b_{1j}
A_2	$1/b_{12}$	1	...	b_{2j}
...	...	...	...	...
A_m	$1/b_{1j}$	$1/b_{2j}$	...	1

Следующим шагом необходимо построить матрицы альтернатив, которые в большей мере определены критериями. В общем виде они приведены в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчетов весов альтернатив

Показатели	Альтернативы					
	A_1		A_1		A_1	
f_{11}	b_{11}	f_{11}	b_{11}	f_{11}	b_{11}	f_{11}
f_{1n}	b_{11}	f_{1n}		f_{1n}	b_{11}	f_{1n}

Следующим этапом необходимо ранжировать альтернативы (электродвигатели), основываясь на значениях глобальных приоритетов. Вычисления предпочтительного весового коэффициента происходят для всех альтернатив согласно следующей формуле:

$$W_P = \sum_{j=1}^n W_a \cdot W_A. \quad (4)$$

Таблица 5

Синтез частных критериев по альтернативам

Альтернатива	Критерии					
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
Электродвигатель трубопроудки (30 кВт)	0,198	0,1057	0,1645	0,1938	0,1477	0,0921
Электродвигатель ВН-1 (150 кВт)	0,184	0,1466	0,1865	0,1597	0,1709	0,0842
Электродвигатель ВН-2 (250 кВт)	0,148	0,1573	0,1954	0,1338	0,1709	0,1495
Электродвигатель ВН-3 (315 кВт)	0,128	0,1301	0,1276	0,0742	0,3109	0,1369
Электродвигатель ВН-4 (150 кВт)	0,232	0,2011	0,1419	0,1920	0,1540	0,1385
Электродвигатель ВН-5 (110 кВт)	0,095	0,1466	0,0974	0,0783	0,1188	0,1596
Значимость частных критериев	0,098	0,115	0,267	0,045	0,0146	0,326

Формирование набора предпочтительных весовых коэффициентов превосходства альтернатив принимаемых решений осуществляется на основании информации о значениях весовых коэффициентов частных критериев и весовых коэффициентов альтернатив принимаемых решений относительно каждого из частных критериев.

Рассчитанные предпочтительные весовые коэффициенты занесены в сводную табл. 5 синтеза частных критериев по альтернативам (электродвигателям).

На основании табл. 5 и (4) рассчитаем глобальные приоритеты технического состояния электродвигателей:

$$W_1 = 0,216; \quad W_2 = 0,587; \quad W_3 = 0,296; \\ W_4 = 0,731; \quad W_5 = 0,346; \quad W_6 = 0,632.$$

Выводы

Выполнив расчеты, можно сказать, что предпочтительной альтернативой, которую рекомендуется выбрать, считается W_4 , поскольку у нее максимальное значение приоритета. У данного электродвигателя наилучшее техническое состояние, необходимо произвести ремонтные или обслуживающие мероприятия с целью восстановления его надежности и работоспособности, которые не граничат с предотказным или аварийным состоянием.

Предложенный способ повышения эффективности технического обслуживания и ремонта электрооборудования имеет практический интерес и может быть использован

в промышленных условиях, поскольку позволяет своевременно предупреждать возникновение критических аварийных ситуаций, в том числе в условиях неопределенности.

Список литературы

1. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 144 с.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 320 с.
3. Ченцов Н.А. Организация, управление и автоматизация ремонтной службы: Учебник / Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.Я. Седуша, Донецкий национальный технический университет. – Донецк: Норд-Пресс-УНИТЕХ, 2007. – 258 с.
4. Юхименко В.Ф., Масленникова С.Г. Техническая эксплуатация силовых агрегатов и трансмиссий. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2004. – 92 с.
5. Ящур А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник. – М.: Изд-во НИЦ ЭНАС, 2006. – 360 с.

References

1. Kovalev V.V. Metody ocenki investicionnyh projektov. M.: Finansy i statistika, 1998. 144 p.
2. Saati T. Prinjatje reshenij. Metod analiza ierarhij: per. s angl. M.: Radio i svjaz, 1993. 320 p.
3. Chencov N.A. Organizacija, upravlenie i avtomatizacija remontnoj sluzhby: Uchebnik / Pod red. d-ra tehn. nauk, prof. V.Ja. Sedusha, Doneckij nacionalnyj tehnickij universitet. Doneck: Nord-Press-UNITEH, 2007. 258 p.
4. Juhimenko V.F., Maslennikova S.G. Tehnicheskaja jekspluatacija silovyh agregatov i transmissij. Vladivostok: Izd-vo VGUEs, 2004. 92 p.
5. Jashhura A.I. Sistema tehnickeskogo obsluzhivaniya i remonta obshhepromyshlennogo oborudovaniya: Spravochnik. M.: Izd-vo NC JeNAS, 2006. 360 p.

УДК 62-5

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК ОТДЕЛЕНИЯ СГУЩЕНИЯ СИЛЬВИНИТОВОЙ ФАБРИКИ ПАО «УРАЛКАЛИЙ»

Билоус О.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: boa@msa.pstu.ac.ru*

С целью повышения энергоэффективности отделения сгущения сильвинитовой фабрики БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» по выпуску мелкозернистого хлористого калия были рассмотрены существующие недостатки работы насосных установок и предложены мероприятия, обеспечивающие рост энергоэффективности, снижение эксплуатационных затрат и времени простоя технологического оборудования. Осуществлен выбор частотного преобразователя Danfoss AQUA Drive FC202-132 в составе насосного агрегата. Выбран входной фильтр ACL-HI-150 для снижения гармоник. Для высоковольтных электродвигателей насосных установок предлагается установить устройство плавного пуска (УПП). Произведен выбор устройства УППВЭ-6-630-Б УХЛ4. Перечислены преимущества применения плавного пуска и останова электродвигателя (ЭД). При неисправности или невозможности запуска насосной установки с помощью преобразователя частоты предусматривается байпасный ручной запуск. Выполнено сравнение реальной (фактической) потребляемой мощности и потребляемой мощности после проведения мероприятий. Выполнено сравнение энергетических показателей по существующему варианту и после принятия проектных решений по каждому мероприятию.

Ключевые слова: энергоэффективность, насосные установки, частотный преобразователь, частотно-регулируемый привод (ЧРП), устройство плавного пуска (УПП)

INCREASE OF ENERGY EFFICIENCY OF PUMP UNITS AT THE INSPISSATION SECTION OF SYLVINITE FACTORY PAO «URALKALI»

Bilous O.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: boa@msa.pstu.ac.ru

With the aim of energy efficiency increasing at the inspissation section of sylvinitic factory BKPRU-3 PAO «Uralkali», which produce fine-grained potassium chloride, existing limitations of pump units functioning were considered. The arrangements on increasing of energy efficiency, and decreasing of operating costs and technological equipment downtime were proposed. The frequency converter Danfoss AQUA Drive FC202-132 as a part of pump unit was chosen. For decreasing harmonic components the input filter ACL-HI-150 was chosen. For high-voltage motors of pump units the installation of soft starters is recommended. Soft starter UPPVE-6-630-B UHL4 is chosen. Advantages of soft starting and stopping of electric drive are described. When appearing malfunction or impossibility of pump unit starting using frequency converter, bypass hand starting is provided. Real (actual) power consumption and power consumption after arrangements realization are compared. Power indices of existing variant of system and a variant after doing concrete design decisions on each arrangement are compared.

Keywords: energy efficiency, pump units, frequency converter, variable frequency drive (VFD), soft starter

Основным технологическим оборудованием отделения сгущения сильвинитовой фабрики БКПРУ-3 ПАО «Уралкалий» по выпуску мелкозернистого хлористого калия являются насосные установки (центробежного типа) и сгустители. Производственное отделение характеризуется круглосуточной работой. Управление запуском и остановкой двигателей технологического оборудования происходит вручную, так как системы автоматизации не установлены. Были выявлены следующие недостатки работы насосных установок:

- регулирование происходит дросселированием (напорными задвижками);
- насосы нагружены частично, время полной нагрузки невелико, регулирование части насосных установок производится часто;
- мощность используемых электродвигателей (ЭД) достаточно большая, в основном 132 кВт (0,4 кВ), 630 кВт (6 кВ). При

этом пуск двигателей производится прямым включением;

- насосные установки и трубопроводы выбраны с большим запасом по мощности в связи с дросселированием и гидродинамическими перегрузками при запуске электродвигателя;
- при нестабильном состоянии и при регулировании технологического процесса производятся частые запуски и остановки электродвигателей.

Постановка задачи проектирования

Для повышения энергоэффективности отделения сгущения предлагается осуществление следующих мероприятий:

- 1) замена оборудования на более энергоэффективное;
- 2) модернизация существующего оборудования.

Необходимо учесть, что мероприятия должны обеспечить не только повышение

энергоэффективности, но и преследовать другие цели:

- не нарушать технологический процесс, а по возможности улучшить его эффективность;
- обеспечить более высокую надёжность оборудования;
- обеспечить возможность простого освоения и использования технологическим и обслуживающим персоналом;
- обеспечить возможность проведения текущего обслуживания и/или ремонтных работ, а также снизить время на проведение этих работ;
- обеспечить дополнительные функциональные возможности;
- обеспечить экономическую эффективность, обусловленную снижением потребления энергии и повышением использования энергоресурсов, снижением эксплуатационных затрат, а также снижением простоев технологического оборудования [1].

Мероприятия по повышению энергоэффективности насосных установок

Применение преобразователя частоты (ПЧ) в составе насосного агрегата позволяет просто задать необходимое давление или расход, что обеспечит не только экономию электроэнергии, но и снижение потерь транспортируемого вещества.

Важное достоинство ЧРП и УПП – это снижение эксплуатационных затрат, которое имеет несколько составляющих:

- снижение величины пусковых токов электродвигателей до уровня номинальных и, соответственно, исключения вредного воздействия этих токов на питающую сеть;
- практическое исключение из работы дросселей, заслонок, различного рода клапанов (только для ЧРП);
- исключение гидроударов в гидравлической сети, плавное изменение подачи, то есть исключение или существенное снижение динамических воздействий на технологическое оборудование и сети;
- продление срока службы подшипников и других вращающихся частей, поскольку механизмы, снабженные преобразователями частоты, в течение длительного времени работают с частотами вращения меньшими номинальных. В результате значительно снижаются эксплуатационные расходы и уменьшаются возможности аварийности всего оборудования в целом.

Также необходимо отметить, что ПЧ и УПП не используются в одиночку, их используют в качестве основы для автоматической системы диспетчерского управления (АСДУ), что кроме экономии электроэнергии, позволяет осуществить такие функции как:

- автоматическое переключение на резервный агрегат при аварии основного;
- автоматическое подключение резервных агрегатов при недостаточной производительности;
- автоматическое чередование включенных агрегатов через заданные интервалы времени для обеспечения равномерного износа;
- автоматическое изменение режима работы (производительности) с возможностью полной остановки и автоматического запуска;
- возможность запуска и останова каждого агрегата кнопками в режиме ручного управления прямым пуском от сети или пуском от ПЧ или УПП;
- обеспечение оперативного съема данных о работе оборудования (в том числе и об аварийных ситуациях) и управление с диспетчерского пульта.

Насосные установки в данном отделении делятся по классу напряжения на высоковольтные и низковольтные, а также и функционально по участию в технологическом процессе. Практически половина насосных установок является дублирующей. Используется схема «рабочий/резервный», то есть в работе только одна насосная установка из пары. При неисправности одной насосной установки производится переход в работе на другую.

Функционально насосные установки перекачивают рассол из сгустителей в зумпфы, из сгустителей на флотомашину, в сгустители после отработки. Базовый подход при реализации такой задачи предусматривает периодическое включение/выключение насосных агрегатов либо дроссельное регулирование. Частое включение/выключение насосных агрегатов ведет к повышенному износу системы, а также к возникновению необоснованного энергопотребления.

Высоковольтные насосные установки

Для высоковольтных электродвигателей насосных установок предлагается установить устройство плавного пуска УППВЭ-6-630-Б УХЛ4 [5].

При обследовании и сборе данных были произведены замеры токовых нагрузок. Средние токовые нагрузки практически неизменны, при работе $I_{\text{НАГР СР}} = 38\text{ А}$ (для ЭД мощностью 630 кВт), $I_{\text{НАГР СР}} = 32\text{ А}$ (для ЭД мощностью 500 кВт). Насосные установки работают в режиме «запасной/резервный». В работе постоянно только один из двух насосов. Переход на работу другого насоса осуществляется при аварийных ситуациях или по плану работы оборудования.

На существующих насосных установках установлены электродвигатели типа

ДАЗО4-450У6МУ1. Двигатели предназначены для работы от сети переменного тока частотой 50 Гц напряжением 6000 В. Вид климатического исполнения двигателей ДАЗО-У1. Номинальный режим работы – продолжительный.

Соединение двигателей с приводным механизмом осуществляется посредством муфты. Пуск двигателей прямой. Изменение направления вращения осуществляется только из состояния покоя. Допускаются два пуска подряд из холодного состояния или один пуск из горячего состояния, интервал между последующими пусками не менее трех часов, количество пусков для двигателей ДАЗО не более 10000 за период эксплуатации и не более 500 пусков в год.

Использование УПП является альтернативой ЧРП, несмотря на утрату гибкости при регулировании расхода.

Для объектов, имеющих в своем составе несколько ЭД, широко применяется групповое устройство плавного пуска, осуществляющее поочередный плавный пуск ЭД. Групповое устройство плавного пуска характеризуется продолжительностью паузы между пусками.

Возможность плавного пуска и останова электродвигателя дает следующие преимущества:

- формирование пусковых характеристик электродвигателей (плавный пуск, безаварийный пуск электродвигателей в условиях предприятий с дефицитом мощности, реверсирование, торможение, останов);
- оптимизацию пусковых и тормозных моментов для безударных разгонов и остановок приводных механизмов, увеличение срока службы подшипников, редукторов, ремней и других деталей машин;
- обеспечение рационального распределения производственных мощностей в системах электроснабжения предприятий (управление режимами работы ЭД в соответствии с технологической необходимостью эксплуатации электромеханических комплексов);
- защиту электрического и механического оборудования;
- применение передовых технических решений;
- широкий диапазон функциональных возможностей;
- максимальную информативность;
- удобство эксплуатации.

Высоковольтное устройство плавного пуска компактнее, чем высоковольтный преобразователь частоты. В связи с этим монтаж значительно проще и занимает меньше времени [4].

Устройство плавного пуска реализует все необходимые функции. В том числе все виды защит и дополнительные, благодаря встроенным модулям.

В комплект поставки входит: щит автоматики плавного пуска, щит коммутационный, дистанционный пульт управления, паспорт, руководство по эксплуатации, схема электрическая подключения [6].

Оценка энергоэффективности мероприятий по внедрению УПП высоковольтных насосных установок

По произведенным наблюдениям и замерам токовых нагрузок высоковольтных насосных установок произведен анализ их работы и рассчитана потребляемая мощность. Учтена специфика высоковольтных электродвигателей марки ДАЗО4-450 и требования к их эксплуатации [2]. Также произведено сравнение реальной (фактической) потребляемой мощности и потребляемой мощности после проведения мероприятий.

При работе насоса ЭД мощностью 630 кВт потребляет ток $I_{\text{нагр ср}} = 38$ А в установившемся режиме. ЭД мощностью 500 кВт потребляет ток $I_{\text{нагр ср}} = 32$ А. При работе насосных установок потребляемая мощность составляет:

$P_a = 335,7$ кВт – для каждого электродвигателя мощностью 630 кВт.

$P_a = 282,7$ кВт – для каждого электродвигателя мощностью 500 кВт.

Годовые затраты на электроэнергию по базовому варианту:

$$W_{\text{эб}} = 13897980 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемые годовые затраты на электроэнергию по проекту с учетом степени нагрузки ЭД насосных установок и использования УПП:

$$W_{\text{эп}} = 11812283 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемая экономия составит

$$W_{\text{эз}} = 2084697 \text{ кВтч.}$$

Результаты расчетов энергоэффективности приведены на рис. 1. Примечание – базовый вариант соответствует уровню 100 %.

Низковольтные насосные установки

Исходя из режима работы насосов «рабочий/резервный» можно установить один преобразователь частоты на две насосные установки. При этом возможен запуск любого из насосов, а также запуск двух насосов последовательно в режимах каскадного включения, «с постоянным мастером» и «с переменным мастером» [3].

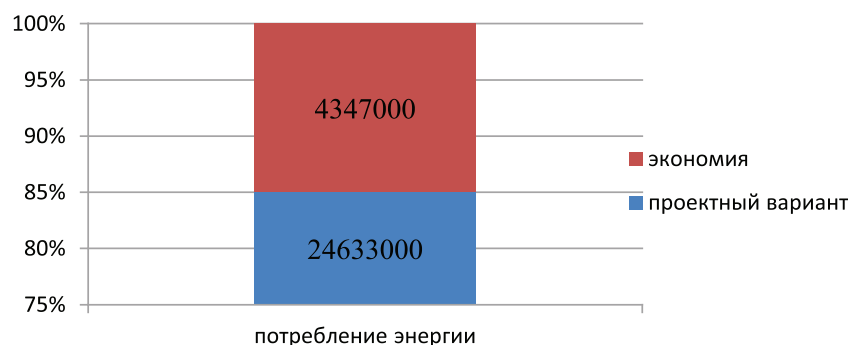


Рис. 1. Показатели энергоэффективности при оснащении высоковольтных насосных установок УПП

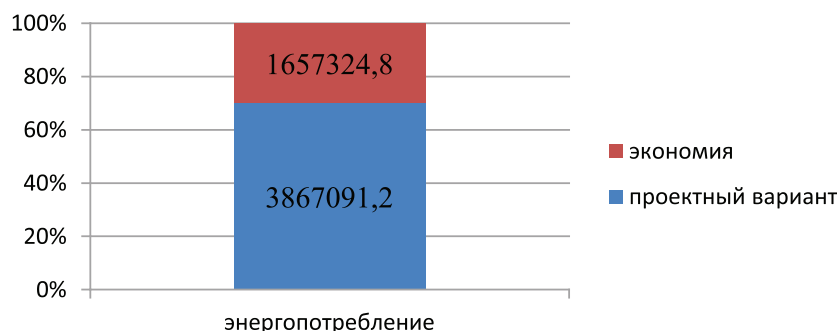


Рис. 2. Показатели энергоэффективности при оснащении низковольтных насосных установок УПП

При неисправности или невозможности запуска насосной установки с помощью преобразователя частоты предусматривается байпасный ручной запуск [7]. При этом происходит прямой запуск двигателя насосной установки, исключая преобразователь частоты.

В автоматическом режиме управление осуществляется при помощи управляющих сигналов от датчика уровня жидкости (ультразвукового уровнемера), показывающего степень наполнения технологических емкостей (сгустителей и зумпфов).

Выбрано оборудование – преобразователь частоты Danfoss AQUA Drive FC202-132, входной фильтр ACL-II-150 для снижения гармоник, шкаф управления (без преобразователя частоты), пульт управления (местный) [2].

Выбор преобразователя частоты Danfoss AQUA Drive FC202-132 обоснован наличием множества функций, а также данная серия специализирована для насосных установок.

Оценка энергоэффективности мероприятий при оснащении низковольтных насосных установок ЧРП

При работе насос редко работает при полной нагрузке. Согласно проведенным

наблюдениям и измерениям в установившемся режиме ток нагрузки составляет $I_{\text{нагр ср}} = 160$ А. С учётом колебаний нагрузки и дросселирования учитывается повышение нагрузки на 20%. Расчётный ток составляет $I_{\text{нагр расч}} = 192$ А.

При работе насосных установок потребляемая мощность составляет

$$P_a = 111,2 \text{ кВт.}$$

Годовые затраты на электроэнергию по базовому варианту:

$$W_{\text{эб}} = 5524416 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемые годовые затраты на электроэнергию по проекту с учётом степени нагрузки ЭД насосных установок и использовании ЧРП:

$$W_{\text{эп}} = 3867091,2 \text{ кВтч.}$$

Ожидаемая экономия составит

$$W_{\text{э}} = 1657324,8 \text{ кВтч.}$$

Результаты приведены на рис. 2. Примечание – базовый вариант соответствует 100% уровню.

Снижение энергопотребления достигается за счёт оптимального использования энергии при частотном регулировании,

а также энергосберегающих функций ЧРП (в отличие от дроссельного регулирования).

Заключение

В процессе выполнения проектирования для отделения сгущения ПАО «Уралкалий» был проведен анализ существующего оборудования, определены технические недостатки в работе оборудования, рассмотрены и выбраны возможные мероприятия по повышению энергоэффективности. Выполнено сравнение энергетических показателей по существующему варианту и после принятия проектных решений по каждому мероприятию.

Список литературы

1. Гримитлин А.М. Энергосбережение в системах промышленной вентиляции. Автореф. дис. канд. техн. наук. – СПб., 2011. – 7 с.
2. Инструкция по эксплуатации VLT@AQUA Drive. – DANFOSS, 2014. – 90 с.
3. Инструкция по расчету экономической эффективности применения частотно-регулируемого электропривода. – М.: МЭИ, 1997. – 57 с.

4. Константинов К.В. Электропривод. – Хабаровск: ДВГУПС, 2008. – 211 с.

5. Техническая коллекция Schneider Electric, вып. 19. – Schneider Electric Publisher, 2008. – 36 с.

6. Техническая коллекция Schneider Electric, вып. 27. – Schneider Electric Publisher, 2009. – 32 с.

7. Техническая коллекция Schneider Electric, вып. 38. – Schneider Electric Publisher, 2011. – 28 с.

References

1. Grititlin A.M. Energoberezhenie v sistemakh promyshlennoy ventilyatsii. SPb, 2011. 7 p.

2. Instruktsiya po ekspluatatsii VLT@AQUA Drive, DANFOSS, 2014. 90 p.

3. Instruktsiya po raschetu ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya chastotno-reguliruemogo elektroprivoda. M: MEI. 1997. 57 p.

4. Konstantinov K.V. Elektroprivod. – Khabarovsk: DVGUPS, 2008. 211 p.

5. Tekhnicheskaya kollektsiya Schneider Electric, 2008, no. 19. 36 p.

6. Tekhnicheskaya kollektsiya Schneider Electric, 2009, no. 27. 32 p.

7. Tekhnicheskaya kollektsiya Schneider Electric, 2011, no. 38. 28 p.

УДК 51-74

ОЦЕНКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

Бочкарев С.В., Обухов Е.С.*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: obuhov2014@bk.ru*

Настоящая статья посвящена исследованию эффективности методов подготовки исходных данных для задач классификации. В результате моделирования классификаторов, на основе подготовленных данных, были рассчитаны показатели точности, позволяющие оценить эффективность методов подготовки данных. Для подготовки исходных данных были использованы корреляционный, факторный анализы и анализ чувствительности. Построение моделей классификаторов и проведения анализов было осуществлено в Deductor 5.3 Trial, StatSoft Statistica 6 Trail. Корреляционный анализ рассматривался на примере данных по параметрам полетного мониторинга авиадвигателя. В факторном анализе применялся метод ортогонального вращения Varimax. В ходе анализа чувствительности вначале использовалось обучение на тестовых значениях с определением ошибки. Обучено 10 нейронных сетей типа многослойный персептрон, из которых выбрано 4 с наименьшей ошибкой. Точность классификации модели, обученной на данных после анализа чувствительности, составила 77,04%. Показано, что модели не являются достаточно точными для выполнения поставленной задачи по классификации технического состояния на примере авиационного двигателя.

Ключевые слова: корреляционный анализ, факторный анализ, анализ чувствительности, классификация, подготовка данных

THE ESTIMATION OF MATHEMATICAL METHODS USED TO PREPARATION OF DATA

Bochkarev S.V., Obukhov E.S.*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: obuhov2014@bk.ru*

This article is dedicated to the study of preparation data methods efficiency. Several classification models were built using prepared data to estimate the efficiency of the preparation data methods efficiency. The estimation of the methods efficiency was based on calculated, before and after applying the methods of preparation data, accuracy rates and recall of classes. To prepare the data was used correlation, factor, and sensitivity analysis. To build the models of classification and making the analysis was used Deductor 5.3 Trial, StatsoftStatistica 6 Trail. Correlation analysis was discussed at the example data on parameters of flight monitoring aircraft engines. Factor analysis method applied in orthogonal rotation Varimax. During the first sensitivity analysis was used to test training values with the definition of the error. 10 trained neural networks for multilayer Perceptron type, of which 4 are selected with the smallest mistake. The accuracy of classification models, trained to data after sensitivity analysis, totaled 77,04%. It is shown that the models are not accurate enough for the task according to the classification of the technical condition of the aircraft engine example.

Keywords: factor analysis, correlation analysis, sensitivity analysis, classification, estimation of preparation data methods

При построении сетей предполагается, что входной и выходные слои заданы, то есть уже известно, что поступает на вход сети и что является ее выходом. То, какие переменные будут выходными, известно всегда (по крайней мере, в случае управляемого обучения). Однако сбалансировать входной набор данных весьма непросто. Чаще всего неизвестно заранее, какие из входных переменных действительно полезны, и выбор хорошего множества входов бывает затруднен целым рядом обстоятельств.

Каждый дополнительный входной элемент сети – это новая размерность в пространстве данных. С этой точки зрения, очевидно, что для того, чтобы иметь достаточную плотность точек и, как следствие, эффективно оценивать структуру данных, нужно иметь довольно много измерений (векторов данных).

Для осуществления контроля технического состояния авиационных двигателей, используется информация, поступающая от датчиков контролируемых параметров. Данная информация именуется как параметры полетного мониторинга, в силу того, что авиационный двигатель является конструктивно сложным элементом и производится контроль множества параметров, данные имеют большую размерность, порядка 40 атрибутов, что влечет за собой высокие требования к объему выборки данных, необходимой для обучения модели оценки технического состояния двигателя. Для того чтобы сократить размерность данных и исключить малозначимые и малоэффективные переменные, применяются следующие методы:

1. Корреляционный анализ [1] применяется для оценки зависимости выходных полей данных от входных факторов и устра-

нения незначущих. Принцип подобного анализа состоит в поиске таких значений, которые в наименьшей степени коррелированы (взаимосвязаны) с выходным результатом. Такие факторы могут быть исключены из результирующего набора данных практически без потери полезной информации. Критерием принятия решения об исключении является порог значимости. Если корреляция (степень взаимозависимости) между входным и выходным факторами меньше порога значимости, то соответствующий фактор отбрасывается как незначущий.

Рассмотрим применение метода на данных по параметрам полетного мониторинга авиадвигателя. Для выполнения данного анализа было использовано специальное программное обеспечение (СПО) Deductor 5.3. На начальном этапе имеется набор данных размерностью 40 атрибутов, один из которых является целевым атрибутом (техническое состояние двигателя). Таким образом, можно составить почти 40 пар входной атрибут и целевой атрибут. Корреляция это число между -1 и $+1$, которое измеряет степень взаимосвязи между двумя атрибутами, применительно к текущей задаче можно оценить корреляцию между целевым атрибутом и одним каждый раз разным входным атрибутом. В табл. 1 показана интерпретация значений корреляции.

Таблица 1
Интерпретация корреляционных значений

Отрицательное значение	Положительное значение	Интерпретация
$-0,2 < V < 0,2$		Очень низкое значение
$-0,5 < V < -0,2$	$0,2 < V < 0,5$	Слабая корреляция
$-0,7 < V < -0,5$	$0,5 < V < 0,7$	Средняя корреляция
$-0,9 < V < -0,7$	$0,7 < V < 0,9$	Высокое значение
$V < -0,9$	$V > 0,9$	Очень высокое значение

На последующем этапе был выбран метод расчета корреляции – коэффициент корреляции Пирсона и рассчитаны значения функции корреляции (см. рис. 1) между каждым входным и выходным (техническое состояние двигателя) столбцами. На пересечении строки с именем входного поля и столбца с именем выходного поля находится значение рассчитанной между ними корреляции.

Исключение незначущих факторов производится на основании вычисленной

корреляции путем задания необходимого уровня значимости. Столбцы, у которых максимальное из рассчитанных значений корреляции меньше порога, будут исключены из выходного набора.

Таким образом, согласно табл. 1, было установлено значение порога 0,5, тем самым были исключены входные столбцы (атрибуты), обладающие уровнем корреляции с целевым атрибутом (выходным атрибутом) ниже среднего. Следовательно, в ходе выполнения корреляционного анализа удалось исключить 15 малозначущих переменных.

2. Факторный анализ. В отличие от корреляционного анализа факторный анализ [4] учитывает взаимосвязь не только между двумя наборами данных (атрибутами). Цель факторного анализа заключается в понижении размерности пространства факторов. Это необходимо в случаях, когда входные факторы коррелированы друг с другом, т.е. взаимозависимы. В факторном анализе речь идет о выделении из множества измеряемых характеристик объекта новых факторов более адекватно отражающих свойства объекта.

Аналогично оценим эффективность метода на наборе данных полетного мониторинга в СПО Deductor 5.3. После выбора входных данных на анализ был определен метод факторного решения – метод ортогонального вращения Varimax (этот метод является наиболее часто применяемым, поскольку он облегчает интерпретацию факторов) и число выбираемых факторов – 25.

Для заданных переменных 25 рассчитаны главные компоненты. Таблица с результатами представлена на рис. 2.

Для того чтобы определить, какие главные компоненты необходимо включить в выходной набор, следует установить порог значимости, рекомендуемые значения которых выделены синим цветом. Регулируя данные значения, количество переменных, заданных на предыдущем шаге, может варьироваться. Последней по списку попадающей в выходной набор главной компонентой станет первая, у которой суммарный вклад в результат превысит порог значимости.

В ходе проведения факторного анализа из входного набора данных удалось выделить 25 главных компонент (факторов). Эффективность данного подхода определим на этапе моделирования классификатора.

Аналогичная задача по понижению размерности может быть выполнена с помощью нелинейных преобразований на базе автоассоциативных сетей (воспроизводят на выходе свои же данные). Число вну-

тренных элементов данного рода сетей небольшое, что и заставляет сжимать данные. Типичная структура сети 5 слоев – средний слой сжимает, крайние выполняют нелинейные преобразования.

3. Анализ чувствительности. При моделировании нейронных сетей в СПО Statistical Neural Networks можно использовать различные комбинации входных переменных. Поэтому имеется возможность игнорировать некоторые переменные, так что полученная сеть не будет использовать их в качестве входов. Так же можно провести анализ чувствительности сети к входным переменным. Такая процедура позволяет сделать вывод об относительной важности входных перемен-

ных для конкретной нейронной сети и при необходимости удалить входы с низкими показателями чувствительности [2].

Используя набор данных полетного мониторинга, оценим эффективность анализа чувствительности. В ходе анализа поочередно будут исключаться входные переменные. Для того чтобы определить чувствительность каждой из переменных, сеть сначала обучается на тестовых значениях (т.е. на всем наборе данных, со всеми доступными переменными) и определяется ошибка $N1$ сети. Затем сеть обучается на тех же значениях, но в этот раз происходит «исключение» наблюдаемых значений с определением ошибки $N2$ сети.

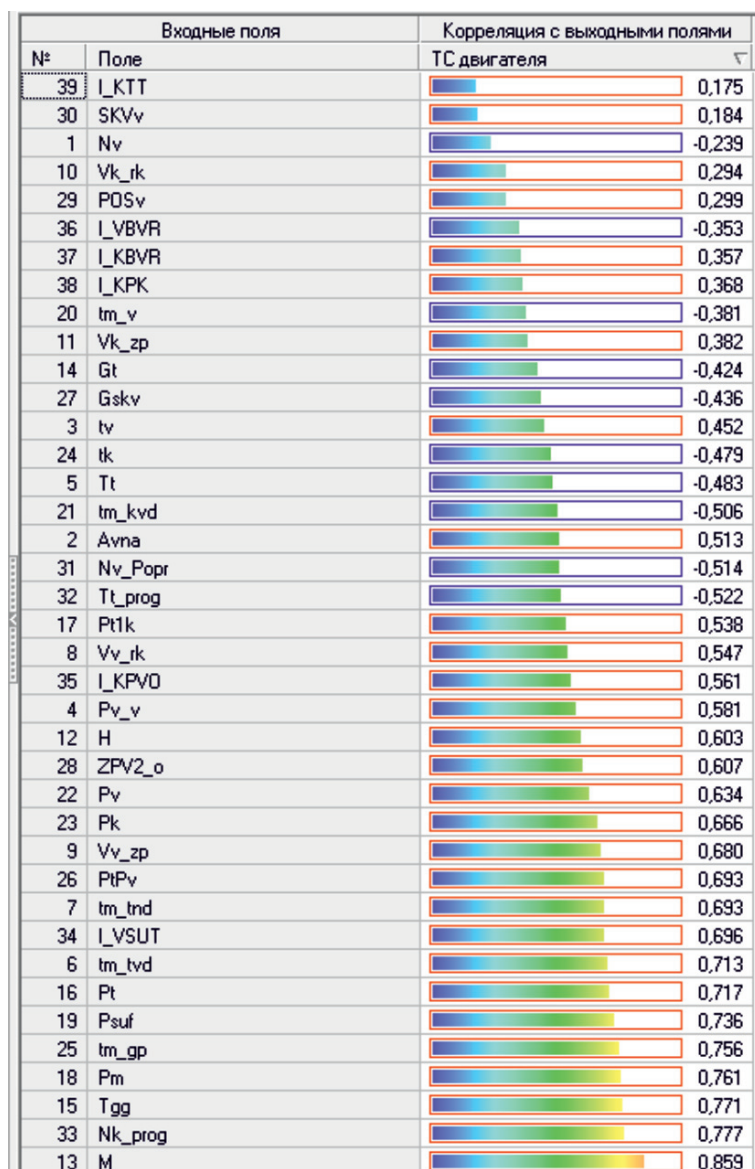


Рис. 1. Матрица корреляции

Главные компоненты	Собственное значение	Вклад в результат	Суммарный вклад
☒ Значение 11	0,600	01,54 %	95,37 %
☒ Значение 12	0,551	01,41 %	96,78 %
☒ Значение 13	0,339	00,87 %	97,65 %
☒ Значение 14	0,306	00,78 %	98,43 %
☒ Значение 15	0,141	00,36 %	98,79 %
☒ Значение 16	0,125	00,32 %	99,12 %
☒ Значение 17	0,078	00,20 %	99,32 %
☒ Значение 18	0,073	00,19 %	99,50 %
☒ Значение 19	0,048	00,12 %	99,62 %
☒ Значение 20	0,036	00,09 %	99,72 %
☒ Значение 21	0,023	00,06 %	99,78 %
☒ Значение 22	0,019	00,05 %	99,83 %
☒ Значение 23	0,015	00,04 %	99,86 %
☒ Значение 24	0,012	00,03 %	99,89 %
☒ Значение 25	0,010	00,02 %	99,92 %
☐ Значение 26	0,008	00,02 %	
☐ Значение 27	0,005	00,01 %	
☐ Значение 28	0,005	00,01 %	
☐ Значение 29	0,004	00,01 %	
☐ Значение 30	0,003	00,01 %	
☐ Значение 31	0,002	00,01 %	

Порог значимости (%) 99,91

Рис. 2. Таблица со списком рассчитанных главных компонент

Таблица 2

Результаты анализа чувствительности

	Ошибка	Vv_zp	Tv	Pk	Pt	Tt	Tm_v	...
Отношение 1	0,396	0,6785	0,6787	0,742	0,6792		1,004	...
Ранг 1		19	16	13	15		3	...
Отношение 2	0,273	0,989	0,961	1,0009	0,983	1,045	1,049	...
Ранг 2		25	33	22	27	11	10	...
Отношение 3	0,363	0,924	1,002	1,0074	1,0004		0,9994	...
Ранг 3		25	13	11	14		17	...
Отношение 4	0,144	0,944	1,013	1,0451	0,984	1,038	0,991	...
Ранг 4		37	20	14	33	17	27	...

Так как мы удалили некоторую информацию, которую использует сеть (т.е. одну из входных переменных), то резонно ожидать ухудшение ошибки. Значение чувствительности – это отношение ошибки $N2$ к исходной ошибке $N1$. Чем чувствительнее сеть к данному входу, тем большее ухудшение можно ожидать и, таким образом, тем больше отношение. Если отношение меньше либо равно 1, тогда отключение переменной не влияет на производительность сети. Полученные результаты показаны в табл. 2.

В ходе анализа было обучено 10 нейронных сетей типа многослойный персептрон, из них выбрано 4 с наименьшей ошибкой. Для каждой переменной рассчи-

тано отношение ошибок и проставлен ранг. Как видно из таблицы, параметр Tt не участвовал в обучении 1 и 3 сетей, что негативно повлияло на ошибку, следовательно, можно сделать вывод о высокой значимости данной переменной. Так же анализируя таблицу, можно сделать предположение о том, что параметр Vv_zp не является значимым и его можно исключить. Таким образом, был составлен набор данных из 27 переменных (атрибутов).

Для сравнительного анализа эффективности подходов было составлено три набора данных: набор после корреляционного анализа, набор после факторного анализа, набор после анализа чувствительности.

Таблица 3

Результаты моделирования при обучении на исходных данных

	Наст. Неисправен	Наст. Исправен
Прогн. Неисправен	19	4
Прогн. Исправен	27	368
Отзыв класса	41,30 %	98,02 %
Исходные данные. Точность классификации – 92,58 %		

Таблица 4

Результаты моделирования при обучении на данных после факторного и корреляционного анализа

Данные после факторного анализа. Точность классификации 91,39 %		
	Наст. Неисправен	Наст. Исправен
Прогн. Неисправен	25	15
Прогн. Исправен	21	357
Отзыв класса	54,35 %	95,97 %
Данные после корреляционного анализа. Точность классификации 91,39 %		
Прогн. Неисправен	24	8
Прогн. Исправен	22	364
Отзыв класса	52,17 %	97,85 %

Таблица 5

Результаты моделирования при обучении на данных после анализа чувствительности

	Наст. Неисправен	Наст. Исправен
Прогн. Неисправен	10	51
Прогн. Исправен	5	178
Отзыв класса	66,66 %	77,72 %

Для того чтобы оценить эффективность и выявить наиболее результативный из подходов, необходимо осуществить проверку при моделировании классификатора. Сравнивая точности моделей, рассчитанных на основе данных матрицы ошибок, можно сделать вывод о пригодности и целесообразности использования определенного метода подготовки данных.

Итак, в качестве отправной точки нужно определить точность модели [5] на исходных данных, т.е. на данных без каких-либо манипуляций с атрибутами.

Из табл. 3 видно, что неисправные состояния двигателя распознаются с очень низкой точностью, это, несомненно, является проблемой.

Оценивая результаты после факторного и корреляционного анализа, видно, что повысилась точность распознавания неисправного состояния, но данный показатель до сих пор не является достаточно высоким для эффективного функционирования модели.

Точность классификации модели, обученной на данных после анализа чувствительности, составляет 77,04 %. Исключение

некоторых атрибутов положительно повлияло на распознавание неисправного состояния двигателя, но в то же время значительно упала точность классификации модели в целом, в связи с тем, что точность определения класса «исправен» упала на 20 %.

Таким образом, применяя эти подходы по подготовке данных, была улучшена точность распознавания класса «неисправен» на 20 %, однако точность распознавания класса «исправен» упала на 20 %.

В данной статье был проведен сравнительный анализ методов подготовки данных к моделированию классификатора для оценки технического состояния авиадвигателя. Используемые методы целесообразно применять, особенно учитывая тот факт, что приоритет определения действительно существующей неисправности двигателя выше, чем ложное определение его неисправности. Следовательно, повышение точности распознавания неисправного класса оправдывается даже с учетом падения точности определения исправного класса. Оценивая ситуацию в целом, можно отметить, что модели не являются достаточно точны-

ми для выполнения поставленной задачи по классификации технического состояния авиационного двигателя. Причиной этого может быть значительный дисбаланс значений между классами, а именно недостаточное количество данных по классу «неисправен». Анализ данной проблемы описан в статье [3].

Список литературы

1. Гайдешев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.
2. Справочные руководства СПО «Statistica». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/resources/support/info.php> (дата обращения: 20.05.16).
3. Egor Obukhov, Handling the problem of unbalanced data sets in the classification of technical equipment states (Material of conference of 4th International Conference on Applied Innovations in IT). Germany. – 2016.

4. Richard L. Factor Analysis, second edition, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. 1983. – 454 p.

5. Witten and E. Frank, Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann Publ., 2011. – 629 p.

References

1. Gajdyshev I. Analiz i obrabotka dannyh: specialnyj spravochnik. SPb.: Piter, 2001. 752 p.
2. Spravochnye rukovodstva SPO «Statistica». [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.statsoft.ru/resources/support/info.php> (data obrashheniya: 20.05.16).
3. Egor Obukhov, Handling the problem of unbalanced data sets in the classification of technical equipment states (Material of conference of 4th International Conference on Applied Innovations in IT). Germany. 2016.
4. Richard L. Factor Analysis, second edition, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates. 1983. 454 p.
5. Witten and E. Frank, Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. Morgan Kaufmann Publ., 2011. 629 p.

УДК 004.4 (06)

ПОСТРОЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ «ОБЛАЧНЫХ» ВЕБ-ОРИЕНТИРОВАННЫХ БИЗНЕС-ПРИЛОЖЕНИЙ

²Братчиков И.А., ¹Шмидт И.А., ²Елисеев А.С., ²Анисимова Т.В.¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь;²ГК «ИВС», Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

В статье представлены результаты исследований методов построения архитектуры генерируемых платформой Flexberry «облачных» веб-ориентированных приложений. Рассмотрен понятийный аппарат и терминология применительно к созданию архитектуры приложения. Произведено сравнение основных типов архитектуры приложения с разными вариантами компоновки. Обосновывается применение архитектуры Single-page Application, характеризующейся тем, что с сервера загружается HTML-страница, представляющая собой JavaScript-приложение, которое строит визуальную часть, используя веб-интерфейс. Сформулированы критерии для оценки функционирования веб-приложений, построенных с использованием разных архитектур. Критерии были сформулированы авторами с двух точек зрения: разработчика и заказчика (пользователя). Результаты сравнительного анализа методов построения веб-ориентированных бизнес-приложений сведены в таблицу. По результатам сравнения авторами было принято решение применить для создаваемых приложений архитектуру на основе Single-page Application.

Ключевые слова: бизнес-приложение, облачные приложения, архитектура приложения, программная платформа

BUILDING AN EFFECTIVE ARCHITECTURE OF CLOUD WEB-BASED BUSINESS APPLICATIONS

²Bratchikov I.A., ¹Shmidt I.A., ²Eliseev A.S., ²Anisimova T.V.¹Perm National Research Polytechnic University, Perm;²GC «ICS», Perm, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

The article presents the results of research of methods for constructing the architecture generated by the platform Flexberry «cloud» web-based applications. Considered the conceptual apparatus and terminology as applied to the creation of the application architecture. The article made a comparison of the main types of architecture of application with different layout options. Explains the application architecture, Single-page Application, characterized by the fact that the server loads the HTML page representing a JavaScript application that is building a visual part using the web interface. Were formulated criteria to assess the performance of web applications built using different architectures. A comparative analysis of methods of building. Criteria formulated from two points of view: the developer and the customer (user). Web-based business applications in the table. Comparison results the authors decided to use for the generated application architecture based on Single-page Application.

Keywords: business application, cloud applications, application architecture, software platform

В [8] был рассмотрен метод построения веб-ориентированных бизнес-приложений, основанный на применении метамоделей с возможностью модификации исходного кода. Выполненные работы позволили реализовать инструментарий создания веб-ориентированных бизнес-приложений доступный непрофессиональным программистам. Создаваемые бизнес-приложения соответствуют критериям промышленной разработки, но ориентированы в первую очередь на функционирование в «классическом» хостинге, а не в «облачной» среде. В первую очередь это связано с задачей горизонтального масштабирования приложений [1, 3]. Данная тематика послужила основой для новых исследований, которые должны дать ответ на вопрос: какие требуются доработки для полноценной поддержки «облачной» среды со стороны создаваемых веб-приложений?

Кроме вопросов масштабирования приложений в последнее время важную роль

приобрели вопросы импортозамещения. С целью обеспечения защиты инвестиций потенциальные клиенты платформы разработки бизнес-приложений в первую очередь ориентируются на отечественные решения либо на решения с открытым исходным кодом и со свободной лицензией (свободное программное обеспечение, СПО). Реализация всего многообразия возможностей силами одной отечественной компании – очень трудоёмкая задача, поэтому актуальным вариантом является выбор в пользу применения сторонних СПО-решений. Отсюда возникает новое требование: в платформе разработки должна быть возможность создавать решения, основанные на свободном ПО. Это позволит, в свою очередь, выпускать реализованные приложения также под свободной лицензией.

Требуется провести анализ вариантов изменения архитектуры генерируемых веб-приложений. Целью анализа является

нахождение оптимального распределения логики приложения между его функциональными компонентами для обеспечения требований по поддержке «облачной» среды исполнения (лёгкой масштабируемости) и возможности создания СПО [2, 6, 7].

Наиболее систематизированное и полное изложение понятийного аппарата и терминологии применительно к созданию архитектуры приложения приведено в руководстве [4]. Самый общий вид архитектуры приложения, компоненты которого сгруппированы по функциональным областям, как организации или структуры системы, где система представляет набор компонентов, выполняющих определенную функцию или набор функций, представлен на рис. 1.

Функциональные области приложения разделяются на многослойные группы (уровни). Представленный вид архитекту-

ры описывает функции, слои и уровни, которые могут присутствовать в приложении. Эффективное разделение функциональности достигается за счет применения многослойного архитектурного стиля, который позволяет отделить логику представления от бизнес-логики и логики доступа к данным. Многослойная архитектура представляет систему как единое целое, обеспечивая при этом достаточно деталей для понимания ролей и ответственностей отдельных слоев и отношений между ними. Функциональность каждого слоя объединена общей ролью или ответственностью. Слои слабо связаны, и между ними осуществляется явный обмен данными. Правильное разделение приложения на слои помогает поддерживать строгое разделение функциональности, что в свою очередь обеспечивает гибкость, а также удобство и простоту обслуживания.

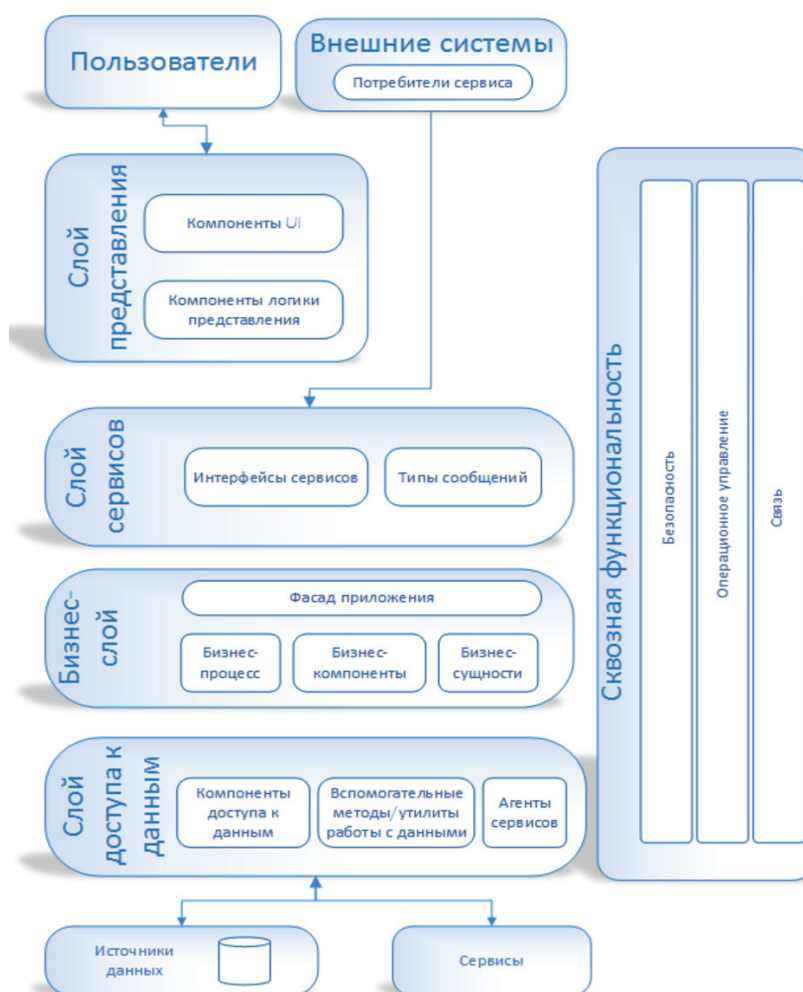


Рис. 1. Общий вид архитектуры приложения (слои, компоненты, сервисы)

Помимо разделения функций на слои, архитектура описывает разложение дизайна на отдельные функциональные или логические компоненты и сервисы, предоставляющие четко определенные интерфейсы, содержащие методы, события и свойства. Компоненты проектируются с минимальными зависимостями от других компонентов и предоставляют интерфейсы, позволяющие вызывающей стороне использовать их функциональность, не раскрывая при этом детали внутренних процессов, внутренние переменные или состояние.

Чтобы понять, как масштабируется всё приложение, обратим внимание на то, как каждый отдельный слой в архитектуре поддерживает масштабирование. Под масштабированием будем рассматривать возможности обслуживания пользователей со стороны приложения при существенном приросте их количества (пользователей, одновременно работающих с приложением). Конкретная реализация архитектуры сильно влияет на то, как увязаны между собой слои, поэтому рассмотрим основные типы архитектуры с разными вариантами компоновки.

Метод построения архитектуры на основе Server-side HTML

Server-side HTML – это самая распространенная архитектура, именно она используется в веб-приложениях, сгенерированных платформой Flexberry первого поколения. Главный принцип работы приложения заключается в том, что в ответ на каждый запрос клиента сервер генерирует HTML-контент и возвращает его клиенту как полноценную HTML-страницу, как это показано на рис. 2.

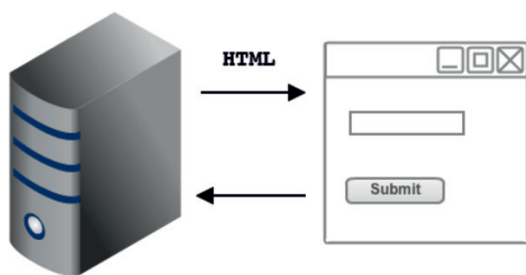


Рис. 2. Архитектура Server-side HTML [7]

Рассмотрим данную архитектуру относительно всех слоёв. Схема взаимодействия слоев приведена на рис. 3.

В рамках одного запроса к серверу происходит вызов каждого слоя в определенной последовательности, это привно-

сит свои особенности. Данное решение, с одной стороны, позволяет достаточно гибко управлять выходными данными, поскольку все слои объединены контекстом одного запроса, но, с другой стороны, вопрос масштабирования для данной архитектуры заключается в увеличении числа веб-серверов, при этом приложение требуется изменить таким образом, чтобы состояние приложения было в едином месте и было доступно всем веб-узлам. Также стоит отметить, что количество внутренних операций веб-сервера на один запрос к нему в данной архитектуре одно из самых больших, что в целом негативно сказывается на требуемом количестве серверных ресурсов.

Ввиду того, что архитектура подразумевает выполнение большого числа операций на каждый запрос, уровень тестируемости данного решения невелик. Требуется обеспечивать проверку работы как каждого отдельного слоя, так и их взаимодействия, что не всегда технически легко реализуется.

Таким образом, пользователь каждый раз получает всю страницу с сервера. С одной стороны, это даёт полный контроль и обеспечивает более высокий уровень безопасности приложения, с другой стороны, пользователю приходится ожидать загрузки одних и тех же данных, что негативно сказывается на реактивности системы. Из плюсов можно выделить то, что поисковые роботы хорошо работают с таким типом страниц [9].

Данный вариант архитектуры наиболее близок разработчикам, которые хорошо умеют использовать серверное программирование и не очень сильны в клиентских технологиях (HTML, JavaScript, CSS). Производительность работы таких разработчиков в условиях этой архитектуры будет достаточно высокой.

Метод построения архитектуры на основе Single-page Application

Метод построения архитектуры на основе Single-page Application (SPA) характеризуется тем, что с сервера загружается HTML-страница, представляющая собой JavaScript-приложение, которое строит визуальную часть и, используя определенный веб-интерфейс, получает от сервера бизнес-данные, т.е. часть функциональности, обеспечивающая логику представления, переносится на клиентскую сторону. В качестве программного веб-интерфейса предполагается использование открытого веб-протокола для запроса и обновления данных. Схема работы приложения приведена на рис. 4.

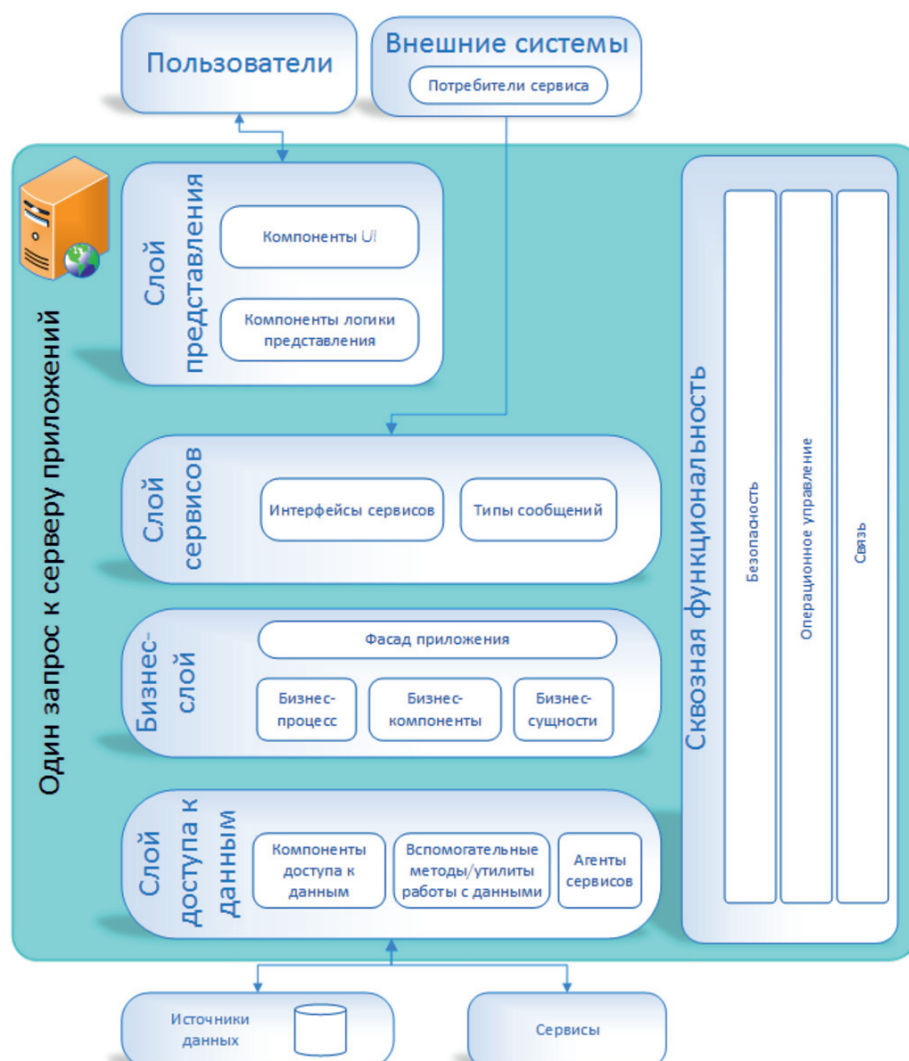


Рис. 3. Архитектура Server-side HTML в разрезе слоёв

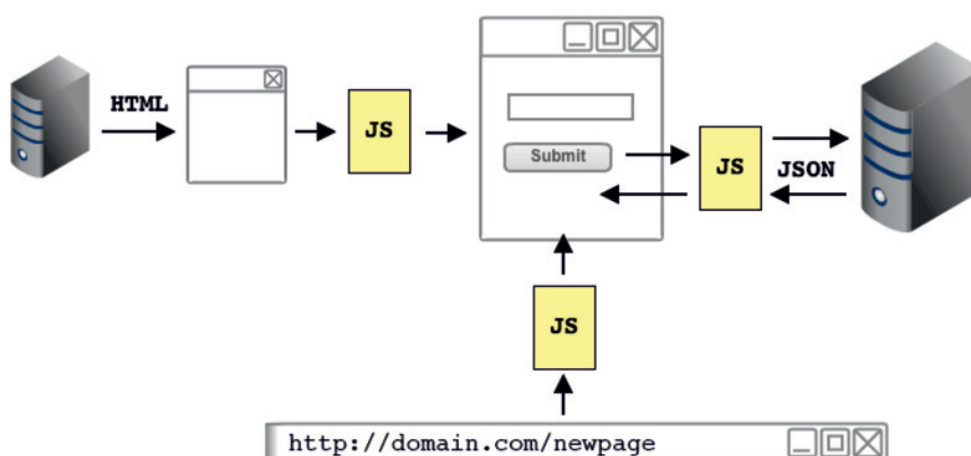


Рис. 4. Архитектура Server-side HTML

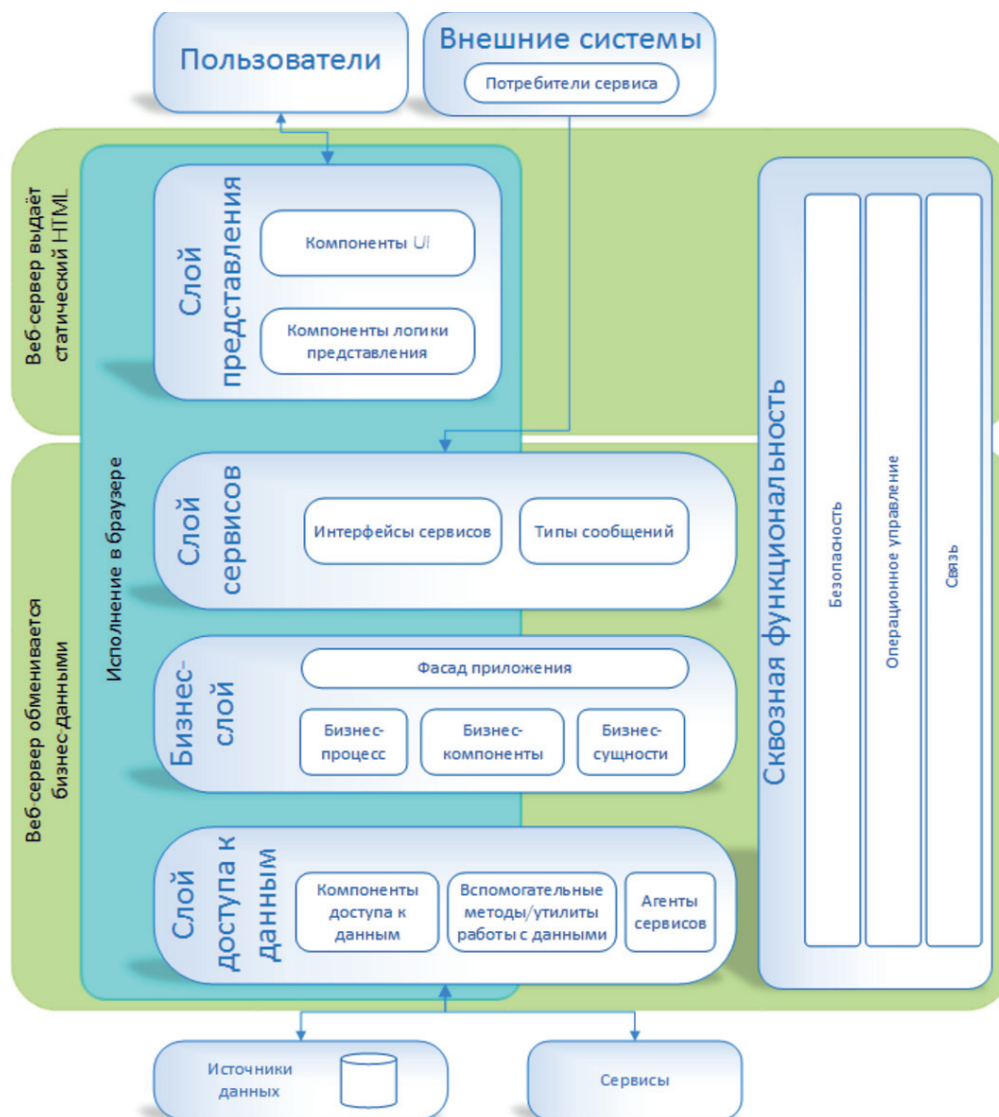


Рис. 5. Архитектура Single-page Application в разрезе слоёв

Рассмотрим данную архитектуру относительно всех слоёв. Схема приведена на рис. 5.

Скорость разработки приложений для этой архитектуры ниже, поскольку применяются разнородные технологии на серверной стороне и на стороне клиента, при этом сам объём логики как на одной, так и на другой стороне сопоставим. Часть логики может дублироваться, например валидация данных может происходить как на стороне клиента с целью удобства пользователя, так и на стороне сервера с целью безопасности и целостности данных (поскольку клиентская сторона не обеспечивает защиту от модификации приложения).

Возможности по масштабированию в этом варианте гораздо шире. Также являются характерными относительно небольшие затраты на доставку слоя представления, поскольку он часто представляет собой статические файлы, загружается один раз при старте приложения и может быть вынесен на уровень frontend-сервера. В дальнейшем приложение получает только бизнес-данные. При увеличении количества пользователей в первую очередь требуется масштабирование только сервисов, отдающих бизнес-данные [2].

За счёт слабой связности между компонентами в Single-page Application мы получаем возможность выполнения тести-

рования с меньшими трудозатратами, чем в случае с Server-side HTML.

Отзывчивость и удобство использования у данных приложений наиболее высокие, поскольку объем данных, пересылаемых между клиентской и серверной стороной, минимален, а исполнение кода, реагирующего на действия пользователя, происходит прямо в браузере.

Дополнительно следует отметить, что требуются специальные меры для обеспечения безопасности приложения и данных, поскольку часть логики вынесена в клиентский JavaScript, который потенциально может быть модифицирован.

данных и недоступности данных для посторонних пользователей [5].

Результаты сравнительного анализа методов построения эффективной архитектуры приведены в таблице (приводятся экспертные оценки от 0 до 5, где 0 – плохой, а 5 – отличный уровень).

По результатам сравнения этих двух подходов было принято решение применить новый вид архитектуры создаваемых приложений на основе Single-page Application. Несмотря на то, что скорость разработки для команд, которые привыкли к использованию Server-side HTML, изначально будет ниже, а также потребуются

Сравнительный анализ методов построения эффективной архитектуры веб-ориентированных бизнес-приложений

	Критерий	Server-side HTML	Single-page Application
1	Скорость разработки	4	3
2	Масштабируемость	2	5
3	Тестируемость	3	5
4	Отзывчивость и удобство использования	3	5
5	Защищённость	5	3

Сравнительный анализ методов построения эффективной архитектуры «облачных» бизнес-приложений

Разные архитектуры по-разному определяют логику веб-приложений между слоями и компонентами. Сформулируем критерии для оценки функционирования веб-приложений, построенных с использованием разных архитектур. Критерии будут сформулированы с двух точек зрения: разработчика и заказчика (пользователя).

Критерии разработчика:

- Скорость разработки – скорость добавления новой функциональности, изменения существующей;

- Масштабируемость – возможность по увеличению производительности создаваемых приложений. Увеличение производительности должно достигаться не только вертикальным увеличением ресурсов (количеством ядер, оперативной памяти одной машины), но и горизонтальным (добавлением множества машин);

- Тестируемость – возможность и легкость тестирования.

Критерии заказчика (пользователя):

- Отзывчивость и удобство использования – обновление данных на странице и переключение между страницами (время отклика);

- Защищённость – заказчик приложения (прежде всего корпоративный клиент) должен быть уверен в сохранности бизнес-

более внимательное отношение к вопросам безопасности, архитектура на основе Single-page Application выигрывает по более важным критериям, а именно: в вопросе масштабируемости (что важно для поддержки «облачной» среды исполнения), тестируемости, отзывчивости и удобства использования конечных приложений.

Список литературы

1. Дудин Е.Б., Сметанин Ю.Г. Облачные вычисления. обзор, Научно-техническая информация. Серия 1: Организация и методика информационной работы. – 2011. – № 11. – С. 16–21.
2. Мартыросян А.Г. Реализация масштабируемой архитектуры высоконагруженных веб-приложений // Наука и общество. – 2011. – № 1. – С. 108–110.
3. Петров Д.Л., Рябиков Э.М., Егоров В.Т., Сергучев А.А. Технологии облачных вычислений для масштабирования веб-приложений // Информационные технологии моделирования и управления. – 2011. – № 2 (67). – С. 227–233.
4. Руководство MICROSOFT по проектированию архитектуры приложений (2 издание), 2009, Корпорация Майкрософт.
5. Салыкова О.С., Лиценбергер Б.В., Иванова В.В. Уязвимости веб-приложений и способы борьбы ними, В сборнике: Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации сборник научных трудов XII-ой Международной научно-практической конференции в 4-х томах. Ответственный редактор: Горохов А.А. – Курск, 2015. – С. 31–34.
6. Хохряков И.А. Разработка распределённого web-приложения // RSDN Magazine. – 2011. – № 4. – С. 49–57.
7. Шкляр Л. Архитектура веб-приложений, принципы, протоколы, практика / Леон Шкляр, Рич Розен; [пер. с англ. М.А. Райтмана]. – М., 2011. Сер. Высший уровень.

8. Шмидт И.А. Архитектура платформы для разработки бизнес-приложений // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17081>.

9. 3 architectures the good, the bad, the ugly, Available at: <http://frontend-architectures.appspot.com>.

References

1. Dudin E.B., Smetanin Ju.G. Oblachnye vychislenija. obzor, Nauchno-tehnicheskaja informacija. Serija 1: Organizacija i metodika informacionnoj raboty. 2011. no. 11. pp. 16–21.

2. Martirosjan A.G. Realizacija masshtabiruemoj arhitektury vysokonagruzhennyh veb-prilozhenij // Nauka i obshhestvo. 2011. no. 1. pp. 108–110.

3. Petrov D.L., Rjabikov Je.M., Egorov V.T., Serguchev A.A. Tehnologii oblačnyh vychislenij dlja masshtabirovanija veb-prilozhenij // Informacionnye tehnologii modelirovanija i upravlenija. 2011. no. 2 (67). pp. 227–233.

4. Rukovodstvo MICROSOFT po proektirovaniju arhitektury prilozhenij (2 izdanie), 2009, Korporacija Majkrosoft.

5. Salykova O.S., Lichenberger B.V., Ivanova V.V. Ujazvимость veb-prilozhenij i sposoby borby nimi, V sbornike: Sovremennye instrumentalnye sistemy, informacionnye tehnologii i innovacii sbornik nauchnyh trudov XII-oj Mezhdunarodnoj nauchno-praktičeskoj konferencii v 4-h tomah. Otvetstvennyj redaktor: Gorohov A.A. Kursk, 2015. pp. 31–34.

6. Hohrjakov I.A. Razrabotka raspredeljonogo veb-prilozhenija // RSDN Magazine. 2011. no. 4. pp. 49–57.

7. Shkljar L. Arhitektura veb-prilozhenij, principy, protokoly, praktika / Leon Shkljar, Rich Rozen; [per. s angl. M.A. Rajtmana]. M., 2011. Ser. Vysshij uroven.

8. Shmidt I.A. Arhitektura platformy dlja razrabotki biznes-prilozhenij // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2014. no. 6; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=17081>.

9. 3 architectures the good, the bad, the ugly, Available at: <http://frontend-architectures.appspot.com>.

УДК 625.7/.8

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ В МЕСТАХ ПЕРЕХОДА ВЫЕМКИ В НАСЫПЬ

Бургутдинов А.М., Косолапов О.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: koa@msa.pstu.ru*

В настоящей статье рассмотрены причины образования морозобойных поперечных трещин на автомобильных дорогах в местах перехода из насыпи в выемку. В работе приведены результаты полевых исследований и расчетные модели теплофизических процессов, происходящих в дорожных конструкциях под воздействием температуры окружающей среды и динамических нагрузок. Применение методик авторов позволит разработать рекомендации по повышению эксплуатационных свойств автомобильных дорог. В статье приведены результаты исследований теплового состояния дороги, выполненные при помощи тепловизоров. Приведенные результаты измерения температур поверхностей автомобильных дорог коррелируются с результатами теоретических расчетов, выполненных при помощи программных продуктов GEOSTUDIO/TEMP (Канада) и ANSYS (США). Проведенные исследования позволяют объяснить причину образования морозобойных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильных дорог.

Ключевые слова: автомобильная дорога, выемка, насыпь, теплопроводность, тепловлагообмен, поперечные морозобойные трещины, теплофизические и физические параметры грунтов и дорожной конструкции, тепловизор

THERMOPHYSICAL PROPERTIES CHANGES OF THE HIGHWAYS IN THE CUT-TO-FILL LOCATIONS

Burgonutdinov A.M., Kosolapov O.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: koa@msa.pstu.ru

The article describes the reasons of the ice-break butt cracks formation on the highways in the cut-to-fill locations. The paper gives the results of the field studies and design models of thermo physical process, occurring in the road structure under the temperature and fatigue stressing exposure. The use of authors' techniques will develop recommendations for improving the performance properties of roads. The results of studies of the thermal state of the road, made using thermal imagers. These measurements of the temperature of road surface are correlated with the results of theoretical calculations, made using GEOSTUDIO / TEMP (Canada) and ANSYS software products (US). The studies help to explain the reason for the formation of frost cracks in the asphalt concrete pavement roads.

Keywords: highways, digging, boarder levee, capacity of heat transmission, moisture structure and heat exchange, ice-break butt cracks, thermal and physical properties of the soil and road constructions, thermal imager

Климатические условия Пермского края обусловлены широким диапазоном изменения температуры воздуха от -45°C до $+35^{\circ}\text{C}$. Для таких суровых климатических условий Урала характерно сезонное промерзание и оттаивание грунтов, кроме того, на значительной части территории имеются участки с неблагоприятными грунтово-гидрологическими условиями, что вызывает появление значительных деформаций на поверхности дорожной одежды автомобильных дорог, вызванных морозным пучением грунтов.

В слоях дорожной конструкции происходят интенсивные процессы теплообмена, вызванные резкими изменениями температур в переходный период и солнечными зимними днями, фазовыми превращениями воды, существенными изменениями влажности, особенно на участках перехода из выемки в насыпь в годовом цикле.

Термическое состояние асфальтобетонного покрытия определяется притоком (отводом) тепловой энергии. Основной причи-

ной нагрева асфальтобетонного покрытия и прилегающей к дороге территории является лучистая энергия солнца, поглощаемая его поверхностным слоем. Распределение тепла зависит от минералогического состава покрытия, от рельефа, наличия растительности, степени и продолжительности солнечного освещения, влажности и пористости, определяющих теплофизические свойства почвы, и многих других параметров.

Высокие категории дорог проводят по секущей линии для уменьшения объема земляных работ и соблюдения нормативных требований. В результате чего на дороге имеются участки с насыпью и выемкой. В результате экспериментально-теоретических исследований установлено, что распределение тепловой энергии на этих участках происходит по-разному [1, 2].

В первый же год эксплуатации автомобильных дорог на участках сопряжения насыпь – выемка образуются морозобойные поперечные трещины [3, 4]. Проведенные полевые исследования с использованием

тепловизионной инфракрасной камеры промышленного назначения FLIR P620 подтвердили, что изменение теплофизических свойств поверхности автомобильной дороги на участке сопряжения насыпь – выемка происходит по различному механизму. Температура окружающей среды на момент замера составляла $9,2^{\circ}\text{C}$. На поверхности участка насыпь температура края дороги вблизи обочины – $9,4^{\circ}\text{C}$, на участке выемка – $8,9^{\circ}\text{C}$ (см. рис. 1–3).

На рис. 4 приведен внешний вид и температурный баланс трещины на стыке насыпь – выемка. Определено, что температура в трещине выше, чем на поверхности, на $1,8^{\circ}\text{C}$ и составила $11,2^{\circ}\text{C}$. Данное явление свидетельствует об интенсивном тепло- и влагообмене внутри дорожной конструкции [5, 6, 7]. Поэтому в весенний период наблюдается максимальное раскрытие трещины. В холодное время суток (ночью) занесенное через трещину за день в слои

дорожной конструкции тепло расходуется на испарение воды и нагрев окружающего пространства.

При составлении теплограммы дорожного покрытия от точки стыка насыпь – выемка до точки окончания выемки было установлено следующее:

1. Температура на входе в выемку и на выходе примерно одинакова ($10,2^{\circ}\text{C}$ на проезжей части на расстоянии 1 метра от обочины);

2. На участке выемки температура изменялась по линейной зависимости с точкой перегиба. Наименьшая температура была зафиксирована посередине выемки и составила $8,3^{\circ}\text{C}$.

3. На этом участке с наименьшей температурой произошло образование поперечной морозобойной трещины (см. рис. 5).

Таким образом, можно отметить закономерность образования морозобойных поперечных трещин на участках стыка выемка – насыпь, а также в середине выемки.



Рис. 1. Место стыка насыпь – выемка



Рис. 2. Температура поверхности (участок дороги в выемке)



Рис. 3. Место стыка на участке насыпь – выемка





Рис. 4. Вид и термограмма трещины на участке насыпь – выемка

Наличие трещин на участках перехода из насыпи в выемку, поперечной трещины на середине выемки большей частью связано с изменением теплопроводности материалов в самой дорожной конструкции под воздействием температуры окружающей среды и воздействием динамической нагрузки от пневматических колес автомобиля [4].



Рис. 5. Морозобойная трещина в середине выемки

В настоящее время существуют программные комплексы, учитывающие теплопередачи в слоях дорожной конструкции и позволяющие решать задачи теплопереноса, такие как GeoStudio (Канада); COSMOS/M (Россия); ANSYS (США) и др.

Термодинамические расчеты, выполняемые представленными комплексами, сводятся к решению основных дифференциальных уравнений термодинамики методом конечных элементов (МКЭ).

При выборе программных продуктов необходимо учитывать следующие основные требования и возможности программного комплекса:

- проведение термодинамических расчетов для грунтов, с учетом того, что грунт является многофазной системой;

- учет климатических данных конкретного района (температура воздуха, влажность, количество осадков и др.);

- возможность задания основных теплофизических (теплопроводность и теплоемкость) и физических (влажность, плотность) параметров грунтов и их изменения при процессах замораживания и оттаивания;

- возможность задания граничных условий различного рода (температура, тепловой поток, плотность теплового потока, функциями данных величин);

- возможность задания начальных условий модели – температуры в любой точке модели.

В частности, программный комплекс «GeoStudio/Temp» предназначен для решения плоских задач термодинамики грунтов, в том числе позволяет решать задачи в осесимметричной постановке.

При создании численной модели создаются области, состоящие из отдельных ячеек. Области могут разбиваться на структурированные ячейки правильной формы (квадратной, прямоугольной, трапециевидной и др.) и неструктурированные ячейки треугольной формы. Разбитие области на ячейки производится автоматически, тип ячеек (структурированные или неструктурированные) выбирается. Пример разбития области приведен на рис. 6.

Все ячейки области обладают одинаковыми характеристиками. Для каждой области задаются следующие характеристики:

- теплопроводность мерзлого и талого грунта;

- теплоемкость мерзлого и талого грунта;

- объемная влажность грунта;

- функция «влажности» при переходе грунта в мерзлое состояние.

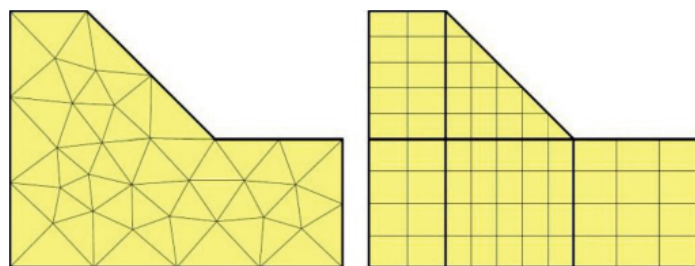
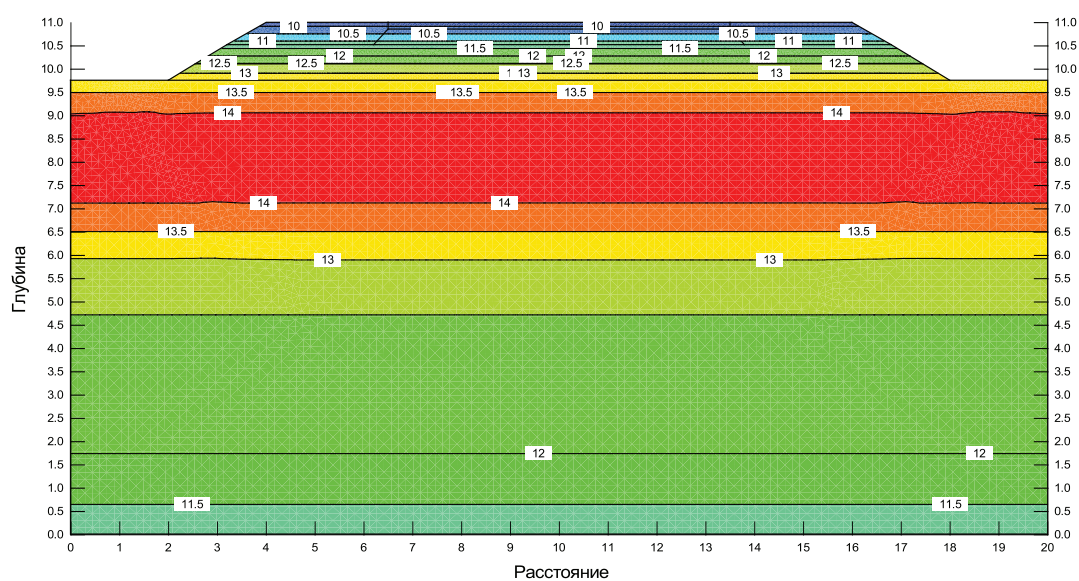
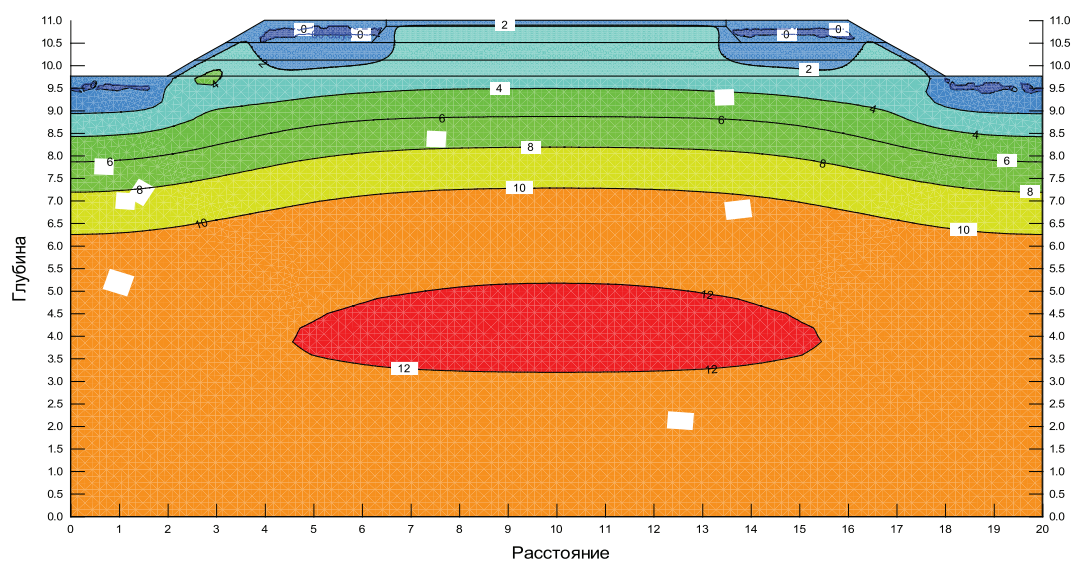


Рис. 6. Разбитые области на структурированные (справа) и неструктурированные ячейки



60 день ($t_{\text{верх}} = 0,6 \text{ град}$)



90 день ($t_{\text{верх}} = -11$ град)

Рис. 7. Изменение температурного режима дорожной конструкции в период осень – зима

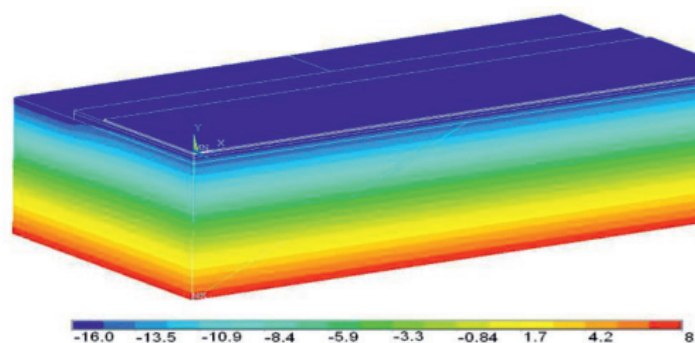


Рис. 8. Распределение поля температуры в расчетной области для зимнего времени

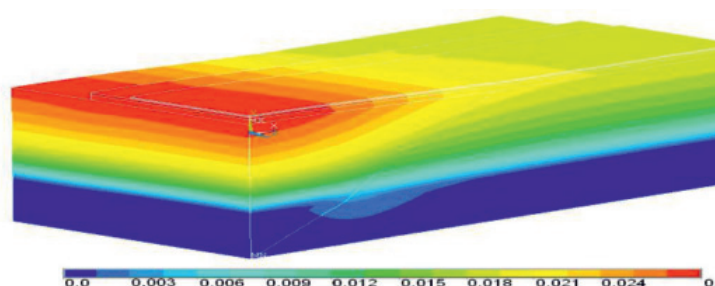


Рис. 9. Распределение поля полного перемещения расчетной области за счет перепада температур и избыточной влажности перемятого грунта в пространстве

Данный программный продукт позволяет использовать следующие виды граничных условий: $t = const$, $Q = const$, $q = const$, $t = f(\tau)$, $Q = f(\tau)$, $q = f(\tau)$, граничные условия климата. При этом граничные условия температуры t и теплового потока Q устанавливаются для конкретного узла модели, плотности теплового потока для конкретной границы ячейки модели.

Граничные условия климата могут быть применены только к поверхностной границе грунтового массива (границе ячеек модели). Климатические условия задаются в виде базы данных, которая включает следующие характеристики климата для каждого периода времени (дня): максимальная и минимальная температура воздуха, максимальная и минимальная влажность воздуха, общее количество осадков за период.

Ниже приведены полученные результаты изменения температуры в слоях дорожной конструкции с применением программного комплекса «GeoStudio/Temp» (рис. 7).

При использовании программного комплекса ANSYS были приняты ряд допуще-

ний и упрощений [8]. Область, содержащая основные элементы дороги (рис. 8), рассматривалась в двух состояниях: летний режим соответствует температуре окружающего воздуха $+30^\circ\text{C}$;

Зимний режим соответствует температуре окружающего воздуха -30°C ; это позволяет задавать граничные условия 3-го рода на верхней границе материала (асфальтобетон) и окружающего воздуха:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -\alpha(T - T_{\text{ср}}), \quad (1)$$

где λ – теплопроводность, n – нормаль к поверхности, α – коэффициент теплоотдачи в окружающую среду с температурой $T_{\text{ср}}$, T – температура на поверхности.

Полученные данные были обработаны на сетке конечных элементов типа SOLID95, содержащих 20 узлов и позволяющих выполнять аппроксимацию искомых полей температуры и перемещений функциями 2-го порядка. Аппроксимация расчетной области потребовала 10000 конечных элементов (5000 сеточных узлов). Ниже приве-

дены результаты вычислительных экспериментов, которые представлены на рис. 8–9.

На рис. 9 отчетливо видно выпучивание части дороги, обусловленное перепадом температуры между летним и зимним режимами и избыточным количеством влаги в переметом грунте.

Наибольшее значение подъема полотна дороги составляет более 2,8 см над первоначальной плоскостью. Максимальная интенсивность напряжения превышает 810 ГПа и достигается на кромке асфальтобетонного покрытия (выделено красным цветом).

Проведенные исследования позволяют математически объяснить причину образования морозобойных трещин на асфальтобетонном покрытии автомобильных дорог, выяснить взаимную связь между процессами и определить мероприятия по ликвидации причины образования морозобойной трещины в нулевых отметках автомобильных дорог.

Изменение тепловых свойств в слоях дорожной конструкции автомобильной дороги под действием внешнего энергетического воздействия позволяет сделать вывод о том, что следует рассматривать выемку и насыпь как два различных физических тела, существенно отличающихся друг от друга по своим эксплуатационным свойствам.

Список литературы

1. Корнева И.А., Локощенко М.А. Многолетние изменения температуры грунта на разных глубинах в Москве // Состав атмосферы. Атмосферное электричество. Климатические эффекты: тезисы докладов XVI международной школы-конференции молодых учёных, Звенигород, 28 мая – 1 июня 2012 г. – ИФА имени А.М. Обухова РАН, 2012. – С. 93.
2. Корнева И.А., Локощенко М.А. Температура почвы и грунта в Москве и её современные изменения // Метеорология и гидрология. – 2015. – Т. 40, № 1. – С. 38–50.
3. Бургутдинов А.М., Клевеко В.И. Образование морозобойных трещин на автомобильных дорогах // Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте,

производстве и образовании '2011: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Одесса: Черноморье, 2011. – т. 3, Вып. 4. – С. 32–39.

4. Бургутдинов А.М. Обоснование способов строительства и ремонта лесовозных автомобильных дорог, препятствующих образованию трещин (на примере Пермского края): дисс. ... канд. техн. наук. – Йошкар-Ола, 2012. – 225 с.

5. Федоров В.И. Процессы влагонакопления и морозоопасность грунтов в строительстве. – Владивосток: ДальНИИС, 1992. – 178 с.

6. Оржеховская Р.Я. Анализ результатов статических испытаний грунтов оснований зданий и сооружений на основе модели упрочняющейся разномодульной среды: Дис. ...канд. техн. наук. Свердловск, 1989. – 150 с.

7. Воронкевич С.Д. Физико-химические процессы техногенной эволюции грунтов. / С.Д. Воронкевич, Н.А. Ларионова. – М.: МГУ, 2000.

8. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005.

References

1. Korneva I.A., Lokoshchenko M.A. Mnogoletnie izmeneniya temperatury grunta na raznykh glubinah v Moskve // Sostav atmosfery. Atmosfernoye jelektrichestvo. Klimaticheskie jeffekty: tezisy dokladov XVI mezhdunarodnoj shkoly-konferencii molodyh uchjonyh, Zvenigorod, 28 maja 1 ijunja 2012 g. IFA imeni A.M. Obuhova RAN, 2012. pp. 93.
2. Korneva I.A., Lokoshchenko M.A. Temperatura pochvy i grunta v Moskve i ejo sovremennye izmeneniya // Meteorologija i gidrologija. 2015. T. 40, no. 1. pp. 38–50.
3. Burgunutdinov A.M., Kleveko V.I. Obrazovanie morozobojnyh treshhin na avtomobilnyh dorogah // Sovremennye problemy i puti ih resheniya v nauke, transporte, proizvodstve i obrazovanii 2011: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Odessa: Chernomore, 2011. t. 3, Vyp. 4. pp. 32–39.
4. Burgunutdinov A.M. Obosnovanie sposobov stroitelstva i remonta lesovoznyh avtomobilnyh dorog, prepjatstvujushhih obrazovaniju treshhin (na primere Permskogo kraja): diss. ... kand. tehn. nauk. Joshkar-Ola, 2012. 225 p.
5. Fedorov V.I. Processy vlagonakopleniya i morozoopasnost gruntov v stroitelstve. Vladivostok: DalNIIS, 1992. 178 p.
6. Orzhehovskaja R.Ja. Analiz rezul'tatov staticheskikh ispytaniy gruntov osnovanij zdanij i sooruzhenij na osnove modeli uprochnjajushhejsja raznomodulnoj sredy: Dis. ...kand. tehn. nauk. Sverdlovsk, 1989. 150 p.
7. Voronkevich S.D. Fiziko-himicheskie processy tehnogennoj jevoljucii gruntov. / S.D. Voronkevich, N.A. Larionova. M.: MGU, 2000.
8. Basov K.A. ANSYS: spravochnik polzovatelja. M.: DМК Press, 2005.

УДК 004:629.7

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЧАСТИ АНАЛИЗА ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ

²Валетов И.И., ¹Шмидт И.А.

¹Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь;

²ОАО «Авиадвигатель», Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

В статье рассматривается проблема интеграции различных видов деятельности интегрированной логистической поддержки (ИЛП), реализуемых на разных стадиях жизненного цикла (ЖЦ) продукции. Проблема заключается в децентрализованном подходе к решению задач ИЛП, использовании не в полной мере выходных данных предшествующих этапов на последующих этапах ИЛП. Проанализированы существующие реалии выполнения данных видов деятельности ИЛП – анализа логистической поддержки (АЛП), создания электронной эксплуатационной документации (ЭЭД) на изделие, создания актуальной и работоспособной системы технической эксплуатации (СТЭ); описаны их недостатки и предложены методы для повышения эффективности выполнения поставленных задач. В статье автором выявлена и обоснована необходимость создания интегрированной информационной среды поддержки жизненного цикла авиационного двигателя и описан способ реализации данной задачи.

Ключевые слова: информационная среда, непрерывная поддержка жизненного цикла, интегрированная логистическая поддержка, анализ логистической поддержки (АЛП), руководство по эксплуатации (РЭ), исходные требования планового технического обслуживания (ИТПТО)

INTEGRATED INFORMATION ENVIRONMENT OF AIRCRAFT ENGINE LIFE-CYCLE MANAGEMENT IN TERMS OF LOGISTICS SUPPORT ANALYSIS

²Valetov I.I., ¹Shmidt I.A.

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm;

²Aviadvigatel OJSC, Perm, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

The article considers the issue of integration of the different activities of integrated logistics support (ILS) realized at various stages of product life cycle. The issue is in the decentralized approach to solving the problems of integrated logistics support, using outcoming data from the previous stages not to the full on the succeeding stages of integrated logistics support. The existent realia of completing the ILS activities: logistic support analysis (LSA), creation of electronic maintenance manual, creation of currently important and working system maintenance have been analyzed; their drawbacks have been described and methods of increasing efficiency of set tasks execution have been offered. The necessity of creating integrated information environment support of aircraft engine life cycle has been determined and justified by the author. The method of performing the task has been described.

Keywords: information environment, continuous lifecycle support, integrated logistics support, logistics support analysis (LSA), manual (OM), the initial requirements of the planned maintenance

Создание авиадвигателей в современном мире происходит в условиях конкуренции мировых авиационных фирм – производителей авиационной техники и авиакомпаний-эксплуатантов в борьбе за рынки поставок самолетов и авиаперевозок. основополагающими факторами конкуренции, определяющими качество самолета как продукта, являются безопасность, регулярность полетов для гражданской авиации и боеготовность – для военной. Данные факторы непосредственно зависят от качества и технических характеристик авиадвигателей, устанавливаемых на самолет.

Для авиадвигателей, имеющих длительные сроки эксплуатации, затраты на послепродажной стадии, необходимые для поддержания заданных характеристик безопасности, надежности и готовности, могут значительно превышать затраты на ее приобретение. Поэтому основным критери-

ем при решении о покупке авиадвигателя и установке его на крыло самолета является стоимость его жизненного цикла (СЖЦ), включающая затраты на приобретение и эксплуатацию [6].

ИЛП – совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых посредством управленческих, инженерных и информационных технологий, ориентированных на обеспечение высокого уровня готовности изделий (в том числе показателей, определяющих готовность, – безотказности, долговечности, ремонтпригодности, эксплуатационной и ремонтной технологичности и др.) при одновременном снижении затрат, связанных с их эксплуатацией и обслуживанием.

ИЛП сложного промышленного изделия включает, как правило, следующие основные виды деятельности:

– АЛП;

– планирование и управление техническим обслуживанием и ремонтом (ТОиР) изделия;

– планирование и управление материально-техническим обеспечением (МТО);

– разработку и сопровождение эксплуатационной и ремонтной документации;

– обеспечение заказчика специальным, вспомогательным и измерительным оборудованием, необходимым для эксплуатации, обслуживания и ремонта;

– планирование и организацию процессов обучения персонала, в том числе разработки технических средств обучения;

– планирование и организацию процессов упаковывания, погрузки/разгрузки, хранения, транспортирования изделия;

– разработку инфраструктуры системы технической эксплуатации (СТЭ);

– поддержку программного обеспечения и вычислительных средств;

– мониторинг технического состояния изделия и процессов эксплуатации и технического обслуживания;

– планирование и организацию процессов утилизации изделия и его составных частей [3, 4].

Соответственно, виды деятельности ИЛП группируются по следующим основным направлениям:

1) создание (разработка) СТЭ, элементы которой должны быть увязаны между собой и с изделием так, чтобы обеспечить достижение целей, указанных в приведенном выше определении; это направление деятельности предполагает подготовку (в том числе согласование и утверждение) необходимых для последующего функционирования СТЭ требований, планов, программ, методик, инструкций и других данных и документов (в том числе – в электронном виде);

2) сопровождение (обеспечение функционирования) СТЭ в ходе использования ФИ по назначению (от момента начала эксплуатации до списания и утилизации); это направление деятельности предполагает техническую, методическую и информационную поддержку функционирования СТЭ на основе данных и документов, полученных при ее разработке, включая систематическую верификацию и актуализацию документов и данных по результатам анализа фактических сведений о ходе эксплуатации ФИ;

3) совершенствование (развитие) СТЭ в ходе ЖЦ ФИ. Это направление деятельности предполагает внесение в полученные при создании и сопровождении СТЭ документы и данные изменений, обусловленных изменениями конструкции ФИ, условий эксплуатации, технологий и оборудования

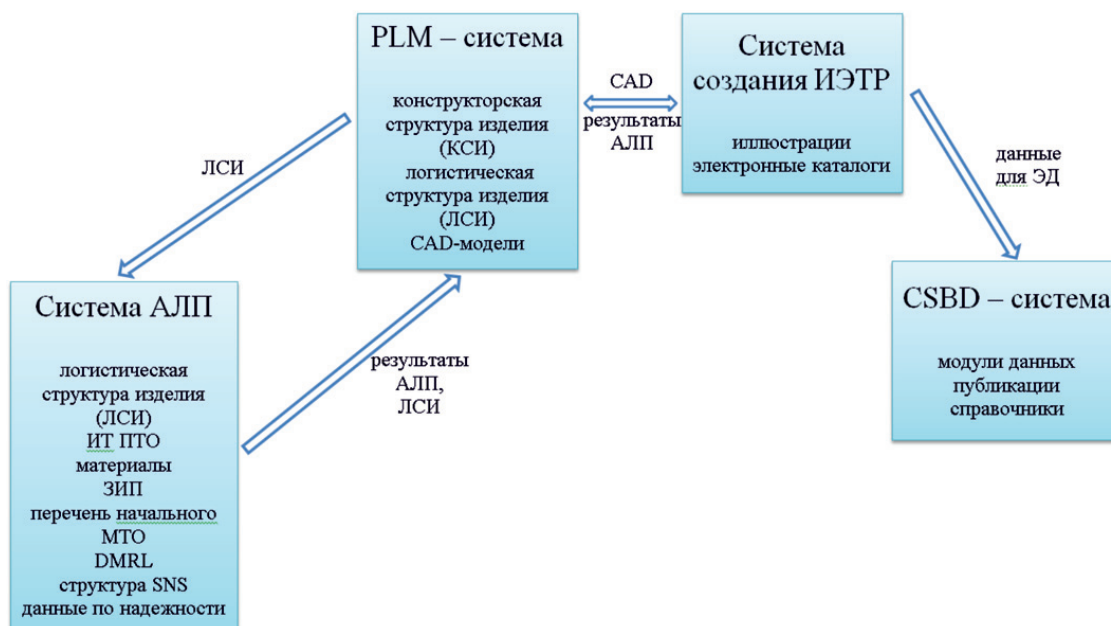
ТО и другими (в том числе – экономическими) факторами [1].

Виды деятельности ИЛП, объединенные в описанные выше направления и реализуемые на разных стадиях ЖЦ изделия, логически и информационно интегрированы в единый комплекс процессов, в который вовлечены как разработчик (поставщик), так и заказчик (эксплуатант). Информационная интеграция процессов обеспечивает обратную связь между процессами. Сведения, полученные в ходе эксплуатации, используются для совершенствования конструкции изделия и организации СТЭ.

Но в отечественной объективной реальности данные основные направления деятельности ИЛП выполняются, как правило, различными структурными подразделениями, а иногда и подразделениями разных организаций (конструкторского бюро и завода-изготовителя) в отсутствие адекватной информационной интеграции. Это формирует децентрализованный подход к решению вышеперечисленных задач ИЛП, т.е. даже если часть задач ИЛП автоматизирована, то выходные данные, полученные по результатам выполнения этих задач, не в полной мере используются при проведении последующих этапов. Подобный подход отрицательно влияет на качество и сроки выполнения работ по ИЛП.

Таким образом, ставится задача на создание Единого информационного пространства, объединяющего последовательные этапы интегрированной логистической поддержки жизненного цикла (анализ логистической поддержки, разработка руководства по эксплуатации и эксплуатационных каталогов и т.д.) повысит эффективность выполнения задач ИЛП [8].

В статье Э.Л. Гольца описывается опыт внедрения единой информационной среды ИЛП на ОАО «Туполев», который не применим для ОАО «Авиадвигатель». В статье построение данной системы основывается на мониторинге технического состояния изделия и процессов эксплуатации и технического обслуживания путем создания единого центра послепродажного обслуживания (ППО), т.к. ОАО «Туполев» осуществляет поддержку уже разработанного серийного изделия, а ОАО «Авиадвигатель» выстраивает свою информационную среду поддержки жизненного цикла авиационного двигателя для вновь разрабатываемого изделия. Необходимо сначала разработать СТЭ, а только затем сопровождать и совершенствовать разработанную СТЭ. Именно поэтому основой для создания Единого информационного пространства послужил процесс АЛП [2].



Функциональная схема интегрированной информационной среды поддержки жизненного цикла авиационного двигателя в части АЛП, разработки РЭ, ИТПТО и каталогов

Целью анализа логистической поддержки (АЛП) является обеспечение рационального баланса требований в отношении стоимости жизненного цикла изделия и коэффициента готовности изделия. АЛП является системообразующей частью ИЛП, с помощью которой осуществляется взаимосвязка требований с различными видами деятельности ИЛП и оказывает влияние на проектирование изделия.

В ходе проведения АЛП строится логистическая структура изделия (ЛСИ), которая является фундаментом для всех последующих работ АЛП. Уровень проработки ЛСИ зависит непосредственно от уровня разукрупнения объекта анализа, который принимается руководством проекта. Но традиционно ЛСИ выстраивается на уровне LRU (line-replaceable unit) или КСБ (конструктивно-сменный блок). LRU или КСБ – это компонент ФИ (финального изделия), который может быть заменен в условиях первой линии эксплуатации для восстановления работоспособности ФИ. Получившаяся ЛСИ является основой для создания ИТ ПТО (исходных требований планового технического обслуживания). Также ЛСИ может использоваться как база для расчета АВПО (анализа видов и последствий отказов), т.к. уровень мониторинга в эксплуатации (обратная связь системы ИЛП) соответствует уровню LRU (КСБ). Система АЛП позволяет составить перечень запчастей

и расходных материалов, начального материально-технического обеспечения (МТО), модули данных для формирования перечня необходимых модулей данных (DMRL).

Созданный перечень необходимых модулей данных используется для разработки эксплуатационной документации и каталогов предметов снабжения. Электронная эксплуатационная документация (ЭЭД) на изделие создается на этапе его разработки и поставляется с конкретными экземплярами этого изделия. В общем случае эксплуатационная документация представляет собой комплект документов, связанных в некоторую структуру, причем каждому из этих документов присвоен специальный код.

Исходные данные для подготовки эксплуатационной документации:

- конструкторская документация (отличная от эксплуатационной) на изделие, в том числе чертежи и схемы изделия и его составных частей;
- описания функций изделия и его составных частей;
- описания состава работ (регламентов) и технологии ТО;
- другие документы, формируемые в процессе проектирования изделия.

Таким образом, становится ясно, что управление конструкторской документацией, описание функций изделия, АЛП, создание эксплуатационной документации находятся в тесной функциональной взаи-

мосвязи и должны быть объединены в Единое информационное пространство для возможности создания актуальной работоспособной СТЭ, которую можно было бы сопровождать и совершенствовать в ходе всего жизненного цикла изделия. Функциональная схема разработанной интегрированной информационной среды поддержки жизненного цикла авиационного двигателя в части АЛП, разработки РЭ, ИТПТО и каталогов представлена на рисунке.

Первым этапом создания Единого информационного пространства стали работы над интегрированной информационной средой поддержки жизненного цикла авиадвигателя в части АЛП и разработки руководств по эксплуатации (РЭ), исходных требований планового технического обслуживания (ИТПТО, англ. review board report) и каталогов предметов снабжения. Основой данной среды является PLM-система (англ. product lifecycle management). PLM-система – прикладное программное обеспечение для управления жизненным циклом продукции. Неотъемлемой частью PLM-системы является PDM-система (англ. product data management – система управления данными об изделии). PDM-система – это организационно-техническая система, обеспечивающая управление всей информацией об изделии. При этом в качестве изделий могут рассматриваться различные сложные технические объекты (корабли и автомобили, самолёты и ракеты и др.). Именно PLM-система является источником конструкторской документации для разрабатываемой среды поддержки жизненного цикла. В PLM-системе выстраивается ЛСИ, которая в дальнейшем используется в системе для анализа логистической поддержки. По результатам анализа ЛСИ актуализируется в PLM-системе. Процесс АЛП носит итеративный характер, поэтому данные конструкторской документации, влияющие на результаты АЛП, также обновляются в системе АЛП с помощью интеграции с PLM-системой, что помогает сохранять результаты АЛП в актуальном состоянии.

В проекте стоит задача создать интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР) [7], которые представляют собой структурированный комплекс взаимосвязанных технических данных, предназначенный для выдачи в интерактивном режиме справочной и описательной информации об эксплуатационных и ремонтных процедурах, связанных с конкретным изделием. В качестве исходных данных для ИЭТР предполагается использовать модель изделия, построенную в CAD. Наиболее естественный и прямой способ получения

CAD-моделей для создания ИЭТР – это прямая интеграция с PLM-системой.

В PLM-системе должны выполняться не только функции создания элементов ИЭТР, но и функции CSDB-систем (CSDB – Common Source Data Base, Общая база исходных данных) по управлению структурой и публикации документации в соответствии со спецификацией S1000D. Спецификация AECMA S1000D – технология представления технической документации, признанная в авиационной промышленности (AECMA – European Association of Aerospace Constructors) [5]. Спецификация регламентирует состав и структуру данных технических публикаций, а также определяет требования к представлению публикаций в странично-ориентированном виде и виде ИЭТР.

Стоит заметить, что практически каждая задача АЛП представляет собой трудоемкое исследование процессов, документов, внешних условий, организационных структур и иных сущностей, совокупность которых и образует систему ИЛП. Такое исследование требует участия многих специалистов высокой квалификации: инженеров-аналитиков, конструкторов, расчетчиков, специалистов по надежности, по организации эксплуатации и обслуживания, по организации и проведению испытаний, по охране окружающей среды, экономистов и т.д. Задача организовать совместную работу с конструкторскими подразделениями является одной из самых сложных, т.к. задачи ИЛП являются инновационными. Поэтому PLM-система является лучшей основой для создания среды поддержки жизненного цикла, т.к. конструкторы работают непосредственно в PLM-системе и решение задач ИЛП происходит в привычной для них программной среде и не требует изучения дополнительных материалов.

Дополнительно внедрение PLM системы в процесс подготовки сборочного производства позволит решить задачу управления конфигурацией изделия и обеспечить сертификацию авиационных двигателей по стандартам EASA. Таким образом, предлагаемая интегрированная информационная среда поддержки жизненного цикла авиационного двигателя должна охватывать все этапы ЖЦ – проектирование, изготовление, послепродажная эксплуатация.

Основным преимуществом разрабатываемой системы является отслеживание актуальности используемых данных за счет использования контекста взаимодействия трех структур – штатными средствами разрабатываемой системы обеспечивается связь структур (рабочей конструкторской

документации, ЛСИ и структуры РЭ), а также отслеживание вхождений объектов конструкторской документации в эксплуатационные и логистические системы, что позволит отслеживать изменения и своевременно на них реагировать. Техническая реализация отслеживания актуальности должна быть предметом отдельного исследования.

Список литературы

1. Бриндиков А.Н., Елизаров П.М., Карташев А.В., Левин А.И., Незаленов Н.И., Судов Е.В., Петров А.В. Повышение конкурентоспособности российской продукции военного назначения за счет применения технологий интегрированной логистической поддержки и каталогизации. – М.: CAD/CAM/CAE Observer, 2012. – С. 66–75.
2. Гольц Э.Л. Информационные системы интегрированной логистической поддержки авиационной техники. – М.: Механика и машиностроение, 2105. – С. 603–606.
3. ГОСТ Р 53393-2009 Интегрированная логистическая поддержка. Основные положения, <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53393-2009>.
4. ГОСТ Р 56114-2014 Интегрированная логистическая поддержка экспортируемой продукции военного назначения. Требования к проведению анализа логистической поддержки экспортируемой продукции военного назначения, <http://docs.cntd.ru/document/1200115465>.
5. Долженков Н.Н., Рипс П.А., Тараканов В.В. Создание современной системы логистической поддержки отечественных самолетов – насущное требование времени. – М.: Полет, 2007. – С. 3–9.
6. Карташев А.В., Судов Е.В., Электронные каталоги для экспортируемой продукции военного назначения: структура, формат представления и порядок обмена данными. Мир стандартов. – 2009. – № 7 (38). – С. 1–6.

7. Яблочников Е.И., Саломатина А.А. Разработка интерактивных электронных руководств по сопровождению изделий на этапах эксплуатации. – СПб: СПб-ГУ ИТМО, 2007. – 16 с.

8. ASD S3000L Международная процедурная спецификация на анализ логистической поддержки, 2010.

References

1. Brindikov A.N., Elizarov P.M., Kartashev A.V., Levin A.I., Nezalenov N.I., Sudov E.V., Petrov A.V. Povyshenie konkurentosposobnosti rossijskoj produkcii voennogo naznachenija za schet primenenija tehnologij integrirovannoj logisticheskoy podderzhki i katalogizacii. M.: CAD/CAM/CAE Observer, 2012. pp. 66–75.
2. Golc Je.L. Informacionnye sistemy integrirovannoj logisticheskoy podderzhki aviacionnoj tehniki. M.: Mehanika i mashinostroenie, 2105. pp. 603–606.
3. GOST R 53393-2009 Integrirovannaja logisticheskaja podderzhka. Osnovnye polozhenija, <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-53393-2009>.
4. GOST R 56114-2014 Integrirovannaja logisticheskaja podderzhka jeksportiruemoj produkcii voennogo naznachenija. Trebovanija k provedeniju analiza logisticheskoy podderzhki jeksportiruemoj produkcii voennogo naznachenija, <http://docs.cntd.ru/document/1200115465>.
5. Dolzhenkov N.N., Rips P.A., Tarakanov V.V. Sozdanie sovremennoj sistemy logisticheskoy podderzhki otechestvennyh samoletov nasushhnoe trebovanie vremeni. M.: Polet, 2007. pp. 3–9.
6. Kartashev A.V., Sudov E.V., Jelektronnye katalogi dlja jeksportiruemoj produkcii voennogo naznachenija: struktura, format predstavlenija i porjadok obmena dannymi. Mir standartov. 2009. no. 7 (38). pp. 1–6.
7. Jablochnikov E.I., Salomatina A.A. Razrabotka interaktivnyh jelektronnyh rukovodstv po soprovozhdeniju izdelij na etapah jekspluatacii. SPb: SPb-GU ITMO, 2007. 16 p.
8. ASD S3000L Mezhdunarodnaja procedurnaja specifikacija na analiz logisticheskoy podderzhki, 2010.

УДК 621.311.001.57

СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ИСПЫТАНИЙ СЛОЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ДОКУМЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ

Васнев Н.В., Шмидт И.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru*

В статье рассмотрен принцип работы подсистемы регистрации параметров при проведении испытаний сложных технических изделий, в частности, газотурбинных установок. Выявлены недостатки существующего решения по сохранению информации в виде набора файлов данных. Была предложена подсистема регистрации параметров, базирующаяся на применении документно-ориентированной базы данных MongoDB, обоснован выбор данной БД. Была предложена структура записи для рационального хранения набора трендов данных испытаний. Для проверки технологии сохранения параметров авторами было разработано тестовое приложение, воспроизводящее процесс испытаний. Приложение реализовано в пакете LabVIEW. Описан подробный принцип работы приложения, рассмотрена связь документно-ориентированной базы данных MongoDB и пакета LabVIEW, приведены результаты работы приложения при различных исходных параметрах, показана зависимость скорости записи параметров от размера буфера.

Ключевые слова: хранение и сбор данных, MongoDB, LabVIEW

REGISTRATION SYSTEM PARAMETERS TESTING OF COMPLEX PRODUCTS, BASED ON DOCUMENT-ORIENTED DATABASE SYSTEMS

Vasnev N.V., Shmidt I.A.

Perm national research polytechnic university», Perm, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

The article discusses the method of organizing large data amounts storage during the testing of complex industrial products, in particular gas turbines. Found the drawbacks of the existing method for preservation of information in the form of a set of data files. Was proposed subsystem of register data based on the application of document-oriented database mongodb and proven it choice. Was offered a structure of record for efficient storage of a set data. To check the method of storage data the authors developed a test application, reproducing the process of testing. The application is implemented in the package LabVIEW. Was described the principle of the application, considered the relationship between the document-oriented database mongodb and the LabVIEW program and the results of using different initial parameters. The article shows the dependence of the rate parameters from the size of the buffer.

Keywords: storage and data collection, MongoDB, LabVIEW

Подсистемы регистрации параметров являются важной частью систем испытаний сложных изделий. Развитые системы испытаний могут регистрировать 100–500 параметров, при частоте их регистрации до 200 Гц [1]. Испытания при этом могут идти несколько часов. Качество таких подсистем определяется несколькими свойствами: отказоустойчивостью, долговечностью, скоростью записи, а также удобством извлечения и визуализации полученных данных.

Рассмотрим применяющийся в настоящее время способ сохранения информации при проведении испытаний газотурбинных установок газоперекачивающих агрегатов (ГТУ ГПА). Физические и «датчиковые» значения замеренных параметров (тренды) записываются во время испытаний в двоичный «плоский» файл. Для организации хранения данных такой системы используется структура (совокупность таблиц), описывающая каждый из регистрируемых параметров, которая называется паспорт испытания. Паспорт испытания хранится в РСУБД, он

содержит полное описание для каждого, измеряемого при испытаниях, параметра (см. рис. 1), в том числе: смещение для параметра относительно начала записи, характеристику канала измерения, включая тарифированную характеристику и т.д. Идентификация испытания проходит по имени двоичного файла, в котором закодированы дата и номер испытания. Такая структура хранения показывает довольно высокую скорость записи, но при этом низкий уровень надежности. В целом способ является слабо гибким, т.к. отсутствуют высокоуровневые способы поиска информации, а также нет возможности сопоставлять результаты различных испытаний (они хранятся в разных файлах).

Для повышения уровня надежности и гибкости системы регистрации параметров испытаний естественно вместо набора двоичных файлов использовать базу данных. Таким образом, встает задача выбора базы данных и разработки методики сохранения регистрируемых параметров в выбранную БД.

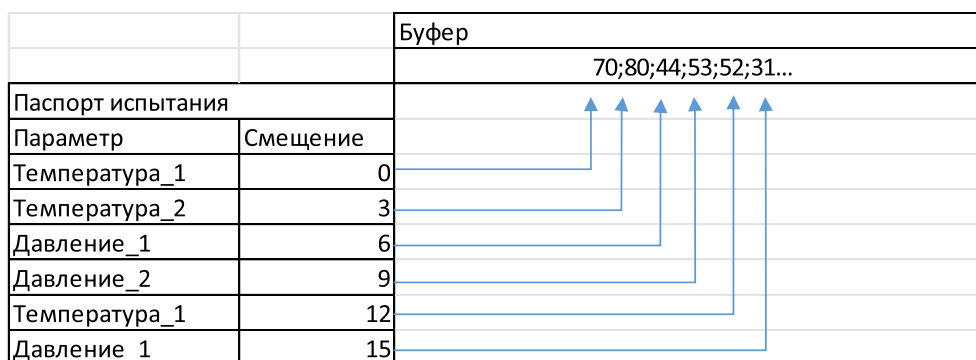


Рис. 1. Организация данных при сохранении в двоичный файл

В рамках данной задачи рассмотрим варианты применимых типов баз данных: РСУБД и документно-ориентированные БД. Применение РСУБД было бы целесообразно при хранении неизменного набора параметров, однако реальные испытания характеризуются различным набором параметров при проведении различных испытаний. Кроме этого механизмы транзакций и контроля целостности данных избыточны для хранения технологических параметров [3]. Применение документно-ориентированных баз данных, которые позиционируются как системы для хранения больших объемов данных без жесткой структуры, является разумной альтернативой. Из существующего многообразия документно-ориентированных баз данных была выбрана MongoDB [2]. Приведем ее характеристики.

- Гибкость и скорость. Хранилища ключей и значений благодаря своей простоте работают быстро и относительно легко масштабируются.

- Простота вывода информации из базы. MongoDB предоставляет развитые механизмы запросов.

- Надежность. БД предоставляет надежная система восстановления данных при включенном механизме дублирования.

- Доступность. MongoDB полностью бесплатна.

- Данные хранятся в BSON формате, что позволяет производить интеграцию с другими языками программирования.

Определим структуру данных обеспечивающих рациональное сохранение трендов параметров. Для отработки вариантов хранения разработано тестовое приложение, которое подключается к MongoDB, затем генерирует числовые значения, имитирующие реальный поток данных испытаний, и заносит их в БД.

Опишем кратко структуру подсистемы регистрации параметров на примере системы для испытаний ГТУ ГПА [4]. Все данные перед тем как попасть в БД, проходят три уровня обработки. Первый, нижний уровень подсистемы обеспечивает опрос модулей связи с объектом, получение данных и их транспортировку на второй уровень. На втором уровне проходит первичная обработка поступивших данных и их графическая визуализация для управления процессом испытаний. В качестве основы для программного обеспечения второго и первого уровня использована многофункциональная платформа LabVIEW.

Третий верхний уровень подсистемы получает информацию от среднего и должен обеспечивать хранение всей информации по ходу испытаний с возможностью выполнения гибких запросов по любым параметрам, включая поиск результатов испытаний и их сравнение. [5]

При получении информации с первого уровня на верхних уровнях запускаются обработчики данных и выделяются сегменты памяти, называемые буферами опроса. Буфер опроса – это область в памяти содержащая коды измеряемых параметров. Каждый буфер опроса характеризуется своим собственным набором содержащихся в нем регистрируемых параметров и частотой обновления. Информация с первого на второй уровень передается кадрами. Кадр – это набор значений параметров, относящихся к одной временной отметке. Для достижения быстрой скорости записи буфер большого размера может принимать несколько полученных кадров. Когда этот буфер заполняется, он передается на верхний уровень для записи в БД [6].

Разработанное авторами тестовое приложение, которое относится к третьему уровню, позволяет решить следующие задачи:

- Проверка возможности записи данных в БД MongoDB средствами LabVIEW.

- Определение и изменение структуры документа, пригодной для сохранения текущих параметров процесса.

- Определение времени сохранения данных в зависимости от количества регистрируемых параметров и записей в БД.

Для работы с базой данных MongoDB из пакета LabVIEW необходимо добавить в проект библиотеки MongoDB.Bson.dll и MongoDB.Driver.dll. После этого в LabVIEW будут доступны компоненты .NET, которые позволяют создавать BSON-классы и получать доступ к их функциям. С помощью .NET-компонент происходит подключение к серверу, на котором хранится БД, далее подключение к БД, затем подключение к необходимым коллекциям, из которых можно считывать или записывать данные.

Данные, получаемые в ходе испытания, должны быть структурированы. Для этого требуется разработать сложную структуру BSON-документа, которая должна показать быструю скорость записи и высокую гибкость, при этом позволяющую легко извлекать полученные данные для визуализации. Вставка одной записи по разработанной структуре в MongoDB выглядит следующим образом:

```
db.collection_name.insert({sensor_name: [{time:0.1, value:0.21},{ time:0.2, value:0.25}]})
```

Входными параметрами такой структуры являются время записи и значение физической величины, которые необходимо перевести в числовой BSON-формат. Так как MongoDB работает с JSON-

структурой, которая состоит из пары ключ – значение, то необходимо привязать значение параметра и времени к нужным ключам. Предварительно создается объект класса BsonDocument. Полученные с помощью .NET-компонент пары ключ-значения для времени и величины параметра объединяются в список для записи в BSON-документ. Чтобы занести объединенные параметры в документ, вызывается функция Add(), которая входным значением принимает список элементов. На рис. 2 представлен SubVI для формирования BSON-документа.

Выходом SubVI будет ссылка на BSON-документ. При испытании исследовательских систем производится сбор параметров с сотен датчиков. Каждый параметр имеет свою частоту записи. Частота записи некоторых параметров может совпадать. Поэтому для достижения требуемой скорости сохранения данных в БД параметры с одинаковыми частотами можно записывать за один кадр. Кадр – набор значений параметров, относящихся к одной временной отметке. Кроме этого будет использован буфер, который будет записывать все параметры (как набор кадров) в оперативную память, затем сохранять массив данных в БД.

Тестовое приложение разбито на фреймы структуры «Последовательность» (Sequence Structure). В первых фреймах происходит инициализация базы данных и подключение к необходимой коллекции. В последних проходит закрытие БД и вывод возникших ошибок. Между этими фреймами происходит генерация сигналов и формирование массива документов. Структура приложения показана на рис. 3.

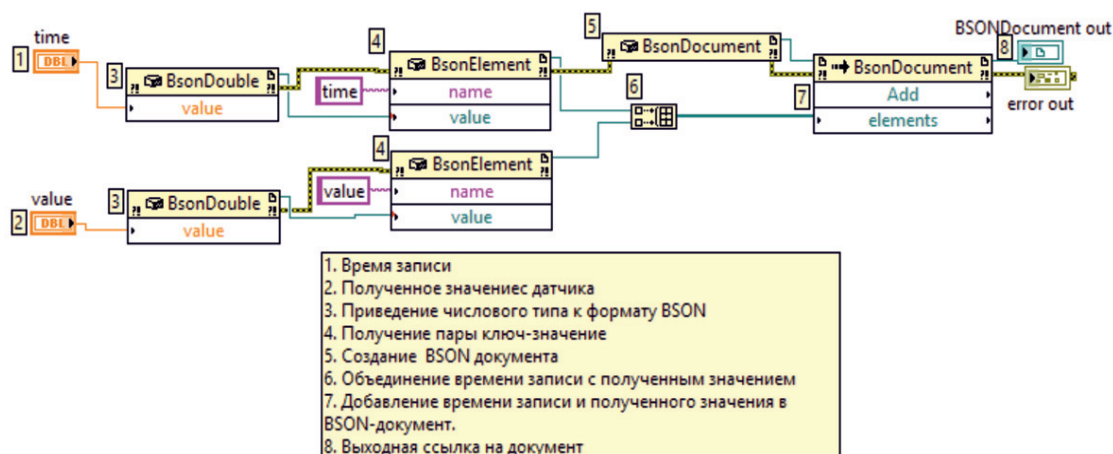
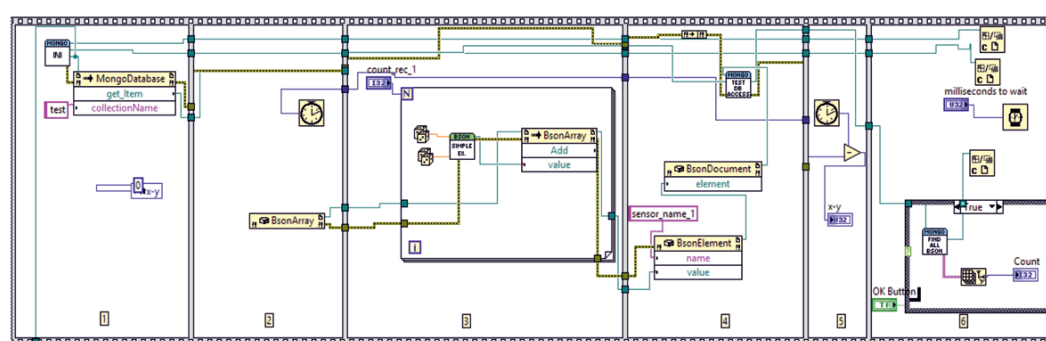


Рис. 2. SubVI для создания BSON-документа



1. Подключение к базе данных MongoDB.
2. Инициализация массива. Начало отчета времени.
3. Генерация сигналов. Запись в буфер.
4. Запись в массив. Создание BSON-документа. Запись в БД.
5. Конец отчета времени.
6. Подсчет количества записей. Закрытие БД.

Рис. 3. Структура тестового приложения

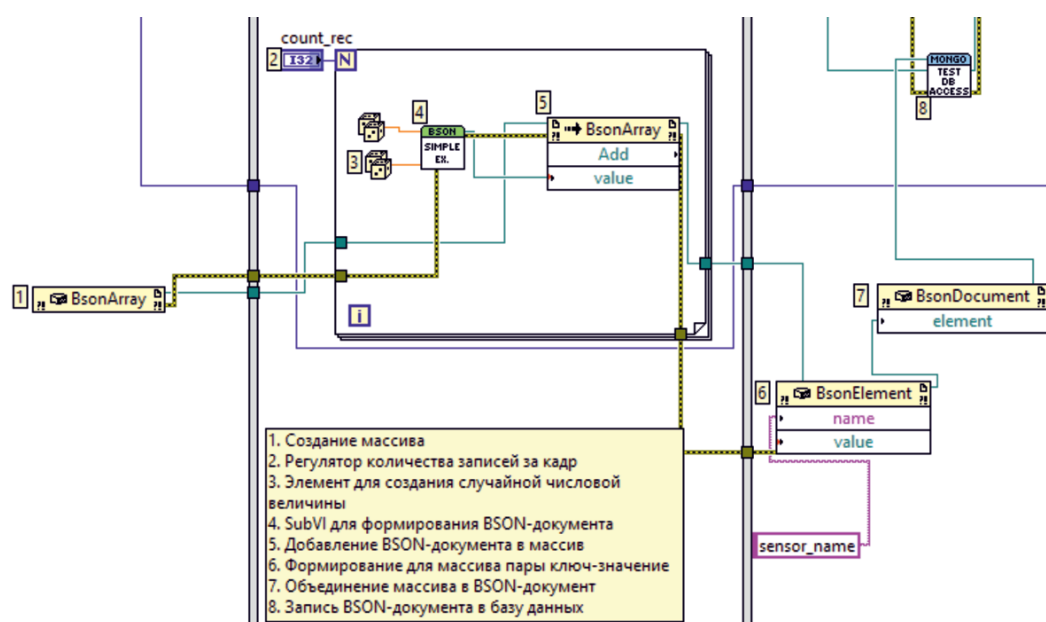


Рис. 4. Формирование массива документов

Зависимость скорости записи от размера буфера

N	to, мс	t1, мс	Примечания	Min to, мс	Max to, мс
1	11	11	Стабильная скорость записи	11	12
10	32,5	3,25	Небольшой разброс во времени	25	40
100	202	2,02	Редкие скачки Max to >= 380	330	360
500	1125	2,25	Очень редко скачки Max to <= 1160	1112	1138
1000	2724	2,724	После 25000 записей увеличивается частота скачков Max to >= 2800. С увеличением количества записей величина при скачке увеличивается. При 70000 записей скачки Max to >= 2900	2688	2760

Перед тем как сформировать выходной BSON-документ, необходимо создать объект типа `BsonArray`, который будет хранить документы с полученными значениями времени и физической величины. Далее происходит формирование случайных сигналов и их передача в `SubVI`, рассмотренный выше. `SubVI` возвращает ссылку на сформированный документ, который с помощью функции `Add ()` у класса `BsonArray` добавляется в созданный ранее массив. Работа всех компонентов проходит в цикле. Регулируя количество итераций, изменяют количество величин параметров для внесения в БД. Функция `Add ()` класса `BsonArray` возвращает ссылку на массив. Для того чтобы можно было обращаться к массиву, ему так же присваивается ключ. Полученная пара добавляется в BSON-документ, который заносится в БД. В кадрах модели были расположены компоненты, отсчитывающие время от начала работы каждого кадра, благодаря чему можно было рассчитать время записи одного сформированного документа в БД. На рис. 4 представлены компоненты, отвечающие за формирование массива для одного датчика.

Результаты работы представлены в таблице, где N – количество записанных величин параметра, t_0 – общее время записи, $\text{Min } t_0$ – минимальное наблюдаемое время записи, $\text{Max } t_0$ – максимальное наблюдаемое время записи.

Таблица отражает зависимость скорости записи параметров от размера буфера. Изменяя размер буфера, можно добиться требуемой скорости записи.

Заключение

Была рассмотрена связь документо-ориентированной базы данных MongoDB и пакета LabVIEW, была разработана сложная структура хранения данных, которая является быстродействующей по скорости записи и удобной по выводу данных из БД. Для большого количества датчиков достаточно объявить каждый датчик в модели, не меняя при этом структуры хранилища. В статье подробно описано, какие компоненты пакета LabVIEW необходимо задей-

ствовать для того, чтобы получать значения физических величин с датчиков и записывать их в БД. Изменяя размер буфера, можно изменять скорость записи данных.

Список литературы

1. Кавалеров Б.В., Казанцев В.П., Шмидт И.А. Компьютерные и полунатурные испытания средств управления энергетических газотурбинных установок // Информационно-управляющие системы. – 2011. – № 4. – С. 34–41.
2. Кайл Бэнкер. MongoDB в действии – М.: ДМК Пресс, 2012. – 395 с.
3. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка системы управления архивными данными испытаний газотурбинных установок большой мощности // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12035>.
4. Попов Д.А., Шмидт И.А. Оперативный сбор параметров при испытаниях различных типов ГТУ на базе оборудования NATIONAL INSTRUMENTS // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 2. – С. 192–196.
5. Попов Д.А., Шмидт И.А. Выбор методов реализации верхнего уровня проведения испытаний газотурбинных установок на базе аппаратных средств NATIONAL INSTRUMENTS // Научные исследования и инновации. – 2012. – Т. 6, № 1–4. – С. 249–254.
6. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка функциональной структуры программного комплекса испытаний газотурбинных установок мощностью до 40 мвт // Научные исследования и инновации. – 2012. – Т. 6, № 1–4. – С. 264–270.

References

1. Kavalero B.V., Kazancev V.P., Shmidt I.A. Komp'yuternye i polunaturalnye ispytaniya sredstv upravleniya jenergeticheskikh gazoturbinnykh ustanovok // Informacionno-upravljajushhie sistemy. 2011. no. 4. pp. 34–41.
2. Kaji Bjenker. MongoDB v dejstvii M.: DMC Press, 2012. 395 p.
3. Popov D.A., Shmidt I.A. Razrabotka sistemy upravlenija arhivnymi dannymi ispytaniy gazoturbinnykh ustanovok bolshoj moshhnosti // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. no. 2.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12035>.
4. Popov D.A., Shmidt I.A. Operativnyj sbor parametrov pri ispytaniyah razlichnykh tipov GTU na baze oborudovaniya NATIONAL INSTRUMENTS // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhja. 2014. no. 2. pp. 192–196.
5. Popov D.A., Shmidt I.A. Vybore metodov realizacii verhnego urovnja provedeniya ispytaniy gazoturbinnykh ustanovok na baze apparatnykh sredstv NATIONAL INSTRUMENTS // Nauchnye issledovaniya i innovacii. 2012. T. 6, no. 1–4. pp. 249–254.
6. Popov D.A., Shmidt I.A. Razrabotka funkcionalnoj struktury programmnogo kompleksa ispytaniy gazoturbinnykh ustanovok moshhnostju do 40 mvt // Nauchnye issledovaniya i innovacii. 2012. T. 6, no. 1–4. pp. 264–270.

УДК 621.3.07

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ВЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ С АДАПТИВНЫМ НАБЛЮДАТЕЛЕМ СКОРОСТИ И НЕПОСРЕДСТВЕННОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УГЛА

Даденков Д.А., Белоногов А.В., Варзаносов П.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: dadenkov@msa.pstu.ru*

Рассмотрено построение бездатчиковой системы управления асинхронным двигателем на базе адаптивного наблюдателя скорости. При реализации векторного управления предложен оригинальный способ коррекции ошибки вычисления электрического угла с использованием фазовой подстройки частоты. Непосредственная коррекция электрического угла обеспечивает более точную оценку потокоцепления ротора и стабильную работу адаптивной статорной модели, исключая накопление интегральной ошибки вычисления скорости. Представлены структура системы векторного управления, функциональная схема адаптивного наблюдателя и структура контура регулирования тока статора. Выполнен синтез контуров регулирования тока и скорости. Все разработанные схемы и модули реализованы в среде программирования MexBIOS Development Studio. Приведенные результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность рассмотренных подходов при построении системы бездатчикового векторного управления асинхронным двигателем.

Ключевые слова: адаптивный наблюдатель скорости, бездатчиковое векторное управление, контур регулирования тока, коррекция электрического угла, разность фаз, имитационное моделирование

SENSORLESS VECTOR CONTROL WITH THE ADAPTIVE SPEED OBSERVER AND DIRECT ELECTRICAL ANGLE CORRECTION

Dadenkov D.A., Belonogov A.V., Varzanosov P.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: dadenkov@msa.pstu.ru

Development of sensorless induction motor control system based on adaptive speed observer is considered. By development of vector control the original method of error correction of calculation of an electrical angle with use phase adjustment of frequency is offered. Immediate correction electrical angle provides a more accurate estimation of the rotor flux and the stable operation of the adaptive model of rotor, eliminating the accumulation of integrated speed calculation error. The structure of the vector control system, a functional diagram of an adaptive observer and the structure of the stator current control loop are provided. All developed schemes and models in MexBIOS Development Studio programming environment are executed. The above simulation results confirm efficiency these approaches in the construction of the system sensorless vector control an induction motor.

Keywords: adaptive speed observer, sensorless vector control, current loop, error correction of electrical angle, complex phase difference, simulation

На современном этапе развития микропроцессорных систем электропривода переменного тока наибольший интерес для разработки и исследования представляют методики бездатчикового векторного управления асинхронным двигателем (АД). Построение таких систем позволяет не только устранить ряд проблем, присущих датчиковым системам, но и уменьшить стоимость электропривода и повысить его надежность. Для исключения датчика скорости или положения ротора используют специальные наблюдатели состояния, которые восстанавливают необходимые для управления координаты электропривода по доступным для измерения параметрам (токам, напряжениям, ЭДС статора).

Практическая реализация системы бездатчикового управления начинается с выбора методики управления и может решаться различными способами. Например, при ис-

пользовании техники прямого управления моментом (*DTC*) [1, 3, 9] необходимо использование фильтров низких частот после датчиков тока, поскольку сам метод регулирования вызывает колебания вектора тока статора с частотой, пропорциональной несущей частоте векторной широтно-импульсной модуляции (ВШИМ). В целом на практике реализация управления с использованием *DTC* обладает рядом недостатков, вызванных неточностью вычисления производных, плохой спектральной картиной тока, а также значительными вычислениями, связанными с высоким порядком модели АД. Для устранения перечисленных недостатков предлагается выполнить построение системы управления с ориентацией вектора потокоцепления ротора по полю статора. Несмотря на то, что такие полеориентированные системы считаются более сложными в настройке регуляторов

и практической реализации математических преобразований [3], при использовании новейшей силовой электроники (*IGBT*) и микропроцессорной базы (*DSP*) они получили массовое применение в современных преобразовательных устройствах.

Рассмотрим структурную схему системы бездатчикового векторного управления с ориентацией по вектору потокосцепления ротора, которая представлена на рис. 1.

Для векторных систем управления с ориентацией по потокосцеплению ротора существуют различные методики вычисления скорости. Например, одни способы построения наблюдателей основаны на использовании матричного аппарата, с подстройкой коэффициентов матрицы наблюдаемости эталонной модели по вычисляемой невязке [1, 3], другие способы основаны на применении фильтра Калмана [5] или оценок ЭДС и потокосцепления ротора с использованием адаптивных моделей статора и ротора [2, 5, 6].

Рассмотрим практическую реализацию адаптивного наблюдателя с построением специальных моделей статора и ротора АД [1, 5]. Принцип работы предложенного наблюдателя скорости основан на вычислении невязки потокосцеплений опорной модели статора и адаптивной модели ротора. Для вычисления сигнала в среде *MexBIOS Development Studio* [10] разработан специальный блок (*Complex Phase Difference*) для математических операций в комплексных числах, определяющий разницу фаз с учетом квадранта, в котором находятся вращающиеся векторы тока в текущий момент времени [7]. Вычисленный таким образом сигнал невязки (θ_{dif}) замыкается через регулятор на вход адаптивной модели ротора, что позволяет свести ошибку вычисления потокосцеплений моделей статора и ротора к нулю и определить тем самым действительную скорость ротора. Функциональная схема адаптивного наблюдателя показана на рис. 2.

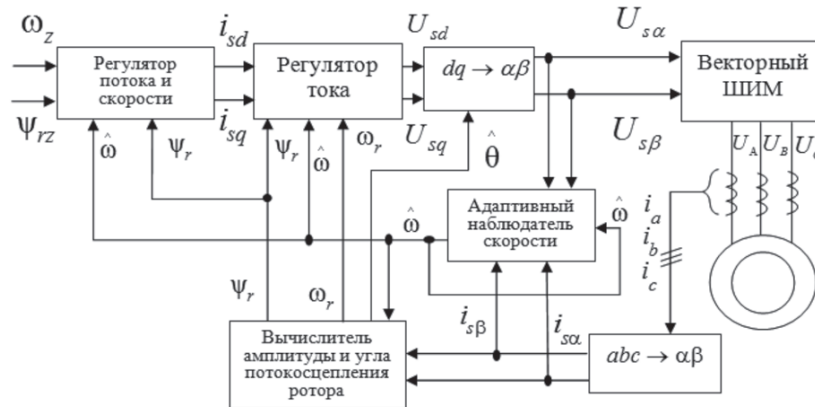


Рис. 1. Структурная схема бездатчиковой векторной системы управления

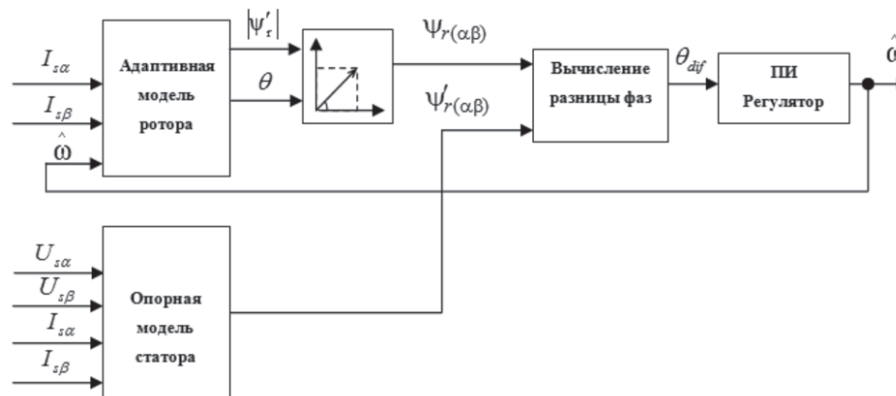


Рис. 2. Функциональная схема адаптивного наблюдателя

Синтез регулятора для наблюдателя скорости осуществляется с использованием стандартных настроек, с компенсацией наибольшей постоянной времени роторной цепи [1].

Составим опорную модель статора, для этого запишем векторные уравнения равновесия ЭДС статора и взаимосвязи потокосцеплений и токов статора и ротора для Т-образной схемы замещения [1, 5]:

$$\begin{cases} \vec{U}_s = \frac{d\vec{\Psi}_s}{dt} + \vec{I}_s R_s \\ \vec{\Psi}_s = L_s \vec{I}_s + L_m \vec{I}_r \\ \vec{\Psi}_r = L_m \vec{I}_s + L_r \vec{I}_r \end{cases} \quad (1)$$

где L_s, L_r – полные индуктивности обмоток статора и ротора; R_s, R_r – сопротивления обмоток статора и ротора; L_m – взаимная индуктивность обмотки статора и ротора; $\vec{I}_s$ и $\vec{I}_r$ – обобщенные векторы тока статора и ротора; $\vec{U}_s$ – обобщенный вектор напряжения статора; $\vec{\Psi}_s$ и $\vec{\Psi}_r$ – обобщенные векторы потокосцепления статора и ротора.

Из данной системы уравнений выразим векторы $\vec{\Psi}_s$ и $\vec{I}_r$:

$$\vec{\Psi}_s = \int (\vec{U}_s - \vec{I}_s R_s) dt, \quad (2)$$

$$\vec{I}_r = \frac{1}{L_m} \vec{\Psi}_s - \frac{L_s}{L_m} \vec{I}_s. \quad (3)$$

Подставим полученные выражения (2) и (3) в последнее уравнение системы (1) и определим вектор $\vec{\Psi}_r$, который используется для построения адаптивной модели ротора:

$$\vec{\Psi}_r = \frac{L_r}{L_m} \left(\int (\vec{U}_s - \vec{I}_s R_s) dt - \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}\right) L_s \vec{I}_s \right). \quad (4)$$

Полученное уравнение (4) непосредственно является моделью статора, которая отражает взаимосвязь токов и напряжений статора. Однако при практической реализации вычисления потокосцепления ротора по уравнению (4), возникает проблема связан с накоплением интегральных ошибок измерения токов и напряжений статора, что приводит к некорректному определению потокосцепления. Для решения обозначенной проблемы заменим блок интегрирования аperiodическим звеном и перепишем уравнение (4) в проекциях на оси $\alpha\beta$ [5]:

$$\begin{cases} \Psi_{r\alpha} = \frac{L_r}{L_m} \left(\frac{(U_{s\alpha} - I_{s\alpha} R_s)}{p+1} - \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}\right) L_s I_{s\alpha} \right) \\ \Psi_{r\beta} = \frac{L_r}{L_m} \left(\frac{(U_{s\beta} - I_{s\beta} R_s)}{p+1} - \left(1 - \frac{L_m^2}{L_r L_s}\right) L_s I_{s\beta} \right) \end{cases} \quad (5)$$

Система уравнений (5) позволяет вычислять потокосцепление ротора в проекциях на оси неподвижной системы координат ($\alpha\beta$) с использованием измерений напряжения и токов статора, что довольно просто решается в современных микропроцессорных преобразователях частоты.

Как уже было отмечено ранее, для построения адаптивного наблюдателя скорости одной опорной модели статора недостаточно, поэтому необходимо составить и реализовать адаптивную модель ротора.

Для решения этой задачи запишем систему уравнения равновесия ЭДС ротора и уравнения проекций потокосцеплений ротора на оси $\alpha\beta$ $\Psi_{r\alpha}$ и $\Psi_{r\beta}$:

$$\begin{cases} 0 = \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \omega_r \Psi_{r\beta} + I_{r\alpha} R_r \\ 0 = \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} + \omega_r \Psi_{r\alpha} + I_{r\beta} R_r \\ \Psi_{r\alpha} = L_r I_{r\alpha} + L_m I_{s\alpha} \\ \Psi_{r\beta} = L_r I_{r\beta} + L_m I_{s\beta} \end{cases} \quad (6)$$

Подставим в уравнения равновесия ЭДС ротора проекции потокосцеплений ротора на оси $\alpha\beta$ и получим «модель ротора» в виде следующей системы уравнений [2, 4]:

$$\begin{cases} \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} = \frac{R_r}{L_r} (L_m I_{s\alpha} - \Psi_{r\alpha}) - \omega_r \Psi_{r\beta} \\ \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} = \frac{R_r}{L_r} (L_m I_{s\beta} - \Psi_{r\beta}) + \omega_r \Psi_{r\alpha} \end{cases} \quad (7)$$

Структурная схема «моделей» статора и ротора, реализована в среде имитационного моделирования *MexBIOS* [10]. В качестве входных величин используются напряжения и токи статора в осях $\alpha\beta$.

Рассмотрим контур регулирования тока статора. На основании известного математического описания [1, 3] получен контур регулирования тока статора, структурная схема которого представлена на рис. 3.

Синтез регуляторов тока по осям d и q выполняем по известной методике с настройкой на технический оптимум [4, 8], в результате получен ПИ-регулятор с коэффициентами K_i и K_p .

Таким образом, в предложенной структуре (рис. 3), на выходе ПИ-регулятора тока, формируется управляющий вектор, который после компенсации нелинейностей и линейной коррекции, с учетом известных параметров модели АД должен сформировать заданный вектор тока на статорных обмотках.

В основе непосредственной коррекции электрического угла координатных преобразований заложен принцип формирования

реальных статорных токов по задающему вектору $\vec{U}_{sreg}(p)$ с помощью фазовой подстройки частоты. В более узком смысле коррекция угла необходима для более точной оценки потокоцепления ротора и работы адаптивной статорной модели, а также

для исключения накопления интегральных ошибок при вычислении скорости [7].

Структура системы бездатчикового управления с адаптивным наблюдателем скорости (рис. 1) была реализована в среде имитационного моделирования *MexBIOS* [10].

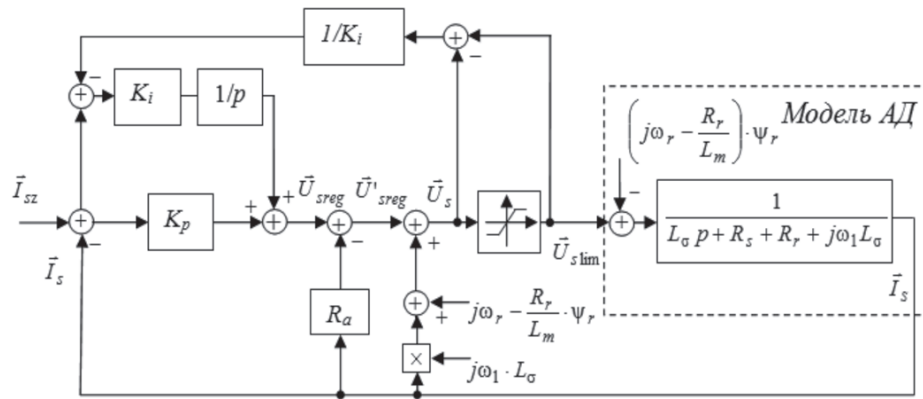
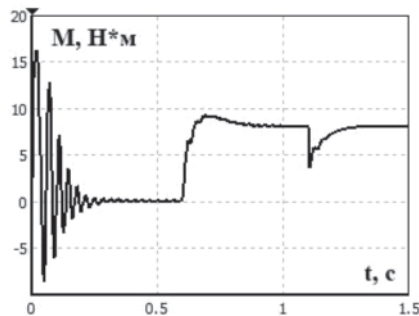
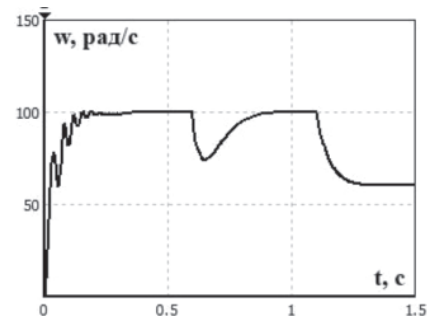


Рис. 3. Структурная схема контура регулирования тока статора

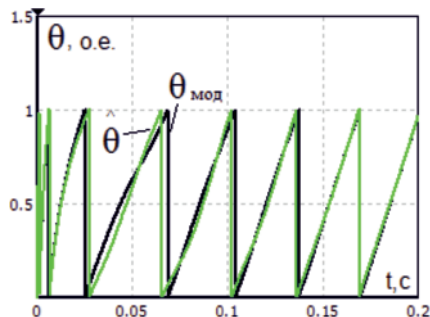


а)

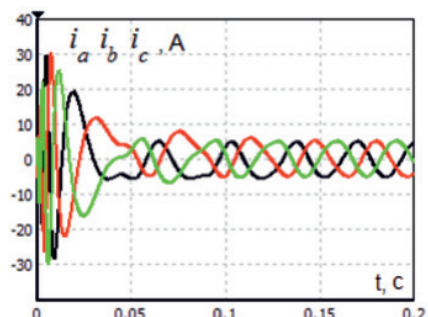


б)

Рис. 4. Переходные процессы скорости (а) и момента (б)



а)



б)

Рис. 5. Переходные процессы электрического угла (а) и токов статора (б) во время пуска

Для исследования работы системы управления при моделировании были выбраны следующие режимы:

- пуск двигателя без нагрузки с уставкой по скорости 100 рад/с ($t=0$ с);
- наброс нагрузки $M_c = 8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ($t=0,6$ с);
- изменение уставки по скорости до 60 рад/с ($t=1,1$ с).

Проанализировав полученные результаты переходных процессов (рис. 4 и рис. 5), можно сделать вывод, что все реализованные блоки выполняют расчеты корректно и бездатчиковая система управления функционирует в соответствии с заложенными критериями оптимизации. Результаты подтверждают эффективность предложенных подходов для разработки систем бездатчикового управления асинхронным двигателем. При этом следует учесть, что результаты имитационного моделирования были получены с учетом ряда допущений принятых при разработке моделей. Поэтому на следующем этапе проектирования бездатчикового управления необходима реализация системы на микропроцессорной платформе, с последующей оценкой ее работоспособности на лабораторном испытательном стенде.

Список литературы

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов / Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Издательский дом МЭИ», 2015. – 320 с.
2. Браславский И.Я., Зюзев А.М., Нестеров К.Е. Асинхронный тиристорный электропривод с бездатчиковым измерителем скорости. Электромашиностроение и электрооборудование. – 2006. – № 66. – С. 35–36.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново: Изд-во Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина, 2008. – 298 с.
4. Даденков Д.А., Солодкий Е.М., Шачков А.М. Моделирование системы векторного управления асинхронным двигателем в пакете Matlab/Simulink // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 3 (11). – С. 117–128.
5. Калачёв Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. [Электронный ресурс]. http://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/kalachev_yu_n_nablyudateli_sostoyaniya_v_vektornom_elektropr.pdf (дата обращения: 10.02.2016).
6. Козлова Л.Е., Тимошкин В.В., Глазырин А.С. Разработка наблюдателя скорости для системы управления асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 9–3. – С. 656–661.
7. Костыгов А.М., Даденков Д.А., Солодкий Е.М., Шачков А.М. Бездатчиковое векторное управление вентильным двигателем с коррекцией ошибки вычисления электрического угла // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – № 13–9. – С. 27–33.
8. Костыгов А.М., Солодкий Е.М., Даденков Д.А. Синтез регуляторов тока и скорости в системе векторного управления вентильным электроприводом // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–7. – С. 656–661.
9. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Х.: Изд-во «Основа», 2004. – 210 с.
10. MexBIOS Development Studio – визуальная среда разработки и моделирования. [Электронный ресурс]. <http://mechatronica-pro.com/ru/catalog/software/mexbiosdevelopmentstudio> (дата обращения: 20.04.2016).

References

1. Anuchin A.S. Sistemy upravleniya jelektroprivodov / Uchebnik dlja vuzov. M.: Izd-vo «Izdatskij dom MEI», 2015. 320 p.
2. Braslavskij I.Ja., Zjuzev A.M., Nesterov K.E. Asinhronnyj tiristornyj jelektroprivod s bezdatchikovym izmeritelem skorosti. Jelektromashinostroenie i jelektrooborudovanie. 2006. no. 66. pp. 35–36.
3. Vinogradov A.B. Vektornoe upravlenie jelektroprivodami peremennogo toka. Ivanovo: Izd-vo Ivanovskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta imeni V.I. Lenina, 2008. 298 p.
4. Dadenkov D.A., Solodkij E.M., Shachkov A.M. Modelirovanie sistemy vektornogo upravleniya asinhronnym dvigatelem v pakete Matlab/Simulink // Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Jelektrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravleniya. 2014. no. 3 (11). pp. 117–128.
5. Kalachjov Ju.N. Nabljudateli sostojanija v vektornom jelektroprivode. [Jelektronnyj resurs]. http://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/kalachev_yu_n_nablyudateli_sostoyaniya_v_vektornom_elektropr.pdf (data obrashhenija: 10.02.2016).
6. Kozlova L.E., Timoshkin V.V., Glazyrin A.S. Razrabotka nabljudatelja skorosti dlja sistemy upravleniya asinhronnogo jelektroprivoda s tiristornym reguljatorom naprijazhenija // Fundamentalnye issledovanija. 2012. no. 9–3. pp. 656–661.
7. Kostygov A.M., Dadenkov D.A., Solodkij E.M., Shachkov A.M. Bezdatchikovoje vektornoe upravlenie ventilnym dvigatelem s korrekciej oshibki vychislenija jelektricheskogo ugla // Informacionno-izmeritelnye i upravljajushhie sistemy. 2015. no. 13–9. pp. 27–33.
8. Kostygov A.M., Solodkij E.M., Dadenkov D.A. Sintez reguljatorov toka i skorosti v sisteme vektornogo upravleniya ventilnym jelektroprivodom // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 11–7. pp. 656–661.
9. Perelmutter V.M. Prjamoe upravlenie momentom i tokom dvigatelej peremennogo toka. H.: Izd-vo «Osnova», 2004. 210 p.
10. MexBIOS Development Studio vizualnaja sreda razrabotki i modelirovanija. [Jelektronnyj resurs]. <http://mechatronica-pro.com/ru/catalog/software/mexbiosdevelopmentstudio> (data obrashhenija: 20.04.2016).

УДК 621.4(470.53-25):004.42

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОВЕРКИ, УЧЕТА И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В PLM-СИСТЕМЕ TEAMCENTER

Елтышев Д.К., Кулик В.Д.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, e-mail: vsevolod.dm@gmail.com

В работе рассмотрены вопросы автоматизации процесса передачи-приема электронной конструкторской документации от предприятий-разработчиков и последующей ее проверки на соответствие выставленным требованиям предприятия-изготовителя в системе управления жизненным циклом изделия (на примере PLM-системы Teamcenter). Разработана функциональная модель процесса «как должно быть» с использованием методологии IDEF0. Описан алгоритм приема и обработки электронной конструкторской документации в PLM-системе. Детально формализованы правила, критерии и процедуры автоматической проверки электронной конструкторской документации, позволяющие классифицировать ее в соответствии с различными статусами. Затронуты процессы формирования учетных карточек, регистрации документов в журнале и ее распределения по бизнес-процессам согласования с производственными службами. Разработано дополнительное программное обеспечение для PLM-системы, позволяющее уменьшить трудоемкость работы администраторов обмена данными предприятия.

Ключевые слова: машиностроение, конструкторская документация, жизненный цикл изделия, электронная структура изделия, PLM-система

AUTOMATIZATION OF DIGITAL ENGINEERING DOCUMENTATION VERIFICATION, ACCOUNTING AND DISTRIBUTION PROCESSES IN TEAMCENTER PLM-SYSTEM

Eltyshov D.K., Kulik V.D.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vsevolod.dm@gmail.com

This research work deals with a subject of digital engineering documentation transmitting process automatization delivered from enterprises-developers and its further audit for compliance with requirements provided by manufacturing facility for a system of product life cycle management. «As should be» process functional model with a usage of IDEF0 methodology was developed. The algorithm of receipt and processing of digital engineering documentation in PLM-system was described. The rules, criterion and procedure of digital engineering documentation automated audit were formalized. They allow to classifier documentation according to different statuses. The processes of record cards issue, documentation maintenance in log book and its distribution through agreement business-processes with production specialists were considered. In order to minimize a labour intensity of administrators responsible for enterprise data exchange an additional software for PLM-system was developed.

Keywords: machinery manufacturing, design documentation, product life cycle, product electronic structure, PLM-system

Процесс разработки конструкторского состава двигателя, безусловно, один из самых важных этапов в процессе создания новых авиационных изделий. До недавних пор процедуры разработки и изменения изделий велись в основном в бумажном варианте. Однако организация данного процесса с использованием соответствующих программных средств, например, PLM-систем, позволяет ускорить как этап проектирования и выпуска электронной конструкторской документации (ЭКД), так и этап её технологической проработки и согласования на заводе-изготовителе [1, 4, 5].

Множество предприятий (например, ОАО «Авиадвигатель», ОАО «Московский вертолетный завод им. М.Л. Миля», АО «Воткинский завод» и др.) на текущий момент активно внедряют и развивают процедуры проектирования и согласо-

вания продукции в электронном формате, а электронная конструкторская документация (ЭКД) регламентирована [2] и принимается за самостоятельную подлинную документацию.

Стоит отметить, что для ведения ЭКД необходимо обеспечить полноту, достоверность и сохранность документации во время процедуры ее приема-передачи посредством сетевых технологий. Следует начинать с формирования полного комплекта документов и наполненности всех атрибутивных свойств. При несоблюдении этих требований в PLM-системе между объектами ЭКД могут нарушаться электронные связи, что увеличит сроки согласования из-за отсутствия важной для производственных подразделений информации.

Перечисленные ошибки и неточности в передаваемой ЭКД вызывают потреб-

ность повышения уровня автоматизации при работе с документацией на крупных машиностроительных предприятиях [6]. Внедрение дополнительных алгоритмических проверок на правильность заполнения атрибутивной информации (по возможности для каждого предприятия, участвующего в процессе приема-передачи) позволяет решить эту задачу для большого объема поступающей документации. Отдельно следует отметить, что относительная молодость процедур ведения ЭКД, специфика различных производств и требований к разработке, уникальных на каждом предприятии, делают практически невозможной или очень трудоемкой реализацию универсального механизма проверки документации в *PLM*-системах.

Постановка цели и задач

Корпорация АО «ОДК» состоит из одиннадцати двигателестроительных компаний, распределенных территориально. Каждое предприятие имеет свой исторически сложившийся процесс создания и сопровождения конструкторской документации. Каждое предприятие применяет различное программное обеспечение для решения задач производства. Совокупность непростых механизмов передачи ЭКД, отсутствие тесного взаимодействия и синхронизации проводимых работ при организации изменений является одной из причин, почему ни одна автоматизирован-

ная среда не позволяет создавать на предприятии качественную ЭКД без соответствующей настройки и адаптации.

Функция передачи-приема ЭКД на АО «ОДК-ПМ» возложена на несколько администраторов обмена данными (АОД). Дополнительными факторами, увеличивающими трудоемкость выполнения функций администраторов, являются: сложность некоторых технических аспектов, просмотр большого количества атрибутивной информации с определенными правилами и условиями ее обработки, проверка на комплектность документации, проверка наличия электронных графических моделей (ЭГМ), целостность электронной структуры изделия (ЭСИ) и т.д. Помимо всего, АОД ответственны за учет поступившей ЭКД, запуск процессов согласования и рассылку конструкторской документации по производственным подразделениям.

Целью и задачами данной работы является создание механизмов автоматизации процесса проверки, учета и регистрации ЭКД в соответствии с установленными на предприятии требованиями посредством разработки программного обеспечения, расширяющего базовые функции *PLM*-системы.

Общее описание процесса проверки ЭКД

Общая схема движения ЭКД представлена на рис. 1.

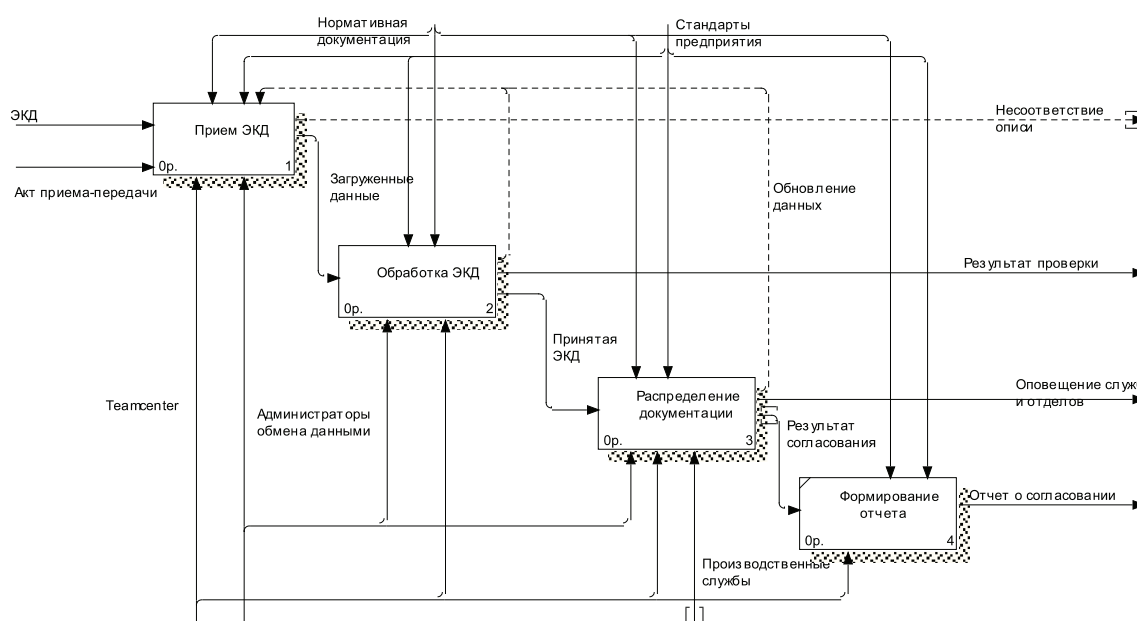


Рис. 1. Схема движения документации в методологии IDEF0

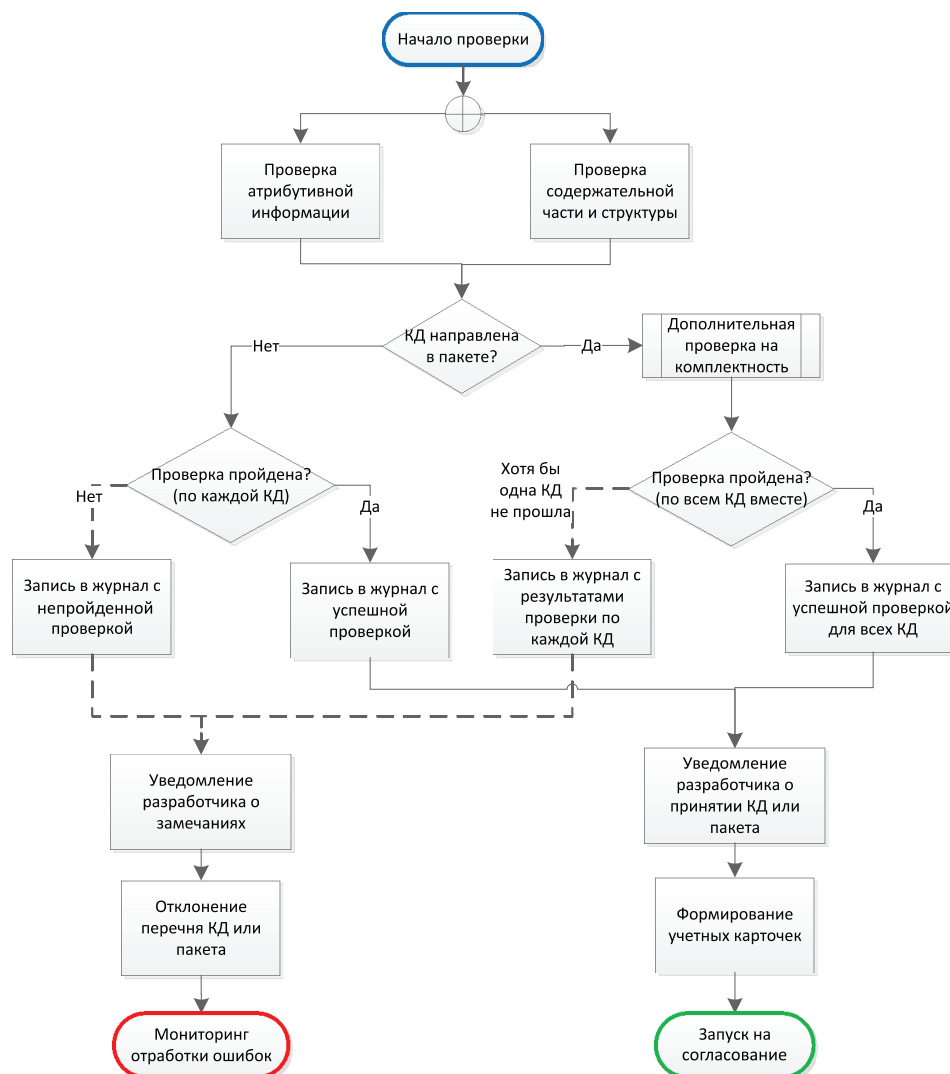


Рис. 2. Алгоритм работы при приеме и обработке ЭКД

При получении ЭКД от предприятия-разработчика АОД производит автоматическую и визуальную проверку. Визуально проверяют наличие в системе Teamcenter АО «ОДК-ПМ» всех позиций, указанных в описи сопроводительного письма. При отсутствии хотя бы одной позиции специалист оповещает об этом предприятие-разработчика по электронной почте с указанием всех отсутствующих позиций. Работа по всем позициям из описи приостанавливается до получения полного комплекта ЭКД.

Автоматическая проверка ЭКД проходит в несколько последовательных этапов:

- проверка на комплектность;
- проверка атрибутивной части;
- проверка содержательной части.

По завершению всех этапов проверки формируется запись в электронном журна-

ле регистрации ЭКД с указанием результатов проверки. Детальный алгоритм приема и обработки документации администратором обмена данных приведен на рис. 2.

В результате проверки документации могут быть присвоены следующие статусы:

– **«Без замечаний»**: ЭКД соответствует требованиям условий проверок и доступно для отправки специалистом по указанному бизнес-процессу. Администратору обмена данными предприятия-разработчика, направившего ЭКД, автоматически направляется уведомление по электронной почте о принятии ЭКД. В журнале регистрации формируется запись «Без замечаний», для утвержденной КД формируются учетные карточки;

– **«Допустимые замечания»**: замечания, при которых ЭКД доступно для рабо-

Вторая часть – проверка наличия атрибутов. В них содержится востребованная информация по характеристикам КД: масса и материал изготавливаемых деталей, формат чертежей или отметка бесчертежности, первичная применяемость детали (в сборочной единице), причина и содержание изменений у извещений на изменение, литера для контрольного или текущего пакета документации.

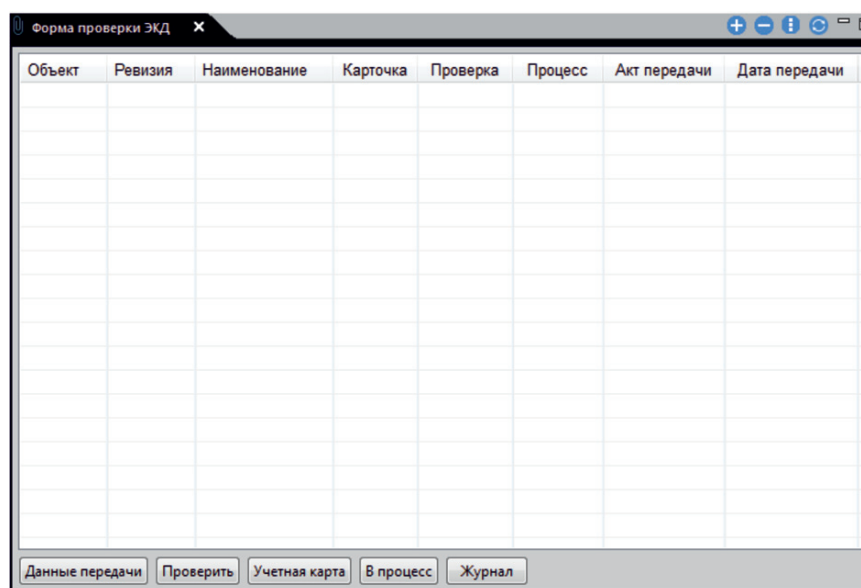


Рис. 3. Визуальное представление пользовательского интерфейса

Проверка содержательной части КД принимает значение «Без замечаний» при соблюдении следующих условий:

- наличие представления электронного чертежа, спецификаций в формате pdf;
- полная электронная структура изделия: наличие всех составляющих дсе на верхнем и остальных уровнях раскрытия сборочной единицы;
- наличие электронной графической модели и электронного чертежа (если не оформляется комплект без чертежа);
- для элементов типа «прочее» наборов данных типа «электронные чертежи», «эскизы», «ту», «паспорт»;
- для извещений на изменение – pdf-представление содержания извещения, таблицы изменения структуры для сборочных единиц в виде набора данных формата xml, приложенные изделия хотя бы по одной связи «Утвердить» или «Аннулировать».

Все вышеописанные критерии и условия – не весь список проверки ЭКД на соответствие выставленным требованиям. Однако даже выполнение описанных действий визуально – кропотливая и трудоемкая работа. Разработанное программное обеспечение автоматизирует большую часть работ АОД в системе Teamcenter. Проверка множества объектов на полноту и корректность атрибутов заложена в процедуры обработки нажатия кнопок интерфейса, что снижает вероятность ошибки при визуальном контроле, а проработка сборочной единицы из сотни объектов занимает всего несколько минут. Вид интерфейса представлен на рис. 3.

Заключение

Результатом выполнения поставленных задач по автоматизации процессов проверки, учета и регистрации ЭКД служат разработанные: алгоритмы проверки документации; требования к обязательному содержанию документации; пользовательский интерфейс работы администраторов обмена данными в системе Teamcenter.

Предложенные механизмы автоматизации позволяют снизить трудоемкость на

обработку ЭКД, повысить качество проверки документации и исполнять функции запуска электронных процессов в PLM-системе без участия администраторов обмена данными.

Список литературы

1. ГОСТ 2.051-2013 Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения. – Введ. 2014-06-01. – М.: Стандартинформ, 2014. – 10 с.
2. ГОСТ 2.511-2011 Единая система конструкторской документации. Правила передачи электронных конструкторских документов. Общие положения. – Введ. 2012-01-01. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
3. Когогин С.А., Мингалева Г.Ф., Силенов М.А. Управление конструкторско-технологической подготовкой производства изделий на основе информационной системы «Teamcenter» // Поиск эффективных решений в процессе создания и реализации научных разработок в авиационной и ракетно – космической промышленности Международная научно-практическая конференции. – 2014. – С. 634–636.
4. Тороп Д.Н., Терликов В.В. Teamcenter. Начало работы // ДМК – Пресс. – 2011. – С. 215–217.
5. Стерлинг Э. PLM – Источник инноваций // САПР и графика. – 2011. – № 5. – С. 8–9.
6. Чижов М.И., Бредихин А.В., Хаустова Т.О., Гирчев Н.А. Автоматизация внесения архива конструкторско-технологической документации в PLM систему Teamcenter // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – № 1. – С. 38–40.

References

1. GOST 2.051-2013 Edinaja sistema konstruktorskoj dokumentacii. Jelektronnye dokumenty. Obshhie polozhenija. Vved. 2014-06-01. M.: Standartinform, 2014. 10 p.
2. GOST 2.511-2011 Edinaja sistema konstruktorskoj dokumentacii. Pravila peredachi jelektronnyh konstruktorskih dokumentov. Obshhie polozhenija. Vved. 2012-01-01. M.: Standartinform, 2011. 11 p.
3. Kogogin S.A., Mingaleeva G.F., Silenov M.A. Upravlenie konstruktorsko-tehnologicheskoj podgotovkoj proizvodstva izdelij na osnove informacionnoj sistemy «Teamcenter» // Poisk jeffektivnyh reshenij v processe sozdanija i realizacii nauchnyh razrabotok v aviacionnoj i raketno kosmicheskoj promyshlennosti Mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencii. 2014. pp. 634–636.
4. Torop D.N., Terlikov V.V. Teamcenter. Nachalo raboty // DMK Press. 2011. pp. 215–217.
5. Sterling Je. PLM Istochnik innovacij // SAPR i grafika. 2011. no. 5. pp. 8–9.
6. Chizhov M.I., Bredihin A.V., Haustova T.O., Girchev N.A. Avtomatizacija vnesenija arhiva konstruktorsko-tehnologicheskoj dokumentacii v PLM sistemu Teamcenter // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2012. no. 1. pp. 38–40.

УДК 621.3.078:681.513.66

СЛЕДЯЩИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ С АДАПТИВНЫМИ К ЗАДАЮЩИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ ЭТАЛОННЫМИ МОДЕЛЯМИ

Казанцев В.П., Лыков А.Н., Даденков Д.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: dadenkov@mail.ru*

Рассмотрены вопросы повышения динамической точности обработки следящими электроприводами произвольно меняющегося задающего воздействия за счет обеспечения частичной инвариантности и астатического регулирования. Показано, что повышение добротности следящих электроприводов и упрощение процедуры синтеза регулятора положения и корректирующих звеньев в параллельных каналах компенсации позиционной и скоростной ошибки возможно за счет предварительного формирования оптимальных по быстродействию и точности фазовых переменных электропривода, таких как положение, скорость, ускорение и, в общем случае, рывок. Для этого предлагается вместо стационарных задатчиков интенсивности второго рода (позиционной и скоростной S-рампы) на входах замкнутых контуров регулирования положения и скорости установить адаптивную к параметрам задающего воздействия эталонную модель изменения этих фазовых переменных во времени. Показано, что при этом существенно упрощается процесс синтеза регуляторов и параллельных корректирующих звеньев электропривода, а также настройки (параметрирования) микропроцессорного контроллера. Представлены функциональные схемы следящего квазиинвариантного к задающим воздействиям электропривода и адаптивной эталонной модели, а также результаты имитационного моделирования, подтверждающие эффективность предложенных технических решений.

Ключевые слова: следящий электропривод, адаптивная эталонная модель, фазовые переменные, добротность, астатизм, имитационное моделирование

SERVO DRIVE SYSTEMS WITH ADAPTIVE TO POSITION COMMANDS REFERENCE MODELS

Kazantsev V.P., Lykov A.N., Dadenkov D.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: dadenkov@mail.ru

The problems of improving the dynamic accuracy of servo drives with arbitrarily changing setpoint by providing partial invariance and astatic control are considered. It is shown that increase of good quality of servo drives and simplification of procedure of synthesis of the position regulator can be realized with use of preliminary formation optimum on high-speed performance and accuracy of phase variables of the electric drive, such as position, speed, acceleration and breakthrough. It is for this purpose instead of stationary intensity actuators of the second kind (positional and high-speed S-ramp) on inputs of closed circuits of regulation of position and speed is set a reference model which provides optimal formation of these phase variables over time. It is shown that significantly simplifies the process of synthesis of regulators and parallel corrective link of electric drive, as well as the parameterization of microprocessor controller. The functional diagram of servo drive quasiinvariant to the input signal and the adaptive reference model, and also the results of simulation modeling confirming efficiency of the proposed technical solutions are provided.

Keywords: electric servo drive, adaptive reference model, phase variables, servo quality, astatic control, simulation

Современные следящие электроприводы (СЭП) обеспечивают очень высокие показатели качества обработки задающих и возмущающих воздействий, причем заявленное производителями время переходных процессов маломощных сервоприводов по контуру регулирования положения не превышает 20–60 мс, а полоса пропускания замкнутого контура регулирования положения уже достигает уровня 100–300 Гц.

При современном уровне развития теории оптимального и адаптивного управления, микропроцессорной и силовой полупроводниковой схемотехники контур регулирования момента является практически безынерционным и его, как правило, в задачах синтеза и анализа СЭП аппроксимируют простейшим аperiodическим звеном первого порядка с ничтожно малой посто-

янной времени, не превышающей нескольких миллисекунд, а для маломощных сервоприводов – долей миллисекунд [13–15]. Однако доминирующую роль в формировании показателей качества технологических процессов с применением СЭП играют его фазовые переменные – скорость вращения и положение вала электродвигателя или линейные скорость и перемещение рабочего органа, что предполагает необходимость повышения быстродействия именно этих фазовых переменных. При этом традиционная архитектура СЭП не меняется уже несколько десятилетий, базируется на принципах подчиненного регулирования координат [1–5], и замкнутый контур регулирования положения включает в себя подчиненные контуры регулирования скорости и момента (тока).

Постановка задачи исследований

Для ограничения фазовых переменных в современных СЭП на входе замкнутых контуров регулирования положения и скорости устанавливают задатчики интенсивности первого или, что чаще, второго рода (S -рампы) и различные фильтры нижних частот, режекторные фильтры и др. [5, 13–15]. Это требует задания как минимум трех параметров S -рампы – величин допустимого ускорения и замедления, предельной скорости, величины предельно допустимого момента или механического рывка электропривода и времени их действия, а также постоянных времени фильтров или временных задержек изменения задающих сигналов. Это позволяет ограничить фазовые переменные СЭП на допустимых уровнях при изменении задания положения электропривода. Однако соподчиненность контуров регулирования положения, скорости и момента с включенными S -рампами и фильтрами на входах контуров приводит к ряду отрицательных последствий [2–5, 9]:

- неминусуемое снижение быстродействия внешнего контура регулирования положения вследствие необходимости специфического распределения корней характеристических полиномов соподчиненных контуров в соответствии с фильтрами Баттерворта или аналогичными фильтрами низких частот, что принципиально не позволяет достичь предельного быстродействия отработки ошибок СЭП;

- обеспечение астатизма за счет введения интегральных компонент в структуры контурных регуляторов требует установки и параметрирования предшествующих фильтров для снижения перерегулирования или принятия специальных мер для исключения эффекта «накопленной ошибки», что дополнительно усложняет настройку микропроцессорных контроллеров СЭП, требует от наладчика детального изучения инструкций по наладке, знания тонкостей теории автоматического управления при вводе значений многочисленных параметров;

- включение инерционных звеньев (S -рампы и предшествующих фильтров) до компенсирующих позиционную и скоростную ошибки связей заведомо усугубляет условия для достижения хотя бы частичной инвариантности по отношению к задающим воздействиям.

Таким образом, анализ современного состояния СЭП позволил выделить три актуальных задачи исследований:

- разработка адаптивной к параметрам задающего воздействия эталонной модели (АЭМ), обеспечивающей формирование

фазовых переменных СЭП (скорости, ускорения и рывка) с предельным быстродействием при заданных ограничениях;

- разработка процедуры синтеза регулятора положения и корректирующих звеньев для обеспечения частичной инвариантности СЭП и требуемого порядка астатизма по задающим воздействиям;

- имитационное моделирование разработанных СЭП для оценки таких показателей.

Рассмотрим обобщенную функциональную схему, содержащую две замкнутые обратными связями подсистемы (рис. 1).

1. Замкнутую подсистему адаптивной эталонной модели (АЭМ), включающую объект управления АЭМ – ОУ АЭМ, представляющий собой интегратор n -го порядка (для определенности в дальнейшем будем полагать, что $n = 2$), устройство управления АЭМ – УУ АЭМ, устройство вычисления периода управления – УВПУ.

2. Замкнутую подсистему собственно СЭП.

АЭМ включена на входе подсистемы СЭП и представляет собой адаптивный к параметрам внешней среды задатчик интенсивности того или иного порядка в зависимости от порядка интегратора АЭМ.

Обозначения переменных: $\mathbf{X}^{**}(t)$ – задающее воздействие внешней среды (в данном случае положения СЭП), $\mathbf{X}^{**}(t) = x_1^{**}(t)$; $\mathbf{X}_{\max}^*(t)$ – заданный вектор ограничений фазовых переменных СЭП, в общем случае допускающий изменения во времени; для АЭМ 2-го порядка

$$\mathbf{X}_{\max}^*(t) = [x_{2\max}^*(t) \quad x_{3\max}^*(t)]^T,$$

где $x_{2\max}^*(t)$, $x_{3\max}^*(t)$ – предельно допустимые значения скорости и ускорения электропривода, причем $x_{3\max}^*(t) = U_{\max}(T_i)$; $T_{\min}$ – минимальное значение периода дискретного управления, определяющее полосу пропускания АЭМ в режиме малых отклонений переменных АЭМ и ограничивающее тем самым полосу пропускания разомкнутого тракта АЭМ – СЭП; $\mathbf{X}^*(t)$ – вектор фазовых переменных эталонной модели, $\mathbf{X}^*(t) = [x_1^*(t) \quad x_2^*(t)]$; $\mathbf{F}(t)$ – вектор возмущений внешней среды, к основной компоненте которого относят изменение нагрузки на валу электропривода.

Вектор $\mathbf{X}(t)$ состояния СЭП содержит как минимум три компоненты: положение, скорость и электромагнитный момент (ток), но может содержать некоторый набор дополнительных переменных в зависимости от степени детализации элементов СЭП.

Будем полагать, что процессы в замкнутой АЭМ описываются дискретно-непрерывным уравнением:

$$\dot{\mathbf{X}}^*(t) = \mathbf{A}^* \mathbf{X}^*(t) + \mathbf{B}^* U(T_i), \quad (1)$$

где $U(T_i)$ – дискретное (цифровое) управление интеграторами эталонной модели,

$$U(T_i) = \beta(T_i) (\mathbf{X}^{**}(t) - \mathbf{X}^*(t)), \quad (2)$$

где T_i – период цифрового управления эталонной модели, изменяемый в некоторые i – моменты времени изменения задания внешней среды, $i = 1, 2, \dots$, $\beta(T_i)$ – матрица искоемых параметров управления АЭМ, зависящих от варьируемого периода T_i цифрового управления АЭМ, $\mathbf{A}^*$ – матрица со-

стояния АЭМ, $\mathbf{A}^* = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$, $\mathbf{B}^*$ – матрица управления АЭМ, $\mathbf{B}^* = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$.

Полагая, что АЭМ формирует оптимальные по быстродействию изменения выходной переменной, для нахождения неизвестных параметров матрицы $\beta(T_i)$ воспользуемся теоремой об n интервалах цифровых финитных систем управления и методикой синтеза, детально рассмотренной в [6–8]. С учетом принятых моделей (1), (2) ниже представлены результаты синтеза для АЭМ второго порядка:

$$\beta(T_i) = \begin{bmatrix} 1/T_i^2 & 1,5/T_i \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где $T_i = \sqrt{\frac{\Delta x_1^*(T_i)}{X_{3\max}^*(t)}}$ – расчетное значение

периода дискретного управления, $\Delta x_1^*(T_i) = x_1^{**}(T_i) - x_1^*(T_i)$ – приращение задания выходной переменной АЭМ в некоторый заранее неизвестный i -й момент времени изменения задающего воздействия.

Обобщенная функциональная схема СЭП, соответствующая общепринятым структурам следящих электроприводов мировых производителей [5, 13–15], приведена на рис. 2.

Заметим, что при наличии АЭМ, формирующей вектор заданных фазовых переменных СЭП, корректирующие динамические звенья, обеспечивающие компенсацию позиционной и скоростной ошибки, становятся структурно проще. Несложно показать, что вместо дискретного ПДД-корректирующего звена достаточно применить два пропорциональных звена между выходами АЭМ по заданию скорости и ускорения и, соответственно, входами регуляторов скорости и момента. При этом СЭП обрабатывает эталонные задающие воздействия $\mathbf{X}^*(t)$ сразу нескольких фазовых переменных. В общем случае (при $n = 3$) – это заданное положение рабочего органа и его три производных по времени – скорость, ускорение, рывок. При $n = 2$ задание рывка отсутствует.

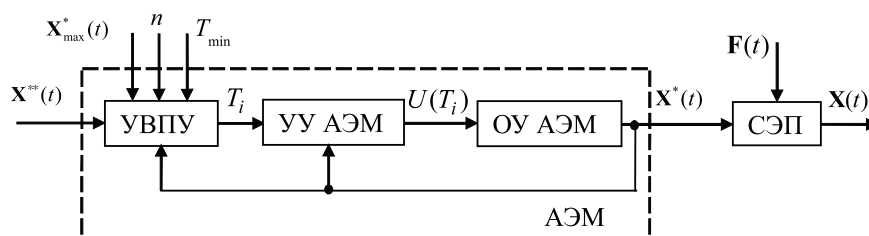


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема СЭП с АЭМ

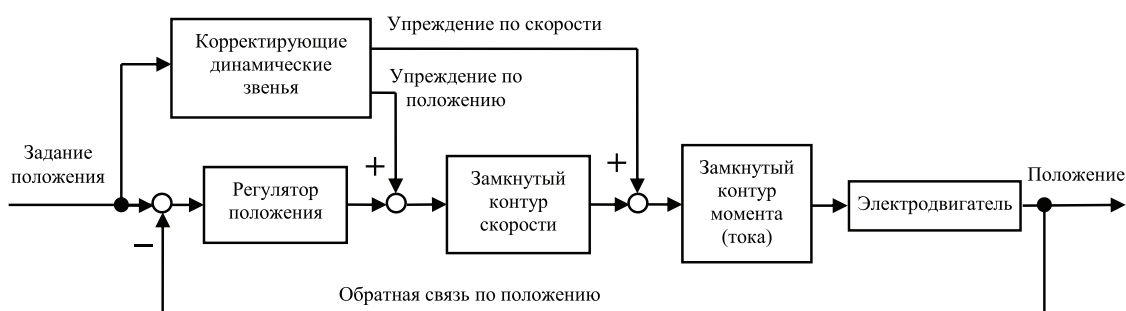


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема СЭП

При использовании цифрового регулятора состояния в качестве регулятора положения ситуация аналогична, т.к. результат его синтеза дает равные коэффициенты по заданию и обратным связям [6, 10, 12], что эквивалентно одновременной отработке вектора ошибок слежения по координатам положения, скорости и ускорения. Именно это обстоятельство позволяет существенно увеличить добротности СЭП по скорости и ускорению, сводя динамическую установившуюся ошибку слежения при типовых степенных тестовых воздействиях практически к нулю. Разумеется, для того, чтобы обеспечить высокую добротность СЭП еще и по рывку, необходимо применить АЭМ как минимум 3-го порядка. Заметим, что регулятор состояния может быть синтезирован как для структуры с подчиненными контурами скорости и момента (тока), так и только с подчиненным контуром момента (тока).

На рис. 3 приведены результаты моделирования переходных процессов в АЭМ. Приведены сформированные эталонной моделью сигналы задания трех фазовых переменных (сверху вниз) – положения, скорости и ускорения при следующих приращениях задающих воздействий на входе АЭМ: 0,05 рад при $t = 0$ с, 0,95 рад при $t = 0,2$ с и 9 рад при $t = 1$ с.

Заметим, что период дискретизации в АЭМ при формировании эталонных фазовых переменных СЭП меняется таким образом, что реализуется предельное быстродействие при заданных ограничениях фазовых переменных, а также формирова-

ние зоны линейной работы АЭМ заданием минимального значения $T_{\min}$. В этой зоне время переходного процесса неизменно, равно $nT_{\min}$, а заданное ускорение не достигает допустимого ограничения.

На рис. 4, а приведены результаты моделирования переходных процессов по положению, скорости и ускорению (сверху вниз) в сквозном тракте АЭМ-СЭП при «постоянной заводке по ускорению» на уровне 50 рад/с². Такт дискретного управления принят равным 0,001 с. В момент времени, равный 0,1 секунды, имитируется реакция СЭП на ступенчатое приложение к валу двигателя номинальной нагрузки.

На рис. 4, б приведены результаты моделирования переходных процессов в сквозном тракте АЭМ-СЭП с цифровым регулятором состояния (положение, скорость, ускорение) и подчиненным контуром регулирования тока якоря при тех же параметрах объекта управления и тестовых воздействиях, что и в предыдущем случае. Синтез регулятора состояния выполнен по критерию финитного управления [10, 12] за три интервала дискретного управления с постоянным периодом, равным 0,02 секунды.

Анализ результатов моделирования позволяет сделать следующие выводы:

– АЭМ формирует оптимальные по быстродействию задания фазовых переменных, причем ограничение ускорения на уровне 50 рад/с² и ограничение сигнала дискретного управления АЭМ происходит только при достаточно больших приращениях задания положения, сформированных внешней средой (см. рис. 3);

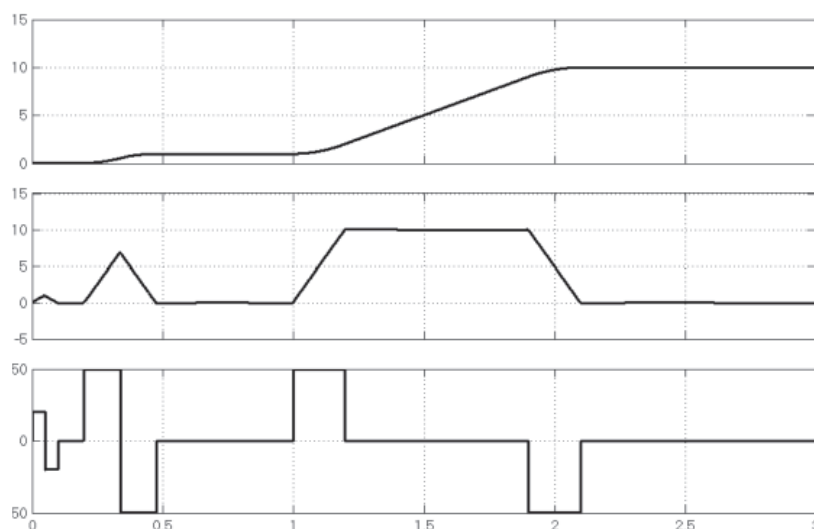
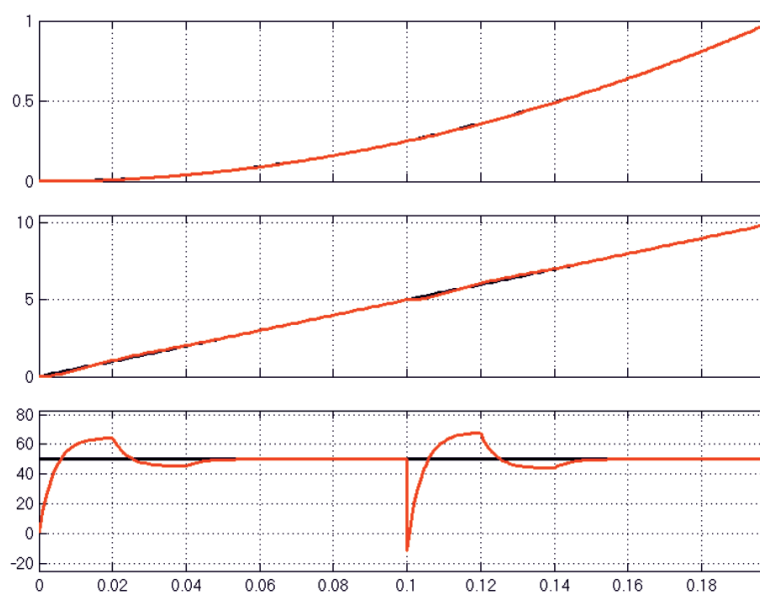
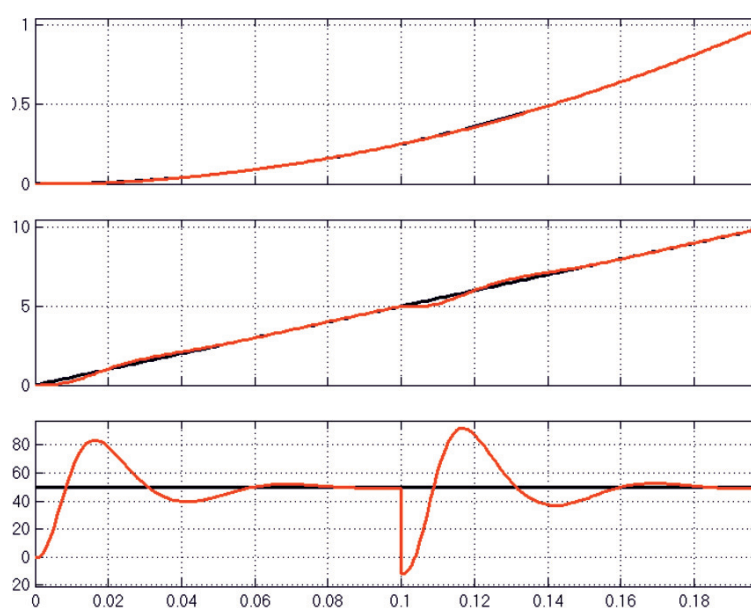


Рис. 3. Результаты моделирования процессов в АЭМ



а)



б)

Рис. 4. Результаты моделирования процессов в СЭП с типовой структурой (а) и с финитным регулятором состояния (б)

– обе СЭП отрабатывают эталонное задание фазовых переменных с минимальной инерцией, практически дублируя задание (см. рис. 4, а–б);

– в СЭП с финитным регулятором состояния по сравнению с типовой СЭП до-

бротность по ускорению в 4,3 раза выше и достигает уровня $6,5 \cdot 10^5 \text{ с}^{-2}$, а динамическая ошибка слежения – во столько же раз меньше при равных условиях моделирования и примерно равном времени переходных процессов (0,06 с).

Заключение

В результате проведенных исследований предложен новый подход к построению предельных по быстродействию и точности следящих электроприводов с адаптивными к параметрам задающих воздействий эталонными моделями. На основе предложенного подхода разработана оригинальная методика синтеза эталонных моделей, обеспечивающих оптимальность формирования до четырех фазовых переменных СЭП по критерию быстродействия с формированием переменного такта дискретного управления. При этом в эталонной модели реализуется возможность ограничения фазовых переменных на допустимых уровнях, что позволяет при синтезе регуляторов СЭП применить широкий арсенал методов линейной теории управления и упростить тем самым структуру и настройку системы управления. Результаты имитационного моделирования предложенных структур СЭП с АЭМ подтвердили эффективность предложенного подхода.

Список литературы

1. Батоврин А.А., Дашевский П.Г., Лебедев В.Д., Марков Б.А. Цифровые системы управления электроприводами. – Л.: Энергия, 1977. – 256 с.
2. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
3. Борцов Ю.А., Поляхов Н.Д., Путлов В.В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 216 с.
4. Герман-Галкин С.Г. Matlab & Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – СПб: Изд-во Корона-Век, 2014. – 368 с.
5. Гусев Н.В., Букреев В.Г. Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: учебное пособие / Н.В. Гусев, В.Г. Букреев – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 213 с.
6. Даденков Д.А., Казанцев В.П. Синтез электромеханических систем управления с нелинейной адаптивной эталонной моделью // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–7. – С. 1466–1471.
7. Даденков Д.А., Казанцев В.П., Ляхомский А.В. Принципы построения адаптивных электромеханических систем управления с эталонными моделями // Электротехника. – 2015. – № 6. – С. 45–50.
8. Даденков Д.А., Казанцев В.П., Муравьев Д.И. Электромеханические системы управления с адаптивными к внешней среде эталонными моделями // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8–1. – С. 99–104.
9. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп. Пер. с англ. Б.И. Копылова. Научное издание. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.
10. Казанцев В.П., Даденков Д.А. Методика синтеза следящих электромеханических систем управления с адаптивными эталонными моделями // В мире научных открытий. № 10.2(70): Естественные и технические науки – 2015. – С. 728–741.
11. Казанцев В.П., Даденков Д.А. Эталонные модели для систем управления фазовыми переменными технологических процессов и установок // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2014. – № 3. – С. 57–61.
12. Казанцев В.П., Даденков Д.А. Программный комплекс «Синтез и анализ цифровых систем управления». Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2013660457 от 06.11. 2013 г.
13. Серводвигатели и сервопривод НПФ «Электродривод». [Электронный ресурс], URL: <http://dmotor.ru/products.htm> (дата обращения: 20.11.2016).
14. Сервосистемы Delta Electronics [Электронный ресурс]. URL: <http://www.deltronics.ru/product/servo/> (дата обращения: 20.11.2016).
15. Приводная электроника «SEW-EURODRIVE» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sew-eurodrive.ru/catalog/2/10.html> (дата обращения: 20.11.2016).
1. Batovrin A.A., Dashevskij P.G., Lebedev V.D., Markov B.A. Cifrovye sistemy upravleniya jelektroprivodami. L.: Jenergija, 1977. 256 p.
2. Basharin A.V., Novikov V.A., Sokolovskij G.G. Upravlenie jelektroprivodami. L.: Jenergoizdat, 1982. 392 p.
3. Borcov Ju.A., Poljahov N.D., Putov V.V. Jelektromehaniicheskie sistemy s adaptivnym i modalnym upravleniem L.: Jenergoatomizdat, 1984. 216 p.
4. German-Galkin S.G. Matlab & Simulink. Proektirovanie mehatronnyh sistem na PK. SPb: Izd-vo Korona-Vek, 2014. 368 p.
5. Gusev N.V., Bukreev V.G. Sistemy cifrovogo upravleniya mnogokoordinatnymi sledjashimi jelektroprivodami: uchebnoe posobie / N.V. Gusev, V.G. Bukreev Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2007. 213 p.
6. Dadenkov D.A., Kazancev V.P. Sintez jelektromehaniicheskikh sistem upravleniya s nelinejnoy adaptivnoj jetalonnoj modelju // Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 11–7. pp. 1466–1471.
7. Dadenkov D.A., Kazancev V.P., Ljahomskij A.V. Principy postroeniya adaptivnyh jelektromehaniicheskikh sistem upravleniya s jetalonnymi modeljami // Jelektrotehnika. 2015. no. 6. pp. 45–50.
8. Dadenkov D.A., Kazancev V.P., Muravev D.I. Jelektromehaniicheskie sistemy upravleniya s adaptivnymi k vneshnej srede jetalonnymi modeljami // Fundamentalnye issledovaniya. 2015. no. 8–1. pp. 99–104.
9. Dorf R. Sovremennye sistemy upravleniya / R. Dorf, R. Bishop. Per. s angl. B.I. Kopylova. Nauchnoe izdanie. M.: Laboratorija Bazovyh Znanij, 2002. 832 p.
10. Kazancev V.P., Dadenkov D.A. Metodika sinteza sledjashih jelektromehaniicheskikh sistem upravleniya s adaptivnymi jetalonnymi modeljami // V mire nauchnyh otkrytij. no. 10.2(70): Estestvennye i tehniicheskie nauki 2015. pp. 728–741.
11. Kazancev V.P., Dadenkov D.A. Jetalonnye modeli dlja sistem upravleniya fazovymi peremennymi tehnologicheskikh processov i ustanovok // Jelektrotehnicheskie komplekсы i sistemy upravleniya. 2014. no. 3. pp. 57–61.
12. Kazancev V.P., Dadenkov D.A. Programmnyj kompleks «Sintez i analiz cifrovyyh sistem upravleniya». Svidetelstvo ob oficialnoj registracii programmy dlja JeVM no. 2013660457 ot 06.11. 2013 g.
13. Servodvigateli i servoprivod NPF «Jelektroprivod». [Jelektronnyj resurs], URL: <http://dmotor.ru/products.htm> (data obrashheniya: 20.11.2016).
14. Servosistemy Delta Electronics [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.deltronics.ru/product/servo/> (data obrashheniya: 20.11.2016).
15. Privodnaja jelektronika «SEW-EURODRIVE» [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.sew-eurodrive.ru/catalog/2/10.html> (data obrashheniya: 20.11.2016).

References

УДК 65.011:676.05

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАРТОНА В ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Козлова С.В., Фещенко А.А., Широков А.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: svetlana.kozlova.1992@bk.ru*

В статье рассмотрены особенности целлюлозно-бумажного производства в контексте обеспечения работоспособности оборудования. Для оценки эффективности использования оборудования применена методика ОЕЕ (Overall Equipment Efficiency – общая эффективность оборудования). Данная методика адаптирована под проблемы предприятий целлюлозно-бумажной промышленности. Приведены основные показатели эффективности использования оборудования в соответствии с данной методикой. Система показателей обеспечения работоспособности оборудования транспонирована в конкретный инструмент управления. Разработаны формы сбора информации для получения количественных значений. Разработаны структуры плана-отчёта по работам в период плановых остановок и в текущий период. Приведена пилотная модель практического инструмента комплексной методики анализа эффективности использования оборудования в Группе предприятий «ПЦБК». Внедрение результатов работы позволяет оперативно получать информацию о состоянии всего технологического комплекса и отдельных его участков, выявлять причины изменений и принимать управленческие решения по устранению ненормативного состояния при использовании оборудования.

Ключевые слова: техническое обслуживание и ремонт, работоспособность оборудования, методика анализа эффективности использования оборудования, ОЕЕ, Overall Equipment Efficiency, общая эффективность оборудования, целлюлозно-бумажная промышленность, производство бумаги, производство картона

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF EQUIPMENT IN PULP AND PAPER INDUSTRY

Kozlova S.V., Feshchenko A.A., Shirokov A.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: aleksandr.feshchenko@pcbk.ru

The article describes the features of the pulp and paper production in the context of equipment performance. Methods of OEE (Overall Equipment Efficiency – Overall Equipment Effectiveness) is applied to assess the effectiveness of the equipment. This technique is adapted to the problems of the pulp and paper industry. The main indicators of the effectiveness of the equipment is listed in accordance with this procedure. Indicators system of performance of equipment is transposed to a specific management tool. Forms of collecting information for quantitative values was developed. The structure of the reports on the works during the planned stops and in the current period was developed. Presented pilot method of complex analyzing the effectiveness of the equipment in the Group companies «PTSBK». Implementation of the results of the work is allows quickly get information about the status of the entire technological complex and its individual parts, identify the reasons for the changes, and make management decisions on elimination of deviant state.

Keywords: maintenance and repair, equipment operation, technique of analysis of efficiency equipment using, OEE, Overall Equipment Efficiency, the pulp and paper industry, production of paper, production of cardboard

Производство целлюлозно-бумажной продукции представляет собой непрерывный процесс. Это значит, что бумагоделательная машина работает круглосуточно в течение длительного времени. Поэтому любой простой машин влечет за собой существенные производственные потери. Чтобы эти потери минимизировать, техническое обслуживание и ремонтные работы требуется проводить в периоды плановых остановов или, по возможности, на работающем оборудовании (в соответствии с правилами охраны труда и промышленной безопасности). Целесообразно также иметь резервные производственные ветки и резервное оборудование, которые должны поддерживаться в нормативном состоянии и быть готовыми

к запуску в случае аварийного останова основной технологической линии. Для совершенствования производства необходимы объективные данные о модернизации оборудования, а в некоторых случаях и о целесообразности его полной замены. Пока чаще всего решение принимается на основании здравого смысла или просто интуитивно.

Таким образом, необходимо не только оптимально использовать оборудование, но и повышать эффективность его использования за счет снижения его простоев.

Для оценки эффективности оборудования принято считать достаточно современной и комплексной методику ОЕЕ (Overall Equipment Efficiency – общая эффективность оборудования) [1].

Показатель ОЕЕ применяется для количественной оценки эффективности использования оборудования. Данный показатель складывается из произведения следующих составляющих:

$$ОЕЕ = \text{Доступность} \times \text{Производительность} \times \text{Качество},$$

где Доступность – это результат измерения времени готовности машины к работе:

$$\text{Доступность} = \frac{\text{Время работы оборудования}}{\text{Планируемое производственное время}}.$$

Потерями по данному показателю могут быть отказ оборудования (и, соответственно, ремонтные работы), простой оборудования из-за отсутствия сырья, ожидания персонала, техническое обслуживание (плановое и внеплановое).

Производительность – результат пропускной способности оборудования (сравнение фактической скорости машины с идеальной теоретической).

$$\text{Производительность} = \frac{\text{Произведенная продукция}}{\text{Идеальная скорость} \times \text{Время работы}},$$

где Идеальная скорость – теоретическая скорость производственной линии в идеальных условиях.

Примером потерь по данному показателю является сниженная скорость из-за неудовлетворительного состояния оборудования, некачественного сырья и т.д.

Качество – результат измерения материальных потерь:

$$\text{Качество} = \frac{\text{Качественная продукция}}{\text{Произведенная продукция}}.$$

Примерами потерь по данному показателю могут быть брак продукции, обрывы, излишние обрезы при производстве гофропродукции [2, 4].

Как же оценить по данному показателю эффективность использования оборудования применительно к целлюлозно-бумажной отрасли?

Работоспособность оборудования определяется по заданным параметрам, указанным в табл. 1, которые характеризуются соответствующими показателями.

Очевидно, что параметры время работы, скорость и качество продукта соответствуют трём составляющим методики *ОЕЕ*. Но из-за специфики отрасли целлюлозно-бумажной промышленности следует сделать вывод о целесообразности включения еще двух параметров: ритмичность и восстановление работоспособности [3].

Теперь остановимся подробнее на характеризующих их показателях. Каждый показатель непосредственно характеризует конкретный процесс обеспечения работоспособности оборудования. Предлагаются эти процессы разделить на 4 основные группы:

- операции на работающем оборудовании;
- работы в плановый останов;
- восстановление работоспособности в аварийный останов;
- восстановление фонда резервного оборудования;

В табл. 2 представлена связь этих процессов с характеризующими их показателями.

Таблица 1

Показатели обеспечения работоспособности оборудования в соответствии с заданными параметрами

Требования (параметры)	Показатели
Время работы оборудования	Время эксплуатации
	Время плановых простоев
	Время внеплановых простоев
Ритмичность	Потери при отклонении от производственного цикла
Скорость	Потери в скорости по техническим причинам
Качество продукта	Потери от брака по техническим причинам
Восстановление работоспособности	Время восстановления работоспособности в случае внепланового останова

Таблица 2

Обеспечение работоспособности оборудования

Процессы обеспечения работоспособности	Показатели
Операции на работающем оборудовании: ● Выявление отклонений в работе оборудования ● Оценка, принятие решения ● Назначение мероприятий по устранению отклонений	Отклонения в работе на начало периода; Выявлено отклонений Устранено отклонений Отклонения в работе на конец периода
Работы в плановый останов: ● Планирование работ ● Подготовка к работам ● Выполнение ремонтных операций в плановый останов ● Запуск	План-факт по длительности План-факт по работам Причины отклонений Невыполненные критичные работы
Восстановление работоспособности в аварийный останов: ● Выявление причин, принятие решения ● Подготовка к работам ● Выполнение ремонтных операций в аварийный останов ● Запуск	Время восстановления работоспособности Причины отклонений Невыполненные критичные работы
Восстановление фонда резервного оборудования: ● Выполнение ремонтных операций на ремонтном фонде ● Изготовление/восстановление деталей, узлов	Готовность резервного оборудования в процентах по группам Отклонения резервного фонда по критичным позициям

Таблица 3

Структура справки обеспечения работоспособности оборудования

Комплекс показателей	Группа показателей
Потери времени	Простои (включая холостые ходы)
Состояние оборудования	Установленное оборудование
	Резерв
Выполнение работ	Плановый останов
	Текущие работы

Таблица 4

Структура отчёта по простоям оборудования

Причина	Время простоя	Служба
Наименование причины	Фактическое время простоя	Наименование ответственной службы

Показатели, как уже было отмечено, складываются из методики анализа ОЕЕ и показателей, характерных именно для данной отрасли [5].

Как же применить методику ОЕЕ, адаптированную в ходе исследования к специфике целлюлозно-бумажного производства?

Система показателей обеспечения работоспособности оборудования транспонирована в конкретный инструмент управления. Для принятия решений необходимые данные формализуются в виде справки. Структура справки представлена в табл. 3.

Рассмотрим комплекс показателей и соответствующие им группы показателей:

1. Потери времени из-за простоев, включая работу оборудования без выпуска продукции.

2. Состояние рабочего оборудования.
3. Состояние резервного оборудования.
4. Выполнение работ в плановый останов.
5. Выполнение текущих работ.

Для эффективного управления процессами обеспечения работоспособности оборудования руководитель получает информацию с подробными расшифровками.

По первой группе показателей руководителю формируется отчет по простоям оборудования (табл. 4) за определенный период.

Для оценки состояния рабочего оборудования руководству предоставляются сведения о неустранённых дефектах (табл. 5). Причинами неустранённых дефектов могут быть отсутствие комплектующих, время на их приобретение и транспортировку, время на изготовление необходимых узлов, от-

сутствие или низкая квалификация специалистов, отсутствие технологической документации по выполнению ремонтных работ и некоторые другие причины.

Таблица 5
Структура отчета о неустранённых дефектах

Позиция оборудования	Дефект
Наименование, шифр оборудования	Описание дефекта

По третьей группе показателей готовится информация о состоянии резервного оборудования (табл. 6).

Под статусом резервного оборудования понимается возможность использования его (степень готовности) при замене основного оборудования.

По четвертой группе показателей формируется подробный план-отчёт по работам в плановый останов (табл. 7).

И, наконец, по пятой группе показателей руководству предоставляется план-отчёт по выполнению текущих работ (табл. 8).

Немаловажным вопросом является проблема получения объективной информации, на основании которой и рассчитывается показатель эффективности работы оборудования.

Методика анализа эффективности работы оборудования предусматривает использование данных, получаемых от других автоматизированных систем, функционирующих на предприятии. В частности, производительность оборудования, простой из-за неисправности и некоторые другие данные

могут быть получены от SCADA-систем. Надо отметить, что эти данные будут наиболее достоверными и могут сниматься с любой периодичностью, поскольку процесс получения этих данных не зависит от человеческого фактора [4].

Другим источником данных являются системы управления производственными процессами (MES-системы). В этом случае используются календарные планы проведения плановых профилактических работ, подготовки оборудования. Здесь же формируются отчеты о сроках реально проведенных работ (план/факт). MES-система позволяет также получить данные о производительности оборудования, проценте выпуска качественной продукции.

Наконец, целый ряд данных можно получать из ERP-систем. В частности, перспективные планы проведения модификации оборудования, перехода на новую продукцию, мероприятия по повышению качества и многое другое.

Фактически методика оценки эффективности оборудования базируется на едином информационном пространстве предприятия, где необходимые данные собираются автоматически и посредством ручного ввода из всех функционирующих автоматизированных систем предприятия. Полученные при этом интегральный показатель эффективности и выявленные потери позволяют выработать мероприятия по эффективному использованию оборудования, поддержанию его в рабочем состоянии, планирования ремонта и модернизации, вплоть до обоснованной замены устаревшего оборудования.

Таблица 6
Структура отчета о состоянии резервного оборудования

Основное оборудование	Резервное оборудование	Статус
Наименование, шифр основного оборудования	Наименование, шифр резервного оборудования	Статус резервного оборудования

Таблица 7
Структура плана-отчёта по работам в плановый останов

Работа	Исполнитель	Время	Материалы
Наименование работы	Наименование службы-исполнителя	Плановое и фактическое время выполнения работы	Наименование и количество использованных материалов

Таблица 8
Структура плана-отчёта по выполнению текущих работ

Работа	Служба	Исполнитель	Время	Статус
Наименование работы	Наименование ответственной службы	Наименование службы-исполнителя	Плановое и фактическое время выполнения работы	Статус работы

В группе предприятий Пермского целлюлозно-бумажного комбината внедрена система повышения эффективности использования оборудования, основанная на методике *OEE* и показателях, характерных для отрасли. Это позволяет оперативно получать информацию о состоянии всего технологического комплекса и отдельных его участков, выявлять причины изменений и принимать управленческие решения по устранению ненормативного состояния и использования оборудования.

Список литературы

1. Общая эффективность оборудования / пер. с англ. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. – 120 с.
2. Россоха Е.В. Оценка эффективности управления оборудованием на предприятии // Труды БГТУ. – 2014. – № 7. – С. 175–177.
3. Система технического обслуживания и ремонта оборудования технологических линий по производству целлю-

лозы, бумаги и картона. Утв. Минлесбумпром. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 247 с.

4. Шопин А.Г., Занин И.В. *OEE* и управление простоями: от теории к реализации в SIVFNIC IT // Автоматизация в промышленности. – 2006. – № 9. – С. 26–29.

5. Ящура А.И. Система технического обслуживания и ремонта общепромышленного оборудования: Справочник. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 360 с.

References

1. Obshhaja jeffektivnost oborudovaniya / per. s angl. M.: Institut kompleksnyh strategiche-skih issledovaniy, 2007. 120 p.
2. Rossoha E.V. Ocenka jeffektivnosti upravleniya oborudovaniem na predpriyatii // Trudy BGTU. 2014. no. 7. pp. 175–177.
3. Sistema tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya tehnologicheskikh linij po proizvodstvu celljulozy, bumagi i kartona. Utv. Minlesbumprom. M.: Lesnaja promyshlennost, 1981. 247 p.
4. Shopin A.G., Zanin I.V. *OEE* i upravlenie prostojami: ot teorii k realizacii v SIVFNIC IT // Avtomatizacija v promyshlennosti. 2006. no. 9. pp. 26–29.
5. Jashhura A.I. Sistema tehničeskogo obsluzhivaniya i remonta obshhepromyshlennogo oborudovaniya: Spravochnik. M.: Izd-vo NC JeNAS, 2006. 360 p.

УДК 681.5.017

МОДИФИКАЦИЯ ВРЕМЕННОГО МЕТОДА ЗИГЛЕРА – НИКОЛЬСА И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ СРЕДСТВАМИ MATLAB

Коломыцев В.Г., Рустамханова Г.И.*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: mars_2009pl@mail.ru, rgi@etf.pstu.ru*

В статье рассматриваются методики параметрического синтеза пропорционально-дифференциально-интегральных регуляторов в динамических системах с транспортным запаздыванием. В качестве примера аналитического метода решения задачи приведен модифицированный алгоритм Зиглера – Никольса для настройки параметров ПИД-регуляторов по переходной характеристике разомкнутой системы управления. Численные методы синтеза представлены методикой, основанной на применении аппроксимации Паде для звена чистого запаздывания и точной подстройке параметров регулятора на основании требуемых показателей качества системы. Алгоритмы сопровождаются примером параметрического синтеза ПИД-регулятора для динамического объекта второго порядка с транспортным запаздыванием. Все схемы реализованы средствами MatLab/SIMULINK, автоматизированная настройка параметров выполнена с использованием инструментов System Control Designer. Приведенные результаты имитационного моделирования подтверждают эффективность рассмотренных алгоритмов.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, транспортное запаздывание, параметрический синтез

MODIFICATION OF THE ZIEGLER-NICHOLS'S STEP RESPONSE TUNING METHOD AND OPTIMIZATION PID PARAMETERS BY MEANS MATLAB

Kolomytsev V.G., Rustamkhanova G.I.*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: mars_2009pl@mail.ru, rgi@etf.pstu.ru*

The article deals with the technique of parametric arrange of PID regulators in dynamic systems with transport delay. As an example of the analytical method the present article describes the modified Ziegler – Nichols' open-loop method. The open loop method is based on the process step response and allows to calculate the controller parameters. Numerical technique for the synthesis based on the use of Pade approximation for modeling time delay. The presented technique is accompanied by an example of the synthesis by an example of parametric arrange of PID controller for the second order dynamic object with a transport delay. All plants are implemented by means of MatLab / SIMULINK the tools of System Control Designer for tune single-loop control systems. Following simulation results confirm the effectiveness of proposed algorithms.

Keywords: PID-controller, time delay, tuning algorithm

Регуляторы, передаточная функция которых образована тремя слагаемыми, пропорциональным, дифференцирующим и интегральным звеньями, выходные сигналы которых суммируются, относятся к наиболее распространенному типу регуляторов. Широкое распространение регуляторов этого типа определяется простотой построения и промышленного использования, низкой стоимостью, робастностью в различных условиях работы, а также пригодностью для решения большинства практических задач. Наибольшую эффективность ПИД-регуляторы показывают при управлении объектами, которые могут быть представлены моделями второго порядка [3]. Несмотря на достигнутые результаты в области теории конструирования ПИД-регуляторов и накопленный опыт их практического применения, в выборе параметров настройки зачастую продолжают использоваться эмпирические методы. Главной проблемой при настройке коэффициентов ПИД-регулятора

является сложность установления соответствия между показателями качества и робастности системы и коэффициентов регулятора [5].

Долгое время настройка параметров регулятора осуществлялась эвристическим ручным методом, основанным на интуиции. В 1942 г. американские учёные J. Ziegler и N. Nichols при исследовании систем с ПИД-регуляторами установили следующие закономерности:

– оптимальная зона пропорциональности пропорционального регулятора в два раза меньше величины зоны пропорциональности, при которой в САУ начинается автоколебательный процесс;

– время изодрома $T_{\text{из}}$ и время предварения $T_{\text{д}}$ зависят от периода возникающих автоколебаний [1].

Методы Зиглера – Никольса являются приближенными и относятся к числу наиболее ранних методов настройки ПИД-регуляторов. Их особенностью является

нахождение параметров регулятора по эмпирическим формулам. В качестве критерия оптимальности в данных методах была принята величина декремента затухания $D = 0,2 - 0,3$. Декремент затухания D выражается через отношение двух амплитуд выходной величины, отстоящих друг от друга на половину периода:

$$D = \frac{\lg \frac{y_n}{y_{n+1/2}}}{\sqrt{\pi^2 + (\ln \frac{y_n}{y_{n+1/2}})^2}}$$

Зиглер и Никольс предложили два метода настройки ПИД-регулятора: первый основан на параметрах переходной характеристики, второй на частотных характеристиках объекта управления [2]. Оба метода обладают невысокой точностью, но дают надежные результаты и применяются при настройке параметров регуляторов. В последнее время методика Зиглера – Никольса снова приобрела популярность, поскольку может быть использована автоматических системах настройки параметров регуляторов.

Рассмотрим параметрический синтез ПИД-регулятора по временному модифицированному методу Зиглера – Никольса.

Несмотря на разнообразие и сложность реальных объектов в системах управления с транспортной задержкой на практике, как правило, используются модели не выше второго порядка. В качестве объекта управления выберем объект второго порядка с передаточной функцией

$$W_o(p) = \frac{k_o}{(T_{o1}p + 1)(T_{o2}p + 1)} e^{-\tau_o p}$$

Такая передаточная функция характерна для многих производственных процессов.

Задача состоит в нахождении коэффициентов ПИД-регулятора по параметрам переходной характеристики объекта.

Рассмотрим алгоритм модифицированного метода Зиглера – Никольса.

1. Определяем переходную характеристику объекта и её производную, используя модель объекта в Simulink, представленную на рис. 1. В состав модели входят модуль формирования производной переходной характеристики, интегратор с передаточным коэффициентом, равным величине экстремума импульсной переходной характеристики и модуль сдвига переходной характеристики идеального интегрирующего звена так, обеспечивающий ее прохождение через точку перегиба переходной характеристики объекта.

2. По максимальному значению производной выходного сигнала находим точку перегиба переходной характеристики и строим касательную к переходной характеристике в данной точке. Касательная к переходной характеристике будет являться аппроксимирующей прямой для данной характеристики. Тангенс угла наклона аппроксимирующей прямой $K = \max[dh(t)/dt]$, смещение аппроксимирующей прямой относительно начала координат задается изменением параметра a с помощью модели в Simulink.

3. Определяем численные значения параметров a (смещение по оси ординат) и L (смещение по оси абсцисс) по графику переходной характеристики и касательной к ней в точке перегиба.

4. Определяем параметры ПИД-регулятора по формулам таблицы.

Уравнение ПИД-регулятора представлено в виде

$$u(t) = ke(t) + \frac{1}{T_u} \int_0^t e(t)dt + T_d \frac{de(t)}{dt}$$

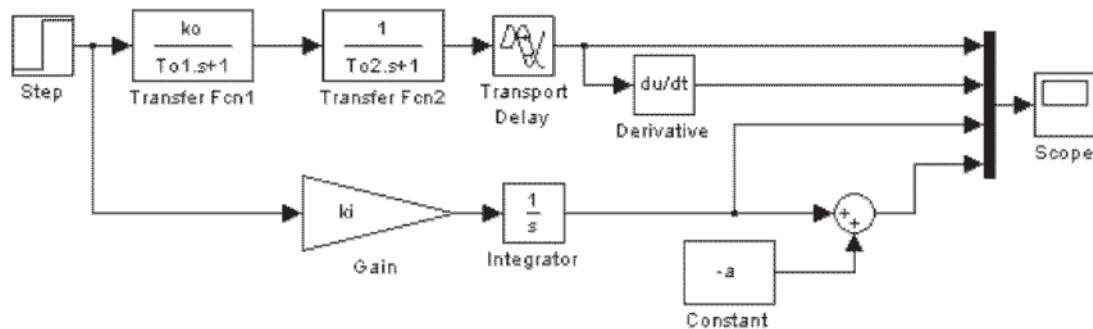


Рис. 1. Модель для исследования разомкнутой системы и расчета параметров Зиглера – Никольса

Формулы для расчёта параметров ПИД-регулятора
по временному методу Зиглера – Никольса

Вид регулятора	Параметры регулятора		
	K	T_n	T_d
П	$1/a$		
ПИ	$0,9/a$	$3L/k$	
ПИД	$1,2a$	$2L/k$	$0,5Lk$

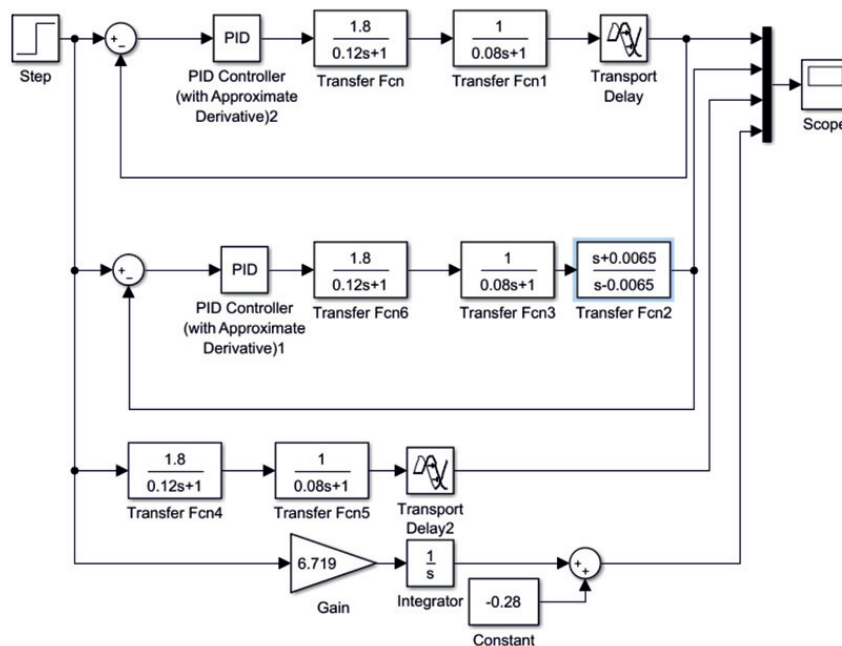


Рис. 2. Модель для исследования системы управления

5. Строим модель системы с ПИД-регулятором в Simulink и проводим исследование характеристик системы.

Метод Зиглера – Никольса позволяет получить надежные, но далекие от оптимальных настройки регулятора.

Качество оценки параметров регулятора можно повысить за счет использования современных средств моделирования и применения специальных инструментов вычислительных сред. В среде MatLab для настройки параметров регуляторов разработан инструмент PID Tuner приложения System Control Designer. Данный инструмент не предназначен для работы с неминимально фазовыми звеньями, каковым является звено транспортной задержки.

Для решения данной проблемы воспользуемся аппроксимацией Паде. Аппроксимация Паде является методом аппроксимации аналитических функций и заключается

в представлении функции в виде отношения двух полиномов, коэффициенты которых определяются коэффициентами разложения функции в ряд Тейлора. Разложение экспоненциальной функции вида e^{-s} в ряд Тейлора в окрестности точки $t = 0$:

$$e^{-s} = 1 + s + \frac{s^2}{2!} + \frac{s^3}{3!} + \frac{s^4}{4!} + \dots$$

В целях моделирования систем управления обычно достаточно применения аппроксимации Паде низких порядков [4]. Ниже представлены формулы первого и второго порядка для аппроксимации транспортной задержки первого и второго порядка:

$$e^{-s} = \frac{\left(1 + \frac{1}{2}s\right)}{\left(1 - \frac{1}{2}s\right)};$$

$$e^{-s} = \frac{\left(1 + \frac{1}{2}s + \frac{1}{12}s^2\right)}{\left(1 - \frac{1}{2}s + \frac{1}{12}s^2\right)}$$

Рассмотрим пример выполнения предложенного алгоритма.

Зададимся передаточной функцией объекта управления в виде

$$W_0(s) = \frac{1}{(0,12s + 1)} \frac{1}{(0,08s + 1)} e^{-0,013s}$$

Для настройки параметров ПИД-регулятора в среде MatLab/SIMULINK собрана схема, представленная на рис. 2.

По отклику модели (рис. 3) определяем базовые расчётные параметры:

$a = 0,128$, $h'_{\max} = 6,719$, $L = 0,045$ – величина смещения аппроксимирующей прямой по оси абсцисс.

Параметры ПИД-регулятора, рассчитан согласно формулам из таблицы.

$K = 4,2257$, $T_n = 0,021$ с, $T_d = 0,0964$, $K_n = 47,619$ с⁻¹, $K_d = 0,1655$ с.

Показатели качества системы управления с найденными согласно представленному методу параметрами регулятора составляют: перерегулирование 42%, время переходного процесса 0,453 с.

Проиллюстрируем возможность использования аппроксимации Паде. На рис. 4 представлены графики переходных процессов в замкнутой одноконтурной системе. Как видно из приведенного графика, использование аппроксимирующей функции второго или даже более высоких порядков не является необходимым.

Перейдем к оптимизации параметров регулятора. Для этой цели воспользуемся инструментами PID Tuner приложения System Control Designer. В данном приложении параметры ПИД-регулятора вычисляются автоматически для установленных показателей качества либо для соответствия выбранной эталонной модели. Требования к качеству управления в PID Tuner задаются численными значениями времени переходного процесса и оценкой робастности во временной области, либо частотой среза и запасом устойчивости по фазе в частотной области. Если считать, что объект управления подвержен значительным изменениям, следует увеличить коэффициент робастности или запас устойчивости по фазе (в зависимости от используемого алгоритма).

Поскольку PID Tuner работает только с линейными системами, заменим в схеме элемент транспортной задержки аппроксимирующей функцией первого порядка.

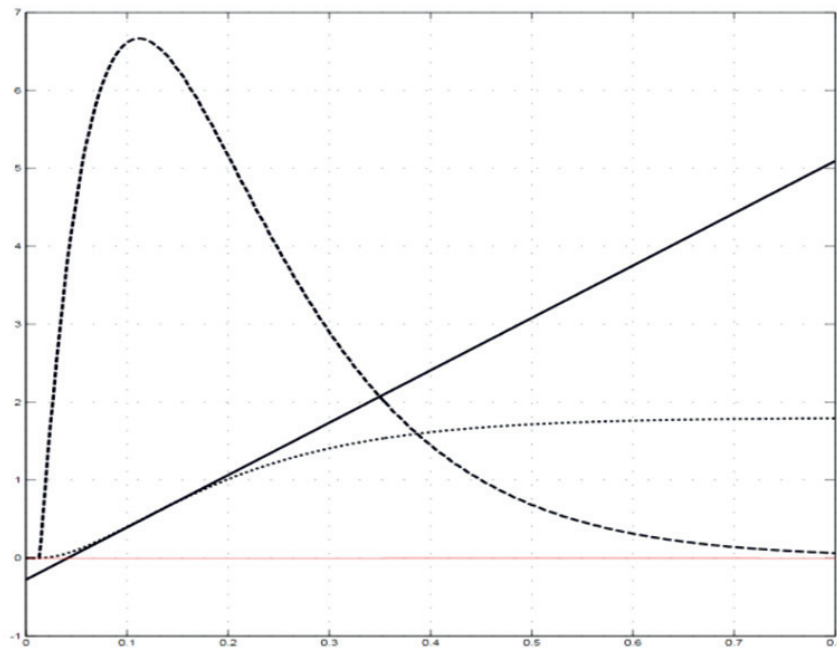


Рис. 3. Импульсная и переходная характеристики объекта управления (пунктирная линия), аппроксимирующая прямая к переходной характеристике (сплошная линия)

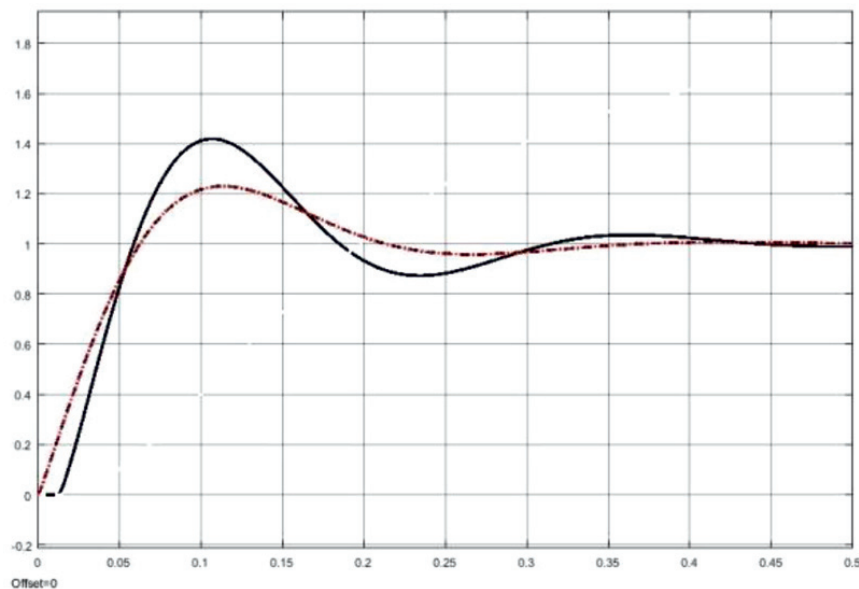


Рис. 4. Переходные характеристики системы с транспортной задержкой (черная сплошная линия), с аппроксимирующим элементом 1 порядка (черная пунктирная линия), аппроксимирующим элементом 2 порядка (красная пунктирная линия)

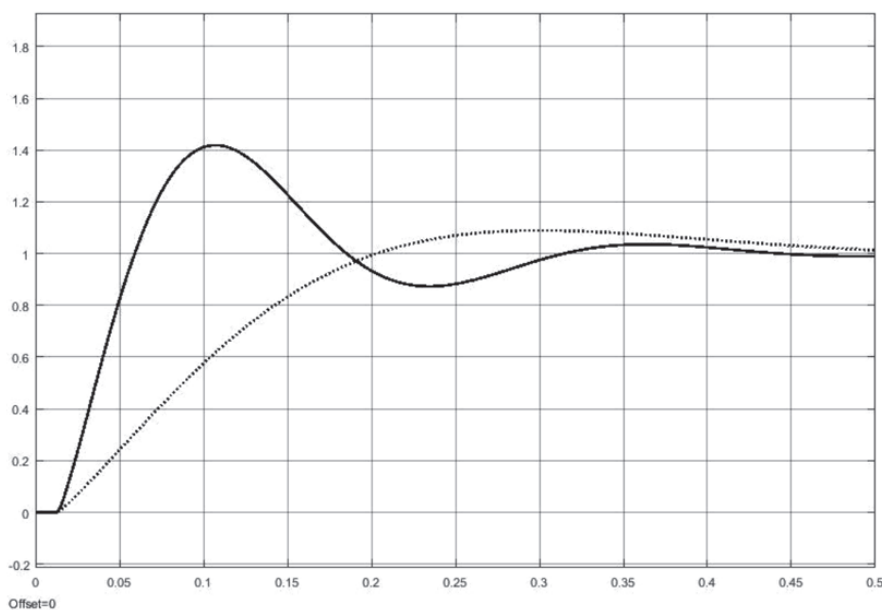


Рис. 5. Графики переходных характеристик САУ с настройками регулятора по методу Зиглера – Никольса (сплошная линия) и оптимизированные по заданным показателям качества в среде MatLab

Зададим требуемые показатели качества системы: время переходного не более 0,4 с и коэффициент робастности равный 0,6. Рассчитанные согласно указанным требованиям параметры регулятора состав-

вили: $K = 1,022$, $K_i = 7,178 \text{ с}^{-1}$, $K_d = 0,030 \text{ с}$. Показатели качества системы управления с полученными параметрами регулятора составляют: перерегулирование 9%, время переходного процесса 0,39 с.

На рис. 5 представлены результаты, переходные характеристики системы управления с параметрами регулятора, найденными с использованием модифицированного метода Зиглера – Никольса, а также параметрами, найденными процедурой автоматической подстройки в MatLab.

Аналитические методы определения параметров ПИД-регулятора не позволяют получить оптимальной настройки, поскольку базируются на сильно упрощенных моделях, но их применение является необходимым для получения предварительных настроек, без которых точная настройка может занять недопустимо много времени.

Список литературы

1. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб.: Профессия, 2003.
2. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.

3. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний: ЮНИМЕДИА-СТАЙЛ, 2004. – 832 с.

4. Методы классической и современной теории автоматического и управления: т. 1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / Под. ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2004.

5. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М.: Изд-во: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.

References

1. Besekerskiy V.A. Teorija sistem avtomaticheskogo upravlenija / V.A. Besekerskiy, E.P. Popov. SPb.: Professija, 2003.
2. Denisenko V.V. Kompjuternoe upravlenie tehnologicheskim processom, jeksperimentom, oborudovaniem. M.: Gorjachaja linija Telekom, 2009. 608 p.
3. Dorf R., Bishop R. Sovremennye sistemy upravlenija. M.: Laboratorija Bazovyh Znanij: JuNIMEDIASAJL, 2004. 832p.
4. Metody klassicheskoy i sovremennoj teorii avtomaticheskogo i upravlenija: t. 1. Matematicheskie modeli, dinamicheskie harakteristiki i analiz sistem avtomaticheskogo upravlenija / Pod. red. K.A. Pupkova, N.D. Egupova. M.: Izd-vo MGTU im. Baumana, 2004.
5. Fillips Ch., Harbor R. Sistemy upravlenija s obratnoj svjazju. M.: Izd-vo: Laboratorija Bazovyh Znanij, 2001. 616 p.

УДК 681.5.017

**ИССЛЕДОВАНИЕ КЛАССИЧЕСКИХ И НЕЧЕТКИХ ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ
ДЛЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ****Копылов В.И., Муравьев Д.И., Коломыцев В.Г., Рустамханова Г.И.***Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: kopvlad@yandex.ru, muravev-26@mail.ru, mars_2009pl@mail.ru, rgi@etf.pstu.ru*

В статье рассматривается применение классических и нечетких ПИД-регуляторов для нестационарных объектов управления. Методика параметрического синтеза классического цифрового ПИД-регулятора для нестационарных объектов основана на аппроксимации нелинейных зависимостей нестационарных параметров объектов рядами Тейлора и исследовании поведения системы управления средствами MATLAB. Для синтеза моделей использовались приложения Simulink и Fuzzy Logic Tool Box. В статье рассмотрены вопросы использования регуляторов на основе нечеткой логики в системах автоматического управления динамическими объектами. Эффективность использования нечетких регуляторов подтверждена на основании полученных результатов моделирования. В работе приведены результаты математического моделирования системы управления с классическим и нечетким регуляторами на примере нестационарного объекта второго порядка и дана оценка качества системы при использовании синтезированных регуляторов.

Ключевые слова: нестационарные системы управления, нестационарный объект управления, ПИД-регулятор, нечеткий регулятор

**THE STUDY OF CLASSICAL AND FUZZY PID-CONTROLLERS
FOR TIME-DEPENDENT CONTROL OBJECTS****Kopylov V.I., Muravev D.I., Kolomytsev V.G., Rustamkhanova G.I.***Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: kopvlad@yandex.ru,
muravev-26@mail.ru, mars_2009pl@mail.ru, rgi@etf.pstu.ru*

The article deals the application of classic and fuzzy PID-controllers for unsteady control objects. Authors present the technique for calculating the gains of classical digital PID controllers for unstable objects. The technique based on an approximation of nonlinear unstable object parameters by Taylor series and research the linearized models by means of MATLAB. The authors considers questions of using the controllers based on fuzzy logic for control systems with for the second order unstable objects. The efficiency of using PID-controllers and fuzzy-controllers is shown by the example of control system with for the second order unstable objects. Proposed algorithms allow to achieve a good balance between performance and robustness.

Keywords: unsteady control systems, unsteady control object, digital PID-controller, fuzzy controller

В настоящее время наблюдается интенсивное развитие применения нечеткой логики для целей управления. Увеличение практического применения нечетких методов управления главным образом было обусловлено ростом сложности математических моделей реальных объектов, при которых применение традиционных методов построения моделей уже не приводило к удовлетворительным результатам. В большинстве случаев технология нечеткого моделирования применяется для синтеза систем управления при недостаточной информации об объекте управления, неточном и неполном описании решаемой проблемы, поскольку не требует для синтеза регуляторов модели объектов управления. Однако и при наличии модели объекта управления применение нечеткой логики является весьма продуктивным, в частности при проектировании нестационарных систем управления. Во многих видах систем управления необходимо уделять особое внимание различным режимам работы. В таких системах для автоматизации удобно

использовать нечеткое управление, поскольку можно использовать однотипные правила для каждого режима.

Реальные технические объекты обладают изменяющимися во времени параметрами, т.е. являются нестационарными. Решение задач управления такими объектами требует построения нестационарных систем управления, а значит, и проектирования динамических регуляторов. В качестве корректирующих устройств в системах автоматического управления (САУ) наиболее часто используемыми на практике являются ПИД-регуляторы. Настоящая статья посвящена исследованию применения классических и нечетких ПИД-регуляторов в нестационарных системах управления.

Рассмотрим математическое описание нестационарной САУ с цифровым регулятором. Схема системы управления приведена на рис. 1. Нестационарный объект управления описывается линейными дифференциальными уравнениями, коэффициенты которых являются функциями времени.

Переменность коэффициентов дифференциальных уравнений, описывающих поведение систем автоматического управления, порождается многими факторами, а именно:

- физическими процессами, протекающими в элементах систем;
- линеаризацией нелинейных систем около опорных траекторий;
- статистической линеаризацией при подаче на вход нестационарных сигналов [5].

Рассмотрим синтез классического и нечеткого ПИД-регуляторов для нестационарного объекта, представленного фильтром второго порядка (колебательным звеном) [2]. Параметрическая передаточная функция выбранного нестационарного объекта управления в нулевом приближении:

$$W_{oy}(s, t) = \frac{K_{oy}(t)}{T(t)^2 s^2 + 2\xi(t)T(t)s + 1},$$

где $K_{oy}(t)$ – коэффициент передачи объекта управления, T – постоянная времени, ξ – коэффициент демпфирования.

Зависимость параметров объекта управления от времени представим следующими выражениями:

$$K_{oy}(t) = 4 + 10\cos^2(0,22t + \pi/4),$$

$$T(t) = e^{-0,1t}, \quad \xi(t) = 0,3(ch(0,2t) - sh(0,19t)).$$

Для приводов характерны ограничения по величине вырабатываемого сигнала, поэтому в упрощенном виде он может быть представлен нелинейной зависимостью типа «насыщение» или в линеаризованном виде передаточной функцией интегрирующего звена:

$$W_n(s) = \frac{K_n}{s} = \frac{1}{s}.$$

Применив для нестационарных параметров объекта разложение в ряд Тейлора передаточную функцию обобщенного объекта управления запишем в следующем виде:

$$W_{ooy}(s) = \frac{K(t)}{s(s^2 + b(t)s + a(t))},$$

где

$$K(t) = \frac{K_{oy}(t)K_n}{T(t)^2} = 9 - 0,4t - 0,26t^2 + 0,039t^3 + 0,0119t^4 + 0,00061t^5 + O(t^6),$$

$$b(t) = \frac{2\xi(t)}{T(t)} = 0,6 - 0,054t + 0,0036t^2 + 0,000044t^3 + 0,000015t^4 + O(t^5);$$

$$a = \frac{1}{T(t)^2} = 1 + 0,2t + 0,02t^2 + 0,0013t^3 + 0,000067t^4 + O(t^5).$$

Задающее воздействие представим функцией $x(t) = 1 - e^{-0,7t}$.

Передаточная функция классического цифрового ПИД-регулятора:

$$W_p(z) = K_n + \frac{K_i h(z+1)}{2(z-1)} + \frac{K_d(z-1)}{hz},$$

где K_n , K_i , K_d – коэффициенты пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих соответственно, h – шаг квантования.

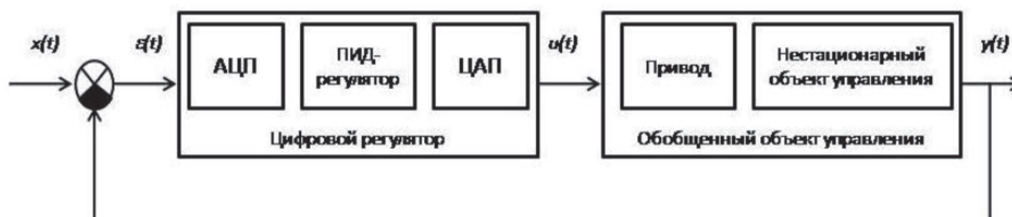


Рис. 1. Обобщенная схема нестационарной САУ с цифровым регулятором

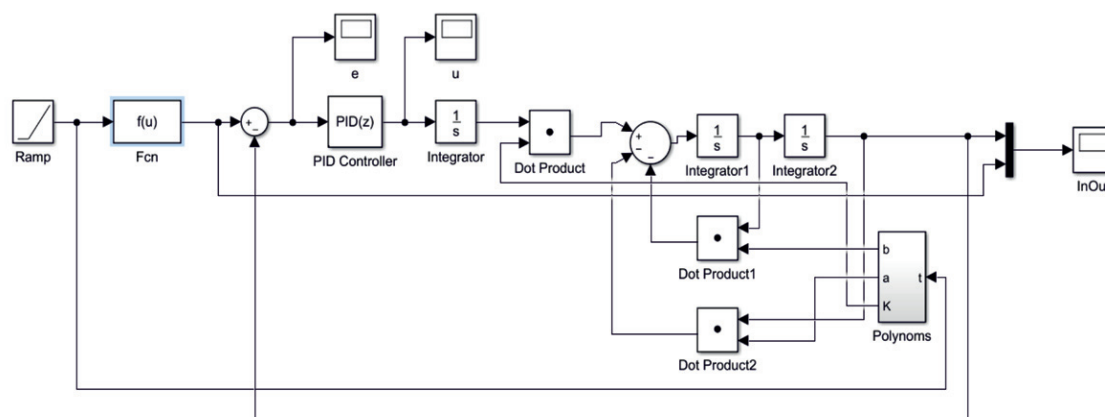


Рис. 2. Структурная схема САУ с цифровым ПИД-регулятором

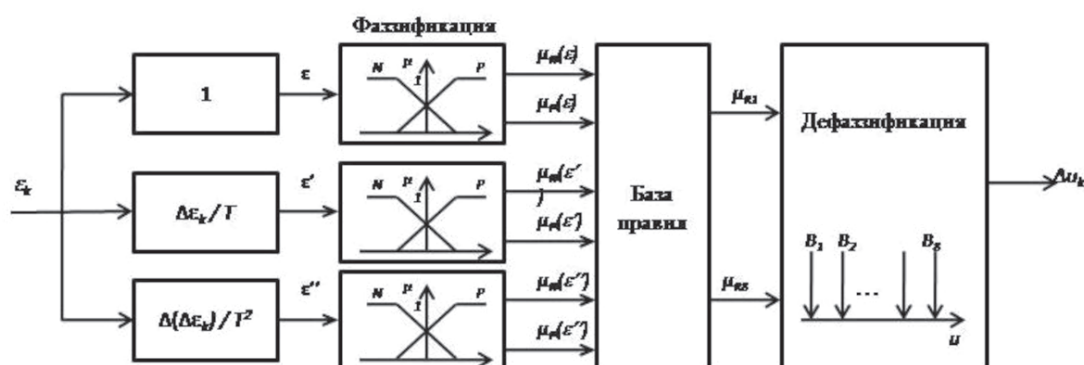


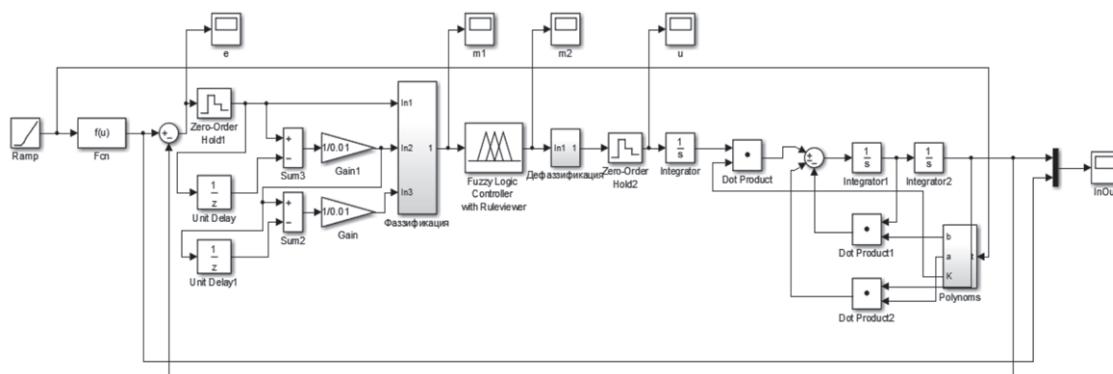
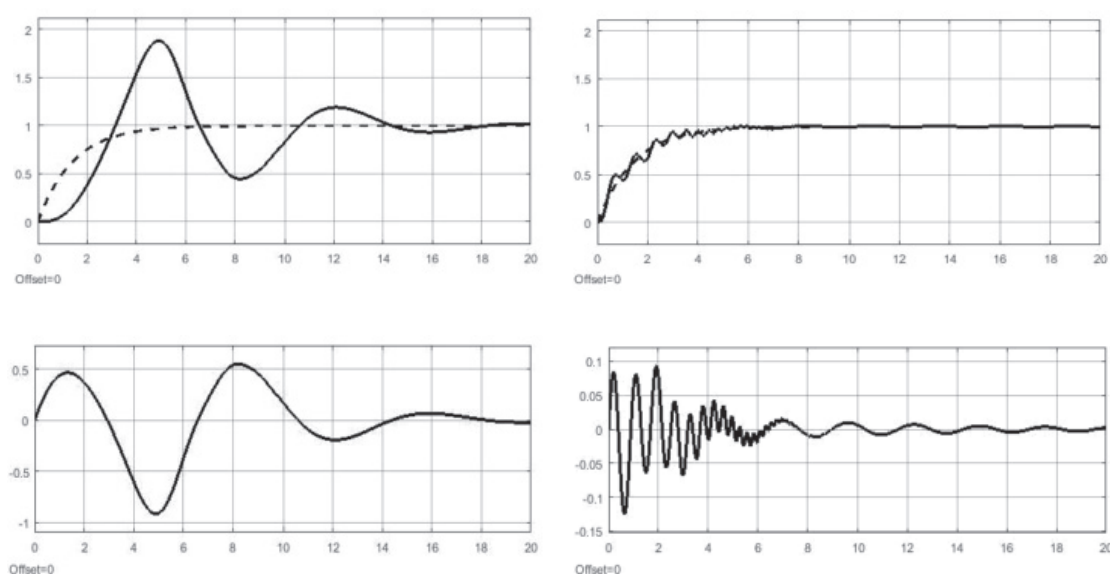
Рис. 3. Обобщенная структура нечеткой части регулятора

Структурная схема для исследования одноконтурной системы с классическим цифровым ПИД-регулятором с использованием MATLAB/SIMULINK представлена на рис. 2. После настройки параметров регулятора на шаге дискретизации $h = 0,0001$, получены следующие коэффициенты $K_n = 1,61$, $K_i = 36,58$, $K_d = 6,68$.

Рассмотрим построение для описанного объекта нечеткого ПИД-регулятора. Отличие ПИД-регулятора с контроллером, основанным на нечеткой логике, от классического заключается в том, что коэффициенты усиления в пропорциональной, интегрирующей и дифференцирующих цепях регулятора не являются статическими, т.е. зависят от состояния системы в текущий момент времени. Это позволяет сделать процесс управления более адаптивным. При построении нечетких ПИД-регуляторов чаще всего используются методики прямого или инкрементного регулирования [4]. В варианте прямого регулирования на каждом

шаге дискретизации вычисляется значение управляющего сигнала u_k в инкрементном варианте – только величина приращения управляющего сигнала Δu_k . Для реализации модели выбран инкрементный вариант.

Структура нечеткой части регулятора показана на рис. 3. Статическая часть нечеткого регулятора включает блок фазификации, блок формирования логического решения (правил) и блок дефазификации. В приведенной схеме в качестве входных параметров системы нечеткого вывода использованы три лингвистические переменные: ошибка системы, а также ее первая и вторая производные. В качестве выходной переменной выбран сигнал управления (управляющее воздействие). Для фазификации каждого из входных сигналов выбраны два нечетких терм-множества N (Negative) и P (Positive), что обеспечивает простейшую структуру регулятора [1]. В этом случае полная база правил будет состоять из восьми элементов вида «если – то».

[illegible]

\ \ / / \ / \ / \ /

$$\mu_N(\varepsilon) = \frac{\varepsilon_{\max} - \varepsilon}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}}; \quad \mu_P(\varepsilon) = \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\min}}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min}};$$

$$\mu_N(\varepsilon') = \frac{\varepsilon'_{\max} - \varepsilon'}{\varepsilon'_{\max} - \varepsilon'_{\min}}; \quad \mu_P(\varepsilon') = \frac{\varepsilon' - \varepsilon'_{\min}}{\varepsilon'_{\max} - \varepsilon'_{\min}},$$

$$\mu_N(\varepsilon'') = \frac{\varepsilon''_{\max} - \varepsilon''}{\varepsilon''_{\max} - \varepsilon''_{\min}}; \quad \mu_P(\varepsilon') = \frac{\varepsilon' - \varepsilon''_{\min}}{\varepsilon''_{\max} - \varepsilon''_{\min}}$$

$$\mu_N^u(\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon'') = \mu_N(\varepsilon) \wedge \mu_N(\varepsilon') \wedge \mu_N(\varepsilon''),$$

$$\mu_p''(\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon'') = \mu_p(\varepsilon) \wedge \mu_p(\varepsilon') \wedge \mu_p(\varepsilon'').$$

Функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому мно-

Функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому мно-

жеству N ограничена сверху значением $M_1 = \min(\mu_N(\varepsilon), \mu_N(\varepsilon'), \mu_N(\varepsilon''))$. Функция принадлежности управляющего воздействия нечеткому множеству P ограничена сверху значением $M_2 = \min(\mu_P(\varepsilon), \mu_P(\varepsilon'), \mu_P(\varepsilon''))$. Результирующая функция принадлежности получается формированием максимума $\mu(u) = \max(\mu_N^u, \mu_P^u)$.

В блоке дефазификации полученная результирующая функция принадлежности преобразуется в числовую величину. Для определения конкретного значения приращения управляющего воздействия воспользуемся методом определения абсциссы «центра тяжести» фигуры, образованной результирующей функцией принадлежности [3]:

$$\Delta u_k = u_{\min} + (u_{\max} - u_{\min}) \frac{\sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i) [(2a_{i+1} + a_i)b_{i+1} + (2a_i + a_{i+1})b_i]}{3 \sum_{i=1}^n (a_{i+1} - a_i)(b_{i+1} - b_i)} - u_{k-1},$$

где (a_i, b_i) – координаты точек результирующей фигуры.

Система, реализующая нечеткий ПИД-регулятор, разработана при помощи приложения MATLAB/FUZZY LOGIC TOOLBOX и представлена на рис. 4. Нечеткий регулятор в системе управления состоит из аналого-цифрового преобразователя АЦП, представленного фиксатором Zero-Order Hold, блоков оценки первой и второй производных ошибки системы, блоков нормировки входных (normin) и выходного (normout) сигналов, центрального блока нечеткого регулятора Fuzzy Logic Controller и выходного цифроаналогового преобразователя, представленного фиксатором Zero-Order Hold 1. В центральном блоке нечеткого регулятора Fuzzy Logic Controller задаются функции принадлежности базы правил. В редакторе функций принадлежности присутствуют одиннадцать типовых форм функций, из которых в системах управления наиболее целесообразно использовать пары симметричных друг относительно друга треугольных, колоколообразных, гауссовых и экспоненциальных функций [6]. В работе использованы треугольные функции принадлежности для входов и выхода fuzzy-регулятора.

На рис. 5 представлены результаты моделирования поведения системы управления. На рисунке приведены процессы в системах управления: слева – в системе с настроенным цифровым ПИД-регулятором; справа – в системе с настроенным нечетким регулятором.

Приведенные характеристики подтверждают эффективность применения нечетких ПИД-подобных регуляторов для управления нестационарными объектами. Анализируя характеристики процессов, можно заключить, что как классический ПИД-регулятор, так и нечеткий регулятор в системе управления обеспечивают устойчивое слежение с достаточно малыми ошибками рассогласования, при этом система с нечетким регулятором обеспечивает

ошибку рассогласования почти на порядок меньше, чем ошибка рассогласования в системе с классическим ПИД-регулятором. При недостаточной точности управления целесообразно увеличить количество термножеств, используемых при синтезе нечеткого регулятора, при увеличении диапазона изменения параметров нестационарных объектов – применение многоканальных нечетких регуляторов, где каждый канал настроен на определенный участок диапазона изменения параметров объекта.

Список литературы

1. Алиев Р.А., Захарова Э.Г., Ульянов С.В. Нечеткие модели управления динамическими системами // Итоги науки и техники. Сер. Техническая кибернетика. – М.: ВИНТИ, 1990. – Т. 29. – С. 127–201.
2. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: Издательство «Радиоаматор», 2008. – 972 с.
3. Гостев В.И. Проектирование нечетких регуляторов для систем автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.: ил.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 798 с., ил.
5. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 632 с.
6. Штобва С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

References

1. Aliev R.A., Zaharova Je.G., Uljanov S.V. Nechetkie modeli upravlenija dinamicheskimi sistemami // Itogi nauki i tehniki. Ser. Tehnicheskaja kibernetika. M.: VINITI, 1990. T. 29. pp. 127–201.
2. Gostev V.I. Nechetkie regulatory v sistemah avtomaticheskogo upravlenija. K.: Izdatelstvo «Radioamator», 2008. 972 p.
3. Gostev V.I. Proektirovanie nechetkih reguljatorov dlja sistem avtomaticheskogo upravlenija. SPb.: BHV-Peterburg, 2011. 416 p.: il.
4. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. M.: BINOM. Laboratorija znaniy, 2015. 798 p., il.
5. Pupkov K.A., Egupov N.D. Nestacionarnye sistemy avtomaticheskogo upravlenija: analiz, sintez i optimizacija. M.: Izdatelstvo MGTU im. N.Je. Bauman, 2007. 632 p.
6. Shtobva S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstva-mi MATLAB. M.: Gorjachaja linija Telekom, 2007. 288 p.

УДК 681.518.2

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СЛОЖНЫХ НЕСТАЦИОНАРНЫХ СИГНАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОКАРДИОГРАФИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Костыгов А.М., Лузянин И.С., Артемов С.А., Гвозденко С.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: dekan@etf.pstu.ru*

В статье представлены методы интеллектуального анализа трехмерного представления электрокардиографического сигнала (ТЭКГ) с целью повышения эффективности анализа электрокардиографических сигналов (ЭКГ) с помощью извлечения дополнительных данных. Описан метод подготовки данных для последующего анализа. Разработаны алгоритмы расчета и визуализации дополнительных данных, описаны применяемые математические методы и средства интеллектуального анализа, построена модель интеллектуального анализа с целью выявления паттернов, которые могут быть использованы для сравнительной оценки точности методов. Предложены методы кластеризации и классификации данных ТЭКГ на основе алгоритмов k-средних и деревьев решений. Показана эффективность предложенных методов при решении задач анализа паттернов электрокардиографических сигналов. Данный подход дает наибольшую точность в задаче интеллектуального анализа, что приведено в данной статье.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ, ЭКГ, кластеризация, классификация, деревья решений, алгоритм k-средних

INTELLIGENT ANALYSIS OF COMPLEX NON-STATIONARY SIGNALS ON THE EXAMPLE OF ELECTROCARDIOGRAPHICAL SIGNALS

Kostygov A.M., Luzyanin I.S., Artemov S.A., Gvozdenko S.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: dekan@etf.pstu.ru

The article presents intellectual analysis methods of three-dimensional ECG signal (3D ECG) for increasing the efficiency of the electrocardiographic signals (ECG) analysis by extracting additional data. Discloses a method of preparation of data for later analysis. Algorithms for preparing and visualizing additional data are described. Mathematical methods and tools for data analyzing are used to analyze are described. The model of predictive analysis for identifying patterns, which are used for comparative assessment accuracy of methods is constructed. Clustering and classification methods for 3D ECG based on k-means algorithm and decision trees are proposed. The efficiency of proposed methods for solving the task of ECG signals pattern analyzing is shown. This approach provides high accuracy in data mining task.

Keywords: intelligent analysis, ECG, clustering, classification, decision trees, k-means

С распространением программно-аппаратных комплексов сбора и идентификации биологических сигналов, а та же математических и статистических пакетов обработки данных, появились средства, позволяющие производить диагностику работы органов и систем человеческого организма. На основе полученных данных предсказываются нарушения в работе органа задолго до их появления, определяются тончайшие аномалии в их работе. Одним из методов предсказания аномалий является интеллектуальный анализ данных. Интеллектуальный анализ подразумевает извлечение информации из массивов данных, которые показывают определенные взаимосвязи с определенной точностью. Повышение точности является основной проблемой анализа, решением которой является поиск атрибутов, которые более конкретно описывают поведение сигнала.

Среди всего многообразия биологических сигналов наибольший интерес пред-

ставляют электрокардиографические сигналы (ЭКГ). В общем случае сигналы ЭКГ представляют собой трехмерные циклы, показывающие распространение электрического заряда по сердечной мышце с течением времени. Для упрощения задачи анализа сигналы ЭКГ обычно рассматриваются как проекция трехмерных циклов (ТЭКГ) на одну из осей координат. При этом взаимодействия между компонентами сигнала не учитываются. Основная гипотеза данной работы состоит в том, что анализ ТЭКГ даст дополнительные данные, для улучшения метода диагностирования патологий, скрытых в корреляции между сигналами по осям.

Применение паттернов в электрокардиографических сигналах

Паттерном называется закономерность в графике, повторяющаяся время от времени на определенном участке. Анализируя повторяемость некоторого отклонения, можно выявлять изменения в работе сердца,

такие как вентрикулярная тахикардия, экстрасистолия, миокардит, и другие [3].

Существует множество методов поиска закономерностей в сигналах ЭКГ, однако все они сводятся к решению задач интеллектуального анализа данных с использованием той или иной модели [2, 7].

Описание модели интеллектуального анализа поиска паттернов

В данной работе применяется следующая модель поиска паттернов ТЭКГ (рис. 1) [5, 6].

Модель состоит из следующих элементов:

1. Запись ЭКГ, непосредственно с помощью прибора.

2. Выделение отдельных сердечных сокращений и сегментация сигнала.

Сегментация сигнала необходима для выделения участков, характерных для конкретных процессов, происходящих в сердечной мышце. Изменения формы сигнала на каждом участке могут свидетельствовать о различных заболеваниях. Основная сложность при разделении сигнала ЭКГ на сегменты заключается в определении границ каждого сегмента. Поскольку электрические процессы, происходящие в сердечной мышце, носят непрерывный характер, в один момент времени могут протекать сразу два процесса. В этом случае граница между ними не является очевидной. Существует множество методов с различной точностью, такие как:

- скрытая марковская модель;
- вейвлет-декомпозиция;
- алгоритм динамической трансформации.

3. Предварительная обработка данных.

Состоит из двух этапов: фильтрация и выравнивание.

– В первом случае производится фильтрация низкочастотной (НЧ) и высокочастотной (ВЧ) составляющих исследуемого сигнала.

– Выравнивание графиков производится с помощью вейвлет-преобразования.

Для вычисления смещений сигналов относительно друг друга применяется вейвлет-преобразование [8] – трансформация временного сигнала в частотно-временной. Далее на основе вейвлет-функции рассчитываются отклонения, такие как позиция и масштаб для каждого биения.

4. Выделение параметров, поиск атрибутов.

На данном этапе производится сбор наибольшего количества информации об объекте. Здесь происходит разделение на интеллектуальный анализ временных рядов и многомерных массивов.

5. Кластеризация.

Этап кластеризации необходим для обучения модели без учителя. Так как изначально не известны классы и их количество, применяется метод устойчивой кластеризации.

6. Классификация.

Является следующим шагом после кластеризации и основана на алгоритмах интеллектуального анализа. Ее задача предсказать с определенной долей вероятности на основе входных атрибутов, класс, присвоенный предыдущим этапом кластеризации.

7. Алгоритм интеллектуального анализа

Здесь происходит подбор необходимого алгоритма, его настройка и обучение. Вы-

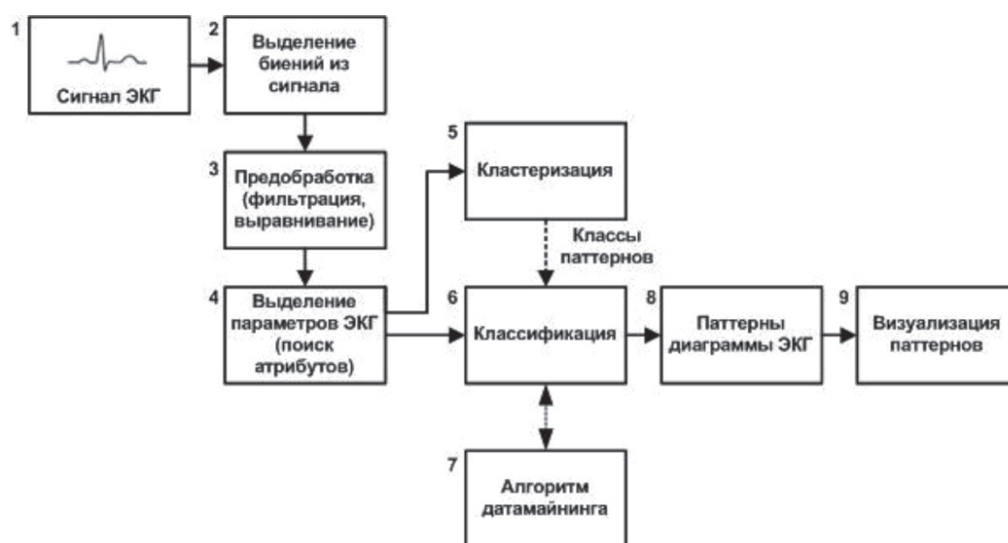


Рис. 1. Структурная схема поиска паттернов

бирается алгоритм, который имеет наилучшие результаты классификации паттернов.

8. Паттерны диаграммы

В результате анализа отдельные участки ТЭКГ объединяются в классы. Данные о классах определенных участков ТЭКГ записываются в специальный файл, на основе которого может производиться классификация других сигналов.

9. Визуализация паттернов

Для практического применения механизма определения паттернов производится визуализация паттернов. Участки с наибольшим отличием на графиках видны благодаря цветовой кодификации кластеров.

Описание и подготовка атрибутов для интеллектуального анализа данных

К основным атрибутам модели относятся непосредственно значения самих сигналов, номер точки, номер биения и номер пациента. Для улучшения точности алгоритмов и сравнения работы с временными и многомерными данными необходимы дополнительные атрибуты, характеризующие сигнал с другой стороны. Рассмотрим каждый дополнительный атрибут отдельно:

1. Евклидова дистанция

Наиболее распространенный атрибут – это измерение подобности графиков. Относительно среднего графика необходимо рассчитать подобность каждого к среднему. Расчет подобности – это расчет суммарной дистанции между графиками (рис. 2, а) [3]. В результате расчета получается массив расстояний с привязкой к номеру точки:

$$D(C, Q) = L_p(C, Q). \quad (1)$$

Такое представление разницы между графиками просто для понимания, но возникает ряд трудностей, связанных со смещением графиков относительно друг друга.

Наиболее подходящий и учитывающий данные недостатки Евклидовой дистанции

является алгоритм динамической трансформации временной оси (ДТВО) (рис. 2, б).

Результатом работы алгоритма является матрица соответствия точек одного графика к другому, на базе которого рассчитываются дистанции между соответствующими точками. ДТВО позволяет учесть растяжение и сжатие графика, его смещение и переусиление.

2. Расстояние между точками представляет собой дистанцию между точками в пространстве и рассчитывается на основе магнитуды сигнала в каждой точке.

3. Расчет отклонений представляет собой измерение евклидовой дистанции в трехмерном пространстве.

4. Положение динамического вектора электрической оси сердца (ЭОС) содержит две переменные. В полярных координатах вектор описывается углами азимута и нормали.

После подготовки данных формируется CSV-файл, который содержит атрибуты исследуемого сигнала.

Описание работы модели интеллектуального анализа данных ЭКГ и ТЭКГ

На рис. 3 приведена модель интеллектуального анализа данных, построенная в пакете IBM Modeler. На вход модели подается CSV-файл с данными. Далее производится подготовка данных: разделение данных на типы и отсеивание ненужных данных для повышения точности анализа данных. Следующими этапами являются кластеризация и классификация подготовленных данных.

Алгоритм кластеризации

Для решения задачи обучения без учителя необходимо сначала получить классы паттернов. С этой целью необходимо решить задачу кластеризации.

Наиболее простым алгоритмом кластеризации является метод *k*-средних (*k-means*) [4].

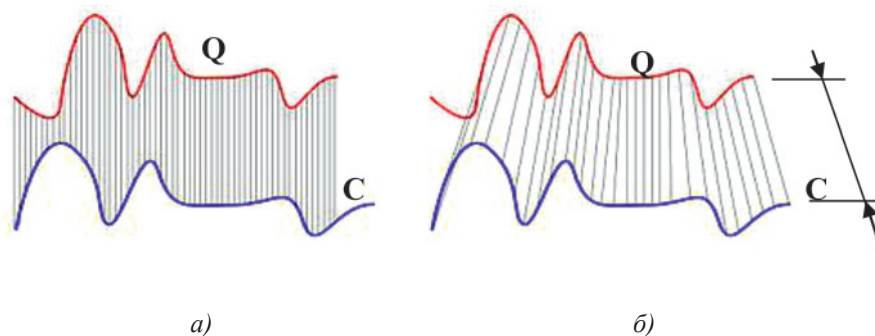


Рис. 2. Сравнение подходов расчета: а – Евклидова дистанция; б – алгоритм ДТВО

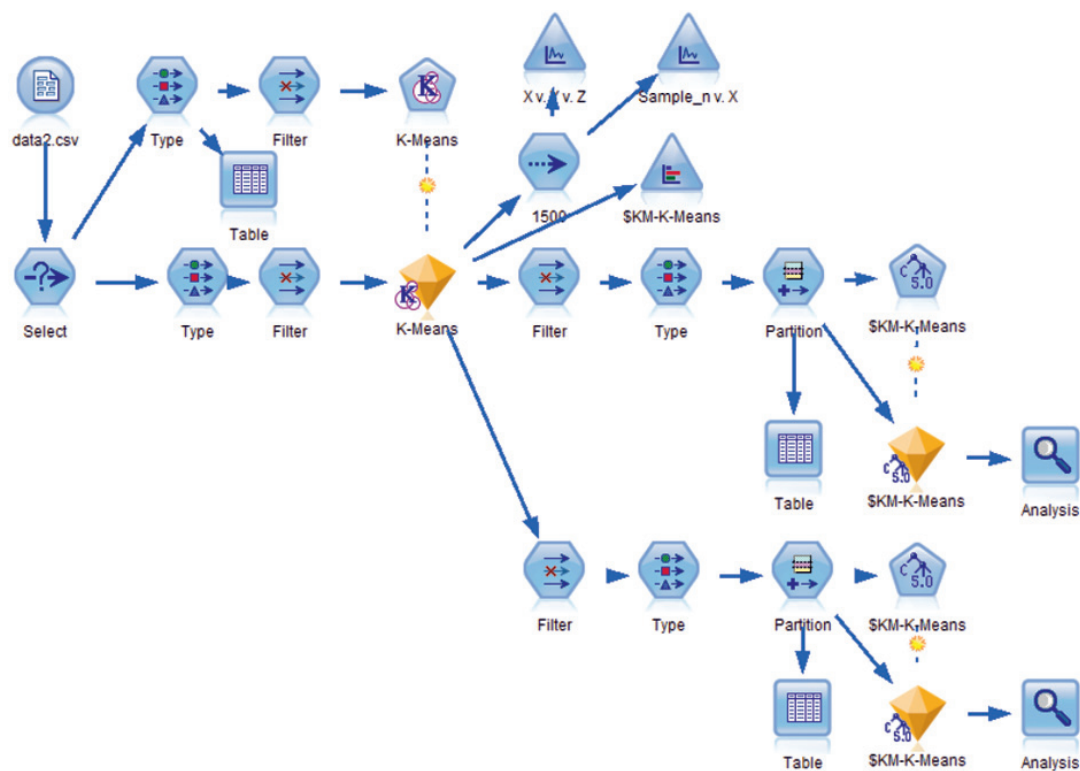


Рис. 3. Модель интеллектуального анализа сигналов ЭКГ



Рис. 4. График метода устойчивой кластеризации

Для работы алгоритма k -средних, как говорилось ранее, необходимо знать количество кластеров. Для этого применяется метод устойчивой кластеризации. На рис. 4 изображен график разделения кластеров, размеры наименьшего и наибольшего кластеров. Как видно, в точке с размерностью 15 кластеров происходит изменение размеров и разделения.

Алгоритм классификации

Наиболее точные результаты в данной работе дает дерево решений C5.0. Деревья

решений представляют собой граф, имеющий иерархическую структуру в вершинах которого стоят условия. На основе этих условий принимаются решения для перехода к нижестоящим вершинам.

Алгоритм C5.0 работает только с категориальными данными с высокой степенью устойчивости к проблемам пропуска данных и большим их количеством.

Результаты интеллектуального анализа

После обучения и классификации получаем результат, приведенный на рис. 5.

'Partition'	1_Training		2_Testing	
Correct	29 323	99,01%	12 357	96,35%
Wrong	293	0,99%	468	3,65%
Total	29 616		12 825	

'Partition'	1_Training		2_Testing	
Correct	25 384	85,71%	10 960	85,46%
Wrong	4 232	14,29%	1 865	14,54%
Total	29 616		12 825	

Рис. 5. Результат классификации ТЭКГ и ЭКГ

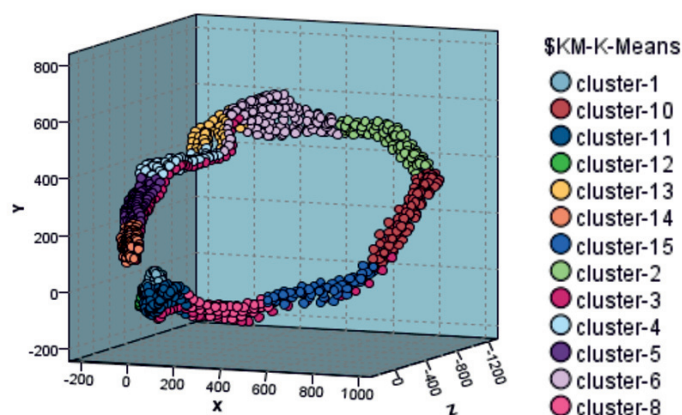


Рис. 6. Визуализация паттернов ТЭКГ

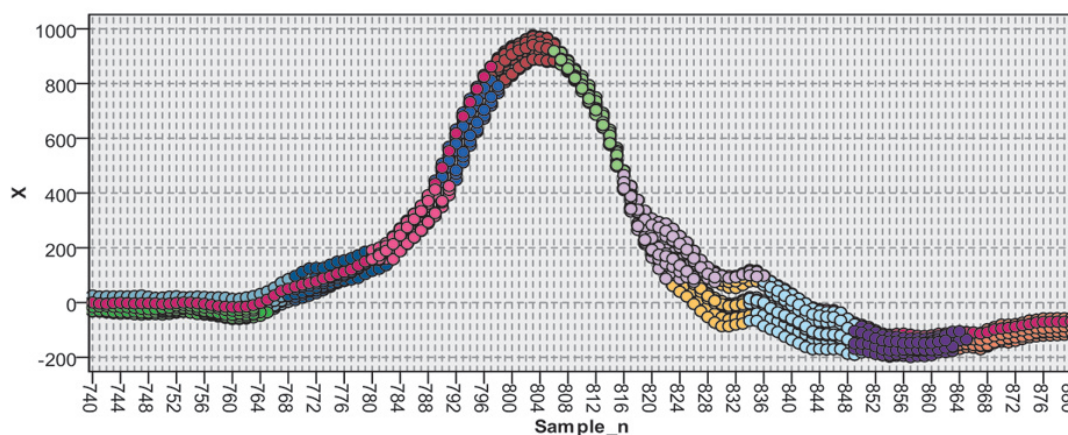


Рис. 7. График проекции паттернов на ось X

Как видно из полученных результатов, использование дополнительных атрибутов ТЭКГ, в сравнении с атрибутами используемых при анализе ЭКГ, улучшает точность классификации.

Для наглядного рассмотрения положения кластеров необходимо произвести их визуализацию. На рис. 6 и 7 отображены полученные графики.

Выводы

В статье был произведен интеллектуальный анализ данных ЭКГ и ТЭКГ с целью определения специфических паттернов внутри исследуемых сигналов и их классификации по определенным признакам. На первом этапе была проведена выборка тестовых сигналов ЭКГ. После чего проводилась

предварительная подготовка данных. После этого в программе *Matlab* была выполнена визуализация циклов ТЭК. На втором этапе была выполнена кластеризация данных. На последнем этапе выполнялась классификация данных и сравнение полученных результатов.

Список литературы

1. Артемов С.А., Кычкин А.В. Энергомониторинг подвижных объектов. //Материалы краевой научно-технической конференции. Автоматизированные системы управления и информационные технологии. – 2014. – С. 126–130.
2. Eamonn Keogh, Jessica Lin, Ada Fu, HOT SAX: Finding the Most Unusual Time Series Subsequence: Algorithms and Applications // ICDM – 2005. – P. 50–60.
3. K.O. Gupta, Dr. P.N. Chatur, ECG Signal Analysis and Classification using Data Mining and Artificial Neural Networks // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering – 2012. – P. 56–60.
4. Kychkin A.V., Artemov S.A. Software and hardware solution for energy monitoring system // Proceedings of 6th International conference of young scientists on solutions of applied problems in control and communications, data processing and data analysis. – Perm, PNRPU, 2015. – P. 3–11.
5. Marian Kotas, Projective Filtering of Time-Aligned ECG Beats // IEEE transactions on biomedical engineering. – 2004. – Vol. 51, № 7. – P. 1129–1140.
6. Michael Steinbach, Levent Ertöz, Vipin Kumar, The Challenges of Clustering High Dimensional Data // New Directions in Statistical Physics. – 2004. – P. 273–309.
7. M. Kotas, Robust projective filtering of time-warped ECG beats// computer methods and programs in biomedicine – 2008. – P. 161–172.

8. Paolo Buono, Aleks Arisb, Catherine Plaisant, Amir Khellab, Ben Shneidermanb, Interactive Pattern Search in Time Series // VDA – 2005. – P. 1–11.

References

1. Artemov S.A., Kychkin A.V. Jenergomonitoring podviznyh obektov. //Materialy kraevoy nauchno-tehnicheskoy konferencii. Avtomatizirovannye sistemy upravleniya i informacionnye tehnologii. 2014. pp. 126–130.
2. Eamonn Keogh, Jessica Lin, Ada Fu, HOT SAX: Finding the Most Unusual Time Series Subsequence: Algorithms and Applications // ICDM 2005. pp. 50–60.
3. K.O. Gupta, Dr. P.N. Chatur, ECG Signal Analysis and Classification using Data Mining and Artificial Neural Networks // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering 2012. pp. 56–60.
4. Kychkin A.V., Artemov S.A. Software and hardware solution for energy monitoring system // Proceedings of 6th International conference of young scientists on solutions of applied problems in control and communications, data processing and data analysis. Perm, PNRPU, 2015. pp. 3–11.
5. Marian Kotas, Projective Filtering of Time-Aligned ECG Beats // IEEE transactions on biomedical engineering. 2004. Vol. 51, no. 7. pp. 1129–1140.
6. Michael Steinbach, Levent Ertöz, Vipin Kumar, The Challenges of Clustering High Dimensional Data // New Directions in Statistical Physics. 2004. pp. 273–309.
7. M. Kotas, Robust projective filtering of time-warped ECG beats// computer methods and programs in biomedicine 2008. pp. 161–172.
8. Paolo Buono, Aleks Arisb, Catherine Plaisant, Amir Khellab, Ben Shneidermanb, Interactive Pattern Search in Time Series // VDA 2005. pp. 1–11.

УДК 621.316.925.1

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА «ELPLEK» ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Кухарчук А.В., Жданова Д.И., Квитко Я.И., Кожевников Н.А., Чепкасов А.И.

*Пермский национально исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: r805@mail.ru*

Анализ программы ELPLEK, с целью подтверждения возможности использования для расчётов различных режимов и моделирование действия защит (выбор характеристик и места установки). Анализ программы включает в себя моделирование нормального и аварийных режимов, построение диаграмм токов, напряжений и карт селективности действия защит. При решении поставленных задач использованы методы теории электроэнергетических систем, электрических цепей, линейной алгебры, методы математического моделирования. Практическая значимость основных результатов статьи. Анализ описывает, что результаты расчётов, полученные с помощью программы «ELPLEK», в некоторых случаях предназначены для оценочных расчетов. Из-за отсутствия сертификации программа «ELPLEK» не может быть использована службами и организациями, занимающимися проектированием электрической части станций и подстанций. Возможно использовать в лабораторных работах как средство для выбора и выполнения согласования уставок защит, координации характеристик срабатывания реле, инструмента для контроля селективности и чувствительности устройств РЗА при изменениях схемы сети, места и вида повреждения.

Ключевые слова: ELPLEK, расчёт короткого замыкания, моделирование режимов, карта селективности, диаграммы тока и напряжения

ANALYSIS OF THE USE OF THE SOFTWARE «ELPLEK» FOR MODELLING RELAYING

¹Kukharchuk A.V., ¹Zhdanova D.I., ¹Kvitko Ya.I., ¹Kozhevnikov N.A., ¹Chepkasov A.I.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: r805@mail.ru

Analysis program EPLEK, with the aim of acknowledgment capabilities use for calculations different modes and modeling activities of protection (feature selection and installation location). Program analysis includes modeling of normal and emergency modes, the construction of the current diagrams, voltage and cards selectivity of action protections. When solving tasks used methods of the theory of electric power systems, electric circuits, linear algebra, mathematical modeling methods. The practical significance of the main results of the paper. Analysis describes the results of calculations obtained by «ELPLEK» program, in some cases designed for estimations. Due to lack of certificate program «ELPLEK» not be used by agencies and organization involved in the design of electrical stations and substations. But it is possible to use in laboratory work as a means for selection and implementation of harmonization of protection settings, coordination of relay tripping characteristics, the tool for controlling the selectivity and sensitivity of the relay protection and automation devices at the network diagram change, place and type of damage.

Keywords: ELPLEK, calculation of short circuit, modeling system modes, selectivity map, amperage and voltage diagrams

Основополагающими принципами при реализации положений Федерального государственного образовательного стандарта третьего поколения является формирование образовательных компетенций. С целью повышения качества подготовки бакалавров в процессе изучения курса «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем» значительная часть учебного материала должна быть освоена в рамках проведения лабораторных работ и самостоятельной работы. Следовательно, требуется расширение лабораторных практикумов и создания условий для самостоятельно-го освоения компетенций согласно плану дисциплины. На лабораторный практикум возлагаются следующие задачи:

1. Практическое закрепление полученных теоретических знаний.
 2. Приобретение навыков самостоятельной работы.
 3. Планирование и постановка инженерного эксперимента.
 4. Обработка и объяснение результатов эксперимента.
 5. Сопоставление результатов теоретического анализа с экспериментальными данными.
- Современная электроэнергетическая система состоит из генераторов, трансформаторов и потребителей различного рода и представляет собой сложный комплекс, оценка режимов работы и проектирование новых объектов электроэнергетики включает в себя решение задач релейной защи-

ты, системной автоматики и устойчивости энергосистемы. При этом возникает необходимость в расчётах несимметричных режимов при коротких замыканиях, неполнофазных включений и сложных видах несимметрии сети в одной или нескольких точках связанных со значительной трудностью и временными затратами.

Специализированные программные продукты дают возможность упростить решение этих задач, позволяя рассчитывать параметры электрической сети практически любой сложности в нормальных и аварийных режимах работы. Программный пакет *ELPLEK* является бесплатным, предназначенным для анализа режимов работы электроэнергетической системы средством. *ELPLEK* позволяет построить модель электрической системы с генераторами, трансформаторами, линиями электропередачи, шинами, выключателями и т.п. и установить релейную защиту [4]. В редакторе содержатся функциональные возможности для учета параметров моделей генераторов, трансформаторов, линий электропередач, шин, выключателей и других элементов электросетевого хозяйства, кроме того, имеется возможность настройки защит с различными параметрами, которые могут быть встроены в подготовленную модель энергосистемы. Моделируются взаимодействие элементов электроэнергетической системы и функций релейной защиты. Для построения модели электрической сети используется простой редактор с элементами в виде условных графических обозначений (редактор схем). Параметры элементов электрической сети задаются пользователем. Меню параметров каждого элемента зависит от вида элемента.

Анализ нескольких программных продуктов автоматизации проектирования

объектов электроэнергетики представлен в таблице.

Основные преимущества могут быть сформулированы следующим образом: программа бесплатная и имеет широкий спектр возможностей моделирования устройств релейной защиты (имеется возможность использования время-токовых характеристик *IEC*, *ANSI* (*ABB*, *Westinghouse*, *Schneider Electric* и т.д.) и настраиваемых пользовательских характеристик.

Расчеты аварийных режимов выполняются по стандарту *IEC 60909*, либо используя метод, подобный методу наложения при условии $X_d \gg X_q$. Рассчитывая электрическую сеть непосредственно или определяя потокораспределения, для электрической сети могут быть получены параметры режима перед коротким замыканием.

Возможно моделирование следующих режимов работы системы электроснабжения: короткие замыкания, обрыв линий, нормальные режимы с учетом положений устройств регулирования напряжений трансформаторов.

При моделировании режима работы системы электроснабжения нужно учитывать следующие допущения, влияющие на результат:

1. Предполагается, что параметры переходных режимов (X), X' и т.д.) являются постоянными, не учитываются изменения во времени, связанные с насыщением магнитных систем.

2. Не учитываются системы управления генераторами, в том числе регулирование возбуждения.

Пример схемы электроснабжения, построенной в пакете *ELPLEK* с результатами расчета существующего режима, представлен на рис. 1.

Аналогия «*ELPLEK*» с другими программами [4, 7, 10]

Возможности	« <i>ELPLEK</i> »	«Электрик v 7.8»	«RastrWin»
Моделирование аварийных режимов	+	+	—
Составление расчетной схемы	+	—	+
Расчет токов короткого замыкания	+	+	—
Расчет гроззащиты	—	+	—
Показание токораспределения	+	—	+
Расчет потерь мощности	—	+	+
Построение карты селективности	+	—	—
Построение диаграмм тока и напряжений	+	+	—
Выбор защит	+	—	—
Доступность	+	—	—
Простота в использовании	—	+	—

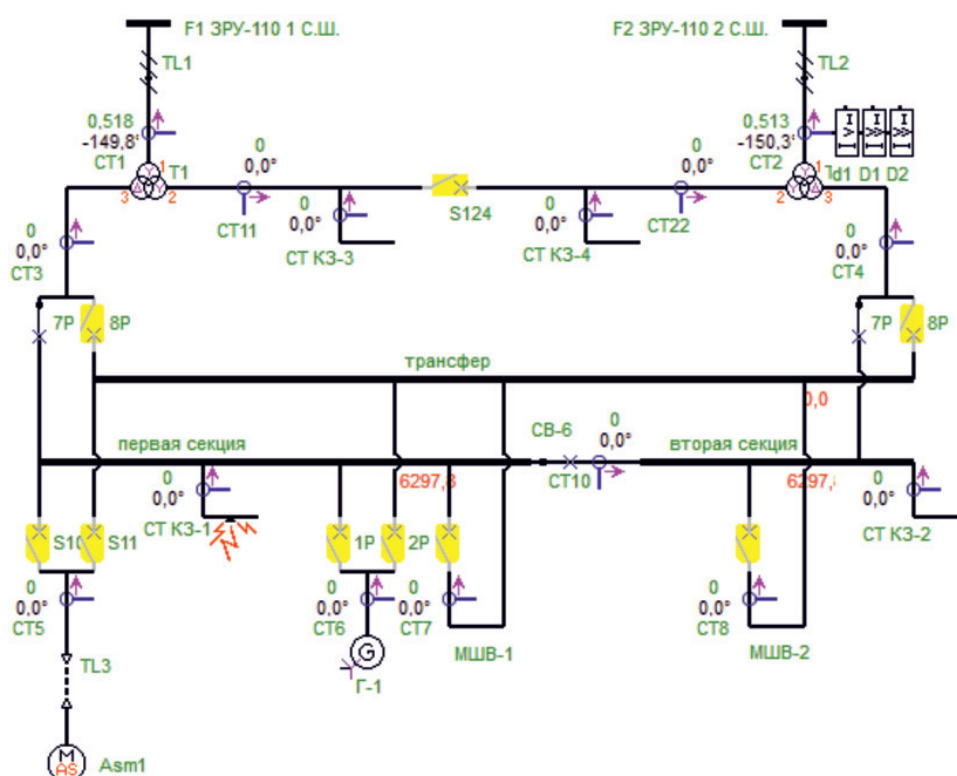


Рис. 1. Схема электроснабжения, построенная в пакете ELPLEK

При задании параметров нагрузки возможно задание трех сценариев, характеризующих ее параметры в зависимости от исследуемого режима. Для моделей трансформаторов возможно задание графика координат характеристики повреждения, определяющей, время термической стойкости, характеристика задается относительно первичного тока и зависит от типа трансформатора (с масляным или воздушным охлаждением), габаритов, и параметров трансформатора. Может быть использована базовая или определяемая пользователем характеристика.

Имеется возможность анализа режима в виде векторных диаграмм токов и напряжений с привязкой к трансформаторам тока и напряжения, см. рис. 2.

Построение системы релейной защиты и автоматики на модели системы электроснабжения выполняется добавлением трансформаторов тока и подключенных к ним реле с возможностью выбора схемы соединения обмоток трансформаторов тока с обмотками реле защит. Реле могут быть настроены как защиты с независимой, обратнозависимой выдержкой времени, дистанционные, либо с пользователь-

ской настройкой [5, 6, 8]. Комбинированное *PGQ*-реле – реле максимального тока, измеряющее фазный ток, сумму токов, разность или ток замыкания на землю, и ток обратной последовательности [2, 3]. Допускается введение уставок защит в первичном либо вторичном токе.

Электромеханические реле, или комбинированные электромеханические фазные, нулевые, и реле последовательностей являются реле максимального тока и моделируются по данным зависимой характеристики согласно таблице, заданной пользователем [9], либо экспортированной из специального файла формата *cvs*.

Использование таблиц устанавливает некоторые ограничения на характеристики:

1. В данных таблицах точки (максимальное время, минимальный ток) и (минимальный ток, максимальное время) на (обратно-)зависимых характеристиках ограничены.

2. У параметра множителя времени могут быть только дискретные значения между минимальным и максимальным значениями [1].

На рис. 3 представлен результат моделирования действия ступенчатых максимальной токовой защиты, красной линией показан ток короткого замыкания (на рисунке

справа), протекающий через соответствующий трансформатор тока в модели системы электроснабжения, функциональные возможности так же позволяют выполнять автоматическое определение разности между временами срабатывания двух защит при заданном токе.

Функциональные возможности позволяют отображать на карте селективности до 16 характеристик выбранных реле с учетом коэффициентов трансформации трансформаторов тока так и токов в реле при соединении трансформаторов тока в треугольник. Наличие специального суммирующего трансформатора тока, позволяет моделировать работу защит включенных на токи соответствующих последовательностей.

Реле дистанционной защиты могут быть настроены с четырехугольной либо круговой характеристикой [5]. На рис. 4 представлен

результат моделирования действия четырехступенчатой дистанционной защиты.

Дистанционное реле и реле максимального тока (PGQ -реле, электромеханические реле, реле повторного включения, реле с характеристиками определенными пользователем), могут иметь шесть наборов (групп) уставок, с возможностью перехода между группами в зависимости от положения выключателей в модели системы электроснабжения для различных конфигураций сети.

Возможности пользовательских настроек характеристик защит с использованием нескольких ступеней позволяют выполнять проверку селективности действия защит применяемых на напряжение до 1000 В, т.е. настраивать характеристики в соответствии с параметрами автоматических выключателей и предохранителей.

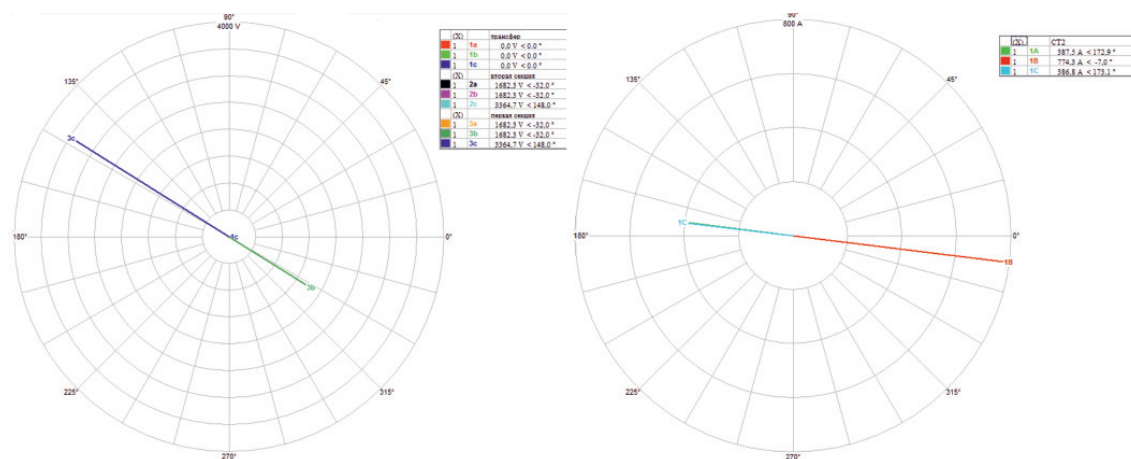


Рис. 2. Диаграммы токов и напряжений

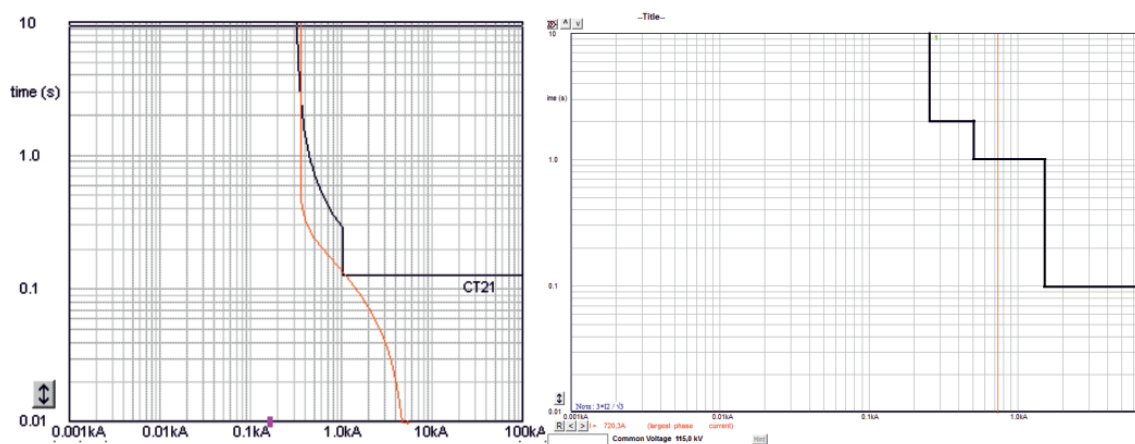


Рис. 3. Времятоковая характеристика защиты

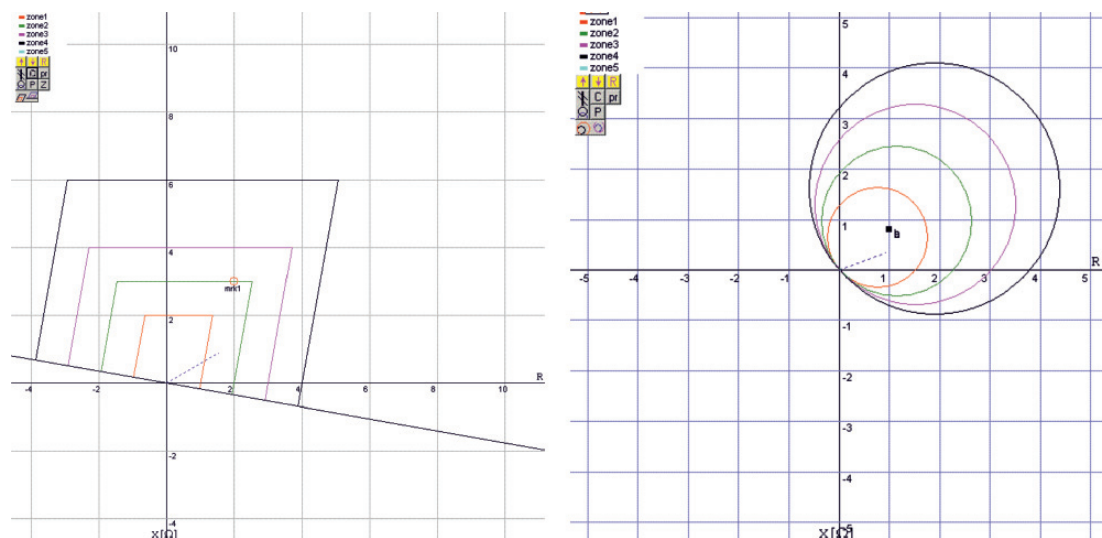


Рис. 4. Характеристика ступеней дистанционных защит

Проведённый анализ показал, что результаты расчётов, полученные с помощью программы *ELPLEK*, могут быть использованы при оценочных расчетах. Использование службами и организациями, занимающимися проектированием электрической части станций и подстанций, из-за отсутствия надлежащей сертификации, а также ограниченной функциональности недопустима.

В образовательном процессе *ELPLEK* может быть использован как хорошее наглядное пособие для выполнения работ, связанных с выбором и выполнением согласования уставок защит, координации характеристик срабатывания реле и предохранителей, инструмента для контроля селективности и чувствительности устройств релейной защиты при изменениях схемы сети, места и вида повреждения параметров работы нагрузки. Имеющиеся функциональные возможности делают *ELPLEK* аналогом систем имитационного поведения релейной защиты и автоматики и практически единственным решением, которое может быть рекомендовано студентам для облегчения освоения учебного материала.

Список литературы

1. Авербух А.М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия. Ленингр. отд-ние, 1979. – 184 с.: ил.
2. Андреев В.А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения. Учеб. Для вузов по спец. «Электроснабжение». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1991. – 496 с.
3. Векторные диаграммы в релейной защите и автоматике. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2008. 80 с.; ил. [Библиотека электротехника, приложение к журналу «Энергетик»; Вып. 12 (120)].
4. Все о релейной защите [Электронный ресурс]. – <http://rza.org.ua/ELPLEK/view/Raschet-releynoy-zashchiti-->

ELPLEK--Russkaya-versiya-pomoshchi_2-8.html. (дата обращения: 20.12.2015).

5. Дистанционные защиты ПЗ – 157, ПЗ-158, ПЗ-159. – М., «Энергия», 1973. – 96 с. с ил. (Б-ка электромонтёра. Вып. 380).
6. Дифференциальная защита шин 110–220 кВ. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 93 с. ил. – (Б-ка электромонтёра, Вып. 560).
7. Программный комплекс «RastrWin» [Электронный ресурс]. <http://www.rastrwin.ru/rastr/modification.php> (дата обращения: 20.12.2015).
8. Чернобровов Н.В. Релейная защита. Учебное пособие для техникумов. Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1974. – 680 с.: ил.
9. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985. – 296 с.: ил.
10. Электротехнические программы [Электронный ресурс]. – <http://rzd2001.narod.ru/cu.html> (дата обращения: 20.12.2015).

References

1. Averbuh A.M. Primery raschetov nepolnofaznyh rezhimov i korotkih zamykaniy. 2-e izd., pererab. i dop. L.: Jenergiya. Leningr. otd-nie, 1979. 184 p.: il.
2. Andreev V.A. Relejnaja zashhita i avtomatika sistem jelektrosnabzhenija. Ucheb. Dlja vuzov po spec. «Jelektrosnabzhenie». 3-e izd., pererab. i dop. M.: Vyssh. shk., 1991. 496 p.
3. Vektornye diarrammy v relejnoj zashhite i avtomatike. M.: NTF «Jenerroproress», 2008. 80 p.; il. [Biblio-techka jelektrotehnika, prilozhenie k zhurnalu «Jenerretik»; Vyp. 12 (120)].
4. Vse o relejnoj zashhite [Elektronnyj resurs]. – http://rza.org.ua/ELPLEK/view/Raschet-releynoy-zashchiti--ELPLEK-Russkaya-versiya-pomoshchi_2-8.html. (data obrashhenija: 20.12.2015).
5. Distancionnye zashhity PZ 157, PZ-158, PZ-159. M., «Jenergiya», 1973. 96 p. s il. (B-ka jelektromontjora. Vyp. 380).
6. Differencialnaja zashhita shin 110–220 kV. M.: Jenergoatomizdat, 1984. 93 p. il. (B-ka jelektromontjora, Vyp. 560).
7. Programmnyj kompleks «RastrWin» [Elektronnyj resurs]. <http://www.rastrwin.ru/rastr/modification.php> (data obrashhenija: 20.12.2015).
8. Chernobrovov N.V. Relejnaja zashhita. Uchebnoe posobie dlja tehnikumov. Izd. 5-e, pererab. i dop. M.: «Jenergiya», 1974. 680 p. il.
9. Shabad M.A. Raschety relejnoj zashhity i avtomatiki raspredeletelnyh setej 3-e izd., pererab. i dop. L.: JenergoatomizdatLeningr. otd-nne, 1985. 296 p.: il.
10. Jelektrotehnicheskie programmy [Elektronnyj resurs]. <http://rzd2001.narod.ru/cu.html> (data obrashhenija: 20.12.2015).

УДК 51-74 + 621.31]:004

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Мишуринских С.В.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

В статье проводится разработка модели долгосрочного прогнозирования потребления электрической энергии энергетическим оборудованием предприятий нефтегазодобывающей отрасли. Определена актуальность задачи прогнозирования потребления электрической энергии. Приведена укрупненная классификация факторов, влияющих на величину потребления электрической энергии. Составлен набор параметров, подаваемых на вход модели, с учетом минимизации ошибки выдаваемых моделью прогнозных значений. Определены нюансы представления данных, подаваемых на вход модели. Рассмотрена методика масштабирования исходных данных. Предложена модель прогнозирования потребления электрической энергии энергетическим оборудованием предприятий нефтегазодобывающей отрасли 2014–2015 год. Описана методика оценки точности прогнозных значений. Выполнен прогноз потребления электрической энергии, с помощью предложенной модели, на 2014–2015 год. Выполнена оценка точности полученного прогноза.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, долгосрочное прогнозирование, модель, нефтегазодобывающая отрасль

TO THE ISSUE OF THE FORECASTING OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION BY POWER-GENERATING EQUIPMENT OF THE OIL AND GAS PRODUCING INDUSTRY ENTERPRISES

Leyzgold K.A., Romodin A.V., Mishurinskikh S.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

The article presents the development of a long-term forecasting model of the power-generating equipment's electric energy consumption of the oil and gas producing industry enterprises. The urgency of the task considering the prediction of the electric energy consumption is determined. The integrated classification of the factors that influence the range of electric energy consumption is given. The set of the options applied to the input of the model, considering a minimized error given by the predicting model. The nuances of data presentation given on the model input are defined. The method of scaling the initial data is considered. A model for predicting the energy consumption by the electrical energy equipment of oil and gas producing industry enterprises (2014–2015) is introduced. A method for evaluation of the predicted unit values' correctness is described. The prediction of the electric energy consumption with the help of the introduced model for the year 2014–2015 is carried out. The evaluation of the received prediction accuracy is conducted.

Keywords: power consumption, long-term forecasting, model, oil and gas extraction branch

Решение задач повышения энергетической эффективности неразрывно связано с прогнозированием величины потребления электроэнергии на планируемый период. От точности прогноза зависит точность планирования потребления электроэнергии что, в свою очередь, позволит предприятию, независимо от отраслевой принадлежности, сократить финансовые издержки на оплату электроэнергии.

Объектами исследования являются два цеха добычи нефти и газа ЦДНГ-11 и ЦДНГ-12 ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

Зависимость потребления электроэнергии от различных факторов

Задача прогнозирования электропотребления сложна и многогранна, она включает в себя множество технологических, экономических и социальных факторов. Невоз-

можно учесть такое количество разноплановых факторов, поэтому учитывается только ряд факторов, которые классифицируются по четырем основным группам[2, 12]:

- экономические;
- временные;
- погодные;
- случайные.

Экономические условия эксплуатации энергосистемы четко сказываются на графиках потребления электроэнергии, но в моделях долгосрочного прогнозирования нагрузки экономические факторы в явном виде не фигурируют, так как они связаны с более длительными временными масштабами.

Существенное влияние на величину нагрузки оказывают три основных временных фактора: сезонные эффекты, недельно-суточный цикл и нерабочие дни. Сезонные

изменения определяют, приходится ли пик потребления электроэнергии в энергосистеме на лето или на зиму. Также, к важным сезонным изменениям относится переход от летнего времени к зимнему и обратно, изменения структуры тарифов, начало учебного года в школах и значительные спады деятельности в период каникул.

Недельно-суточная неравномерность графика нагрузки соответствует распределению рабочего и свободного времени населения района обслуживания.

Наличие нерабочих дней, связанных с религиозными праздниками и установленных законом, в общем приводит к существенному снижению нагрузки до уровней заметно меньших «нормального». Кроме того, в дни, предшествующие или следующие за праздниками, наблюдаются изменения графика электропотребления, обусловленные тенденцией к организации «продленных уикендов».

Существенные отклонения графика нагрузки вызываются метеорологическими условиями. Это объясняется наличием у большинства энергосистем крупных составных частей нагрузки, чувствительных к погоде. К ним относятся отопительные приборы, кондиционеры и средства ирригации в сельском хозяйстве.

Кроме того, метеофакторы в значительной степени определяют глубокие сезонные колебания и суточную неравномерность графиков потребления. Устойчивые сезонные и суточные циклы колебаний температуры и их влияние могут быть представлены в аналитическом виде и использоваться при разработке прогнозов ожидаемых значений потребления на всех циклах планирования и управления режимами.

К случайным возмущениям отнесены различные случайные влияния, вызывающие отклонения графика нагрузки, которые нельзя объяснить действием выше рассмотренных факторов. Энергосистема постоянно подвержена случайным возмущениям. Кроме малых возмущений возможны и сильные колебания потребления электроэнергии из-за больших нагрузок – сталеплавильных печей, синхротронов. Имеются также многочисленные события, о которых заранее известно, но влияние их на нагрузку является неопределенным, например закрытие промышленных предприятий.

Также значительное влияние на электропотребление оказывает количество аварийных ситуаций. Данный параметр имеет вероятностный характер, но тем не менее приводит к большому ущербу, вследствие чего снижается электропотребление. По-

этому при составлении прогноза электропотребления учесть данный фактор просто необходимо.

Так как объектом прогнозирования является нефтедобывающее предприятие, то сильное влияние на электропотребление будут оказывать перепады и средняя температура окружающего воздуха. Это объясняется тем, что в зависимости от температуры меняется вязкость нефти. Например, при отрицательных значениях температуры нефть становится более вязкой, что повышает потребление электроэнергии двигателями, потому что увеличивается механическое сопротивление при перекачке. Также к немаловажным факторам можно отнести длительность светового дня, этот фактор влияет на продолжительность работы освещения. Самым главным фактором является объем добычи, потому что все электродвигатели, задействованные в месторождениях, используются для добычи нефти и ее перекачки.

Прогнозирование

Формирование массива входных данных

В результате анализа [1, 3–11] было определено, что на входы моделей для различных месяцев будут подаваться следующие переменные, которые дают наименьшую погрешность прогнозирования: номер месяца в году (N), объем добычи нефти (D), средняя температура дня (t), разница между максимальной и минимальной температурой в месяце (R) и длительность светового дня (S). Модель в общем виде представлена на рис. 1.

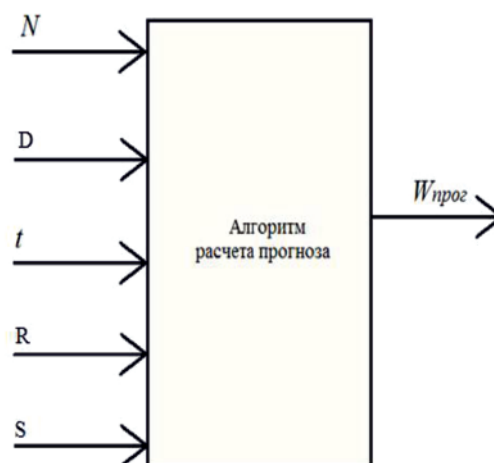


Рис. 1. Модель прогнозирования потребления электроэнергии, $W_{\text{прог}}$ – является прогнозируемой величиной

Таблица 1

Выборка для обучения нейронной сети по Сухаревскому месторождению

N	D	t	R	S	W
0,083	0,755	0,254	0,732	0,296	0,863
0,167	0,597	0,335	0,648	0,375	0,782
0,250	0,665	0,396	0,507	0,479	0,929
0,333	0,618	0,488	0,687	0,583	0,793
0,417	0,651	0,632	0,616	0,676	0,780
0,500	0,580	0,680	0,696	0,729	0,689
0,583	0,566	0,625	0,624	0,701	0,642
0,667	0,492	0,603	0,515	0,615	0,629
0,750	0,491	0,594	0,497	0,500	0,587
0,833	0,520	0,429	0,405	0,417	0,735
0,917	0,539	0,347	0,457	0,308	0,788
1,000	0,570	0,322	0,631	0,265	0,853
0,083	0,724	0,244	0,702	0,296	0,910
0,167	0,567	0,330	0,616	0,375	0,825
0,250	0,635	0,397	0,484	0,479	0,884
0,333	0,596	0,484	0,662	0,583	0,746
0,417	0,698	0,621	0,660	0,676	0,741
0,500	0,615	0,696	0,738	0,729	0,731
0,583	0,599	0,639	0,660	0,701	0,686
0,667	0,520	0,613	0,544	0,615	0,664

Таблица 2

Результаты прогнозирования, фактического потребления и погрешности для Юрчукского месторождения

N месяца	$W_{\text{факт}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{прогн}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$d_{\%}$
9	1542662	1657500	– 7,44
10	1737167	1640000	5,59
11	1869716	2185000	– 16,86
12	2033856	907500	55,38

Таблица 3

Результаты прогнозирования и фактического потребления для месторождения имени Сухарева

N месяца	$W_{\text{факт}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$W_{\text{прогн}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}$	$d_{\%}$
9	373421	308000	17,52
10	433736	466000	– 7,44
11	360422	178500	50,47
12	405309	420000	– 3,62

Для того чтобы правильно обучить ИНС, необходимо обработать первоначальные данные. Это необходимо, чтобы уменьшить погрешность при прогнозировании [3].

Так как значения входов, выходов нечеткой нейронной сети представляют собой вещественные числа из отрезка $[0, 1]$, то существует необходимость масштабирования исходных данных.

Масштабирование переменных служит для ускорения процесса обучения. Масштабирование переменных представлено выражением

$$x_m = \frac{x + c}{x_0},$$

где x_m – значение переменной после масштабирования, о.е.;

x – значение масштабируемой переменной, выраженное в абсолютных ед.;

c – значение смещения в абсолютных ед.;

x_6 – базисное значение масштабируемой переменной в абсолютных ед.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что оптимальным вариантом,

дающим наилучшие результаты, является выборка, состоящая из 20 строчек, в которые входят переменные за 2014 г. и за первые 8 месяцев 2015 г.

После операций, проведенных выше, была получена обучающая выборка и проведено обучение ИНС.

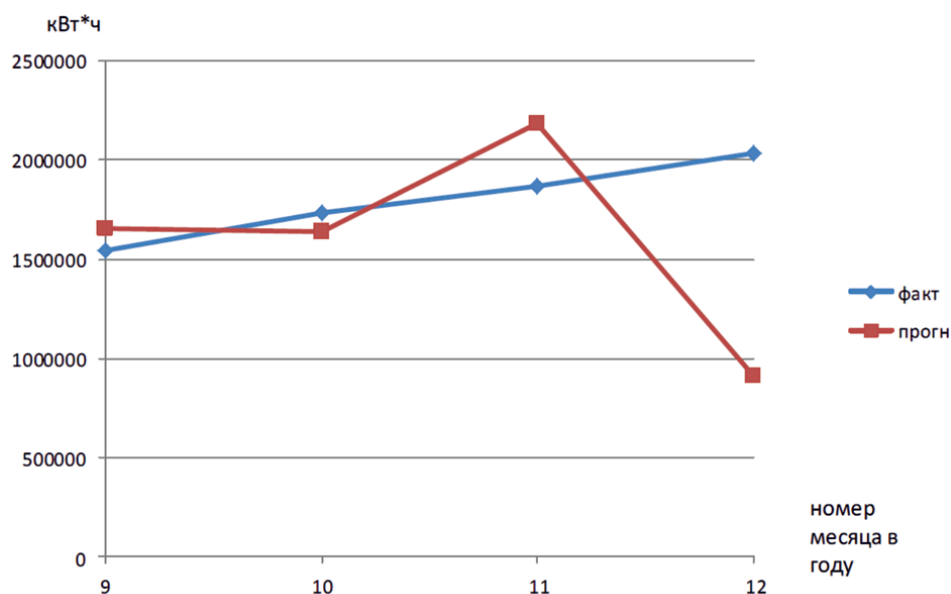


Рис. 2. Прогнозные и фактические значения потребления электроэнергии на Южно-Юрчукском нефтяном месторождении

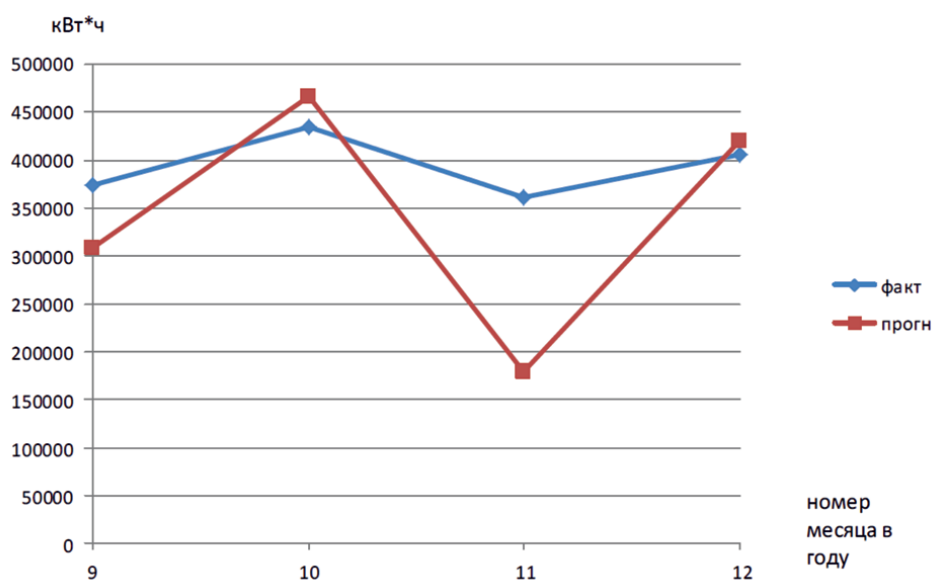


Рис. 3. Прогнозные и фактические значения потребления электроэнергии на нефтяном месторождении имени Сухарева

Прогнозирование и оценка точности прогноза

Для оценки точности прогноза необходимо рассчитать погрешность составленного прогноза. Расчет прогноза будет проводиться по следующей формуле [4]:

$$d_{\%} = \frac{W_{\text{факт}} - W_{\text{прогн}}}{W_{\text{факт}}},$$

где $d_{\%}$ – относительная погрешность прогноза, %;

$W_{\text{факт}}$ – фактическая величина электропотребления, кВт·ч;

$W_{\text{прогн}}$ – прогнозируемая величина электропотребления, кВт·ч.

Алгоритм обучения в ИНС использует стохастические методы обучения, следовательно, выполняются псевдослучайные изменения значений весов, сохраняя те изменения, которые ведут к уменьшению функции ошибки.

В ходе проведения экспериментов было установлено, что оптимальным вариантом, дающим наилучшие результаты, является выборка, состоящая из 20 строчек, в которые переменные за 2014 г. и за первые 8 месяцев 2015 г.

В качестве примера обучающей выборки приведены данные, сведенные в табл. 1.

Результаты расчета погрешности прогноза для Юрчукского месторождения представлены в табл. 2.

Результаты расчета погрешности прогноза для месторождения имени Сухарева представлены в табл. 3.

На рис. 2–3 представлены графики прогнозных и фактических значений потребления электрической энергии на Южно-Юрчукском и Сухаревском нефтяных месторождениях.

Заключение

Анализ полученных прогнозных данных позволяет говорить об адекватности разработанной модели. Выявлены выбросы прогнозных значений, значительно отличающиеся от реальных данных. Их присутствие вполне возможно в ходе работы ИНС. Анализ полученных погрешностей прогнозных значений задает вектор дальнейших исследований в направлении уточнения объема и состава параметров, подаваемых на вход модели.

Список литературы

1. Биятто Е.В., Шарманова Г.Ю., Привалихина К.К. Зависимость электропотребления от влияния различных факторов. Анализ потребления электроэнергии по ОЭС и энергосистемам 2012–2014 гг. // Молодой ученый. – 2015. – № 6. – С. 126–129.

2. Воропай Н.И., Труфанов В.В. Математическое моделирование развития электроэнергетических систем в современных условиях // Электричество. – 2000. – № 10.

3. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. – М.: СП ПараГраф, 1990. – 160 с.

4. Круглов В.В., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М: Наука, 1995. – 221 с.

5. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ Петербург, 2005. – 736 с.

6. Макоклеев Б.И., Ёч В.Ф. Взаимосвязь точности прогнозирования и неравномерности графиков электропотребления // Электричество. – 2001. – № 10.

7. Мокроусова Е.С., Ромодин А.В., Андриевская Н.В. Прогнозирование электропотребления месторождений ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» с помощью искусственных нейронных сетей // Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. электротехника, информационные технологии, системы управления: Сб. науч. тр. / ПГТУ. – Пермь, 2009. – С. 189–199.

8. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.

9. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 4. – С. 49–54.

10. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

11. Самосейко В.Ф., Шошмин В.А. Математическое моделирование потребления электроэнергетики производственными системами // Электричество. – 1995. – № 13.

12. Хайкин С. Нейронные сети: Полный курс. Пер. с англ. Н.Н. Кузусль, А.Ю. Шелестова. 2-е изд., испр. – М.: Издательский дом Вильямс, 2008. – 1103 с.

References

1. Bijatto E.V., Sharmanova G.Ju., Privalihina K.K. Zavisimost jelektpotreblenija ot vlijanija razlichnyh faktorov. Analiz potreblenija jelektroenergii po OJeS i jenergosisteamam 2012–2014 gg. // Molodoj uchenyj. 2015. no. 6. pp. 126–129.

2. Voropaj N.I., Trufanov V.V. Matematicheskoe modelirovanija razvitija jelektroenergeticheskikh sistem v sovremennykh usloviyah // Jelektrichestvo. 2000. no. 10.

3. Gorban A.N. Obuchenie nejronnyh setej. M.: SP ParaGraf, 1990. 160 p.

4. Kruglov V.V., Golunof R.Ju. Nechetkaja logika i iskusstvennyye nejronnye seti. M: Nauka, 1995. 221 p.

5. Leonenkov A.V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. SPb.: BHV Peterburg, 2005. 736 p.

6. Makokljuev B.I., Joch V.F. Vzaimosvjaz tochnosti prognozirovaniya i neravnomernosti grafikov jelektropotreblenija // Jelektrichestvo. 2001. no. 10.

7. Mokrousova E.S., Romodin A.V., Andrievskaja N.V. Prognozirovanie jelektropotreblenija mestorozhdenij ООО «LUKOIL-PERM» s pomoshhju iskusstvennyh nejronnyh setej // Vestnik permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. jelektricheskaja, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija: Sb. nauch. tr. / PGU. Perm, 2009. pp. 189–199.

8. Pegat A. Nechetkoe modelirovanie i upravlenie. M.: Binom. Laboratorija znaniy, 2009. 798 p.

9. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jelektricheskaja. 2010. no. 6. pp. 49–54.

10. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podhodov k postroeniju kompleksa «Jenergooptimizator» // Jelektr. Jelektricheskaja, jelektricheskaja, jelektricheskaja promyshlennost. 2013. no. 4. pp. 20–25.

11. Samosejko V.F., Shoshmin V.A. Matematicheskoe modelirovanie potreblenija jelektricheskoi proizvodstvennykh sistemami // Jelektrichestvo. 1995. no. 13.

12. Hajkin S. Nejronnye seti: Polnyj kurs. Per. s angl. N.N. Kussul, A.Ju. Shelestova. 2-e izd., ispr. M.: Izdatelskij dom Viljams, 2008. 1103 p.

УДК 62-83:621.313

СИНТЕЗ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРОВ ТОКА И СКОРОСТИ С УЧЕТОМ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ

Лыков А.Н., Казанцев В.П.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: lykov45@yandex.ru

Представлена инженерная методика настройки параметров регуляторов в системах электропривода с учетом упругих связей. Предложено при синтезе параметров регуляторов тока и скорости правило, чтобы резонансный пик ЛАЧХ разомкнутой САР скорости с учетом влияния упругости был ниже оси абсцисс не менее, чем на 6 дБ. При частоте среза контура скорости больше частоты упругих колебаний и при обратной связи по скорости возможно увеличить демпфирование упругих колебаний за счет электропривода. Выбор частоты среза контура скорости зависит в этом случае от коэффициента соотношения моментов инерции γ . Предлагаемые настройки контуров тока и скорости обеспечивают повышенную демпфирующую способность электропривода на упругие колебания и ограничивают динамические перегрузки в механической части производственного механизма.

Ключевые слова: упругие связи, параметры регуляторов, демпфирующую способность электропривода

THE SYNTHESIS OF CURRENT AND SPEED REGULATORS PARAMETERS CONSIDERING ELASTIC CONNECTIONS

Lykov A.N., Kazantsev V.P.

Perm National Research Polytechnic University, e-mail: lykov45@yandex.ru

Engineering methodic for tuning regulators parameters of power drive systems considering elastic connections are presented here. Next rule is proposed for tuning the 2nd case: Resonant peak of Bode plot of open-loop speed regulating system considering elasticity should lie not less than 6dB below the x-axis. Drive damping capacity for engine's speed feedback is possible to increase at $\gamma > 1$. Regulators parameters tuning should be carried on the base of roots of characteristic polynomial. Suggested current and speed loops tuning provide increased damping capacity of the electric drive for the elastic vibrations and limit the dynamic overloads of industrial mechanism's mechanical part.

Keywords: elastic connection, regulator parameters, damping capacity of power drive systems

В технической литературе имеются ряд рекомендаций по настройке параметров регуляторов в системах электропривода с учетом упругих связей [1, 3, 4]. Но эти методики, как правило, излишне усложнены и не получили распространения в инженерной практике. Ниже приводятся достаточно наглядные и простые инженерные методы синтеза параметров регуляторов в системах электропривода с учетом упругих связей [5].

Структурная схема двухмассовой упруго-вязкой механической системы хорошо известна (рис. 1).

В данной структуре два входных воздействия (M , M_c) и три выходных координаты (ω_1 , ω_2 , M_y). Передаточные функции для этой структуры сведены в табл. 1. В табли-

це приведены также ЛАЧХ той части передаточной функции, которая отражает влияние упругости.

Во всех передаточных функциях в знаменателе один полином второго порядка, отражающий влияние упругости

$$T_y^2 p^2 + T_d p + 1,$$

где

$$T_y = \frac{1}{\omega_y} = \sqrt{\frac{J_1 \cdot J_2}{c(J_1 + J_2)}},$$

$$T_d = 2\xi T_y \quad (\xi - \text{коэффициент затухания}).$$

Комплексные корни полинома:

$$p_{1,2} = -\delta \pm j\omega = -\omega_y(1 \pm \sqrt{\xi - \xi^2}).$$

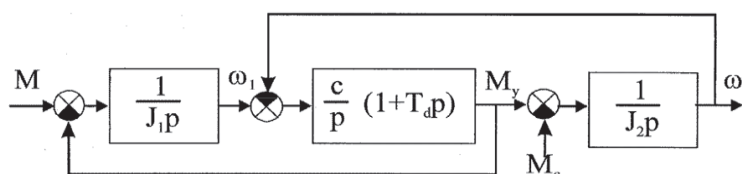


Рис. 1. Структурная схема двухмассовой упруго-вязкой механической системы

Таблица 1

Математическое описание двухмассовой механической системы

Передаточная функция	Частотные характеристики звеньев, учитывающие влияние упругости
$\frac{\omega_1(p)}{M(p)} = \frac{1}{(J_1 + J_2)p} \cdot \frac{T_y^2 \gamma \cdot p^2 + T_d p + 1}{T_y^2 p^2 + T_d p + 1}$ $\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1}$	
$\frac{M_y(p)}{M(p)} = \frac{J_2}{J_1 + J_2} \cdot \frac{T_d p + 1}{T_y^2 p^2 + T_d p + 1}$	
$\frac{M_y(p)}{M_c(p)} = \frac{J_1}{J_1 + J_2} \cdot \frac{T_d p + 1}{T_y^2 p^2 + T_d p + 1}$	
$\frac{\omega_2(p)}{M(p)} = \frac{1}{(J_1 + J_2)p} \cdot \frac{T_d p + 1}{T_y^2 p^2 + T_d p + 1}$	
$\frac{\omega_1(p)}{M_c(p)} = \frac{1}{(J_1 + J_2)p} \cdot \frac{T_d p + 1}{T_y^2 p^2 + T_d p + 1}$	
$\frac{\omega_2(p)}{M_c(p)} = \frac{1}{(J_1 + J_2)p} \cdot \frac{T_y^2 \gamma \cdot g p^2 + T_d p + 1}{T_y^2 p^2 + T_d p + 1}$ $g = \frac{J_1}{J_2}$	

В подобных системах $\xi \leq 0,1$, поэтому $\omega = \omega_y \sqrt{1 - \xi^2} \approx \omega_y$.

Амплитуда резонансного пика колебательного звена

$$A(\omega_M) = \frac{1}{2\xi\sqrt{1-\xi^2}} \approx \frac{1}{2\xi}.$$

Как влияют упруго-вязкая система и САР скорости друг на друга?

Возможны три случая:

- 1) $\omega_y \gg \omega_{cc}$;
- 2) $\omega_y \approx \omega_{cc}$;
- 3) $\omega_y < \omega_{cc}$;

где ω_{cc} – частота среза оптимизированного контура скорости, оптимизированного на МО или СО.

В первом случае влиянием упругости при расчете параметров регуляторов можно пренебречь.

Во втором и третьем случаях синтез регулятора скорости следует вести с учетом влияния упругости.

Предлагается следующее правило настройки для 2-го случая ($\omega_y \approx \omega_{cc}$): Резонансный пик ЛАЧХ разомкнутой САР скорости с учетом влияния упругости должен

лежать ниже оси абсцисс не менее чем на 6 дБ (рис. 2).

Если резонансный пик пересекает ось абсцисс, система становится неустойчивой (САР скорости входит в режим автоколебаний).

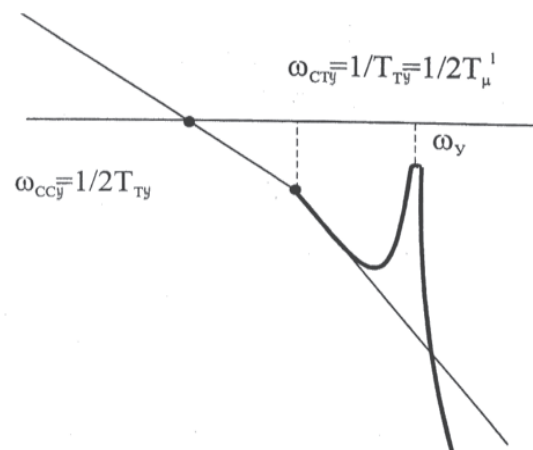
На рис. 2 представлены ЛАЧХ разомкнутой системы при обратной связи по скорости механизма или двигателя с учетом упругой связи. Причем частота среза контура скорости ω_{ccy} и контура тока ω_{cTy} снижены с тем, чтобы обеспечить на частоте ω_y опускание резонансного пика ниже оси абсцисс на 6 дБ. Соотношение между частотами среза контура тока и контура скорости остается неизменной – ($\omega_{cTy}/\omega_{ccy} = 2$).

Новые малые постоянные времени с учетом влияния упругости для расчета параметров контура тока и скорости в этом случае равны:

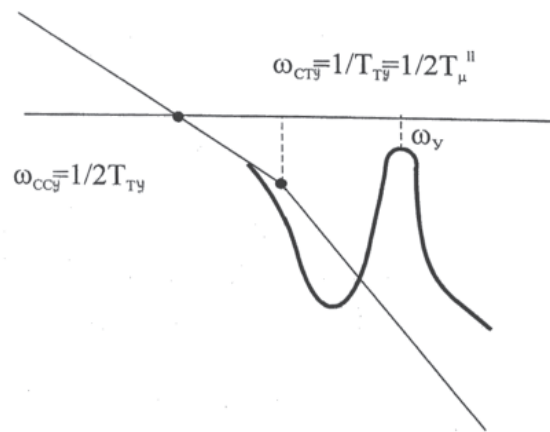
$$T_{\mu}^I = \frac{1}{2\omega_y \sqrt[3]{\xi}} \text{ (о.с. по } \omega_2),$$

$$T_{\mu}^{II} = \frac{1}{2\omega_y \sqrt[3]{\xi g}} \text{ (о.с. по } \omega_1).$$

Новые частоты среза контуров тока и скорости в этих условиях равны:



а)



б)

Рис. 2. ЛАЧХ разомкнутой САР скорости с учетом упруго-вязкой системы:
а) при о.с. по скорости механизма; б) при о.с. по скорости двигателя

о.с. по ω_2 :

$$\omega_{CTY} = \omega_y \sqrt[3]{\xi};$$

$$\omega_{CCV} = \frac{\omega_y}{2} \sqrt[3]{\xi};$$

о.с. по ω_1 :

$$\omega_{CTY} = \omega_y \sqrt[3]{\xi g};$$

$$\omega_{CCV} = \frac{\omega_y}{2} \sqrt[3]{\xi g}.$$

Из выражений для частоты среза контура скорости следует, что при $g > 1$ (при моменте инерции двигателя меньше, чем приведенный момент инерции механизма) при о.с., по скорости механизма можно получить большее быстродействие, чем при о.с. по скорости двигателя.

Но всегда частота среза контура скорости получается меньше частоты упругих колебаний. В этом случае можно говорить о слабой электромеханической связи [3]. Быстродействие контуров скорости и тока приходится снижать, чтобы система электропривода была устойчивой и влияние упругости на контуры слабо сказывалось. Физически это означает, что механические колебания не развиваются от воздействия момента двигателя. Но колебания, могущие возникнуть от воздействия статического момента, слабо демпфируются системой электропривода.

Рассмотрим третий случай – $\omega_y < \omega_{CC}$

При обратной связи по скорости механизма настройка производится по тем же

правилам, что и во втором случае (резонансный пик на ЛАЧХ должен быть ниже оси абсцисс на 6 дБ). Реальную частоту среза приходится снижать по условиям устойчивости. Всегда $\omega_{ccy} < \omega_{cc}$. Демпфирование колебаний от статического момента со стороны электропривода незначительно.

В случае обратной связи по скорости двигателя при $q > 1$ оказывается возможным увеличить демпфирующую способность электропривода. Настройку параметров регуляторов следует вести по корням характеристического полинома.

В подобной системе можно пренебречь малой постоянной времени $T_{ст}$ скоростного контура и внутренним демпфированием T_d в механической системе. Тогда из первоначальной передаточной функции разомкнутого контура скорости при П-РС получаем

$$W_{KC}(p) = \frac{1}{a_c T_{CT} \cdot p (T_{CT} p + 1)} \cdot \frac{T_y^2 \cdot \gamma \cdot p^2 + T_d p + 1}{T_y^2 \cdot p^2 + T_d p + 1} \approx$$

$$\approx \frac{1}{a_c T_{CT} \cdot p} \cdot \frac{T_y^2 \cdot \gamma \cdot p^2 + 1}{T_y^2 \cdot p^2 + 1} = \frac{\omega_{ccy}}{p} \cdot \frac{T_y^2 \cdot \gamma \cdot p^2 + 1}{T_y^2 \cdot p^2 + 1},$$

где $\frac{1}{a_c T_{CT}} = \omega_{ccy}$ – новая частота среза контура скорости с учетом упругости.

Тогда передаточная функция замкнутого контура скорости

$$\Phi_{KC}(p) = \frac{1}{K_{ДС}} \cdot \frac{T_y^2 \gamma p^2 + 1}{\frac{P}{\omega_{ccy}} \cdot (T_y^2 p^2 + 1) + T_y \gamma p^2 + 1} =$$

$$= \frac{1}{K_{ДС}} \cdot \frac{T_y^2 \gamma p^2 + 1}{\frac{T_y^2}{\omega_{ccy}} p^3 + T_y \gamma p^2 + \frac{P}{\omega_{ccy}} + 1}.$$

Исследуем характеристический полином

$$\frac{T_y^2}{\omega_{ccy}} p^3 + T_y^2 \gamma p^2 + \frac{P}{\omega_{ccy}} + 1 = 0.$$

При $p = g \cdot \sqrt[3]{\frac{\omega_{ccy}}{T_y^2}}$ получим

$$g^3 + (T_y \omega_{ccy})^{2/3} \cdot \gamma \cdot g^2 + \frac{1}{(T_y \omega_{ccy})^{2/3}} g + 1 = 0.$$

Имеем нормализованный вид характеристического полинома

$$g^3 + A g^2 + B g + 1 = 0,$$

где

$$A = \gamma \cdot (T_y \cdot \omega_{ccy})^{2/3},$$

$$B = (T_y \cdot \omega_{ccy})^{-2/3}, \quad A \cdot B = \gamma.$$

По диаграмме Вышнеградского для характеристического полинома 3-го по-

рядка можно выбрать коэффициенты A и B в зависимости от величины γ . Практика настроек показывает, что наиболее рационально принять $A = B$. Тогда получается частота среза

$$\omega_{ccy} = \frac{1}{T_y \gamma^{3/4}} = \frac{\omega_y}{\gamma^{3/4}}.$$

Уже при $\gamma > 1,5$ можно получить $\xi = 0,2 \div 0,3$. При $\gamma = 4$ $\xi = 0,5$.

При $\gamma > 9$ получаются аperiodические переходные процессы. Так как $\gamma > 1$, то ω_{ccy} **всегда меньше** ω_y , как и в предыдущих настройках.

Настройка позволяет выбрать такую частоту среза контура скорости, при которой обеспечивается наилучшее демпфирование упругих колебаний за счет замкнутого контура скорости.

Если оставить $\omega_{cc} \gg \omega_y$ (не уменьшать частоту среза контура скорости), получаем так называемую «жесткую» электромеханическую связь. Скорость двигателя будет изменяться в соответствии с заданием и не имеет практически колебаний. Масса механизма находится в режиме слабо затухающих колебаний по отношению к массе двигателя (при независимости статического момента от скорости).

Учитывая рост полосы пропускания современных электроприводов наилучшее демпфирование упругих колебаний за счет электропривода вполне достижимо. Пример такого решения приведен в [2].

Рассмотрим **колебания упругого момента** при переходных процессах по заданию скорости в системе электропривода. Если принять, что время нарастания момента (тока) двигателя равно T (рис. 18.2), то коэффициент динамичности $K_d = \frac{M_{y \max}}{M_{y \text{уст}}}$ будет зависеть от соотношения $\frac{T}{T_y}$ (рис. 3).

Чтобы ограничить динамические перегрузки в механических передачах, нужно обеспечить K_d на уровне $1,2 \div 1,4$. Для этого необходимо обеспечить $\frac{T}{T_y} = 1 \div 2$.

Время первого согласования в контуре тока, настроенном на МО, равно $4,7 T_M$. Поэтому малая постоянная токового контура, выбранная из условия минимизации динамических усилий в передачах, должна быть

$$T_M \geq \frac{(1-2)T_y}{4,7} \approx (0,2 \div 0,4) T_y.$$

Настройки параметров регуляторов тока и скорости, рекомендуемые выше, обеспечивают данное условие.

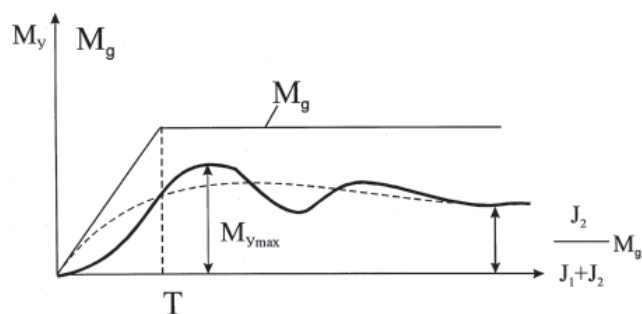


Рис. 3. Переходная характеристика упругого момента в передаче при линейном нарастании момента двигателя M_d

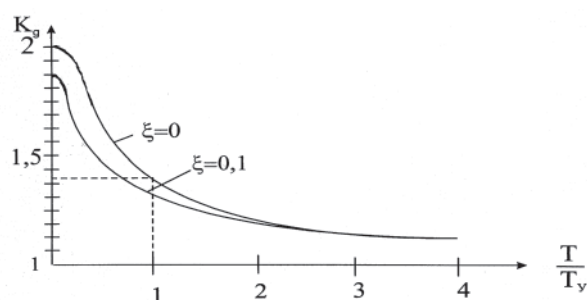


Рис. 4. Зависимость коэффициента динамичности K_d от соотношения T/T_y

Чтобы ограничить динамические перегрузки в механической части производственного механизма при воздействии статического момента, следует также по возможности ограничивать темп нарастания нагрузки на валу механизма.

Список литературы

1. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. – СПб.: Энергоатомиздат. 1992. – 288 с.
2. Демидова Г.Л., Лукичев Д.В. Адаптивная система управления двухмассовым объектом с упругими связями. Труды 8-й международной конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск, Т. 1. – С. 160.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. Учеб. для вузов.: Энергоатомиздат, 2001. – 704 с.

4. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода; Учебник для вузов. – СПб.: Энергоатомиздат. 1994. – 496 с.

5. Лыков А.Н. Системы управления электроприводами: моногр. / А.Н. Лыков. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 191 с.

References

1. Borcov Ju.A., Sokolovskij G.G. Avtomatizirovannyj jelektrorprivod s uprugimi svjazjami. SPb.: Jenergoatomizdat. 1992. 288 p.
2. Demidova G.L., Lukichev D.V. Adaptivnaja sistema upravlenija dvuhmassovym obektom s uprugimi svjazjami. Trudy 8-j mezhdunarodnoj konferencii po avtomatizirovannomu jelektrorprivodu AJeP-2014. Saransk, T. 1. pp.160.
3. Ključev V.I. Teorija jelektrorprivoda. Učeb. dlja vuzov.: Jenergoatomizdat, 2001. 704 p.
4. Kovchin S.A., Sabinin Ju.A. Teorija jelektrorprivoda; Učebnik dlja vuzov. SPb.:Jenergoatomizdat. 1994. 496 p.
5. Lykov A.N. Sistemy upravlenija jelektrorprivodami: monogr. / A.N. Lykov. Perm: Izd-vo Perm. gos. tehn. un-ta, 2009. 191 p.

УДК 65.011.46

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Малых О.В., Хорошев Н.И.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: horoshevni@mail.ru, oksanamalykh@yandex.ru*

Актуальной задачей в ситуации ограничений финансового, материального, трудового и информационного характера наряду с эффективным использованием собственных ресурсов предприятия становится оптимизация управления его инвестиционной деятельностью. В статье рассматривается метод повышения эффективности использования ресурсов, заключающийся в выборе оптимального с позиции множества критериев инвестиционного проекта и рациональном использовании финансовых ресурсов в условиях их ограниченности. Формализованы количественные и качественные критерии, позволяющие наиболее полно оценить эффективность реализации инвестиционных проектов и решить задачу оптимизации распределения необходимых для этого ресурсов. Осуществлено ранжирование наиболее перспективных проектов на основе комплексной оценки путем нахождения глобального приоритета как показателя синтезированных частных критериев. Рассмотрены и проанализированы варианты решения задачи оптимизации затрат (ресурсного обеспечения) при реализации инвестиционных проектов с использованием математического аппарата оптимизации, реализованного на базе современных программных продуктов.

Ключевые слова: инвестиции, проект, эффективность, причинно-следственная диаграмма, экономический эффект, оптимизация, нелинейное программирование

IMPROVE RESOURCE EFFICIENCY IN INVESTMENT PROJECTS

Malykh O.V., Khoroshev N.I.

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: horoshevni@mail.ru,
oksanamalykh@yandex.ru*

An urgent task in a situation of limited financial, material, labor and informational nature, along with the effective use of its own resources to optimize the management of the enterprise becomes its investment activities. In the article the method of increasing the efficiency of resource use, is to select the optimum position with the set criteria of the investment project and the rational use of financial resources in terms of their limitations. Formalized quantitative and qualitative criteria to more fully assess the effectiveness of investment projects and solve the problem of optimizing the allocation of the necessary resources. Implemented ranking the most promising projects on the basis of a comprehensive evaluation by finding a global priority as a measure of synthesized partial criteria. Considered and analyzed the options for solving the problem of optimization of costs (resource support) for the implementation of investment projects with the use of mathematical optimization system, implemented on the basis of modern software.

Keywords: investment, project, effectiveness, causal diagram, the economic effect, optimization, nonlinear programming

Актуальность темы исследования определяется тем, что в современных условиях значительной изменчивости финансовых рынков и высокого уровня неопределенности реализации инвестиционных проектов возрастает необходимость в развитии методов оценки и управления стоимостью инвестиционных проектов.

Цель и задачи исследования

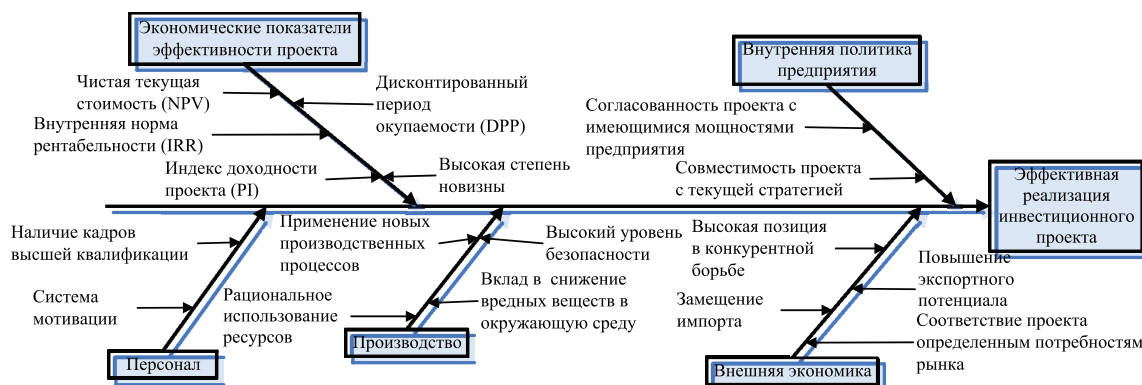
Основной целью исследования является повышение эффективности использования ресурсов, привлекаемых для реализации инвестиционных программ промышленных предприятий. Для этого необходимо решить задачи, связанные с иерархической формализацией критериев оценки проекта, формализацией целевой функции и ограничений для решения задачи оптимизации, численным решением задачи оптимизации на базе современных программных продуктов.

Ограниченность ресурсов обуславливает необходимость в решении задачи оптимизации их распределения при реализации конкретных видов работ. При этом можно выделить следующие ограничения, которые принимались во внимание:

- задан объем инвестиций для реализации проекта (критерий – максимум возможного экономического эффекта);
- ограничено количество работников с 32 до 15 чел. (критерий – максимальный эффект от каждого участника проекта при минимальных затратах).

Критерии инвестиционного проекта

В ходе исследования формализованы количественные и качественные критерии с помощью причинно-следственной диаграммы [1], отражающей результат со всеми возможными причинами, влияющими в конечном итоге на эффективную реализацию проекта (рисунок).



Причинно-следственная диаграмма

Таблица 1

Сводная информация значений синтеза критериев по проектам

Обозначение проекта	Консолидированный критерий оценки проекта (первый уровень)			
	K_1	K_2	K_3	K_4
ИП ₁	0,18	0,20	0,34	0,23
ИП ₂	0,67	0,61	0,12	0,52
ИП ₃	0,07	0,11	0,25	0,11
Значимость базовых критериев	0,47	0,42	0,07	0,10

Оценка эффективности инвестиционного проекта

На основе комплексной оценки инвестиционных проектов для промышленного предприятия целлюлозно-бумажной отрасли проанализированы численные значения критериев и проранжированы следующие проекты [2]:

1) «Энергомодуль на местных топливах» (ИП₁) – утилизация отходов предприятий ЦБП на основе современной экологически безопасной плазмо-электрохимической технологии с целью получения электрической и тепловой энергии;

2) «Система энергетического менеджмента» (ИП₂) – оптимизация процессов генерации, распределения и потребления топливно-энергетических ресурсов предприятия [3];

3) «Производство древесного угля» (ИП₃) – создание дополнительного постоянного источника доходов и диверсификация бизнеса (табл. 1).

Исходя из табл. 1 произведена оценка глобальных приоритетов ИП:

$$S_1 = 0,18 \cdot 0,47 + 0,20 \cdot 0,42 + 0,34 \cdot 0,07 + 0,23 \cdot 0,10 = 0,216;$$

$$S_2 = 0,67 \cdot 0,47 + 0,61 \cdot 0,42 + 0,12 \cdot 0,07 + 0,52 \cdot 0,10 = 0,632;$$

$$S_3 = 0,07 \cdot 0,47 + 0,11 \cdot 0,42 + 0,25 \cdot 0,07 + 0,11 \cdot 0,10 = 0,108.$$

Согласно рассмотренной методике оценки ИП промышленных предприятий все альтернативы были ранжированы в порядке убывания значений показателя глобального приоритета (S_i) [4], то есть {ИП₂, ИП₁, ИП₃}. Таким образом, наиболее значимым явился проект «Система энергетического менеджмента».

Решение задачи оптимизации

Согласно полученным ранее результатам ранжирования проектов для оптимизации выбран проект «Организация и внедрение системы энергетического менеджмента (СЭнМ)», обладающий хорошей экономической эффективностью. В табл. 2 показана структура стадий проекта, представляющая собой перечень этапов и работ, каждому этапу соответствуют ориентировочная длительность и стоимость. По перечисленным параметрам поэтапно рассчитывается количество рабочих часов, работников и человеко-часов, а также тарифная ставка, определяющая размер оплаты труда всех работников за час. Тарифная ставка, количество работников и человеко-часов были получены на основе опыта и знаний аналогичных проектов.

Таблица 2

Сроки и стоимость выполнения работ проекта

Наименование этапа	Стоимость выполнения работ, млн руб.	Срок реализации, мес. (ч.)	Тарифная ставка, руб./ч	Количество работников, чел.	Количество человеко-часов
Разработка и согласование ТЗ	0,2	2 (330)	606,06	2	660
Проведение диагностического аудита	0,6	3 (494)	1214,57	6	2964
Разработка СЭнМ	1,6	8(1317)	1214,88	10	13170
Внедрение СЭнМ	1,2	6 (988)	1214,57	13	12844

Таблица 3

Результаты решения задачи оптимизации

Переменные данной задачи	Предполагаемые значения	Численное решение задачи оптимизации с помощью программных пакетов	
		Scilab	EasyNP
Количество человеко-часов на разработку и согласование ТЗ (x_1)	660	600	641
Количество работников (x_2)	2	2	3
Количество человеко-часов на проведение диагностического аудита (x_3)	2964	2900	2900
Количество работников (x_4)	6	8	8
Количество человеко-часов на разработку СЭнМ (x_5)	13170	13000	13000
Количество работников (x_6)	10	10	10
Количество человеко-часов на внедрение СЭнМ (x_7)	12844	12000	12000
Количество работников (x_8)	13	12	12
Стоимость выполнения работ (млн руб.)	3,6	3,41	3,36

Каждый этап состоит из перечня работ. С помощью диаграммы Ганта можно представить график работ по проекту.

Ниже представлены основные формулы (1) и (2), участвующие в формализации целевой функции и ограничений.

$$Ч = X \cdot T, \quad (1)$$

где Ч – количество человеко-часов; X – количество работников; T – время, потраченное на выполнение работы.

$$Ц = ЗП / РЧ, \quad (2)$$

где Ц – стоимость человеко-часа; ЗП – заработная плата всех работников за этап; РЧ – количество рабочих часов каждого этапа проекта.

Целью оптимизации является сокращение затрат на реализацию этапов инвестиционного проекта, которая обуславливает необходимость уменьшения численных значений параметров (количество человеко-часов и работников на каждом этапе). Обо-

значим: $F(x)$ – инвестиции в проект; x_1, x_3, x_5, x_7 – количество человеко-часов; x_2, x_4, x_6, x_8 – количество работников.

Решим задачу нелинейной оптимизации [5], для чего определим минимальное значение целевой функции.

$$F(x) = \frac{606,06 \cdot x_1}{x_2} + \frac{1214,57 \cdot x_3}{x_4} + \frac{1214,88 \cdot x_5}{x_6} + \frac{1214,57 \cdot x_7}{x_8} \rightarrow \min \quad (3)$$

при следующих условиях-ограничениях, сформированных при помощи формул (1) и (2):

$$\begin{cases} 330x_2 + 494x_4 + 1317x_6 + 988x_8 < 29638; \\ \frac{200000}{x_1} + \frac{600000}{x_3} + \frac{1600000}{x_5} + \frac{1200000}{x_7} < 137,1; \\ \frac{x_1}{x_2} + \frac{x_3}{x_4} + \frac{x_5}{x_6} + \frac{x_7}{x_8} < 2000. \end{cases} \quad (4)$$

Таблица 4

Параметры задачи оптимизации

Параметры данной задачи	Полученные параметры задачи оптимизации с помощью программных пакетов	
	Scilab	EasyNP
Количество итераций	40	619
Погрешность измерения	0,001	0,001
Время выполнения (с)	0,275	0,4

Кроме указанных ограничений (4) были введены нижние и верхние границы переменных, например количество всех работников, участвующих в проекте, должно быть от 15 до 32 и количество человеко-часов не должно превышать 29638.

$$\begin{cases} x_1 + x_3 + x_5 + x_7 < 29638; \\ x_1 + x_3 + x_5 + x_7 > 900; \\ x_2 + x_4 + x_6 + x_8 < 32; \\ x_2 + x_4 + x_6 + x_8 > 15. \end{cases} \quad (5)$$

На основании сроков и стоимости выполнения работ проекта (табл. 2) были определены минимальные и максимальные величины переменных с помощью формулы (1)

$$\begin{cases} 600 < x_1 < 700; \\ 1 < x_2 < 3; \\ 2900 < x_3 < 4000; \\ 4 < x_4 < 8; \\ 13000 < x_5 < 14000; \\ 6 < x_6 < 10; \\ 12000 < x_7 < 13500; \\ 8 < x_8 < 12; \\ x_i > 0. \end{cases} \quad (6)$$

Для решения задачи нелинейного программирования были использованы программные пакеты *Slilab* и *Easy NP*. *Slilab*-система компьютерной математики, которая предназначена для выполнения инженерных и научных вычислений [6]. *Easy NP* – приложение для создания математической модели, то есть описания задачи в виде множества переменных и ограничений, а также генетического поиска оптимального решения.

В табл. 3 приведены результаты решения задачи нелинейной оптимизации на базе рассматриваемых программных продуктов. Видно, что количество человеко-часов уменьшилось на каждом этапе и стоимость

выполнения получилось минимизировать в той и другой программе. Однако наилучшее решение получилось с помощью программного приложения *Easy NP*, поскольку показатель стоимости выполнения работ уменьшился на 0,24 млн руб. против уменьшения в 0,19 млн руб., полученного в системе нелинейного программирования *Scilab*.

В *Easy NP*, исходя из особенностей модели, устанавливаются параметры генетического поиска и математических вычислений [7]. Поиск решений в *Scilab* осуществляется за 40 итераций, а в *Easy NP* – за 619. При этом известно, что чем меньше итераций, тем более эффективным является процесс. Однако это не означает, что решение, найденное с помощью генетического алгоритма, не оптимально (табл. 4). Погрешность измерения в той и другой программе устанавливается равной 0,001, тем самым обеспечивается высокая точность вычислений.

В рассматриваемом случае метод генетического алгоритма подходит больше, поскольку имеет ряд преимуществ: не имеет значительных математических требований к видам целевых функций и ограничений, алгоритм позволяет эффективно отыскивать глобальный оптимум, то есть значение целевой функции (3).

Заключение

Представлена процедура оптимизации различных ресурсов (стоимость выполнения работ, количество работников, количество человеко-часов), участвующих в реализации инвестиционного проекта «Организация и внедрение системы энергетического менеджмента (СЭнМ)», с использованием пакетов прикладных математических программ, позволяющих учесть уровень сэкономленных инвестиций. По результатам решения задачи оптимизации можно сделать вывод об эффективности использования генетического алгоритма в программе *Easy NP*, который предлагает наиболее выгодный вариант распределения инвестиций, но согласно полученным

параметрам (количество итераций, быстродействие выполнения) превосходит *Scilab*. Выбор наилучшего варианта реализации задачи оптимизации подразумевает в первую очередь результат целевой функции, программа *Easy NP* справилась с этим лучше. Многокритериальная оценка предоставляет возможность проводить выбор лучшего инвестиционного проекта и рационально использовать финансовые ресурсы в условиях их ограниченности.

Список литературы

1. Исикава К. Японские методы управления качеством. – М.: Изд-во «Экономика», 1988. – 215 с.
2. Хорошев Н.И., Малых О.В. Комплексная оценка эффективности инвестиционных проектов промышленных предприятий // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–7. – С. 1526–1530.
3. Хорошев Н.И., Елтышев Д.К., Кычкин А.В. Комплексная оценка эффективности технического обеспечения энергомониторинга // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–4. – С. 716–720.
4. Ковалев В.В. Методы оценки инвестиционных проектов. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 144 с.
5. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. – М.: Высш. шк., 1986. – 319 с.
6. Бакусов Л.М., Кондратьева О.В. Решение задач оптимизации средствами *Slilab* и *Excel*: Методическое указание к лабораторной работе по дисциплине «Математическая экономика» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. – Уфа, 2011. – 33 с.
7. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. – 2-е изд. – М.: Физматлит, 2006. – С. 320.

References

1. Isikava K. Japonskie metody upravlenija kachestvom. M.: Izd-vo «Jekonomika», 1988. 215 p.
2. Horoshev N.I., Malyh O.V. Kompleksnaja ocenka jeffektivnosti investicionnyh proektov promyshlennyh predpriyatij // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 11–7. pp. 1526–1530.
3. Horoshev N.I., Eltyshv D.K., Kychkin A.V. Kompleksnaja ocenka jeffektivnosti tehničeskogo obespechenija jenergomonitoringa // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 5–4. pp. 716–720.
4. Kovalev V.V. Metody ocenki investicionnyh proektov. M.: Finansy i statistika, 1998. 144 p.
5. Akulich I.L. Matematicheskoe programmirovaniye v primerah i zadachah. M.: Vyssh.shk., 1986. 319 p.
6. Bakusov L.M., Kondrateva O.V. Reshenie zadach optimizacii sredstvami Slilab i Excel: Metodicheskoe ukazanie k laboratornoj rabote po discipline «Matematicheskaja jekonomika» / Ufimsk. gos. aviac. tehn. un-t. Ufa, 2011. 33 p.
7. Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. Geneticheskie algoritmy: Uchebnoe posobie. 2-e izd. M.: Fizmatlit, 2006. pp. 320.

УДК 621.311.1

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ЭТАПЕ ЕЕ ПОТРЕБЛЕНИЯ

Мелюхина М.И., Широков А.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: melyuhina.mariya@gmail.com*

Решение задач повышения энергоэффективности невозможно без учета расходования и потерь электроэнергии на всех стадиях ее передачи и потребления. Несмотря на разработанные государственные программы и очевидную актуальность этой задачи процесс снижения потерь откровенно буксует. В статье рассмотрены проблемы использования объективной информации, получаемой с помощью автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии. Основное внимание уделено процессам обработки информации на уровне диспетчеризации. Проведен анализ функций обработки информации, реализованных российскими автоматизированными системами коммерческого учета. Предложены методики обработки информации с целью оптимизации ее расходования и, соответственно, экономической привлекательности внедрения современных технологий для потребителей в сфере ЖКХ. Даны рекомендации по использованию полученной информации энергосбытовыми компаниями и конечными потребителями. Предложенные подходы могут быть распространены на решение задач эффективного использования других видов энергоресурсов.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергопотребление, автоматизированные информационные системы, диспетчерский пульт, анализ данных, АСКУЭ

ELECTRICAL ENERGY SAVING AT THE STAGE OF CONSUMPTION

Melyuhina M.I., Shirokov A.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: melyuhina.mariya@gmail.com

Solving problems of energy efficiency is impossible without account expenditure and energy losses at all stages of its transmission and consumption. Despite the state programs and the apparent urgency of this problem, the loss reduction process has stalled frankly. The article deals with the problem of the use of objective information obtained through automated systems of commercial electricity metering. The focus is on the processing of information on the dispatch level. Analysis of data processing functions implemented by Russian automated commercial accounting systems is made. Is proposed information processing techniques in order to optimize expenditures and, accordingly, increase the economic attractiveness of the introduction of modern technologies for consumers in the housing sector. Recommendations for the use of the obtained information for the energy supply companies and consumers is formulated. The proposed approach can be extended to meet the challenges of effective use of other types of energy.

Keywords: efficient energy, energy consumption, automated information system, supervisory panel

Повышение энергоэффективности в сфере производства и потребления энергоносителей является одной из самых серьезных задач, стоящих перед страной. По сравнению с индустриально развитыми странами энергоэффективность нашего производства в разы ниже, что сказывается на себестоимости выпускаемой продукции.

Решение задач повышения энергоэффективности должно производиться на всех этапах: от производства энергоресурсов до их потребления. На государственном уровне основное внимание уделяется экономии топлива при выработке энергоресурсов. При условии, что коэффициент полезного действия энергогенерирующего оборудования по разным источникам составляет от 25 до 40%, капитальные вложения на модернизацию оборудования должны дать существенный эффект. В то же время необходимо повышать энергоэффективность и в процессе передачи и потребления электроэнергии.

С каждым годом потребление электроэнергии в стране растет. Так, с 2005 по 2013 гг. потребление увеличилось

на 114119,9 млн кВт.час, с 940702,7 до 1054822,6 млн кВт.час. Потери в электросетях при этом ежегодно составляют более 100000 млн кВт.час или почти 10% от всей произведенной электроэнергии. В рублях сумма составляет более 100 млрд руб. ежегодно [6].

Все эти данные говорят о срочной необходимости внедрения в сферу энергопотребления новых энергосберегающих технологий. При этом, если на промышленных предприятиях используют автоматизированные системы технического и коммерческого учета, то в сфере бытового энергопотребления ни на уровне управляющих компаний, ни на уровне потребителей экономией энергоресурсов практически совсем не занимаются.

Создается впечатление, что единственной заинтересованной стороной в области энергосбережения является верхний уровень государственной власти.

Причинами фактического бойкотирования данных работ со стороны потребителей являются:

– необходимость капитальных вложений на установку специализированного оборудования по сбору и передаче информации об энергопотреблении в квартирах, многоэтажных домах и дальнейшей передачи этой информации на диспетчерские пункты;

– дополнительные расходы и сложность технического обслуживания оборудования;

– отсутствие детальной информации, позволяющей организовать рациональное потребление энергоресурсов и, соответственно, получить экономический эффект.

Вот и получается, что расходы необходимо нести сейчас, а экономический эффект будет неизвестно когда.

Основными стимулами внедрения новых технологий на сегодняшний день являются:

– Государственная программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности до 2020 года» [3];

– Программа по развитию коммерческого учета электроэнергии на основе технологий интеллектуального учета на период до 2020 года [5].

Вопросами учета электроэнергии на стадии передачи и потребления занимаются достаточно давно. Разработаны и внедрены (в основном на промышленных предприятиях) системы коммерческого учета электропотребления (АСКУЭ). Структура АСКУЭ является практически одинаковой у многих компаний. Пример такой структурной схемы представлен на рисунке.

Структурно систему можно представить состоящей из трех уровней. Первый уровень – это электронные приборы учета (электросчетчики с цифровым выходом). Второй уровень – это подсистема предварительного сбора и передачи данных. Третий уровень представляет собой диспетчерский

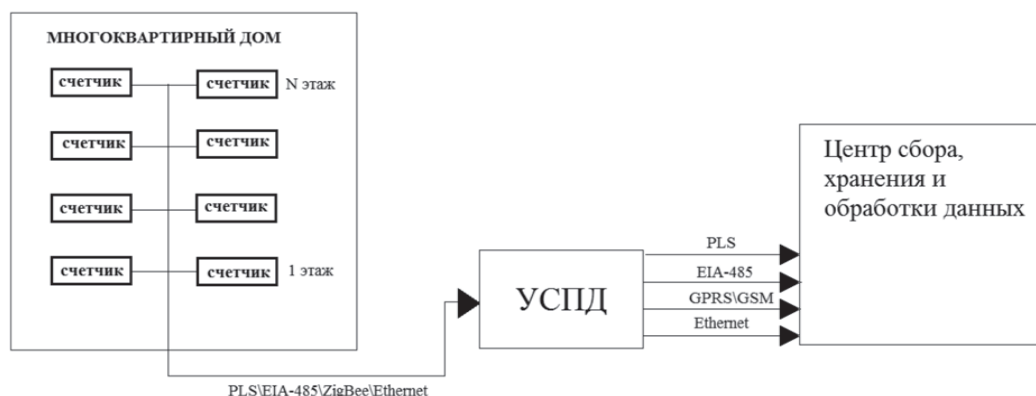
пункт (центр сбора, хранения и обработки данных) [7].

В принципе, уже на втором уровне возможно подключение компьютеров с установленным программным обеспечением, что позволит производить учет потребленной электроэнергии для данного куста с принятием соответствующих решений (например, контроль энергопотребления в многоквартирном доме или коттеджном поселке). Однако отсутствие подготовленного персонала на этом уровне, как правило, не позволяет выполнять подобные работы.

Если оценить состояние внедрения АСКУЭ в сферу ЖКХ, можно сделать следующие выводы.

Плановая замена индукционных счетчиков на электронные с цифровым выходом в квартирах позволяет полностью решить проблемы по снятию и передаче показаний в автоматическом режиме.

Сложнее дело обстоит с передачей показаний на уровень сбора и передачи данных. Специализированные измерительные системы или многофункциональные программируемые преобразователи со встроенным программным обеспечением энергоучета (УСПД) осуществляют круглосуточный сбор измерительных данных с территориально распределенных счетчиков, накопление, обработку и передачу этих данных на верхние уровни. Контроллеры сбора данных и соответствующие средства передачи смонтированы в основном в новых домах, имеющих информационную инфраструктуру (системы «умный дом», «интеллектуальное здание» и подобные). В старых домах подобных систем, как правило, нет. Правда, при желании и наличии средств организовать такую инфраструктуру несложно.



Структурная схема АСКУЭ

Если проанализировать подходы к разработке подобных систем в развитых странах, то мы практически не найдем отличий в их и наших системах (на западе они имеют обозначение «AMR systems» (Automatic Meter Reading – система автоматического считывания показаний счетчиков)). На первом уровне устанавливаются электронные счетчики, основными требованиями к которым являются надежность и дешевизна. В настоящее время такие системы созданы, производятся серийно и широко внедряются во многих странах. Мировыми лидерами в этой области надо назвать Германию, Израиль, Италию, Канаду, США и некоторые другие. Следует отметить, что мы существенно отстаем от перечисленных развитых стран.

Наиболее популярным средством передачи информации на первом уровне является технология связи PLC (Power Line Communication – связь по низковольтной сети). Основное достоинство данной технологии состоит в использовании электросети, а значит, нет необходимости в дополнительных монтажных работах. Технические решения, используемые в АСКУЭ на базе PLC-технологии, позволяют:

- сохранить у большинства потребителей дешевые однотарифные электронные счетчики или даже счетчики индукционной системы, оборудовав их электронными приставками формирования цифрового кода с передачей данных от них по силовой сети в групповые устройства сбора данных;

- внедрять у каждого потребителя любые тарифные системы, изменяя только программное обеспечение в устройстве сбора данных, без выполнения дополнительных монтажных работ и замены счетчиков;

- списывать показания счетчиков по многоквартирному дому за несколько секунд дистанционно – не входя в помещения, где они установлены. При этом сами контролеры лишаются возможности изменять показания счетчиков;

- считывать показания счетчиков с необходимой частотой, получая при этом графики потребления электрической энергии за любой период;

- выполнять синхронизацию получения информации, что необходимо для решения целого ряда аналитических задач;

- выявлять хищения электроэнергии, сигнализировать об этом и даже дистанционно отключать неплательщиков.

Системы с передачей информации по силовой сети универсальны и многофункциональны и могут интегрировать в себя другие подсистемы: учета различных видов энергетических ресурсов (тепла, газа,

горячей и холодной воды); управления инженерными системами в доме; системами охранно-пожарной сигнализации. Это только повышает их эффективность и снижает сроки окупаемости.

Весьма перспективным направлением организации передачи данных в местах с высокой концентрацией первичных приборов (счетчиков) является использование технологии ZigBee. Эта технология беспроводной передачи привлекательна тем, что за счет автоматической маршрутизации в рамках сети имеет возможность увеличивать территорию охвата при подключении новых приборов.

Достаточно популярным средством передачи считанных показаний счетчиков как у нас, так и за рубежом является радиосвязь. При этом в последнее время все большее распространение находит использование сотовой связи. Ограничением на ее использование является наличие «мертвых зон» покрытия, хотя это характерно только для сельской местности с небольшим количеством потребителей электроэнергии. Наверное, понятно, что и разворачивать АСКУЭ в таких местах будут в последнюю очередь.

Передача данных от УСПД (второй уровень) на диспетчерский пульт производится с использованием разнообразных технологий, как уже перечисленных, так и технологий компьютерных (проводных и беспроводных) сетей.

Наиболее слабо проработанными вопросами в системе является поддержка аналитических задач, решаемых системой на уровне диспетчерского пункта. А ведь это высший уровень системы, который производит сбор информации с узлов второго уровня, дополнительную их структуризацию, архивирование данных, формирование документов для взаиморасчетов на рынке электроэнергии и решение целого ряда других задач.

Если проанализировать стандартный функционал типовых АСКУЭ, разрабатываемых и применяемых в нашей стране, то это, как правило, решение следующих задач:

1. Автоматический сбор текущих значений передачи и потребления энергоресурсов в различных точках и регистрация их с привязкой ко времени. Частота съема значений зависит от характера решаемых задач.

2. Контроль превышений установленных норм потребления электроэнергии и сигнализация об их превышении.

3. Текущие расчеты суммарного потребления энергоресурсов по отдельным

потребителям и системе в целом, расчеты балансов получаемой и отпускаемой энергии.

4. Подготовка и вывод отчетов о расходовании энергоресурсов за заданный интервал времени: за сутки, неделю, месяц и т.п.

5. Подбор и визуализация сравнительных данных для анализа изменения ситуации после проведения мероприятий по энергосбережению [8].

Некоторые системы дополнительно решают задачи контроля работоспособности оборудования, безопасности и некоторые другие, что является, конечно, важным, но непосредственно проблемы повышения энергоэффективности не выполняют.

С нашей точки зрения, потребителями информации АСКУЭ могут быть, с одной стороны, персонал энергосбытовых компаний, сетевые компании и, с другой стороны, работники управляющих компаний, ТСЖ и конечные потребители.

Для работников энергосбытовых и сетевых организаций наиболее важными функциями являются учёт потерь энергии в трансформаторах и линиях электропередачи. Также анализ данных, предоставляемых АСКУЭ, полезен для определения перегруженных участков электросети и принятия решения об увеличении их пропускной способности. Система может быть использована энергосбытом не только для автоматизации выставления потребителям счетов за пользование электроэнергией, но и для предотвращения возможных конфликтов. Так как АСКУЭ может предоставлять одни и те же учётные данные энергосбыту и потребителю одновременно, разногласия можно устранить до их перехода в конфликт [2].

Для специалистов управляющих компаний и ТСЖ необходимой информацией являются:

- данные коммерческого учёта потребления (отпуска) электроэнергии по каждой точке (группе) учёта на заданных коммерческих интервалах;

- параметры электроэнергии (токов, напряжений, $\cos \varphi$, частоты) на заданном интервале опроса;

- вывод расчётных параметров на терминал и/или на устройство печати по требованию оператора;

- информация о неисправности оборудования;

- график нагрузок в течение суток с возможностью применения организационных мер по выравниванию данного графика;

- данные о технических и коммерческих потерях электроэнергии;

- данные точек несанкционированного отбора электроэнергии;

- тариф потребителя;

- архив данных;

- статистические данные [1, 4].

Перечень этой информации не является исчерпывающим. Как и в других информационных системах, по мере появления новых задач и методик рационального энергопотребления потребуются и дополнительная информация, и новые средства ее обработки. В частности, целесообразно увязать данные процессы с учетом и эффективным использованием тепла и воды.

Развитие процессов рационального энергопотребления целесообразно с использованием методологии MES-систем (аналогом является русская аббревиатура АСОУП) – система сбора, передачи, обработки и отображения информации о производственных процессах в реальном времени, направленная на обеспечение автоматизации производства).

Развитие системы АСКУЭ с позиции аналитики позволит научить пользоваться информацией заинтересованных лиц, что приведет к решению главной задачи – эффективному и рациональному энергопотреблению.

Список литературы

1. Автоматизированные системы учета электроэнергии (АИИС ТУЭ/АИИС КУЭ) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.krug2000.ru/> (дата обращения: 01.02.2016).
2. Внедрение системы АИИС КУЭ [Электронный ресурс]. URL: http://centrenergosbyt.ru/srv_aais.shtml (дата обращения: 01.02.2016).
3. Государственная программа Российской Федерации «Энергоэффективность и развитие энергетики» (утв. постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. № 321) / Министерство энергетики РФ, 2014 [Электронный ресурс]. – URL: <https://cdnimg.rg.ru/pril/95/86/83/321.pdf> (дата обращения: 01.02.2016).
4. «Народное АСКУЭ» – востребованная система для сферы ЖКХ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energomera.ru/> (дата обращения: 01.02.2016).
5. Программа по развитию коммерческого учета электроэнергии на основе технологий интеллектуального учета на период до 2020 года [Электронный ресурс]. URL: <http://pravo.gov.ru> (дата обращения: 01.02.2016).
6. Снижение уровня потерь электрической энергии в сетях [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/DBinet.cgi?pl=9420007> (дата обращения: 01.02.2016).
7. Широков А.А., Кычкин А.В., Клюкин А.А. Автоматизация энергоучета жилищно-коммунального хозяйства // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – Пермь, 2014. – № 12. – С. 78–86.
8. Энергосбережение и энергоучет в электрических сетях [Электронный ресурс]. URL: <http://www.industrialauto.ru/modules/myarticles/article.php?storyid=4html> (дата обращения: 01.02.2016).

References

1. Avtomatizirovannye sistemy ucheta jelektrojenergii (AIIS TUJe/AIIS KUJe) [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.krug2000.ru/> (data obrashhenija: 01.02.2016).
2. Vnedrenie sistemy AIIS KUJe [Elektronnyj resurs]. URL: http://centrenegosbyt.ru/srv_aiis.shtml (data obrashhenija: 01.02.2016).
3. Gosudarstvennaja programma Rossijskoj Federacii «Jenergojeffektivnost i razvitie jenergetiki» (utv. postanovleniem Pravitelstva RF ot 15 aprelya 2014 g. no. 321) / Ministerstvo jenergetiki RF, 2014 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://cdnimg.rg.ru/pril/95/86/83/321.pdf> (data obrashhenija: 01.02.2016).
4. «Narodnoe ASKUJe» vostrebovannaja sistema dlja sfery ZhKH [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.energomera.ru/> (data obrashhenija: 01.02.2016).
5. Programma po razvitiyu kommercheskogo ucheta jelektrojenergii na osnove tehnologij intellektualnogo ucheta na period do 2020 goda [Elektronnyj resurs]. URL: <http://pravo.gov.ru> (data obrashhenija: 01.02.2016).
6. Snizhenie urovnja poter jelektricheskoy jenerгии v setjah [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/DBinet.cgi?pl=9420007> (data obrashhenija: 01.02.2016).
7. Shirokov A.A., Kychkin A.V., Kljukin A.A. Avtomatizacija jenergoucheta zhilishhno-kommunalnogo hozjajstva // Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Jeletrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravlenija. Perm, 2014. no. 12. pp. 78–86.
8. Jenergosberezhenie i jenergouchet v jelektricheskikh setjah [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.industrialauto.ru/modules/myarticles/article.php?storyid=4html> (data obrashhenija: 01.02.2016).

УДК 51.74: 303.732

**ФОРМИРОВАНИЕ НЕЧЕТКИХ ОЦЕНОК АЛЬТЕРНАТИВ В ЗАДАЧЕ
РАНЖИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ****Мошкин С.А., Елтышев Д.К.***Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: vsevolod.dm@gmail.com, eltyshv@msa.pstu.ru*

В статье рассматривается метод нахождения значимости альтернатив по составляющим комплексного критерия для выбора приоритетов модернизации объектов электроэнергетики в формате степеней принадлежности к нечеткому оценочному множеству. Метод основан на описании каждого критерия задачи ранжирования в виде лингвистической переменной и определении функций принадлежности нечетких термов, характеризующих ее значения. Приведен алгоритм, отражающий основные этапы формирования нечетких оценок альтернатив. Рассмотрен математический аппарат нахождения функций принадлежности методом экспертных оценок на основе процедуры интервьюирования. Для оценки превосходства одной альтернативы над другой на основе полученных значений критерия предложен математический аппарат, позволяющий осуществить переход от функций принадлежности к функции полезности. Предложенный метод является универсальным и может быть использован в решении разнородных задач оценки приоритета.

Ключевые слова: ранжирование, альтернатива, электроэнергетический объект, оценка приоритетов, критерии, степень принадлежности, нечеткое множество, экспертная оценка, функция полезности

**DEFINITION OF FUZZY ASSESSMENTS OF ALTERNATIVES IN THE PROBLEM
OF ELECTRIC POWER FACILITIES RANGING****Moshkin S.A., Eltyshv D.K.***Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: vsevolod.dm@gmail.com, eltyshv@msa.pstu.ru*

In this article the method of finding the importance of alternatives by complex criterion for a choice of power facilities upgrade priorities as a membership degree to a fuzzy set is considered. The method is based on the description of each ranging criterion as a linguistic variable and definition of membership functions to the fuzzy terms characterizing the criteria values. The algorithm that describes the main stages of alternatives fuzzy assessments definition is given. The mathematical technique for finding the membership functions using expert assessment method on the basis of interviewing procedure is considered. To assess the superiority of one alternative over another on the basis of the received criterion values the mathematical apparatus allowing to pass from membership function to utility function is developed. The proposed method is universal and can be used for the solution of heterogeneous tasks of the priority assessment.

Keywords: ranging, alternative, electric power facility, assessment of priorities, criteria, degree of membership, fuzzy set, expert assessment, utility function

При эксплуатации электроэнергетических объектов (ЭЭО) может возникнуть задача, связанная с выполнением работ по их модернизации, реконструкции, капитальному ремонту и т.д. [7]. В современных условиях при ограниченности вложений материальных и финансовых ресурсов в энергетическую отрасль возникает проблема, связанная с выбором наиболее приоритетных альтернатив, т.е. проблема ранжирования ЭЭО. При решении данной проблемы необходимо учитывать различные критерии, связанные как с технической стороной объекта (фактическое состояние, надёжность и др.), так и с экономическими показателями, определяющими целесообразность реализации на данном объекте разрабатываемых инвестиционных проектов с учетом потенциальных рисков [2]. Оценка приоритета осложняется тем, что происходит в условиях неопределенности, когда информация об объекте может быть неполной, недостоверной, а ин-

терпретация показателей и критериев может быть неоднозначной [8].

При решении данной задачи целесообразно использовать подход, основанный на теории нечетких множеств, который позволяет учитывать разного рода показатели, не имеющие точных числовых оценок и описать сложно формализуемую задачу ранжирования ЭЭО [6].

Постановка задачи исследования

Задача оценки приоритета ЭЭО является сложно формализуемой и происходит в условиях неопределенности ввиду того, что результаты принимаемых решений заранее неизвестны. С этой точки зрения задачу можно представить в виде набора следующих элементов:

$$\langle A, K, W, L, U, P, B \rangle,$$

где $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ – множество возможных альтернатив; $K = \{K_1, K_2, \dots, K_m\}$ – множество критериев оценки альтернатив;

$L = \{l_1, l_2, \dots, l_r\}$ – множество термов, характеризующих вербальные оценки альтернатив по критериям; $U = \{u_1, u_2, \dots, u_s\}$ – универсальное множество, характеризующее область допустимых значений критерия; $W = \{w_1, w_2, \dots, w_m\}$ – относительные веса критериев, $B = \{b_1, b_2, \dots, b_i\}$ – число в диапазоне $[0, 1]$, которое характеризует уровень оценки альтернативы по i -му критерию; $P = \{p_1, p_2, \dots, p_c\}$ – количество экспертов.

В качестве решения задачи будем рассматривать пересечение нечетких множеств, соответствующих оценкам альтернатив по частным критериям, а наилучшей альтернативой считать ту, для которой оценка является наибольшей [1]:

$$\bigcap_{i=1}^m \bar{b}_i = \max_{j=1, n} \left(\min_{i=1, m} (\mu_{b_i}(a_j)^{w_i}) \right), \quad (1)$$

где $\mu_{b_i}(a_j)$ – степень принадлежности j -й альтернативы нечеткому множеству $\bar{b}_i$.

Нахождение степеней принадлежности $\mu_{b_i}(a_j)$ может являться сложной задачей ввиду множественности критериев, неоднозначности оценки и интерпретации предпочтений в отношении различных критериев и значений каждого критерия в отдельности лицами, принимающими решения (ЛПР). Поэтому целью данного исследования является разработка метода формирования нечетких оценок альтернатив на основе экспертной либо статистической информации, которые могут быть использованы при ранжировании ЭЭО в условиях неопределенности.

Формализация методики формирования нечетких оценок

Нахождение искомым нечетких оценок для задачи (1) предлагается осуществлять поэтапно в соответствии со следующими принципами.

Этап 1. Описание каждого из критериев в формате лингвистической переменной и определение функций принадлежности (ФП) нечетких термов, характеризующих ее значения.

Задача построения ФП ставится следующим образом. Даны множество термов L (например, для критерия «Надежность»: «Низкая», «Средняя», «Высокая») и универсальное множество U .

Нечеткое множество $\bar{b}_i$ на универсальном множестве U представляется в виде

$$\bar{b}_i = \left(\frac{\mu b_i(u_1)}{(u_1)}, \frac{\mu b_i(u_2)}{(u_2)}, \dots, \frac{\mu b_i(u_s)}{(u_s)} \right).$$

Необходимо определить степени принадлежности элементов множества U к элементам из множества L .

Для нахождения функций принадлежности используется метод экспертных оценок [4], который заключается в заполнении и анализе экспертных опросных листов.

При проведении интервьюирования каждому эксперту необходимо обозначить свое мнение $q_{i,j}^p$ о наличии (отсутствии) у элементов u_s свойств нечеткого множества $\bar{b}_i$ (в формате бинарных оценок 1 или 0) и зафиксировать его в опросном листе [9].

Таблица 1

Опросный лист для критерия «Техническое состояние ЭЭО»

№ п/п	Эксперт	Наименование термина	Оценка принадлежности значения критерия нечеткому терму, %							
			0	17	38	50	63	75	88	100
1	Эксперт 1	Плохое	1	1	1	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	0	1	1	1	1	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	0	1	1	1
2	Эксперт 2	Плохое	1	1	1	1	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	0	0	1	1	1	1	0
		Хорошее	0	0	0	0	0	0	1	1
3	Эксперт 3	Плохое	1	1	0	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	1	1	1	1	0	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	1	1	1	1
4	Эксперт 4	Плохое	1	1	1	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	0	1	1	1	1	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	0	1	1	1
5	Эксперт 5	Плохое	1	1	0	0	0	0	0	0
		Удовлетворительное	0	1	1	1	1	1	0	0
		Хорошее	0	0	0	0	1	1	1	1

Таблица 2

Результаты обработки экспертных мнений по критерию «Техническое состояние ЭЭО»

№ п/п	Наименование термина	Оценка принадлежности значения критерия нечеткому терму, %							
		0	17	38	50	63	75	88	100
1	Плохое	5	5	3	1	0	0	0	0
		1	1	0,6	0,2	0	0	0	0
2	Удовлетворительное	0	2	4	5	5	4	1	0
		0	0,4	0,8	1	1	0,8	0,2	0
3	Хорошее	0	0	0	0	2	4	5	5
		0	0	0	0	0,4	0,8	1	1

В табл. 1 приведен пример формирования и обработки экспертных оценок по критерию «Техническое состояние ЭЭО», который характеризует фактическую потребность объекта в обслуживании, ремонте или модернизации. В качестве термов используются оценки состояния «Плохое», «Удовлетворительное», «Хорошее».

Для удобства интерпретации технического состояния оценивается в процентах: 0% – критическое состояние объекта, способное в ближайшее время вызвать серьезную поломку, приводящую к полной неработоспособности; 100% – состояние нового объекта.

По результатам опроса экспертов, степени принадлежности нечеткому множеству $\bar{b}_i$ рассчитываются следующим образом:

$$\mu_{b_i} = \frac{1}{P} \sum_{p=1, \dots, c} q_{s,i}^p \quad (2)$$

Результаты обработки экспертных мнений представлены в табл. 2.

Для каждого подпункта числа в первой строчке – это количество голосов, отданных экспертами за принадлежность нечеткому множеству соответствующего элемента универсального множества. Числа во второй строчке – степени принадлежности, рассчитанные по формуле (2). На рис. 1 приведена визуализация полученных ФП, приведенных к типовой функции трапециевидного вида.

График ФП отображает изменение значений критерия в соответствии с выбранным количеством нечетких термов, но не показывает, как можно оценить преимущество одной альтернативы над другой в соответствии с полученными значениями критерия. Для учета значимости каждого термина рассматриваемого критерия целесообразно совершить переход от функции принадлежности к функции полезности [5], которая является очень удобным вспомогательным средством и открывает возможность использования теории много-

критериальной оптимизации при выборе альтернатив [3].

Этап 2. Формирование функций полезности.

Одним из способов получения нечетких оценок для задачи ранжирования (1) является установление соответствия между функциями принадлежности термов и функцией полезности критерия [10]. Данную зависимость описывает формула

$$f_s(K_i) = \sum_{z=1}^s y_z \mu_{b_i}(u_s), \quad (3)$$

где y_z – коэффициент важности, отражающий качество классов и определяющийся на основе экспертной оценки (например, методом попарных сравнений).

Для нахождения значения $\mu_{b_i}(u_s)$ необходимо воспользоваться формулами трапециевидной функции принадлежности, позволяющими узнать значение функции на любом участке трапеции:

$$MF(x) = \begin{cases} 0, x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, a \leq x \leq b; \\ 1, b \leq x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, c \leq x \leq d; \\ 0, d \leq x; \end{cases} \quad (4)$$

где $a \in \{0, 3\}$; $b \in \{3, 4\}$; $c \in \{4, 5\}$; $d \in \{5, 6\}$; $e \in \{6, 8\}$.

Рассмотрим пример перехода от ФП к функции полезности применительно к критерию «Техническое состояние ЭЭО». Веса $y = \{y_1, y_2, y_3\}$ для каждого термина («Плохое», «Удовлетворительное», «Хорошее») рассчитаны методом попарных сравнений: $y_1 = 0,735$, $y_2 = 0,207$, $y_3 = 0,058$.

С помощью найденных коэффициентов по формулам (3) и (4) вычисляются значения функции полезности и строится соответствующая зависимость (рис. 2).

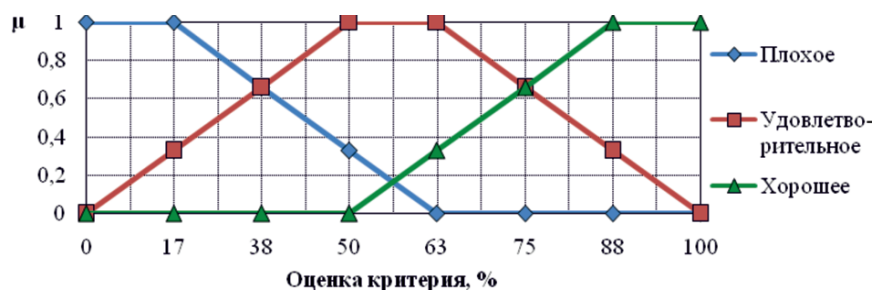


Рис. 1. Пример построения функций степени принадлежности по критерию «Техническое состояние» для задачи ранжирования ЭЭО

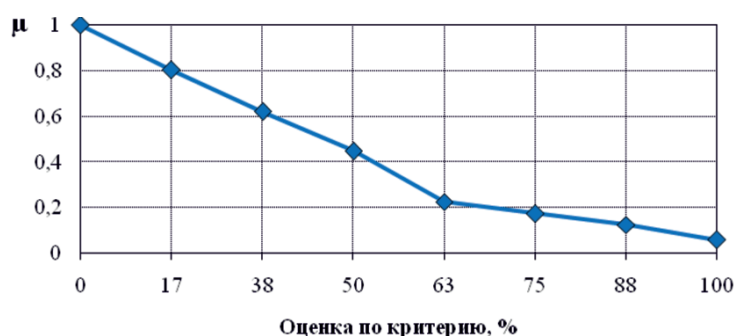


Рис. 2. График функции полезности для критерия «Техническое состояние ЭЭО»



Рис. 3. Основные этапы формирования нечетких оценок для задачи ранжирования ЭЭО

На рис. 3 приведен алгоритм, отражающий основные этапы формирования нечетких оценок для задачи ранжирования ЭЭО в соответствии с предлагаемым методом.

Заключение

В работе предложен метод нахождения степеней принадлежности оценок для альтернатив по различным критериям технико-экономического характера, используемых при решении задач ранжирования ЭЭО. Метод является комбинацией экспертных процедур формирования функций принадлежности и функций полезности, является универсальным и может быть использован в различных задачах оценки приоритетов с использованием критериев любой структуры и содержания.

Список литературы

1. Борисов В.В., Круглов В.В., Федулов А.С. Нечеткие модели и сети. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 284 с.
2. Бочкарев С.В., Елтышев Д.К. Методика принятия оптимальных решений при ремонте высоковольтного электро-технического оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. – 2012. – № 6. – С. 142–146.
3. Гарина М.И., Микони С.В. Условие одинакового упорядочения объектов по функциям полезности и принадлежности // Труды Конгресса IS&IT'11, Дивноморское, 3–10 сентября 2011 г. – М.: Физматлит, 2011. – Т. 1. – С. 33–37.
4. Илларионова Т.М. Процесс нечеткого оценивания в многокритериальных экспертных оценках // Научный вестник московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2009. – № 140. – С. 100–102.
5. Назарова Е.В., Осеchkina Т.А. Функция полезности и ее применения в задаче оптимизации инвестиционного портфеля // Прикладная математика и вопросы управления. – 2012. – № 10. – С. 125–135.
6. Орлов А.И. Теория принятия решений. Учебное пособие. – М.: Издательство «Март», 2004. – 656 с.
7. Петроченков А.Б. Управление электротехническими комплексами на основных этапах жизненного цикла // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского го-

сударственного политехнического университета. – 2011. – № 121. – С. 219–224.

8. Тychинский А.В. Неопределенность в принятии управленческих решений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2005. – № 8(52). – С. 118–122.

9. Хорошев Н.И., Казанцев В.П. Поддержка управления обслуживанием электротехнического оборудования по текущему состоянию // Автоматика и телемеханика. – 2015. – № 6. – С. 139–152.

10. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.

References

1. Borisov V.V., Kruglov V.V., Fedulov A.S. Nechetkie modeli i seti. M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2012. 284 p.
2. Bochkarev S.V., Eltyshov D.K. Metodika prinjatija optimalnyh reshenij pri remonte vysokovoltного jelektrotechnicheskogo oborudovaniya // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhja. 2012. no. 6. pp. 142–146.
3. Garina M.I., Mikoni S.V. Uslovie odinakovogo uporyadochenija obektov po funkcijam poleznosti i prinadlezhnosti // Trudy Kongressa IS&IT'11, Divnomorskoe, 3–10 sentjabrja 2011 g. M.: Fizmatlit, 2011. T. 1. pp. 33–37.
4. Illarionova T.M. Process nechetkogo ocenivaniya v mnogokriterialnyh jekspertnyh ocenках // Nauchnyj vestnik moskovskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta grazhdanskoj aviacii. 2009. no. 140. pp. 100–102.
5. Nazarova E.V., Osechkina T.A. Funkcija poleznosti i ee primenenija v zadache optimizacii investicionnogo portfеля // Prikladnaja matematika i voprosy upravlenija. 2012. no. 10. pp. 125–135.
6. Orlov A.I. Teorija prinjatija reshenij. Uchebnoe posobie. M.: Izdatelstvo «Mart», 2004. 656 p.
7. Petrochenkov A.B. Upravlenie jelektrotechnicheskimi kompleksami na osnovnyh jetapah zhiznennogo cikla // Nauchno-tehnicheskie vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politehnicheskogo universiteta. 2011. no. 121. pp. 219–224.
8. Tychinskij A.V. Neopredelennost v prinjatii upravlencheskih reshenij // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. 2005. no. 8(52). pp. 118–122.
9. Horoshev N.I., Kazancev V.P. Podderzhka upravlenija ob-sluzhivaniem jelektrotechnicheskogo oborudovaniya po tekushhemu sostojaniju // Avtomatika i telemehanika. 2015. no. 6. pp. 139–152.
10. Shtovba S.D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. M.: Gorjachaja linija-Telekom, 2007. 288 p.

УДК 621.3.078 + 621.002.5]:006.354

К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ДОЖИМНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

Никулин Н.В., Мишуриных С.В., Ромодин А.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка методики повышения энергетической эффективности электроприводов дожимных насосных станций. Определена актуальность задачи повышения энергетической эффективности электроприводов дожимных насосных станций. Рассмотрены основные методы повышения энергетической эффективности электроприводов. Приведена оценка энергетической эффективности их реализации. Выделены основные показатели функционирования электроприводов, влияющие на их энергетическую эффективность. Определены недостатки проведения энергоаудита с позиции повышения энергетической эффективности. Приведена методика проведения энергоаудита, учитывающая особенности электроэнергетического оборудования дожимных насосных станций, а также постановки и решения задачи повышения энергетической эффективности. Предложен алгоритм реализации энергосберегающих мероприятий. Приведено описание математического аппарата, на котором основан предлагаемый алгоритм. Проведен расчет на основе предложенного алгоритма. Выполнена оценка эффективности предлагаемого математического аппарата.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, энергосбережение, модель, энергетическая эффективность, автоматизация управления

TO THE ISSUE OF ENERGY EFFICIENCY INCREASE OF ELECTRIC BOOSTER PUMP STATIONS OF THE LLC «LUKOIL-PERM»

Nikulin N.V., Mishurinskikh S.V., Romodin A.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

In the article the development of methods of improving the energy efficiency of electric booster pump stations is conducted. The urgency of the task of improving the electric booster pump stations' energy efficiency is determined. The main methods of increasing the energy efficiency of electric drives are considered. The evaluation of the energy efficiency of the implementation is given. The main indicators of electric drives' functioning, which influence their energy efficiency are marked. The disadvantages of carrying out an energy audit from the perspective of energy efficiency increasing are determined. The methodology of the energy audit considering the peculiarities of booster pumping stations' electrical power equipment as well as formulating and solving the problem of energy efficiency increasing are considered. An algorithm for implementing energy-saving measures is set forward. The description of the mathematical apparatus on which the introduced algorithm is based is provided. The calculation based on the introduced algorithm is carried out. The evaluation of the efficiency of the introduced mathematical apparatus is conducted.

Keywords: power consumption, energy saving, model, energy efficiency, control automation

Нефтедобыча охарактеризована высоким уровнем энергоемкости: расходы на электроэнергию составляют до 50%, в связи с чем повышение энергоэффективности является актуальной задачей. Использование автоматизированных систем позволяет эффективно, с заданной степенью точности, осуществить управление энергетической эффективностью насосных станций предприятия ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» [1, 4, 5]. В подавляющем большинстве систем реальные нагрузки агрегатов оказываются ниже их номинальной мощности. И чем больше эта разница, тем большие потери возникают в этом оборудовании. Таким образом, довольно остро встает вопрос регулирования производительности оборудования, что, в свою очередь, позволит повысить энергоэффективность электрооборудования.

Задача повышения энергетической эффективности является сложной техниче-

ской и инженерной задачей, которая требует разностороннего рассмотрения и разработки новых подходов к ее реализации.

В качестве объекта данного исследования выступала дожимная насосная станция ДНС-1214 «Южный Юрчук» ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Производительность дожимной насосной станции (ДНС) на март 2015 г. составляет по жидкости – 221,6 тыс. м³/год, по нефти – 163,8 тыс. т/год, по нефтяному газу – 10,2 млн м³/год. Жидкость, поступающая на ДНС-1214 «Южный-Юрчук», по состоянию на март 2015 г. содержит до 13 % воды.

Методика анализа энергоэффективности электроприводов ДНС

Основными потребителями электрической энергии в любой насосной станции являются электродвигатели. Главная цель повышения энергетической эффективно-

сти – это снижение потерь в двигателях. В подавляющем большинстве для привода насосных агрегатов используются асинхронные двигатели, так как они просты в эксплуатации, имеют простую конструкцию, относительно низкую стоимость, небольшие габариты и массу. Существенным недостатком таких двигателей является невозможность плавного изменения скорости вращения простыми средствами и высокие пусковые токи. В большинстве систем нагрузки на рабочие агрегаты часто ниже номинальных, поэтому без регулирования производительности насосов не обойтись. Отсюда вытекает проблема регулирования – снижение производительности насоса сопровождается уменьшением полезной мощности, то есть дополнительными потерями [2, 3, 8, 9].

Для анализа энергоэффективности насосов предлагается рассмотреть следующие показатели их функционирования:

- подача;
- напор;
- КПД.

Наибольшая эффективность насоса обеспечивается при оптимальном режиме работы.

В настоящее время существует несколько способов повышения энергоэффективности, которые приведены в табл. 1 [9].

Таблица 1
Методы повышения
энергоэффективности насосов

Метод	Доля экономии электроэнергии, %
Замена старых насосов на более современные	1–2
Замена электродвигателей	1–3
Подрезка рабочего колеса	10–20
Снижение частоты вращения	5–40
Каскадное регулирование	10–30
Частотный преобразователь	10–60

Разработка любых энергосберегающих мероприятий должна начинаться с анализа объекта исследования и его энергетических характеристик. Поэтому стоит отдельно остановиться на этом этапе и рассмотреть его более подробно.

Основная проблема разработки энергосберегающих мероприятий заключается в том, что часто реальные параметры сети известны не в полной мере или отличаются от проектных значений. Чтобы определить реальные режимы работы насосов, нужно производить замеры непосредственно на объекте с применением специализированного измерительного оборудования. В процес-

се энергетического аудита насосного оборудования можно выделить следующие этапы:

1. Сбор предварительной информации об оборудовании на объекте и о технологическом процессе, в котором оно используется.
2. Сбор дополнительных данных, уточнение полученной информации. Предварительное планирование проведения испытаний.
3. Проведение испытаний на объекте.
4. Обработка и оценка результатов.
5. Подготовка технико-экономического обоснования для разных вариантов модернизации. При планировании мероприятий можно определить наиболее проблемные в части энергопотребления насосы.

При проведении энергоаудита необходимо проверять, соответствует ли мощность электропривода потребляемой мощности нагрузки. Завышение мощности влечет за собой снижение КПД, а при снижении степени загрузки двигателя растет доля реактивной мощности по сравнению с активной. Замена двигателя на другой с соответствующей номинальной мощностью целесообразна при его загрузке менее 45 %, при загрузке от 45 % до 75 % требуется провести экономическую оценку мероприятия по замене, при большем проценте нагрузки замена, соответственно, нецелесообразна.

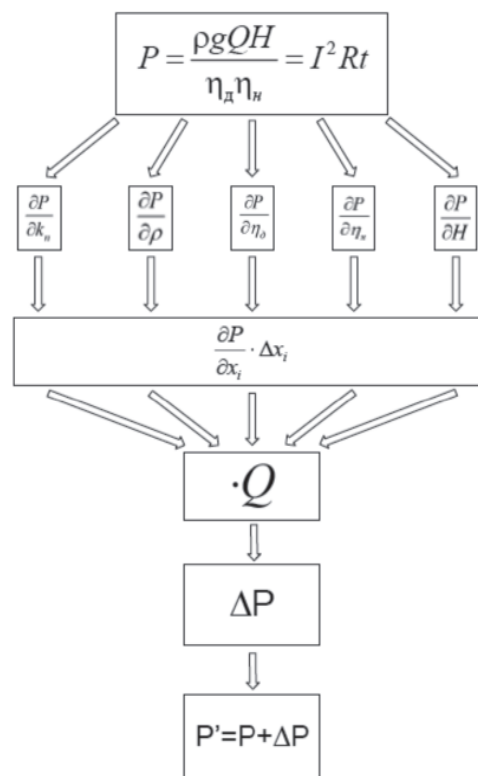


Рис. 1. Алгоритм расчета эффективности энергосберегающих мероприятий

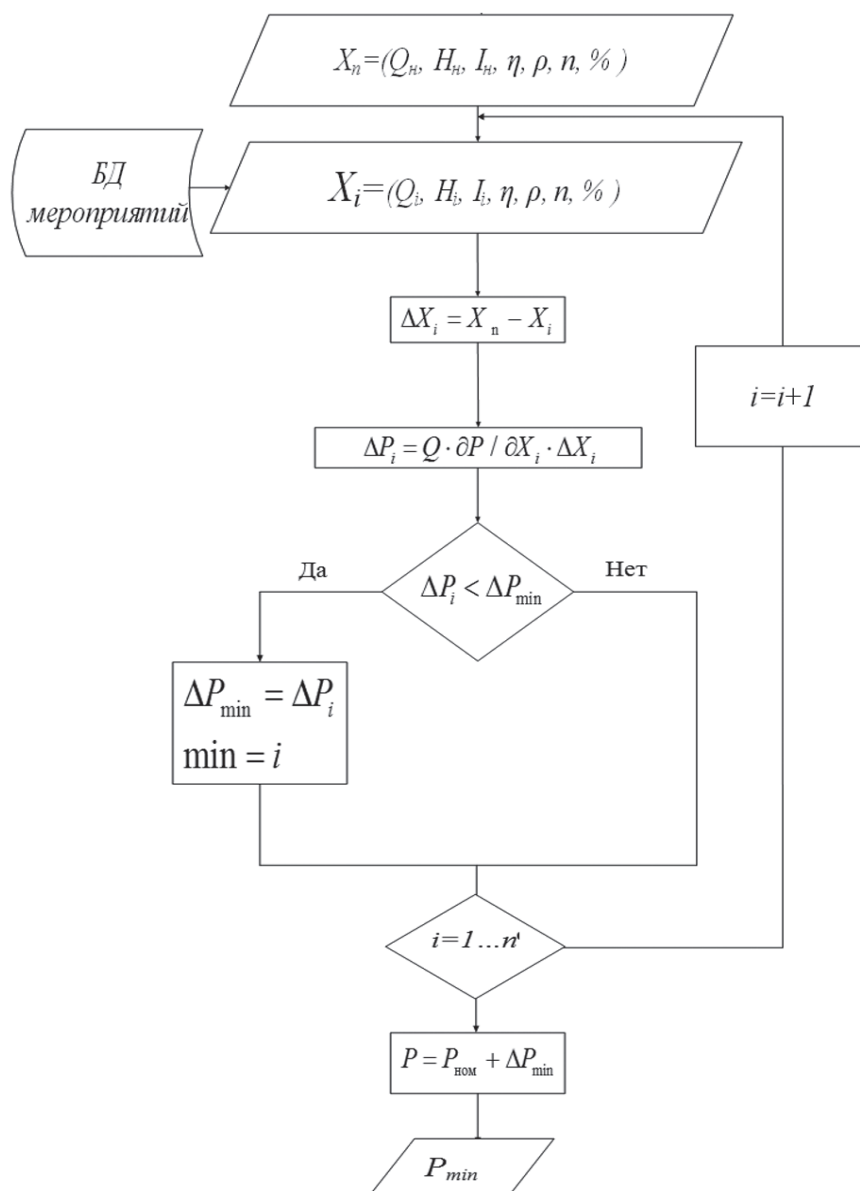


Рис. 2. Блок-схема выбора энергосберегающих мероприятий

В качестве математического аппарата для решения задачи оптимизации потребления электрической энергии в данной работе предлагается применить градиентный метод оптимизации, который относится к численным методам поискового типа. Он универсален и в большинстве случаев весьма эффективен при поиске экстремального значения нелинейных функций с ограничениями и без них, а также тогда, когда аналитический вид функции вообще неизвестен. Сущность указанных методов заключается в определении значений независимых переменных, дающих наибольшие изменения целевой функции.

Обычно для этого двигаются вдоль градиента, ортогонального к контурной поверхности в данной точке [6, 7].

Для оценки эффективности работы насоса в новом рассматриваемом режиме предлагается проведение анализа потребляемой энергии согласно градиентному методу по частным производным. Для этого требуется определить приращения мощности от показателей насоса, после чего составляется общая функция изменения потребляемой мощности, на основе которой можно сделать вывод о целесообразности применения того или иного способа регулирования.

Таблица 2

Технический эффект от реализации энергосберегающих мероприятий

№ п/п	№ скважины	P , Вт	ΔP , Вт	ΔP , %	P' , Вт
1	761	23204,951	– 3537,885	15,25	19667,066
2	766	80611,582	– 12787,222	15,86	67824,360
3	767	38958,733	– 6195,113	15,90	32763,620
4	772	29056,721	– 4564,430	15,71	24492,291
5	773	123051,518	– 19567,321	15,90	103484,197
6	775	123619,719	– 19180,623	15,52	104439,096
7	778	251057,633	– 39922,509	15,90	211135,124
8	779	89416,122	– 14166,506	15,84	75249,616
9	780	160134,570	– 25247,080	15,77	134887,490
10	781	113152,944	– 17993,277	15,90	95159,667
11	785	363141,356	– 57816,781	15,92	305324,575
12	786	84075,406	– 13369,445	15,90	70705,961
13	796	331700,766	– 52726,733	15,90	278974,033
14	798	402671,249	– 59297,193	14,73	343374,056
15	1	318534,697	– 50466,556	15,84	268068,141
16	2	150519,368	– 23964,622	15,92	126554,746
17	762	229953,887	– 36254,909	15,77	193698,978
18	763	144909,157	– 23071,404	15,92	121837,753
19	774	159071,151	– 24280,986	15,26	134790,165
20	776	201530,694	– 29509,482	14,64	172021,212

Графическое представление предлагаемого алгоритма представлено на рис. 1. Блок-схема реализации алгоритма представлена на рис. 2.

Также последовательность действий можно представить следующим образом:

1. Заполнение базы мероприятий.
2. Задание начальных параметров.
3. Частная производная по пусковому току.
4. Частная производная по плотности.
5. Частная производная по КПД.

6. Частная производная мощности по напору.

7. Частная производная по скорости вращения.

8. Составление общей функции.

Частные производные характеризуют изменение функции по каждой отдельной переменной. Далее вычисляют изменение удельной потребляемой мощности, которое является подобием градиента функции, по следующей формуле [2, 3, 9]:

$$P = Q \cdot \left(2 \cdot k_{\Pi} \cdot \frac{t_{\Pi}}{Q \cdot t_p} \cdot \Delta k_{\Pi} + \frac{g \cdot H}{\eta_d \cdot \eta_n} \cdot \Delta \rho + \frac{-\rho \cdot g \cdot H}{\eta_d^2 \cdot \eta_n} \cdot \Delta \eta_d + \right. \\ \left. + \frac{-\rho \cdot g \cdot H}{\eta_n^2 \cdot \eta_d} \cdot \Delta \eta_n + \frac{\rho \cdot g}{\eta_d \cdot \eta_n} \cdot \Delta H + \frac{3 \cdot n^2 \cdot \rho \cdot g \cdot H}{n_{\text{нач}}^3 \cdot \eta_d \cdot \eta_n} \cdot \Delta n \right), \quad (1)$$

где ΔP – изменение удельной потребляемой мощности;

ρ – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Q – подача насоса, м³/ч;

H – напор, м;

η_n – коэффициент полезного действия насоса;

η_d – коэффициент полезного действия двигателя;

t_{Π} – время пуска двигателя, с;

t_p – время работы двигателя, с;

k_{Π} – коэффициент броска пускового тока двигателя;

n – номинальная скорость вращения электродвигателя, об/мин;

$n_{\text{нач}}$ – скорость вращения электродвигателя до регулирования, об/мин.

Полученный таким образом градиент будет давать представление о поведении функции. Также удобно полученное значе-

ние представить в процентном соотношении от номинального. Расчетная мощность вычисляется по формуле

$$P_p = P_{нач} + \Delta P, \quad (2)$$

где P_p – расчетная мощность, кВт;

$P_{нач}$ – мощность до реализации энергосберегающих мероприятий, кВт.

Технический эффект от реализации энергосберегающих мероприятий в результате выполнения предложенного алгоритма представлен в табл. 2.

Из табл. 1 видно, что реализация предложенного алгоритма позволяет снизить потребляемую мощность в среднем на 15,67%, что является довольно большой величиной.

Заключение

Предложенный математический аппарат позволяет разносторонне рассмотреть функционирование электроэнергетического оборудования и подобрать его оптимальный режим работы по важным электрическим и технологическим параметрам.

Алгоритм, предложенный в данной работе, позволяет существенно повысить энергетическую эффективность электроэнергетического оборудования дожимной насосной станции.

Список литературы

1. Васильев Ф.П. Методы оптимизации. – М.: Факториал Пресс, Гл. ред. физ.-мат. лит., 2002. – 824 с.
2. ГОСТ 31605-2012. Машины электрические асинхронные мощностью от 1 до 400 кВт включительно. Двигатели. Показатели энергоэффективности. Дата введения 01.01.2015.
3. Лобачев П.В. Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат, 1990. – 191 с.
4. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 49–54.

5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.

6. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.

7. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах. – М.: Наука, 1975. – 320 с.

8. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю., Лейзгольд К.А., Щенятский Д.А. Исследование режима пуска асинхронного привода испытательного стенда ОАО «ПРОТОН-ПМ» // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике: Сб. науч. тр. / ПНИПУ. – Пермь, 2012. – С. 215–224.

9. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

References

1. Vasilev F.P. Metody optimizacii. M.: Faktorial Press, Gl. red. fiz.-mat. lit., 2002. 824 s.
2. GOST 31605-2012. Mashiny jelektricheskie asinhronnye moshhnostju ot 1 do 400 kVt vkljuchitelno. Dvigateli. Pokazatelije nergoeffektivnosti. Data vvedenija 01.01.2015.
3. Lobachev P.V. Nasosy i nasosnye stancii. M.: Strojizdat, 1990. 191 p.
4. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jeletrotehnika. 2010. no. 6. pp. 49–54.
5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podhodov k postroeniju kompleksa «Jenergooptimizator» // Jeletro. Jeletrotehnika, jeletrojenergetika, jeletrotehnicheskaja promyshlennost. 2013. no. 4. pp. 20–25.
6. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Horoshev N.I. Ob odnom formalizovannom metode ocenki upravlencheskih reshenij (na primere upravljenja jeletrotehnicheskimi ob#ektami) // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2009. no. 87. pp. 166–171.
7. Pshenichnyj B.N., Danilin Ju.M. Chislennye metody v jekstremalnih zadachah. M.: Nauka, 1975. 320 p.
8. Romodin A.V., Lejzgold D.Ju., Lejzgold K.A., Shhenjatskij D.A. Issledovanie rezhima puska asinhronnogo privoda ispytatelnogo stenda ОАО «ПРОТОН-ПМ» // Jenergetika. Inno-vacionnye napravlenija v jenergetike. CALS-tehnologii v jenergetike: Sb. nauch. tr. / PNIPU. Perm, 2012. pp. 215–224.
9. Cherkasskij V.M. Nasosy, ventilatory, kompressory. M.: Jenergoatomizdat, 1984. 416 p.

УДК 621.317.619

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НА КОЭФФИЦИЕНТ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Павлов Н.В., Лейзгольд К.А., Ромодин А.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический институт, Пермь,
e-mail: lka@mail.msa.pstu.ru*

В статье рассмотрено влияние коэффициентов гармонических составляющих на коэффициент искажения синусоидальности в системе электроснабжения промышленного предприятия. Целью работы являлось создание алгоритма определения зависимости между коэффициентами. Расчеты производились на основе показаний регистратора показателей качества электроэнергии (ПКЭ) системы электроснабжения месторождения нефти и газа, а именно показаний коэффициента искажения синусоидальности и коэффициента 3-ей гармоники. Было установлено, что выборка значений этих коэффициентов не удовлетворяет закону нормального распределения. Для пары коэффициентов была произведена оценка корреляции с помощью критерия Кенуя, что подтвердило гипотезу о наличии корреляционной связи. Также была проведена проверка данной пары коэффициентов на соответствие линейному закону методом наименьших квадратов. Точность построения функции непропорциональна количеству значений, учтенных при расчетах. Учитывая все особенности выборок, в итоге был сформулирован алгоритм определения зависимости между коэффициентами.

Ключевые слова: корреляционный анализ, коэффициент гармонической составляющей напряжения, коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения

ASSESSMENT OF THE HARMONIC COMPONENTS INFLUENCE ON A VOLTAGE DISTORTION FACTOR IN THE INDUSTRIAL ENTERPRISE POWER SUPPLY SYSTEM

Pavlov N.V., Leyzgold K.A., Romodin A.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: lka@mail.msa.pstu.ru

The article deals with the harmonious components factors influence on the voltage distortion factor in the industrial enterprises power system. The aim of the work was to create a determining algorithm of dependence between factors. Calculations were made on the basis of power quality indicators (PQI) registrar indications of oil and gas power supply system, namely the voltage distortion factor and the third harmonic factor. It has been established that the sample values of these factors does not satisfy the normal distribution law. The correlation assessment by means of Kenui criterion has been made for couple of factors that has confirmed a hypothesis of correlation existence. Also an inspection of this factors couple on compliance to the linear law has been carried out by the method of smallest squares. Accuracy of function creation is disproportionate to amount of values taken into account when calculating. Considering all the features of the samples, the determining algorithm of dependence between factors was eventually formulated.

Keywords: correlation analysis, voltage harmonious component factor, voltage waveform distortion factor

Математические методы широко используются для исследования зависимостей в медицине, экономике и других областях деятельности человека. Универсальный математический аппарат позволяет применять корреляционный и регрессионный анализ в любой предметной области, таким образом, возможно его использование в электроэнергетике, например, для определения зависимостей с целью эффективного управления процессами. В работах [3, 7] рассматриваются подходы к минимизации потерь активной мощности, зависящей от показателей качества электроэнергии (ПКЭ), однако они рассматривают лишь методы управления отдельными показателями, но не улучшение показателей качества в комплексе. В работах [4–6] приводились комплексные аспекты управления в электроэнергетике,

в том числе рассматривалась актуальность создания системы управления ПКЭ, приведены три основных этапа её построения и проводился корреляционный анализ нескольких пар показателей на основе малой выборки, она позволила провести лишь поверхностное исследование.

В качестве объекта исследования были использованы выборки показаний регистратора ПКЭ, полученные при измерениях в системе электроснабжения одного из месторождений нефти и газа ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», – коэффициент третьей гармонической составляющей и коэффициент искажения синусоидальности напряжения. Показания снимались в течении 7 дней, за это время в системе происходили различные переключения, что приводило к изменению значений коэффициентов. На рис. 1

выборочно представлены результаты измерений за 2 часа коэффициента третьей гармоники и коэффициента искажения синусоидальности.

Первым этапом исследования взаимозависимости между величинами является определение их закона распределения. Анализ выборки показал, что распределение значений не соответствует законам нормального распределения и следует использовать методы непараметрического корреляционного анализа, основанные на применении порядковых статистик. Такие методы, обладая повышенной устойчивостью к отклонениям распределения от нормального, в большинстве случаев позволяют упростить вычисления, оставляя на приемлемом уровне статистические характеристики получаемых заключений по гипотезам.

Гипотеза о наличии корреляции проверялась при помощи критерия Кенуя, описанного в [2]. Наличие зависимости также возможно проверить с помощью методов ранговой корреляции, но в данном случае нас не интересует количественная характеристика связи, поэтому достаточно так называемого «быстрого» критерия Кенуя. Согласно этим методикам было проверено наличие корреляции для пары: коэффициент третьей гармонической составляющей $K_{U(3)}$ фазы А и коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_{UA} .

Критерий Кенуя был применен для нескольких выборок длиной от 81 до

10047 строк. Выборка длиной в 81 строку – наименьшая выборка, при которой расчеты по критерию Кенуя еще определяли, что между рассмотренной парой коэффициентов связь присутствует с доверительной вероятностью 0,99.

Далее необходимо вывести закон, которому подчиняется выбранная пара коэффициентов. В первую очередь была проведена проверка на соответствие линейному закону. Линейный регрессионный анализ исходит из наличия зависимости $y = a + bx$, где a и b – неизвестные коэффициенты регрессии, а x и y – значения переменных. Оценка коэффициентов регрессии выполняется методом наименьших квадратов, описанным в [1, 2].

В результате получается функция максимально приближенная к истинному закону. Для оценки качества построенной модели используется средняя ошибка аппроксимации, вычисленная по формуле

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{y - \bar{y}}{y} \right| \cdot 100\%,$$

где n – количество пар расчетных и фактических значений, y – фактическое значение функции, $\bar{y}$ – расчетное значение функции. Допустимый предел значений средней ошибки аппроксимации не более 8–10%. Подобным образом возможно провести оценку влияния на коэффициент искажения синусоидальности остальных коэффициентов гармонических составляющих.

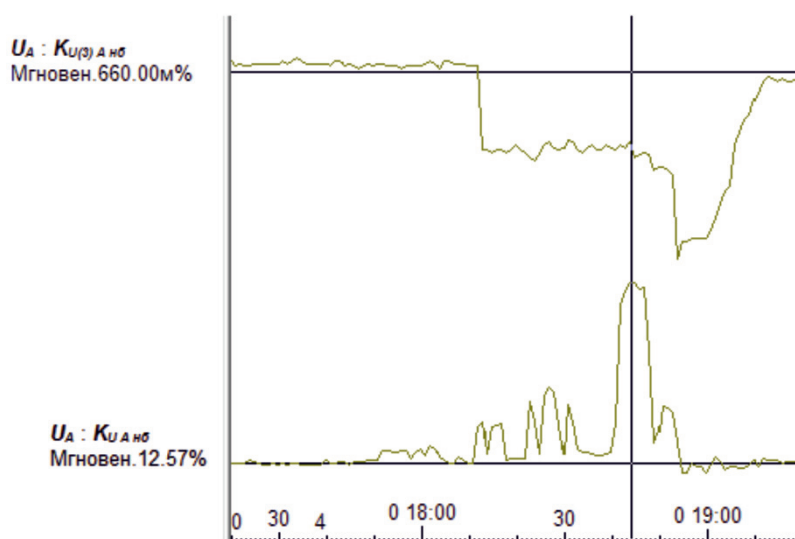


Рис. 1. Графики изменения коэффициента третьей гармоники и коэффициента искажения синусоидальности за двухчасовой период

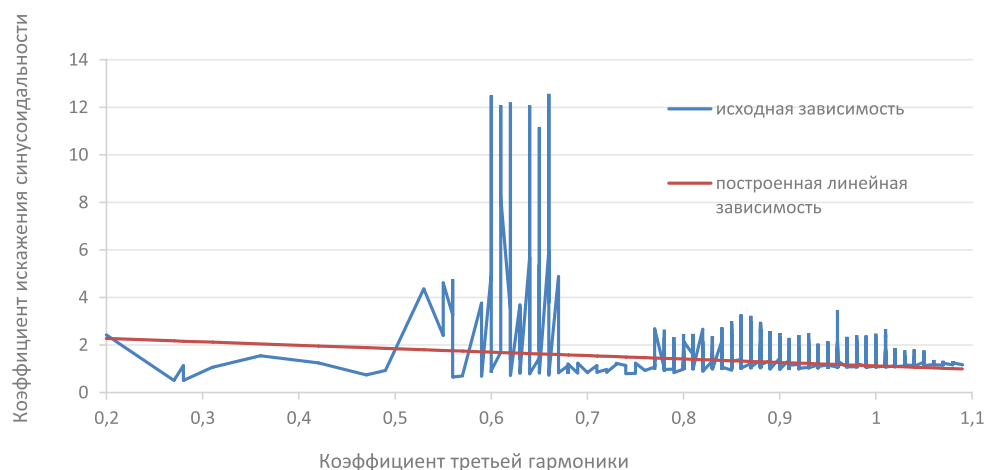


Рис. 2. График зависимости при выборке размером 10047 строк

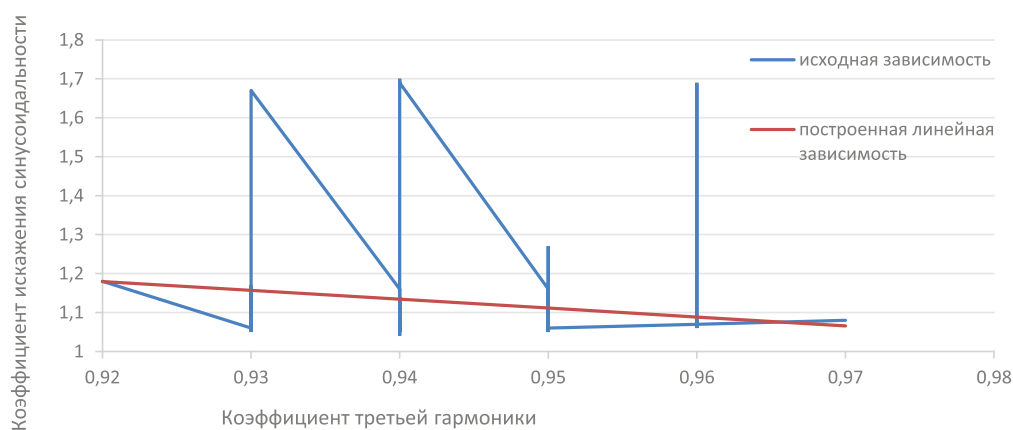


Рис. 3. График зависимости при выборке размером 81 строка

Таблица 1

Результаты проверки на соответствие линейному закону

Количество строк (время измерения)	Число n , отвечающее за наличие связи	Функция	Среднее отклонение, %
10047 (7 дней)	2245	$y = 2,56 - 1,44 x$	12,46
5030 (3,5 дня)	1249	$y = 3,73 - 2,6 x$	13,52
2520 (1,75 дня)	930	$y = 4,62 - 3,5 x$	16,2
1455 (1 день)	441	$y = 5,01 - 3,92 x$	17,73
735 (12 часов)	239	$y = 0,16 - 1,05 x$	9,67
195 (3 часа)	161	$y = 3,1 - 2,07 x$	5,21
81 (примерно 1,5 часа)	112	$y = 3,28 - 2,28 x$	6,19

Результаты проверок на наличие корреляции и соответствие линейному закону представлены в табл. 1.

Выборки, состоящие из разного количества строк, дают разную среднюю ошибку аппроксимации. Начиная с количества

1455 строк и более, среднее отклонение от линейного закона уменьшается и в итоге равняется 12,46% при 10047 строках. А при меньшем количестве строк среднее отклонение уже не имеет прямо пропорциональной зависимости от количества

строк. Предполагается, что существует оптимальное количество строк, при котором линейная функция будет наиболее точно описывать взаимодействие этих двух коэффициентов.

Графики зависимости коэффициента искажения синусоидальности от коэффициента третьей гармоники для выборок в 10047 и 81 строк представлены на рис. 2 и 3.

Если ошибка аппроксимации слишком большая, даже при достаточных размерах выборки, то влияние коэффициента гармонической составляющей следует описывать каким-нибудь более сложным законом. Для любой системы независимо от происходящих в ней переключений и вида нагрузок

алгоритм в общем виде будет выглядеть одинаково. Сами функции необходимо корректировать в каждом отдельном случае, в зависимости от вида подключаемой нагрузки. Исходя из вышесказанного алгоритм для оценки влияния гармонических составляющих на коэффициент искажения синусоидальности сформулирован следующим образом:

1. Первый этап – определение закона распределения значений коэффициентов. В случае, если значения подчиняются закону нормального распределения, то следует определять зависимость классическим коэффициентом Пирсона, в противном случае переходим к второму этапу.

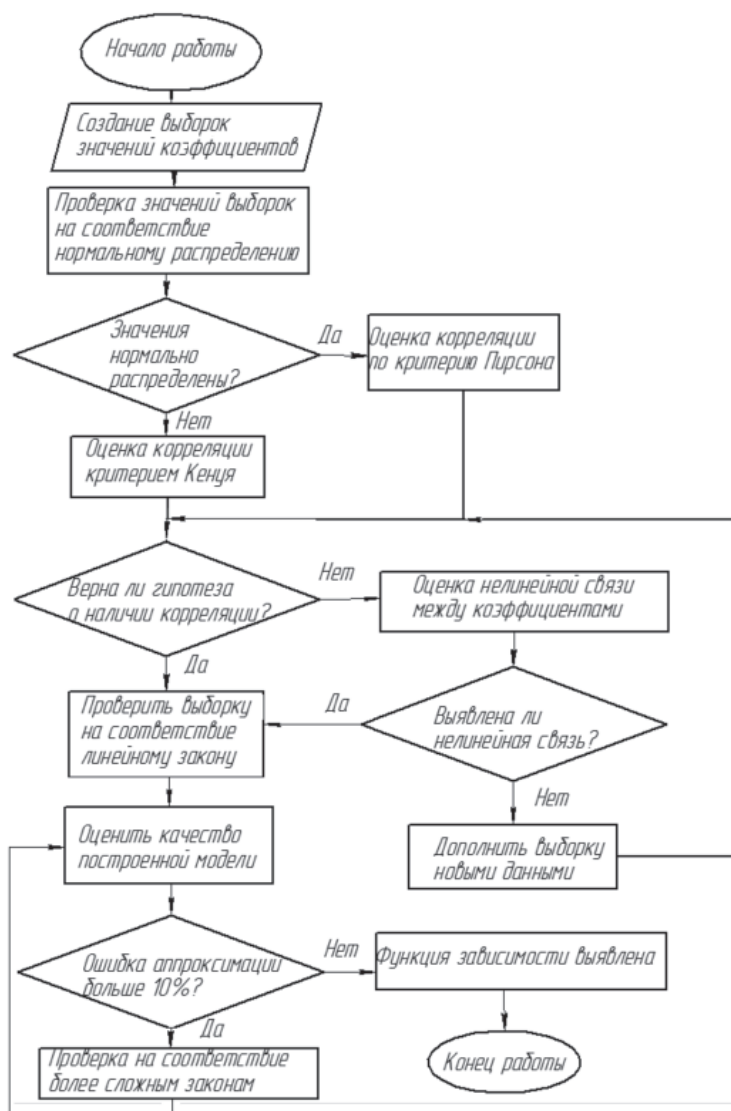


Рис. 4. Алгоритм оценки влияния гармонических составляющих на коэффициент искажения синусоидальности

2. Второй этап – корреляционный анализ. Создается первоначальная выборка значений коэффициентов попарно соотнесенных между собой. Затем производится оценка корреляции с помощью критерия Кенуя. Если гипотеза о наличии корреляции верна, то происходит переход к следующему этапу – регрессионному анализу. Но выборка может иметь слишком малое количество значений для того, чтобы достоверно проверить наличие корреляционной связи, поэтому в случае отсутствия связи выборку следует проверить на наличие нелинейной корреляционной связи, либо пополнять её новыми значениями.

3. Третий этап – регрессионный анализ. Выборку необходимо оценить на соответствие линейному закону, дать оценку коэффициентов регрессии, например, обобщенным методом наименьших квадратов. Затем полученная функция должна пройти проверку адекватности, для этого следует найти среднюю ошибку аппроксимации. И если ошибка аппроксимации менее 10%, то считается, что проверка на адекватность пройдена успешно и данный линейный закон достаточно точно описывает взаимосвязь выбранной пары коэффициентов. В противном случае необходимо перейти к проверке на соответствие более сложным законам.

Данный алгоритм кратко представлен в виде блок-схемы на рис. 4.

Проверку на соответствие более сложным законам проводят с использованием линеаризующих функциональных преобразований, а затем выявленный закон аналогично проверяется на адекватность нахождением средней ошибки аппроксимации [4]. Представленный алгоритм является довольно простым, содержит в себе два цикла. В последующем предполагается проведение дополнительных исследований для нахождения оптимальной выборки данных необходимой для достоверного определения наличия корреляционной связи между парами коэффициентов.

Список литературы

1. Айвазян С.А. и др. Прикладная статистика: Исследование зависимостей: справ. изд. / С.А. Айвазян, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с., ил.
2. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
3. Лейзгольд Д.Ю., Ромодин А.В., Трушников К.П. Показатели качества электрической энергии как индикаторы эффективности управления электропотреблением // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–7. – С. 1501–1506.
4. Лейзгольд К.А., Ромодин А.В., Безgodов П.А. Корреляционный анализ взаимного влияния показателей качества электрической энергии // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8–1. – С. 126–131.
5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. 2010. № 6. С. 49–54.
6. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.
7. Ромодин А.В., Лейзгольд Д.Ю. Модель системы ситуационного управления гибкими линиями электропередачи в нормальных режимах работы [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 193; Режим доступа: www.science-education.ru/113-11670 (дата обращения: 16.03.2016).

References

1. Ajvazjan S.A. i dr. Prikladnaja statistika: Issledovanie zavisimostej: sprav. izd. / S.A. Ajvazjan, I.S. Enjukov, L.D. Meshalkin; pod red. S.A. Ajvazjana. M.: Finansy i statistika, 1985. 487 p., il.
2. Kobzar A.I. Prikladnaja matematicheskaja statistika. Dlja inzhenerov i nauchnyh rabotnikov. M.: FIZMATLIT, 2006. 816 p.
3. Lejzgold D.Ju., Romodin A.V., Trushnikov K.P. Pokazateli kachestva jelektricheskoy jenerгии kak indikatory jeffektivnosti upravlenii jelektropotrebieniem // Fundamentalnye issledovanija. 2014. no. 11–7. pp. 1501–1506.
4. Lejzgold K.A., Romodin A.V., Bezgodov P.A. Korreljacionyj analiz vzaimnogo vlijanija pokazatelej kachestva jelektricheskoy jenerгии // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 8–1. pp. 126–131.
5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jeletrotehnika. 2010. no. 6. pp. 49–54.
6. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Horoshev N.I. Ob odnom formalizovannom metode ocenki upravlencheskih reshenij (na primere upravlenija jeletrotehnicheskimi ob'ektami) // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2009. no. 87. pp. 166–171.
7. Romodin A.V., Lejzgold D.Ju. Model sistemy situacionnogo upravlenija gibkimi linijami jeletroperedachi v normalnyh rezhimah raboty [Jeletronnyj resurs] // Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2013. no. 6. pp. 193; Rezhim dostupa: www.science-education.ru/113-11670 (data obrashhenija: 16.03.2016).

УДК 658.512:007.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ГОФРОТАРЫ

¹Плотников М.С., ²Хорошев Н.И.

¹Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания», ООО «Уралбумага»,
Пермь, e-mail: maksim.plotnikov@pcb.k.ru;

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: horoshevni@mail.ru

Настоящая статья посвящена разработке мероприятий в области повышения эффективности производственной логистики при изготовлении продукции предприятий целлюлозно-бумажной отрасли (на примере гофрокартона). Освещены вопросы применения современной технологии штрихкодирования в производственных процессах. Рассмотрены особенности разработки программно-информационного обеспечения, направленного на поддержание необходимых качественных и количественных характеристик сырья в соответствии с потребностями производства гофротары в автоматизированном режиме. В статье приводится описание предлагаемых мероприятий по доставке сырья к гофроагрегатам, исходя из производственных планов по выпуску продукции и рассылки информационных сообщений водителям погрузчиков. Также рассматриваются различные варианты интеграции MES-системы в систему управления промышленным предприятием (ERP-систему). Приведено описание методов, связанных с организацией мероприятий по повышению эффективности временного планирования производственных процессов.

Ключевые слова: производственная логистика, автоматизация, технология штрихкодирования, планирование производства

IMPROVING THE PRODUCTION LOGISTICS EFFICIENCY IN MANUFACTURING CORRUGATED PACKAGING

¹Plotnikov M.S., ²Khoroshev N.I.

¹Group enterprises «Perm pulp and paper company», ООО «Uralbumaga», Perm,
e-mail: maksim.plotnikov@pcb.k.ru;

²Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: horoshevni@mail.ru

This article is dedicated to the development of methods to increase the efficiency of production logistics enterprises engaged in the production of corrugated packaging. In article covered issues of the use of bar-code technology in production processes. Are viewed the features of the development of software and information provision aimed at maintaining the necessary level of raw material in accordance with the needs of the production of corrugated packaging in the automated mode. The article provides a description of the proposed activities for the delivery of raw materials to the corrugators, based on production plans for the production of products and the distribution of informational messages for drivers of a forklifts. Various options for integrating MES-systems in industrial enterprise management system (ERP-system) are also considered. Is viewed description of the methods associated with the organization of measures to increase the effectiveness of temporary planning of production processes.

Keywords: production logistics, automation, bar-code technology, planning of production

Производственная логистика играет важнейшую роль в процессе производства, ее организация влияет на качество планирования производственных процессов. Современные предприятия, как правило, используют стратегию вытягивающего производства, в этом случае качество планирования производственных процессов напрямую влияет на эффективность работы и в конечном итоге величину прибыли [2].

Постановка цели и задач исследования

Целью исследования являлась разработка перечня рекомендаций по совершенствованию производственной логистики, направленных на повышение эффективности процессов производства гофротары. В рамках рассматриваемой тематики решались следующие взаимосвязанные задачи:

– анализ особенностей организации производственной логистики на предприятиях, занимающихся производством гофротары (с учетом их специфики);

– разработка рекомендаций по совершенствованию производственной логистики в рамках полного цикла производства гофротары.

Решение задач, направленных на усовершенствование производственной логистики при изготовлении гофротары, безусловно связано с использованием современных информационных технологий (CALS-технологий), концепции интегрированной логистики и современных автоматизированных систем, обеспечивающих сокращение времени выполнения технологических операций [1, 3, 4]. При этом специфика производства гофротары обуславливает не-

обходимость контроля материальных и информационных потоков: приемка/передача ролевого сырья, движение полуфабрикатов и готовой продукции, складской учет и др.

Отдельно можно выделить задачи, которые также требуют проработки при внедрении автоматизированных систем на различных участках производства: автоматизация процессов приема и перемещения сырья в рамках организации электронного документооборота; автоматизированный контроль запасов сырья на складе в соответствии с потребностями производства в режиме реального времени; автоматизированный учет перемещения сырья в процессе производства.

Анализ схемы организации производственной логистики

На предприятиях по производству упаковки из гофрокартона организация производственной логистики [5] оказывает значительное влияние на эффективность работы. Большинство предприятий, как было отмечено ранее, используют схему вытягивающего производства, при этом основная сложность заключается в организации рационального взаимодействия между различными производственными участками предприятия.

Рассмотрим общую схему работы предприятия по производству гофротары полного производственного цикла (рис. 1).

Отметим основные этапы процесса производства гофротары:

1. Поступление заказа от потребителя.
2. Планирование производства гофротары, формирование потребности сырья с заявкой на производство на бумагоделательной машине.
3. Выпуск ролевого сырья на бумагоделательной машине.

4. Выпуск заготовок из ролевого сырья на гофроагрегате для выполнения заказа.

5. Выпуск готовой продукции из заготовок и отгрузка ее потребителю.

Планирование и работа производственных участков производится с помощью *MES*-систем (программное обеспечение для управления работы цеха), а планирование и управление работой предприятия в целом осуществляется в *ERP*-системах (программное обеспечение для управления деятельностью предприятия). Зачастую на предприятиях возникает проблема интеграции *MES*-систем в систему управления более высокого уровня (*ERP*-система) и каждое предприятие решает ее по-своему.

Рассмотрим общее устройство современного предприятия по производству гофрокартона и гофротары.

Производство гофротары начинается с планирования работ на основе имеющихся заказов от клиентов, к массиву заказов подбирается сырье и рациональный раскрой гофрокартона. Планирование производится в *MES*-системе управления гофропроизводством. В данной системе автоматизировано формируется задание (управляющее воздействие) на загрузку гофроагрегата и перерабатывающих линий. Планировщик в своей работе учитывает наполненность складов сырья, используя при этом функционал *ERP*-системы, которая в свою очередь содержит подобного рода информацию. Данные по остаткам склада в *ERP*-системе обновляются после занесения информации в базу данных (БД) кладовщиком (при приемке или отгрузке сырья). Таким образом, по причине дискретного характера наполнения БД возникает определенная задержка в обновлении данных.

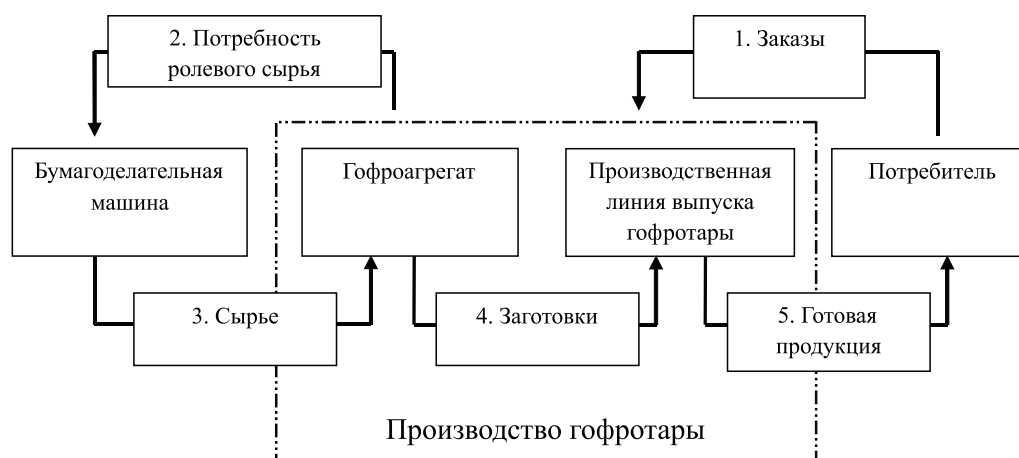


Рис. 1. Блок-схема работы предприятия по производству гофротары при полном производственном цикле

Планировщик для уточнения информации по позициям, еще не занесенным в БД, совершает дополнительные действия. После составления задания на производство он формирует потребность в сырье (заказ). Согласно потребности формируется план работы бумагоделательных машин, а также план перемещения на склад сырья для последующего производства гофротары.

Схема организации складской логистики также сильно влияет на эффективность производственной логистики в целом. Емкость склада, организация адресного хранения, планировка ячеек, тип ячеек – все эти характеристики склада разнятся от предприятия к предприятию. Выбор схемы организации необходимо производить с учетом характеристик конкретного производства и его специфики.

В общем случае сырье со склада сырья перемещается на гофроагрегат в соответствии с заданием (раскром). Управление гофроагрегатом осуществляется через SCADA-систему, данные в которую загружаются из MES-системы. При этом отсутствует обратная связь с MES-системой: при изменении машинистом задания на гофроагрегате непосредственно через SCADA-систему MES-система может содержать неверные данные.

С учетом того, что в производстве могут участвовать несколько гофроагрегатов, возникает проблема организации движения нескольких потоков заготовок. Обычно проблема решается установкой автоматизированных транспортных полей, перемещающих заготовки на производственные линии, и организацией промежуточных зон хранения.

Продукция производственных линий по транспортным линиям поступает на упаковочные линии и далее на склад готовой продукции (рис. 1).

Разработка рекомендаций по совершенствованию производственной логистики

Для реализации задач, связанных с повышением эффективности производственной логистики, предлагается:

1. Произвести более мелкое зонирование склада сырья (рис. 2), что позволит ускорить время на поиск определенной позиции, ввиду уменьшения емкости зоны. Каждой зоне присвоить уникальный штрихкод. Рабочие места водителей-погрузчиков оснастить беспроводными терминалами сбора данных со сканерами штрих-кодов. Покрыть всю площадь склада сетью Wi-Fi. Все манипуляции с позициями склада должны производиться исключительно

через терминал сбора данных. Внедрение комплекса данных мероприятий существенно ускоряет скорость работы склада, при этом все движение единиц склада отражается в системе управления производством в режиме реального времени.



Рис. 2. Пример организации складских зон хранения сырья при производстве гофрокартона

2. Повысить эффективность планирования гофропроизводства на основе разработки программного обеспечения (ПО) «Сырье On-line», дополняющего функционал ERP-системы предприятия и использующего в своем составе модернизированный алгоритм формирования потребности в сырье производства гофротары.

Модернизация алгоритма формирования потребности в сырье коснулась следующих стадий:

I. Планировщик производства гофротары производит предварительный раскрой гофрокартона в MES-системе. По окончании своей работы он формирует заказ сырья: разработанный программный модуль выгружает данные о потребности в определенном сырье из MES-системы и формирует список потребности, который отображается в ERP-системе предприятия, после его проверки и корректировки (если это необходимо) информация направляется в отдел планирования производства бумагоделательных машин (БДМ).

II. Отдел планирования по окончании своей работы предоставляет план работы БДМ.

III. Планировщик производит окончательный раскрой с учетом данных о наполнении склада и планами производства БДМ. Далее он формирует окончательный список потребности.

ПО «Сырье On-line» помогает производить ежедневный контроль над поставками сырья в реальном времени. Также программа формирует задание на перевозку сырья от БДМ на производство гофротары.

В случае образования дефицитных позиций сырья программа с запасом по времени в 4 часа выдает уведомление о необходимости корректировки задания на производство, этого времени вполне достаточно для исключения простоев оборудования. При этом стоит отметить, что данный период времени может быть изменен, исходя из специфики конкретных производственных условий.

Для улучшения восприятия информации человеком в ПО «Сырье on-line» каждой позиции сырья присваивает цветовой статус:

- зеленый статус – позиции, имеющие сырье на складе, готовые к принятию в производство;
- оранжевый статус – позиции сырья, находящиеся на этапе подготовки к производству на БДМ (на время формирования задания на гофропроизводстве);
- красный статус – дефицитные позиции сырья.

1. Разработать ПО – «Такси рулонов», которое опрашивает систему управления гофроагрегатом и выдает список заказов с потребностью в определенных рулонах. Производится рассылка заданий на перевозку по терминалам сбора данных водителям погрузчиков. При этом на экране терминала сбора данных отображается уведомление о необходимости перевозки. Уведомление содержит всю необходимую информацию: время перевозки и местонахождение необходимой позиции сырья. Программа должна исключить возможность перевозки неправильных позиций сырья.

2. Оснастить рабочее место машиниста гофроагрегата терминалом сбора данных и принтером этикеток. Машинист сканирует штрих-код рулона, принятого к работе, происходит его списание. Принтер в случае обрыва рулона распечатывает этикетку для недомотыша. На основе диаметра недомотыша формируется задание перевозки либо на склад, либо на списание. Измерение диаметра рулона производится системой управления гофроагрегатом.

Информация о движении сырья с раскладкой по складам и зонам доступна в системе управления производством в реальном времени. По факту загрузки сырья проводится документ перемещения в виртуальный склад. Виртуальным складом является автомобиль, перевозящий сырье с идентификацией по государственному номеру. Каждый автомобиль, перевозящий сырье, оснащен *GPS* передатчиком, определяющим его координаты и ожидаемое время прибытия. По факту отгрузки сырья проводится документ перемещения с виртуального склада на склад сырья производства гофротары. Факт загрузки/

отгрузки устанавливается путем сканирования штрих-кода рулона в утвержденной последовательности (зона – рулон – зона). Например, последовательность «1. Зона местонахождения рулона – 2. Штрих-код рулона – 3. Штрих-код автомобиля» означает перемещение сырья на виртуальный склад. Водитель погрузчика может взять и переместить только подходящие рулоны и только в рамках последовательности.

Все действия водителей по перевозке фиксируются *ERP*-системой управления производством и доступны управленческому персоналу в виде отчетов (рис. 3).

На основании представленного отчета можно проводить анализ эффективности работы любого водителя погрузчика. Данный функционал можно использовать как инструмент мотивации персонала.

Также важным является вопрос позаканового учета движения полуфабрикатов и готовой продукции. В этой связи предлагается кипы заготовок, выпущенных гофроагрегатами, маркировать этикетками с штрих-кодом. Далее кипы в автоматизированном режиме двигаются по транспортной линии на линии переработки либо погрузчиками в зоны промежуточного хранения.

Предлагается, как и в случае со складом сырья, присвоить промежуточным зонам хранения заготовок штрих-коды, что позволит в реальном времени следить за содержанием этих зон и рассылать задания на перевозку водителям погрузчиков.

Упаковочные линии предлагается модернизировать для работы со штрих-кодами. Поскольку штрих-код содержит информацию о виде необходимой упаковки, то предлагается установить систему считывания штрих-кодов на упаковочной линии. Задание для упаковочной линии формируется фактом считывания штрих-кода, что исключает возможность ошибки и рационализировать количество персонала занятого на участке упаковки. Также считыванием штрих-кода устанавливается факт прохождения продукции через упаковочную линию и формируется задание на перевозку и отсылается на терминал сбора данных водителя погрузчика. Далее на основании перевозки продукции на склад либо на основании отгрузки клиенту формируются документы перемещения и накладные.

Склад готовой продукции также должен быть подвергнут изменениям в части повышения эффективности его логистики. Оснащение всех зон склада штрих-кодами и работа водителей погрузчиков на основании заданий с терминала ускоряет работу склада с одновременным уменьшением численности занятого персонала.

Отчет №2. Работа водителя погрузчика по приёмке рулонов							
Смена							
Пользователь							
Дата	Склад отправитель	Зона откуда	Склад получатель	Зона куда	Рулон	Штрихкод	Количество
18.01.2016							67
19.01.2016							110
20.01.2016							63
21.01.2016							105
201 Батурин Василий Владимирович							21
283 Куковенко Александр Владимирович							31
315 Макуров Виктор Викторович							53
369 22.01.2016							98
370 Батурин Василий Владимирович							41
412 Дроздов Владимир Анатольевич							48
461 Макуров Виктор Викторович							9
462 22.01.2016 20:19:08	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 764-1	2000003827800		1
463 22.01.2016 20:19:17	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 764-3	2000003827824		1
464 22.01.2016 20:22:04	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 765-1	2000003827930		1
465 22.01.2016 20:23:42	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 765-2	2000003827947		1
466 22.01.2016 21:24:58	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 765-3	2000003827954		1
467 22.01.2016 21:25:08	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 765-4	2000003828043		1
468 22.01.2016 21:25:18	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 766-1	2000003828050		1
469 22.01.2016 21:27:48	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 766-2	2000003828067		1
470 22.01.2016 21:29:38	Склад продукции ЦБП №3		Склад продукции ЦБП №3	Ц1 ЦБП№3 766-3	2000003828074		1
471 23.01.2016							97
571 24.01.2016							105
680 25.01.2016							64
747 Итого							709

Рис. 3. Отчет системы управления производством по работе водителя погрузчика

В рамках реализации представленных рекомендаций (задач) формируется единое информационное пространство, охватывающее весь процесс производства от поставок сырья до отгрузки готовой продукции. В рамках единого информационного пространства возможно точное прогнозирование времени производства заказа и уточнение стадии выполнения принятых в работу заказов, что повышает конкурентоспособность предприятия и способно привлечь новых клиентов и потенциальных инвесторов.

Заключение

Предложенные рекомендации в области повышения эффективности производственной логистики позволяют более рационально планировать производство и перейти на систему организации логистики «Just in time» (ЖИТ – точно в срок), что сокращает издержки, объемы хранимой готовой продукции и время ее хранения. Работа персонала становится более прозрачной. Точность временного планирования значительно повышается. Также происходит увеличение объема информации о работе складов и производства, доступной в режиме реального времени, что положительно сказывается на времени и корректности принятия

решений. Производство становится более прозрачным: открываются новые перспективы для его совершенствования.

Список литературы

1. Гвоздева Т.В., Баллод Б. Проектирование информационных систем: учеб. Пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 508 с.
2. Ицкович Э.Л. Методы рациональной автоматизации производства. – М.: «Инфра-инженерия», 2009. – 256 с.
3. Канке А.А., Кошечая И.П. Основы логистики: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2013. – 576 с.
4. Новицкий Н.И., Пашуто В.П. Организация производства и управление предприятием: учеб. для вузов. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
5. Тулембаева А.Н. Логистика: учеб. – 3-е изд., испр. и доп. – Алматы: Триумф «Т», 2008. – 358 с.

References

1. Gvozdeva T.V., Ballod B. Proektirovanie informacionnyh sistem: ucheb. Posobie. Rostov n/D: Feniks, 2009. 508 p.
2. Ickovich Je.L. Metody racionalnoj avtomatizacii proizvodstva. M.: «Infra-inzhenerija», 2009. 256 p.
3. Kanke A.A., Koshevaja I.P. Osnovy logistiki: uchebnoe posobie. M.: KNORUS, 2013. 576 p.
4. Novickij N.I., Pashuto V.P. Organizacija proizvodstva i upravlenie predpriatiem: ucheb. dlja vuzov. M.: Finansy i statistika, 2007. 576 p.
5. Tulembaeva A.N. Logistika: ucheb. 3-e izd., ispr. i dop. Almaty: Triumf «T», 2008. 358 p.

УДК 519.217.2

ОБЗОР МЕТОДОВ И РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СКРЫТОЙ МАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА «ВЫЖИВАЕМОСТИ» ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

Рашидов А.Р., Шмидт И.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: Rashidov.A.R@ieee.org, shmidt@msa.pstu.ac.ru*

В данной статье рассматривается вопрос определения «выживаемости» инновационных проектов. Под «выживаемостью» понимается вероятность, с которой инновационный проект будет реализован. Для оценки «выживаемости» инновационных проектов применяется математический аппарат скрытых Марковских моделей. В данном исследовании решается задача определения параметров модели, которая с наибольшей вероятностью воспроизводит заданные последовательности данных. В качестве исходных данных используются данные об инновационных проектах, содержащиеся в отчетах российских программ «УМНИК» и «СТАРТ», а также дополнительные данные, полученные в ходе исследования. В качестве алгоритма для определения параметров модели используется алгоритм Баума – Велша, который является одной из реализаций алгоритма Expectation-maximization. В заключительной части статьи описывается математический аппарат для практической реализации, в частности приводятся математическое описание алгоритма и методы реализации Марковских моделей.

Ключевые слова: инновационный проект, скрытая Марковская модель, Баума – Велша алгоритм, «выживаемость» проекта

REVIEW OF METHODS AND IMPLEMENTATION OF THE HIDDEN MARKOV MODEL ALGORITHM FOR INNOVATIVE PROJECTS «VIABILITY» ANALYSIS

Rashidov A.R., Shmidt I.A.

*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: Rashidov.A.R@ieee.org,
shmidt@msa.pstu.ac.ru*

This article deals with determining of innovative projects «viability». «Viability» is the probability of innovative project being implemented. Hidden Markov Models are used for evaluation of this factor. The problem of determining parameters of model, which produce given data sequence with the highest probability, are solving in this research. Data about innovative projects contained in reports of Russian programs «UMNIK» and «START» and additional data obtained during study are used as input data for determining of model parameters. The Baum-Welch algorithm which is one implementation of expectation-maximization algorithm is used at this research for calculating model parameters. At the end part of the article mathematical basics for practical implementation are given (in particular mathematical description of the algorithm and implementation methods for Markov models).

Keywords: innovative project, Markov process, hidden Markov model, Baum-Welch algorithm, project «viability»

В настоящее время появляется много инновационных проектов в различных областях науки, которые не всегда находят применение и реализацию в своем развитии.

Инновационный проект представляет собой сложную систему взаимообусловленных и взаимосвязанных по ресурсам, срокам и исполнителям мероприятий, направленных на достижение конкретных целей и задач на приоритетных направлениях развития науки и техники [3].

Целью данного исследования является определение «выживаемости» инновационных проектов. Под «выживаемостью» в данной работе понимается вероятность, с которой инновационный проект будет реализован.

Актуальность исследования обусловлена следующими факторами:

– большое количество инновационных проектов, представляемых в различных программах;

– необходимость определения характеристик «идеального» инновационного проекта, т.е. такого проекта, который точно будет реализован в дальнейшем.

К основным фазам жизненного цикла инновационного проекта относятся:

1. Предынвестиционная фаза – выполнение различных исследований для планирования инновационного проекта.

2. Инвестиционная фаза – составление документации по реализации инновационного проекта.

3. Фаза торгов и контрактов – на данной фазе заключаются контракты на поставку различного оборудования и выполнения работ.

4. Фаза реализации проекта – разработка планов и графиков выполнения работ по реализации проекта.

5. Завершающая фаза проекта – на данной фазе происходит закрытие инновационного проекта, запуск объекта в экс-

плуатацию и начало реализации товара, анализируются результаты работы.

В качестве исходных данных для оценки вероятности используются данные о проектах, участвующих в программах «УМНИК», «СТАРТ» и «УМНИК на СТАРТ», реализуемых Фондом содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере. Таким образом, «выживаемость» может быть определена как вероятность, с которой проекты пройдут все стадии в программах «УМНИК», «СТАРТ», «УМНИК на СТАРТ» и впоследствии станут успешно реализованы.

Программа «УМНИК» – это федеральная программа содействия развитию молодежных инновационных проектов [6]. В программе принимают участие только физические лица (программа ориентирована преимущественно на молодых специалистов, не имеющих опыта в предпринимательской деятельности).

Программа «СТАРТ» – это федеральная программа содействия развитию малых инновационных предприятий [4]. В программе принимают участие только юридические лица.

Программа «УМНИК на СТАРТ» – программа молодежных инновационных проектов, позволяющая победителям участвовать в программе «СТАРТ» [5]. В программе принимают участие победители программы «УМНИК», которые готовы создать малое инновационное предприятие для участия в программе «СТАРТ».

В ходе проведения данного магистерского исследования становится необходимым поиск метода определения «выживаемости» инновационных проектов. Были рассмотрены несколько методов, которые могут позволить адекватно оценить вероятность прохождения инновационными проектами всех стадий участия в федеральных программах («УМНИК», «СТАРТ», «УМНИК на СТАРТ») и дальнейшую реализацию.

Для определения «выживаемости» инновационных проектов рассмотрено несколько методов: искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и Марковская модель.

Искусственная нейронная сеть – это система, состоящая из многих простых вычислительных элементов, работающих параллельно, функция которых определяется структурой сети, силой взаимных связей, а вычисления производятся в самих элементах или узлах [7].

Генетические алгоритмы – алгоритмы, предназначенные для решения задач оптимизации. Примером подобной задачи может служить обучение нейронной сети,

то есть подбора таких значений весов, при которых достигается минимальная ошибка. При этом в основе генетического алгоритма лежит метод случайного поиска [1].

Случайный процесс в некоторой системе называется **Марковским**, если вероятность перехода системы в новое состояние зависит только от состояния системы в настоящий момент и не зависит от того, когда и каким образом система перешла в это состояние [2].

В результате исследования, для анализа «выживаемости» инновационных проектов, был выбран метод Марковских моделей, так как данный метод изначально учитывает Марковский характер жизненного цикла инновационного проекта.

Возникает проблема поиска неизвестных (скрытых) вероятностей перехода инновационных проектов по этапам участия в программах: «УМНИК», «СТАРТ» и «УМНИК на СТАРТ». Данная проблема решается с помощью подтипа Марковских процессов – скрытой Марковской моделью.

Скрытая Марковская модель – модель процесса, в которой процесс считается Марковским, причем неизвестно, в каком состоянии S_i находится система (состояния скрыты), но каждое состояние S_i может с некоторой вероятностью b_{oj} произвести событие o_j , которое можно наблюдать [2].

Обычно, при работе со скрытой Марковской моделью возникает несколько задач определения скрытых параметров. Для данного исследования воспользуемся задачей, которая определяет параметры модели $\lambda = (P, O, \pi_1)$, обеспечивающей максимальную вероятность $P[O|\lambda]$, где $P = [p_{ij}]$ – вероятность состояния перехода, $O = [o_j(m)]$ – вероятность наблюдений, $\pi_1 = (\pi_{1,i})$ – вероятность начального состояния.

Структура Марковской модели должна быть известна. Необходимо определить начальные вероятности каждого состояния и вероятности перехода между состояниями в данной модели. Для решения поставленной задачи применяется алгоритм Баума – Велша [8].

Алгоритм состоит из двух шагов. На первом шаге из известных параметров модели вероятность нахождения системы во время t в состоянии $S_i(\gamma_t(i))$ и вероятность нахождения системы во время t в состоянии S_i и во времени $t + 1$ в состоянии S_j данной последовательности наблюдений и модели $(\xi_t(i, j))$ вычисляется по формулам

$$\xi_t(i, j) = P(q_t = S_i, q_{t+1} = S_j | O),$$

$$\gamma_t(i) = \sum_j \xi_t(i, j),$$

где $\xi_t(i, j)$ – вероятность нахождения во время t в состоянии S_i и во время $t + 1$ в со-

стоянии S_j для данной последовательности наблюдений и модели, $\gamma_i(i)$ – вероятность нахождения во время t в состоянии S_i .

На втором шаге модель λ вычисляется на основе значений $\gamma_i(i)$, $\xi_i(i, j)$.

Повторяем первый шаг с вычисленной λ . При многократном повторении этой процедуры вероятность совпадения вычисленной функции с исходной возрастает. Алгоритм

сходится в тот момент, когда вероятность перестает изменяться.

В данном исследовании: набор состояний $S = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ – состояния по программам; набор наблюдений $V = \{v_1, v_2, \dots, v_M\}$ – известные данные об инновационных проектах (количество инновационных проектов, количество заключенных контрактов и т.д.); модель $\lambda = (P, O, \pi_1)$.

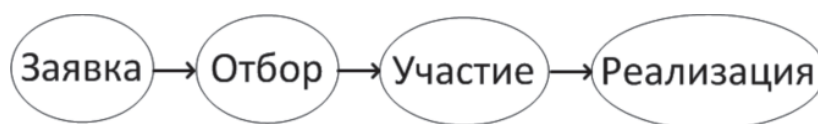


Рис. 1. Этапы прохождения инновационным проектом стадий программ

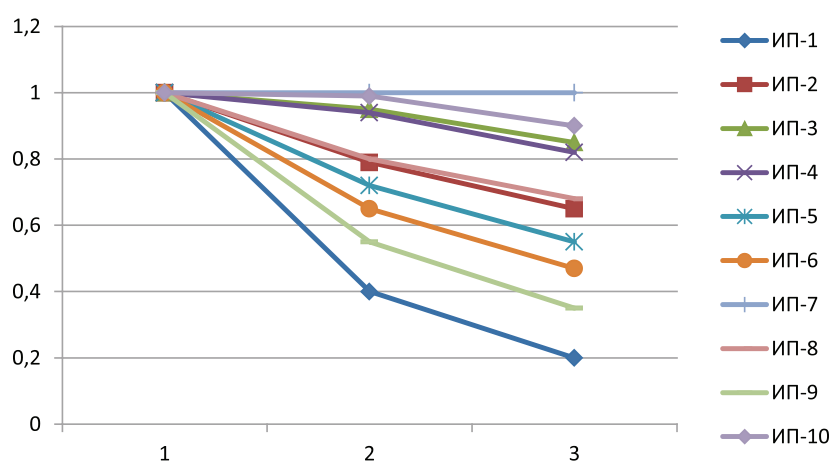


Рис. 2. Влияние критерия «Объем финансирования» на прохождение этапов инновационного проекта федеральных программ

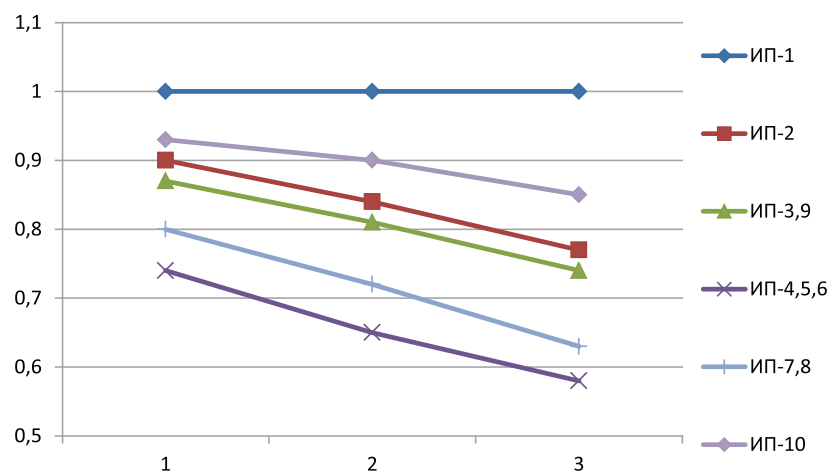


Рис. 3. Влияние критерия «Количество потенциальных заказчиков» на прохождение этапов инновационного проекта федеральных программ

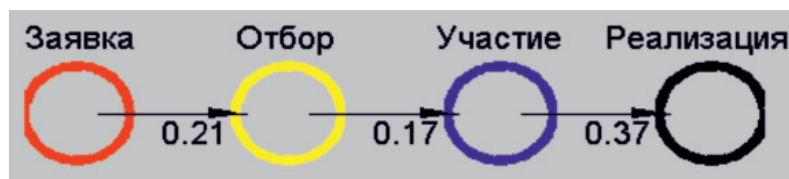


Рис. 4. Предсказанные, скрытые вероятности перехода инновационного проекта

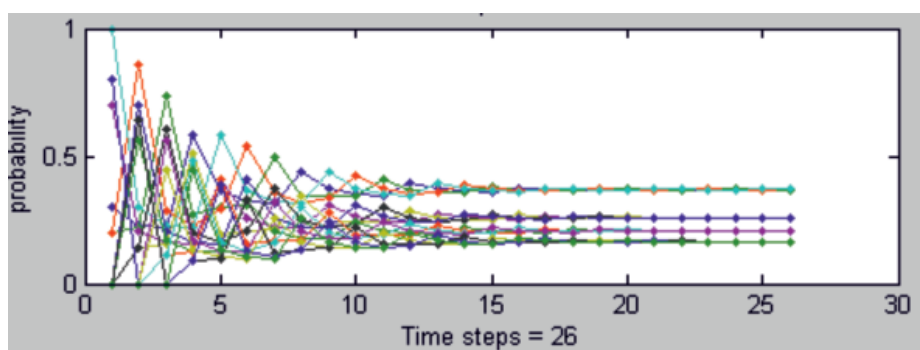


Рис. 5. Графическое представление итераций алгоритма Баума – Велша

Для исследования «выживаемости» инновационных проектов были выбраны необходимые данные по нескольким инновационным проектам из отчетов Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере за 2010–2013 гг.

Критериями, необходимыми для адекватного анализа «выживаемости» инновационных проектов, являются:

- Объем финансирования (т.р.).
- Окупаемость.
- Срок реализации.
- Количество статей по тематике.
- Количество потенциальных заказчиков.

Следующим шагом необходимо оценить влияние каждого критерия на этапы прохождения инновационным проектом стадий программ («УМНИК», «СТАРТ», УМНИК на СТАРТ»). Для более адекватной оценки влияния критериев объединим схожие этапы программ. В результате для оценки имеется три наиболее важных этапа (рис. 1).

На этапе оценки влияния каждого критерия инновационного проекта на стадии прохождения федеральных программ, наблюдается зависимость значения вероятности успешного прохождения какой-либо стадии программ от значения критерия. Для наглядности выведем графики критериев «Объем финансирования (т.р.)» (рис. 2) и «Количество потенциальных заказчиков» (рис. 3). На оси у отмечаются вероятности

успешного прохождения стадии программ, а на оси x отмечаются стадии программ (1 – заявка, 2 – отбор, 3 – участие).

На завершающем этапе данного исследования необходимо практически реализовать алгоритм Баума – Велша и обучить скрытую Марковскую модель для предсказания вероятностей перехода какого-либо между стадиями федеральных программ («УМНИК», «СТАРТ», «УМНИК на СТАРТ»).

Обучение скрытой Марковской модели происходит с помощью алгоритма Баума – Велша и статистическими данными имеющейся выборки инновационных проектов в программном комплексе MATLAB.

Далее происходит получение данных о «новом», не входящем в статистическую выборку инновационном проекте. Данные об этом инновационном проекте загружаются в модель и происходит расчет скрытых вероятностей перехода (рис. 4). На рис. 5 наглядно представлен алгоритм Баума – Велша, который рассчитывает скрытые вероятности «нового» инновационного проекта и продолжает данные итерации до схождения.

В ходе выполнения итераций наблюдаем, что все параметры сходятся примерно на двадцатом шаге реализации алгоритма Баума-Велша.

Определение «выживаемости» позволит дать вероятностный прогноз относительно перспектив реализации инновационного

проекта, также позволит оценить финансовые риски и другие показатели, связанные с их реализацией.

Список литературы

1. Гладков Л.А., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Генетические алгоритмы: Учебное пособие. – 2-е изд. – М: Физматлит, 2006. – С. 320.
2. Марковские процессы / Портенко Н.И., Скороход А.В., Шуренков В.М. – 1989. – 765 с.
3. Основы инновационного менеджмента. Учебное пособие / Под. ред. проф. Завалина П.Н. М.: Экономика, 2000. – 475 с.
4. Программа «СТАРТ». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fasie.ru/programs/programma-start/> (дата обращения: 09.02.2016).
5. Программа «УМНИК на СТАРТ». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nauka-nov.ru/fsrmpnts/665/> (дата обращения: 09.02.2016).
6. Программа «УМНИК». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.fasie.ru/programs/programma-umnik/> (дата обращения: 09.02.2016).
7. Суровцев И.С., Клюкин В.И., Пивоварова Р.П. Нейронные сети. – Воронеж: ВГУ, 1994. – 224 с.

8. Geoffrey McLachlan and Thiriyambakam Krishnan. The EM Algorithm and Extensions. John Wiley & Sons, New York, 1996.

References

1. Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M. Geneticheskie algoritmy: Uchebnoe posobie. 2-e izd. M: Fizmatlit, 2006. pp. 320.
2. Markovskie processy / Portenko N.I., Skorohod A.V., Shurenkov V.M. 1989. 765 p.
3. Osnovy innovacionnogo menedzhmenta. Uchebnoe posobie / Pod. red. prof. Zavalina P.N. M.: Jekonomika, 2000. 475 p.
4. Programma «START». [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.fasie.ru/programs/programma-start/> (data obrashhenija: 09.02.2016).
5. Programma «UMNIK na START». [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.nauka-nov.ru/fsrmpnts/665/> (data obrashhenija: 09.02.2016).
6. Programma «UMNIK». [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://www.fasie.ru/programs/programma-umnik/> (data obrashhenija: 09.02.2016).
7. Surovcev I.S., Kljukin V.I., Pivovarova R.P. Nejronnye seti. Voronezh: VGU, 1994. 224 p.
8. Geoffrey McLachlan and Thiriyambakam Krishnan. The EM Algorithm and Extensions. John Wiley & Sons, New York, 1996.

УДК 621.3.078 + 621.002.5]:006.354

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Ромодин А.В., Кухарчук А.В., Мишуриных С.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка методики оценки эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли. Определена актуальность задачи повышения энергетической эффективности. Проведен анализ потребления электрической энергии технологическим оборудованием нефтегазодобывающей отрасли на примере дожимной насосной станции. Выявлены технологические и природные параметры, влияющие на величину потребления электрической энергии. Составлены обобщенные функции зависимости электропотребления оборудования от различных технических и технологических параметров. Представлен общий вид уравнения оценки энергетической эффективности. Составлены уравнения для расчета потребления электроэнергии насосами и компрессорами. Проведено ранжирование факторов, влияющих на величину потребления электроэнергии. Составлен алгоритм оценки эффективности энергосберегающих мероприятий на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли. Проведен расчет и оценка энергосберегающих мероприятий на основе разработанного алгоритма.

Ключевые слова: электроэнергия, энергетическая эффективность, энергосбережение, автоматизация управления

EFFICIENCY EVALUATION OF ENERGY SAVING MEASURES AT THE GAS AND OIL PRODUCING INDUSTRY ENTERPRISES

Romodin A.V., Kukharchuk A.V., Mishurinskikh S.V.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru

In the article the methodology of an efficiency evaluation for energy saving measures at the gas and oil producing industry enterprises is developed. The urgency of the task of improving the energy efficiency is determined. The analysis of electric energy consumption by technological equipment in oil and gas producing industry is carried out on the example of a booster pump station. The technological and natural features influencing the range of electric energy consumption are determined. The generalized functions of the dependence of the equipment's power consumption on various technical and technological parameters are pointed out. The general view of the equation of an energy efficiency assessment is provided. The equations for electricity consumption calculation for pumps and compressors are worked out. The ranging of the factors influencing electricity consumption value is carried out. The algorithm for an efficiency evaluation of energy saving measures at the gas and oil producing industry enterprises is constituted. The calculation and assessment of energy saving measures are made on the basis of the introduced algorithm.

Keywords: electric power, energy efficiency, energy saving, control automation

Актуальность энергосбережения и энергетической эффективности в нефтедобыче определяется ее высокой энергоемкостью. Традиционные меры по энергосбережению известны – это нормирование энергопотребления и регулярный профилактический контроль состояния оборудования. Главные направления повышения эффективности – совершенствование технологий, оборудования и повышение их энергетической эффективности [2]. Внедрение автоматизированных систем управления энергетической эффективностью позволяет эффективно решать задачу снижения затрат на электрическую энергию дожимных насосных станций ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ».

В качестве объекта исследования для данной работы выбрана дожимная насосная станция (ДНС) – ДНС-1107 «Кондас». Район расположения площадки ДНС-1107 «Кондас» относится к строительному климатическому району *IV*. Климат рассматри-

ваемой территории является континентальным, с холодной продолжительной зимой, теплым, но сравнительно коротким летом, ранними осенними и поздними весенними заморозками.

ДНС имеет множество компонентов, и все они являются потребителями топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Стоит отметить, что тепло и вода на ДНС практически не потребляются, разве что на нужды обслуживающего ДНС персонала. Таким образом, задача эффективного использования электроэнергии стоит еще более остро, ведь ее потребителем является технологическое оборудование, которое имеет большие мощности. И главной задачей по повышению энергоэффективности является оптимизация работы этого оборудования с помощью регулирования параметров, которые прямо или косвенно влияют на потребление электроэнергии этим оборудованием.

Анализ потребления электроэнергии ДНС

К основным потребителям электрической энергии ДНС, на основе [4], относится следующее оборудование:

1. Насосы.
2. Компрессоры.

В связи с этим далее более подробно рассмотрим факторы, влияющие на величину потребления электроэнергии преимущественно данными потребителями.

В технологическом процессе работы ДНС насосы используются для отведения воды и перекачки нефти. Величина удельного расхода электроэнергии электродвигателями насосов зависит от ряда факторов:

1. Природных: температура окружающей среды, T , °С; способность транспортируемой нефтесодержащей жидкости (НСЖ) образовывать эмульсии, A ; кинематическая вязкость нефти, ν , м²/с; плотность нефти, ρ , кг/м³.

2. Технологических: наличие местных сопротивлений, D ; параметры электроэнергетического оборудования, используемого в системе сбора нефтяных месторождений (коэффициент полезного действия (КПД), потребляемая мощность, коэффициент использования оборудования); суточный грузооборот нефти по участку нефтепровода, P , т; протяженность нефтепровода, L , км; эквивалентный диаметр нефтепровода, d , м; КПД участка нефтепровода, о.е.; статический напор нефтепровода, H , м; применение методов борьбы с негативными свойствами эмульсии и ее разрушением, E .

Все эти параметры напрямую или косвенно влияют на величину потребления электроэнергии.

В технологическом процессе работы ДНС компрессоры используются для транспортировки газа.

Величина удельного расхода электроэнергии компрессорами зависит от ряда факторов: плотность газа, ρ , кг/м³; абсолютное давление всасывания, P_1 , Па; абсолютное давление сжатия, P_2 , Па; среднее барометрическое давление во всасывающем патрубке, P , Па; средняя температура всасываемого воздуха, T , °С; изотермический КПД компрессора, определяемый по данным испытаний компрессора, η_k , о.е.; КПД электродвигателя, $\eta_{эд}$, о.е.; КПД передачи, $\eta_{пер}$, о.е. [1, 5].

Графически структура потребления электроэнергии показана на рис. 1.

На основании вышеизложенного анализа можно вывести обобщенные функции зависимости электропотребления оборудования от различных технических и технологических параметров:

1. Потребление электрической энергии насосами:

$$F_1 = f(A, B, C, D, E, P, L, d, \rho, \eta, \nu). \quad (1)$$

где F_1 – потребление электроэнергии насосами.

2. Потребление электрической энергии компрессорами:

$$F_2 = f(P, P_1, P_2, \rho, \eta_{пер}, \eta_{эд}, \eta_k). \quad (2)$$

где F_2 – потребление электроэнергии компрессорами.



Рис. 1. Структура влияющих на электропотребление параметров

Согласно ФЗ № 261 от 23.11.2009 энергетическая эффективность – характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведенным в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю.

Исходя из этого, общий вид уравнения оценки энергетической эффективности можно записать следующим образом:

$$W_{уд} = \sum_{i=1}^n \frac{W_{потр. \Sigma i}}{V_{неф. i}}, \quad (3)$$

где $W_{уд}$ – удельное потребление электроэнергии, кВт·ч/м³; $W_{потр. \Sigma i}$ – потребление электроэнергии ДНС в i -ый промежуток времени; $V_{неф. i}$ – объем переданной на дальнейшую переработку нефти в i -ый промежуток времени.

Довольно часто нефть транспортируется на относительно далекие расстояния, это обуславливает необходимость учитывать сопротивление труб при ее транспортировке.

Для расчета потребления электроэнергии на транспорт нефти с учетом свойств нефти и нефтепровода, а также с учетом КПД электродвигателей и насосов уравнение предлагается использовать следующее выражение [1]:

$$W_{н.н} = 0,496 \cdot \left(\frac{\rho \cdot V}{l} \right)^{2,75} \cdot \frac{v^{0,25}}{\rho^{1,25}} \cdot \frac{L}{d_3^{4,75} \eta} + 2,726 \cdot \Delta z \cdot \frac{\rho \cdot V}{L \cdot \eta} \cdot \left(\frac{100}{\eta_{н.эл.дв.}} \right) \cdot \left(\frac{100}{\eta_{н.нас.}} \right) \quad (4)$$

где $W_{н.н}$ – потребление электроэнергии насосами для перекачки нефти на следующие этапы технологического цикла; ρ – плотность нефти, кг/м³; V – объем перекачанной нефти, м³; v – кинематическая вязкость нефти, м²/с; L – протяженность нефтепровода, м; d_3 – эквивалентный диаметр нефтепровода, м; η – КПД участка нефтепровода, о.е.; Δz – статический напор участка нефтепровода, м.

Добываемое из скважин сырье является нефтегазосодержащей жидкостью. На первых этапах переработки нефти от нее отделяется газ. Часть газа сжигается в факелах на ДНС, а часть транспортируется. Для транспортировки газа ему нужно сообщить повышенное давление, для этого используются компрессорные установки.

Удельный расход электроэнергии на выработку 1000 м³ сжатого газа по компрессорной установке составит

$$W_{к.у.} = W_{пр.к} + W_{охл.г} \quad (5)$$

где $W_{к.у.}$ – потребление электроэнергии компрессором, кВт·ч/тыс. м³; $W_{пр.к}$ – удельный расход электроэнергии на привод компрессора, кВт·ч/тыс. м³; $W_{охл.г}$ – удельный расход электроэнергии на охлаждение компрессора, кВт·ч/тыс. м³.

Удельный расход электроэнергии на привод компрессора определяется как

$$W_{пр.к} = 0,00272 \cdot \frac{L_{из} \cdot a_n}{\eta_{из} \cdot \eta_d \cdot \eta_{пер}} \cdot \frac{\rho_{газа}}{\rho_{воз.н.у.}}, \quad (6)$$

где $L_{из}$ – работа изотермического сжатия, Дж; a_n – поправочный коэффициент на средние значения температуры и барометрического давления воздуха во всасывающем патрубке; $\eta_{из}$ – изотермический КПД компрессора, определяемый по данным испытаний компрессора; η_d – КПД электродвигателя; $\eta_{пер}$ – КПД передачи; $\rho_{газа}$ – плотность перекачиваемого газа, кг/м³; $\rho_{воз.н.у.}$ – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м³.

Работа изотермического сжатия компрессора определяется по формуле

$$L_{из} = 23000 \cdot P_1 \cdot V_1 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1}, \quad (7)$$

где P_1 – абсолютное давление всасывания, атм; V_1 – начальный всасываемый объем воздуха, м³; P_2 – абсолютное давление сжатия, атм.

Поправочный коэффициент a_n определяется по формуле

$$a_n = \frac{1,205}{\gamma_d}, \quad (8)$$

где γ_d – удельный вес всасываемого воздуха в действительных условиях, кг/м³.

Удельный вес всасываемого воздуха в действительных условиях определяется по формуле:

$$\gamma_d = \frac{0,465 \cdot B_{ср}}{273 + t_{ср}} \quad (9)$$

где $B_{ср}$ – среднее барометрическое давление во всасывающем патрубке, мм.рт.ст.; $t_{ср}$ – средняя температура всасываемого воздуха для периода нормирования, °С.

Удельный расход электроэнергии на охлаждение компрессора определяется по формуле

$$W_{охл.г} = \frac{H \cdot Q_v}{\eta_n \cdot \eta_d \cdot \eta_{пер}}, \quad (10)$$

где H – напор воды, включая и высоту всасывания, м.вод.ст.; Q_v – часовой расход воды, л/ч;

η_n – КПД насоса (принимается по паспортным данным); η_d – КПД электродвигателя насоса; $\eta_{пер}$ – КПД передачи от электродвигателя к насосу.

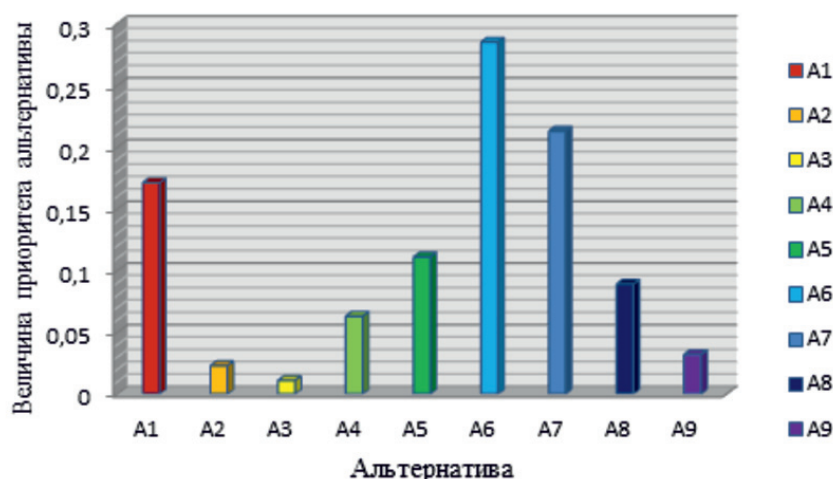


Рис. 2. Глобальные приоритеты альтернатив

Довольно часто для сброса воды с ДНС существует специальное водохранилище, которые находится вблизи самой ДНС.

Расчет потребления электроэнергии насосами для откачки воды предлагается проводить по следующей формуле:

$$W_{\text{н.вод.}} = \frac{H \cdot V}{\eta_{\text{д}} \cdot \eta_{\text{н}}} \cdot \frac{\rho_{\text{воды}}}{\rho_{\text{воды.н.у.}}}, \quad (11)$$

где H – действительный напор, развиваемый насосом при данном режиме работы, м. вод. ст.; $\eta_{\text{н}}$ – КПД насоса (принимается по паспортным данным); $\eta_{\text{д}}$ – КПД электродвигателя насоса; V – объем перекачиваемой воды; $\rho_{\text{воды}}$ – плотность перекачиваемой воды, кг/м³; $\rho_{\text{воды.н.у.}}$ – плотность обессоленной воды при $P_{\text{атм}} = 101325$ Па, $T = 20^\circ\text{C}$, кг/м³.

Для построения иерархии показателей по влиянию на энергетическую эффективность воспользуемся методом ранжирования. В качестве критерия, определяющего энергоэффективность процесса добычи нефти, примем удельное потребление электроэнергии на тонну транспортируемой с ДНС нефти, при этом задавшись условием, что количество поступающей на ДНС жидкости постоянное. Критерий энергоэффективности рассчитывается согласно формуле (3).

В качестве альтернатив примем: снижение плотности и вязкости нефти (А1); снижение плотности газа (А2); снижение плотности воды (А3); КПД электродвигателей (А4); загрузка электродвигателей (А5); объемная подача сырья (А6); напор при транспортировке жидкостей (А7); давление сжатия компрессоров (А8); схема соединения при групповой работе электродвигателей (А9).

Для более наглядного отображения глобальных приоритетов альтернатив, полученных методом ранжирования, построим столбчатую диаграмму (рис. 2).

Таким образом, для экономии электроэнергии на ДНС можно регулировать 4 параметра:

1. Плотность и вязкость нефти.
2. Плотность газа.
3. Загрузка электродвигателей.
4. КПД электродвигателей.

Повышение энергетической эффективности является процессом реализации мероприятий, направленных на оптимизацию работы оборудования и совершенствование технологического процесса. Последовательность принятия мер удобно представить в виде алгоритма.

Предлагаемый в данной работе алгоритм реализации мероприятий, направленных на снижение потребления электрической энергии, представлен на рис. 3.

В результате реализации алгоритма получены следующие результаты:

- повышение КПД двигателя с 80 % до 85 % дает экономию электроэнергии: насосами нефти – 0,1 %, насосами воды – 5,9 %, компрессорами 5,9 %.

- снижение плотности жидкости с 1100 кг/м³ до 1070 кг/м³ дает экономию электроэнергии: нефтяными насосами – 4,04 %.

- снижение вязкости жидкости с 0,066 м²/с до 0,064 м²/с дает экономию электроэнергии: нефтяными насосами – 0,8 %.

- снижение плотности транспортируемого газа с 1800 г/м³ до 1620 г/м³ дает экономию электроэнергии: компрессорами – 2,86 %.

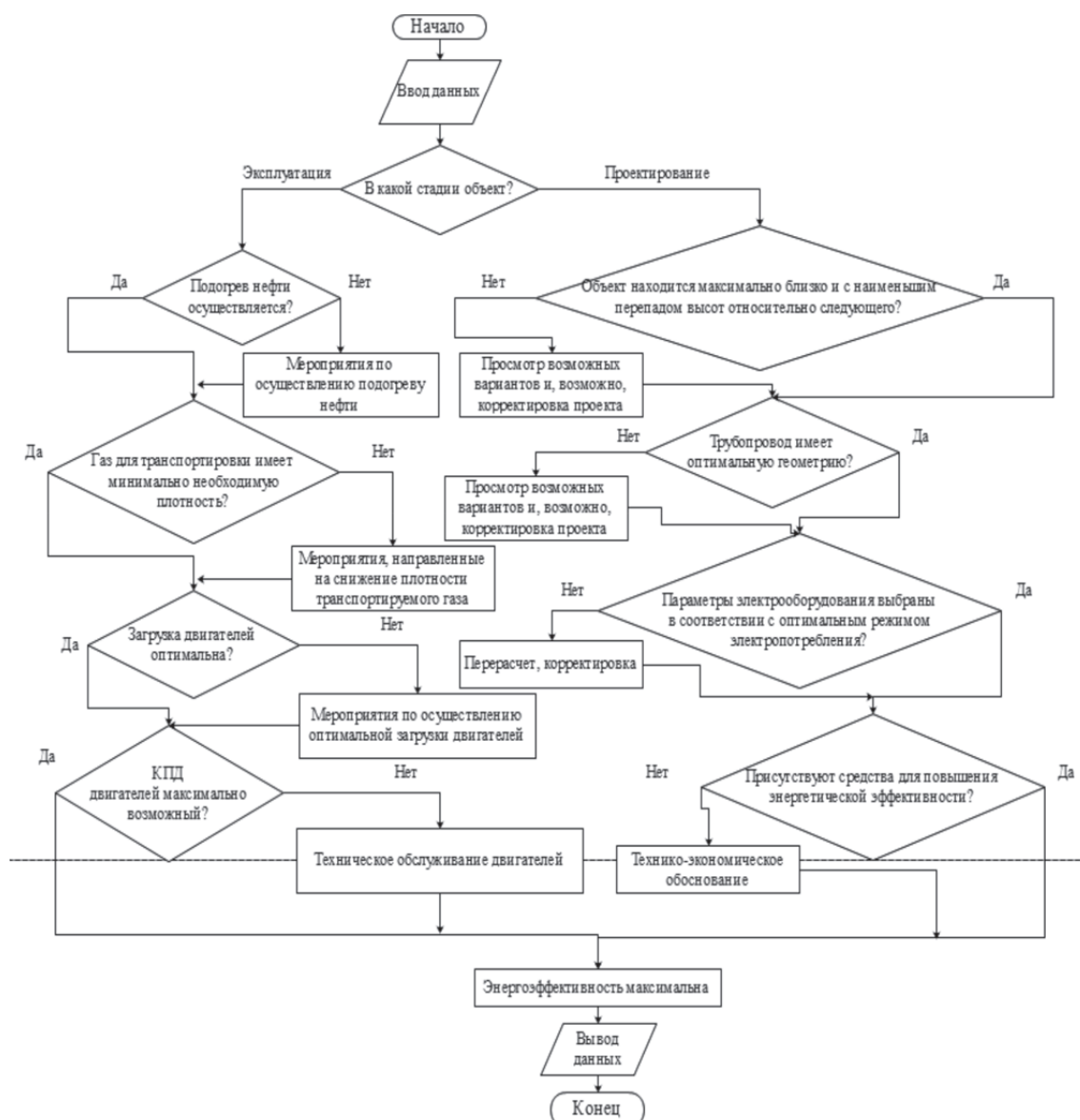


Рис. 3. Алгоритм оценки и реализации энергетической эффективности дождевой насосной станции

Заключение

Предложенная методика позволяет проводить более точную оценку энергетической эффективности объектов нефтегазоперерабатывающей отрасли. Использование предложенного алгоритма упрощает разработку комплекса мероприятий, направленных на экономию электроэнергии.

Список литературы

1. Богданов Р.М. Расчет норм потребления электроэнергии в трубопроводном транспорте нефти // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 1. – С. 47–

57; URL: http://ogbus.ru/authors/Bogdanov/Bogdanov_1.pdf (дата обращения: 15.06.2016).

2. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. – М.: Недра, 1977. – 192 с.

3. Ромодин А.В., Кузнецов М.И. О способе пуска асинхронного двигателя при изменении фазы напряжения на одной из двух обмоток статора // Электротехника. – 2015. – № 6. – С. 40–44.

4. Савинцев Ю.М., Стулов А.В. Методология прогнозирования рыночного спроса на электрооборудование сетей электроснабжения на базе ценологической парадигмы. Часть II. Электротехнический рынок [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://market.elec.ru/nomer/57/metodologiya-prognozirovaniya-rynochnogo-sprosa-3/> (дата обращения: 10.06.2016).

5. Токочакова Н.В. Нормирование и прогнозирование расхода электрической энергии предприятий транспорта нефти в заданных условиях функционирования // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. – 2006. – № 4. – С. 67–77.

References

1. Bogdanov R.M. Raschet norm potreblenija jelektronejergii v truboprovodnom transporte nefiti // Jelektronnyj nauchnyj zhurnal «Neftegazovoe delo». 2012. no. 1. pp. 47–57; URL: http://ogbus.ru/authors/Bogdanov/Bogdanov_1.pdf (data obrashhenija: 15.06.2016).

2. Lutoshkin G.S. Sbor i podgotovka nefiti, gaza i vody. M.: Nedra, 1977. 192 p.

3. Romodin A.V., Kuznecov M.I. O sposobe puskasinhronnogo dvigatelja pri izmenenii fazy naprjazhenija na odnoj iz dvuh obmotok statora // Jelektrotehnika. 2015. no. 6. pp. 40–44.

4. Savincev Ju.M., Stulov A.V. Metodologija prognozirovanija rynochnogo sprosa na jelekthrooborudovanie setej jelektronejergii na baze cenologicheskoj paradigmy. Chast II. Jelektrotehnicheskij rynek [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://market.elec.ru/nomer/57/metodologiya-prognozirovaniya-rynochnogo-sprosa-3/> (data obrashhenija: 10.06.2016).

5. Tokochakova N.V. Normirovanie i prognozirovanie rashoda jelektricheskoj jenerгии predpriyatij transporta nefiti v zadannyh uslovijah funkcionirovanija // Vestnik Gomelskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. P.O. Suhogo. 2006. no. 4. pp. 67–77.

УДК 621.3.078

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СРЕДЕ MEXBIOS DEVELOPMENT STUDIO

Солодкий Е.М., Терёхин А.А., Юсупов И.Р.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: wsdl00@gmail.com*

Рассматривается пример проектирования и разработки датчиковой системы векторного управления с регуляторами скорости и тока для электромеханической системы управления с асинхронным двигателем, который предназначен для лабораторных и практических занятий. Рассмотрена структура векторной системы управления асинхронным двигателем с ориентацией по вектору потокоцепления ротора. Уделяется особое внимание возможности использования учебных стендов на базе современных схемотехнических решений в образовательных целях и объединения программной и аппаратной частей в виде отдельных узловых блоков в среде визуального программирования MexBIOS Development Studio. Наглядность восприятия обеспечивается единообразной структурой векторной системы управления и простотой реализации алгоритмов. В статье предложены способы и модели, позволяющие перед непосредственной реализацией на микропроцессоре проводить отладку проектируемых систем управления.

Ключевые слова: процессор цифровой обработки сигналов, асинхронный двигатель, наблюдатель угла, вычислитель потокоцепления ротора, система визуального программирования

CREATION OF THE VECTOR CONTROL SYSTEM WITH USE MEBIOS DEVELOPMENT STUDIO

Solodkiy E.M., Terekhin A.A., Yusupov I.R.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: wsdl00@gmail.com

A sample of the design and development of the sensor vector control system of speed and current regulators for the induction motor is considered in this article. It can be designed to work in practical and laboratory classes. Considered structure of vector control system of induction motor with the direction on the vector of the rotor flux is proposed. Great attention is given possibilities of operation educational stands with up to date circuit solution in educational program and software and hardware element in the form of single blocks in the MexBIOS Development Studio visual programming environment. Visual perception is a uniform structure of vector control system, as well as simplicity of representation of algorithms. The article suggests methods and models before allowing the immediate the development on the microcontroller conduct tuning design of control systems.

Keywords: digital signal processor, induction motor, rotor flux angle observer, rotor flux calculator, visual programming system

Учебные стенды и визуальная среда разработки и моделирования *MexBIOS* позволяет проектировщикам устройств абстрагироваться от программирования микроконтроллеров и сосредоточиться на оптимальной реализации задач управления. *MexBIOS* позволяет выполнять практически полный цикл проектирования встроенного программного обеспечения микроконтроллеров: от предварительного моделирования разрабатываемой системы и пробных запусков на макетах, и до работ по сопровождению производства, внесению изменений в выпускаемую продукцию. Основная область применения разработанного продукта – системы управления электродвигателями и устройствами автоматизации, однако примененный подход универсален и для других направлений. Учебные стенды могут быть использованы при обучении бакалавров, магистров, на курсах повышения квалификации по электротехническим направлениям и специальностям, в первую очередь «Электротехника, электромехани-

ка, электротехнологии», «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» и др., а также для научных исследований в ходе аспирантской подготовки.

В данной работе рассматривается пример проектирования и реализации датчиковой системы векторного управления с синтезом регуляторов скорости и тока для асинхронного двигателя, который может быть использован в лабораторных и практических занятиях. Работа студентов со стендами и учебными комплектами предполагает изучение современных схемотехнических решений для задач проектирования систем управления асинхронным двигателем (векторное управление и прямое управление моментом) [5]. Следующий шаг в обучении – это непосредственная реализация алгоритмов управления. Задача построения полноценной векторной системы управления сложна и при использовании языков высокого уровня, таких как C++, предполагает длительный процесс программирования и отладки. На языке визуального про-

ектирования *MexBIOS Development Studio* [7] схема управления наглядна и проста для понимания. Ознакомившись же с реально работающей системой управления АД, студент получает практическое задание по адаптации регуляторов исходя из параметров схемы замещения АД [6], которые будут ему выданы. Работа студента предполагает знание основных шаблонов, таких как координатные преобразования, блок векторного ШИМ, блок оценки потокосцепления ротора, опрос и обработка сигналов с АЦП. Дальнейшая практическая задача, которая ставится перед студентом, непосредственный синтез регуляторов, снятие переходных процессов и оценка качества.

Учебный стенд, представленный в данной работе, имеет в своем составе два комплекта процессорных модулей и агрегат из двух двигателей, объединенных валами через муфту с тензометрическим датчиком момента. Двигатели постоянного тока укомплектованы датчиком скорости – энкодером.

Наличие двух спаренных двигателей разного типа позволяет расширить возможности стенда, в плане: обучение программированию встроенных систем, в том числе в среде разработки *MexBIOS Development Studio*, создание алгоритмов и схем управления двумя типами двигателей на одном стенде, исследование статических и динамических режимов работы, исследование и настройка работы электроприводов под нагрузкой. Интерфейсный модуль стенда может быть снабжен процессорами цифровой обработки сигналов (ПЦОС) *TMS320F2812* или *TMS320F2335*.

MexBIOS Development Studio – визуальная среда разработки и моделирования встроенного программного обеспечения систем управления электродвигателями. Используя блоки из палитры компонентов, собирается программа управления электродвигателем. Блоки представляют собой законченные функции управления электродвигателем.

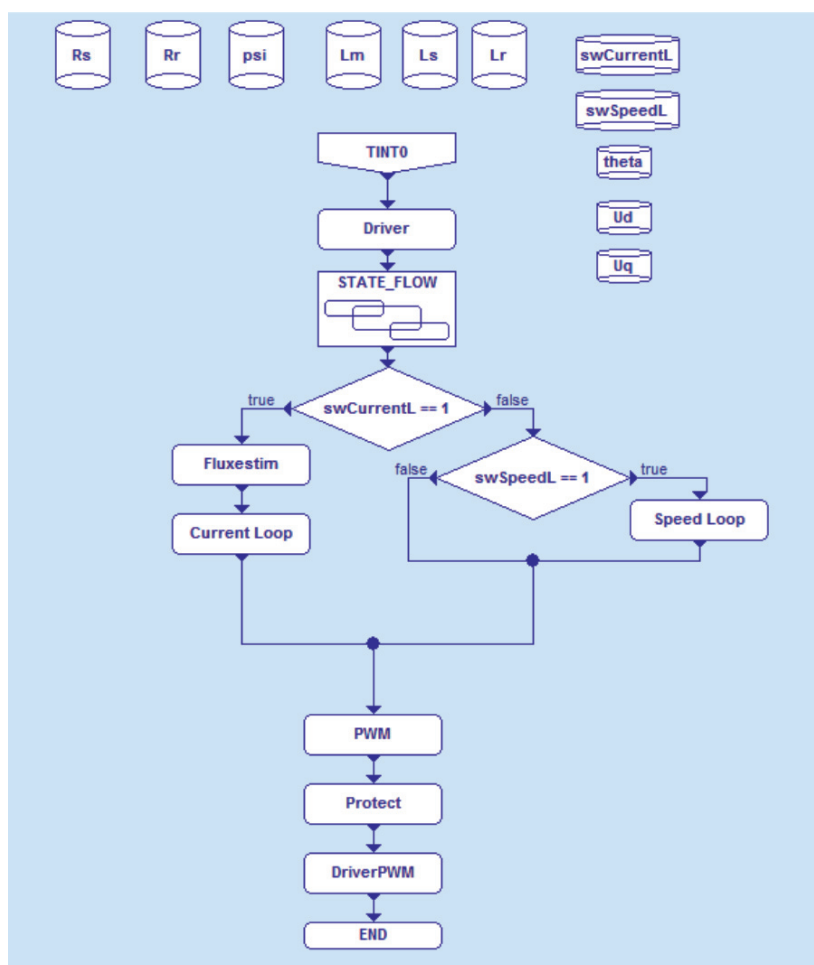


Рис. 1. Структурная схема векторного управления

Основные блоки при реализации векторной системы:

– *Clark* – Блок координатного преобразования из трехфазной симметричной системы координат в двухфазную симметричную систему координат;

– *Park* – Блок координатного преобразования из двухфазной неподвижной системы координат в двухфазную вращающуюся систему координат;

– *Svgendq* – генератор пространственного вектора ШИМ. Блок предназначен для формирования соответствующей длительности включения ключей инвертора, необходимой для создания формы напряжения статора с помощью ШИМ. Форма напряжения статора представляется в неподвижной двухфазной системе координат;

– *ADC* – Драйвер АЦП, для конфигурирования и опроса АЦП микроконтроллера.

Для того чтобы сократить затраты вычислительной мощности процессора при работе с числами, чип работает с числами без плавающей запятой. В микроконтроллерах арифметические операции проводятся с применением фиксированной запятой. Дробные числа преобразуются в целые числа. При этом под представление дробной и целой части числа выделяется различное количество бит слова контроллера. Чип работает с типами данных, такими как *IQ1-IQ24*, где число, стоящее после *IQ* – количество бит выделенных для представления дробной части. При работе с моделью двигателя, не записывая программу в память процессора, используются также форматы *integer* и *float*.

Векторная система управления состоит из трех контуров: контур тока, контур скорости и контур потокосцепления. Частота вызова основных блоков составляет 20 кГц. Блок контура тока и контур потокосцепления работают с частотой 10кГц, а контур скорости – с частотой 5 кГц.

В *MexBios Development Studio* была разработана структурная общая для систем

векторного управления (рис. 2). В данной реализации системы векторного управления реализован автоматический расчет регуляторов тока и скорости по параметрам схемы замещения АД (рис. 1).

Контур тока является внутренним контуром [1, 2, 6]. Для асинхронного двигателя необходимы два регулятора тока для управления двумя составляющими вектора тока. Составляющая *Id* – формирует магнитный поток асинхронной машины, необходимый для формирования момента. Составляющая *Iq* – формирует момент асинхронной машины.

Объединив d-q составляющие тока, уравнения равновесия для АД могут быть записаны в векторной форме (1, 2):

$$L_{\sigma} \frac{d\vec{I}_s}{dt} = \vec{U}_s - (R_s + R_r + j \cdot \omega_e \cdot L_{\sigma}) \times \vec{I}_s - \left(j \cdot \omega_r - \frac{R_r}{L_M} \right) \cdot \vec{\Psi}_R, \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{\Psi}_R}{dt} = R_r \vec{I}_s - \left(\frac{R_r}{L_M} + j(\omega_r - \omega_1) \right) \vec{\Psi}_R. \quad (2)$$

В блоке *SpeedLoop* находится регулятор скорости. В контуре *Fluxestim* располагается наблюдатель угла и наблюдатель потока. Рассмотрим реализацию наблюдателя потокосцепления ротора.

Существует два вида наблюдателей потока, в которых для оценки потокосцепления используется модель АД, построенная на основе или векторов тока или векторов напряжения. При этом «токовая модель» по сравнению с «моделью напряжений» является более подходящей для использования на низких скоростях, несмотря на высокую чувствительность к изменению параметров двигателя. В данной работе предлагается рассмотреть реализацию «токовой модели» в полиориентированной системе векторного управления с использованием методов косвенной ориентации во вращающейся системе координат *d-q*.

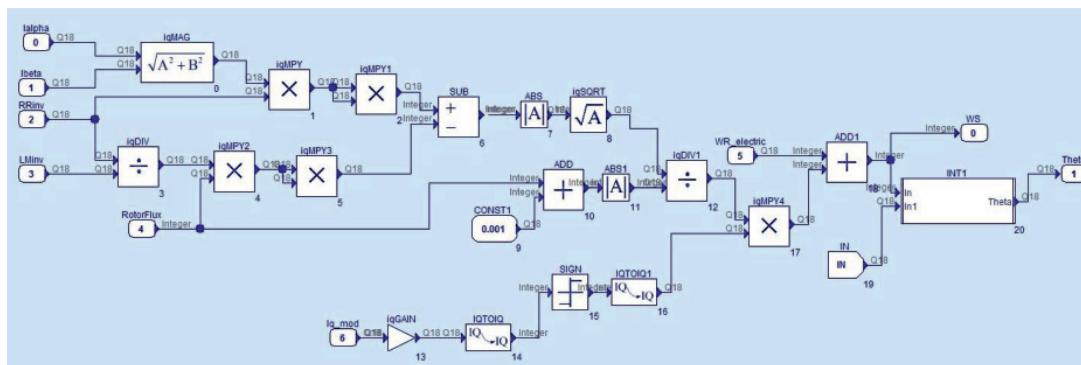


Рис. 2. Реализация наблюдателя угла в среде MexBIOS

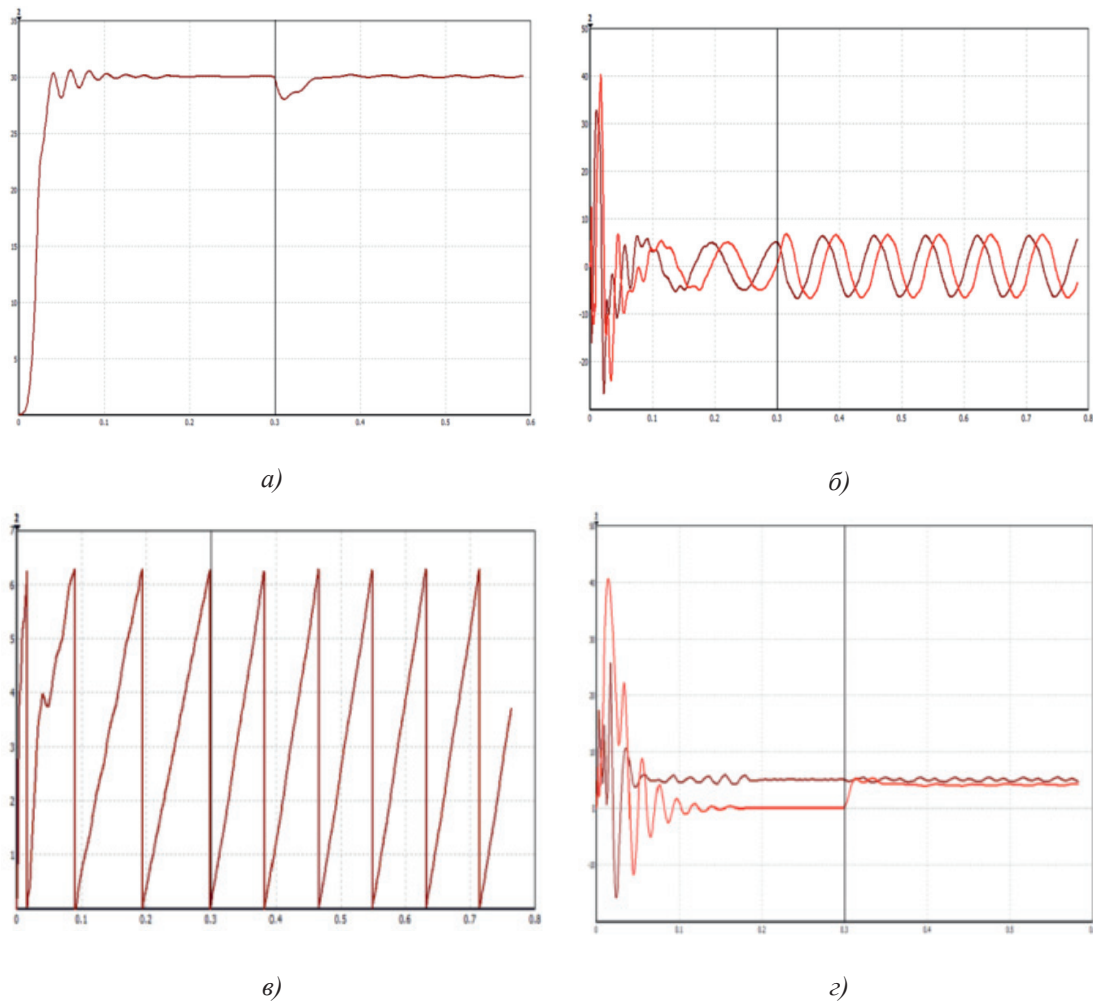


Рис. 3. Графики переходных процессов: а – скорости, б – токов в осях α – β , в – угла θ , з – момента двигателя

Для реализации наблюдателя потоко-сцепления, с использованием вектора тока $\vec{i}_s$ (в проекциях оси координат d - q) и электрической угловой скорости ротора ω_r в качестве входных сигналов, используем уравнение (1). Выполнив разложение уравнения (1) на реальную и мнимую части и предполагая, что $\vec{\Psi}_R = \Psi_{Rd} + j0$ (требуемая ориентация d - q системы координат), уравнение (2) можно записать следующим образом:

$$\frac{d\hat{\Psi}_R}{dt} = R_R \cdot I_d - \frac{R_R}{L_M} \cdot \hat{\Psi}_R, \quad (3)$$

$$0 = R_R \cdot I_q - (\hat{\omega}_1 - \omega_r) \cdot \hat{\Psi}_R. \quad (4)$$

Перепишав уравнение (3) в интегральной форме, выходные оценки наблюдателя потока (амплитуда, скорость и положение вектора потоко-сцепления $\vec{\Psi}_R$) можно выразить следующим образом:

$$\hat{\Psi}_R = \int_0^t (R_R \cdot I_d - \frac{R_R}{\hat{L}_M} \cdot \hat{\Psi}_R) dt, \quad (5)$$

$$\hat{\omega}_1 = \omega_r + \hat{\omega}_2 = \omega_r + \frac{R_R I_{sq}}{\hat{\Psi}_R}, \quad (6)$$

$$\hat{\theta}_1 = \int_0^t \omega_1 dt. \quad (7)$$

Таким образом, полная оценка вектора потоко-сцепления может быть получена с помощью формул (5–7). На практике при моделировании подобные оценки показали плохие результаты, поскольку при реализации используются токи, полученные из координатных преобразований с использованием угла, который сам участвует в преобразованиях. Таким образом, накапливается ошибка вычисления. В бездатчиковых

системах управления [3, 4] это особенно критично.

Предлагается оценку скорости $\hat{\omega}_1$ выполнить несколько иначе, используя следующее приближение:

$$\hat{\omega}_1 = \left(\frac{\sqrt{(\sqrt{I_\alpha^2 + I_\beta^2} \cdot R_R)^2 + \left(\frac{R_R}{L_M} \cdot \Psi_R\right)^2}}{\Psi_R} \right) \cdot \text{sgn}(I_q) + \omega_r, \quad (9)$$

$$\text{sgn}(I_q) = \begin{cases} +1, & \text{если } I_q > 0; \\ 0, & \text{если } I_q = 0; \\ -1, & \text{если } I_q < 0. \end{cases} \quad (10)$$

где I_α, I_β ток в осях координат α – β .

В результате практической реализации рассмотренных способов оценки потоко-сцепления ротора наиболее точные результаты были получены при использовании выражений (5), (10), (7), которые исключают накопление статической ошибки.

В *MexBIOS Development Studio* был разработан наблюдатель угла потоко-сцепления ротора по рассмотренной методике, который был успешно проверен на имитационных моделях и стенде.

Графики переходного процесса по скорости, токам в осях α – β , углу θ и моменту, полученные по результатам имитационного моделирования, приведены на рис. 3. При снятии характеристик на 0,3 секунде была добавлена статическая нагрузка 10 Н·м.

В работе был рассмотрен пример проектирования и реализации датчиковой системы векторного управления с синтезом регуляторов скорости и тока для асинхронного двигателя, который может быть использован в лабораторных и практических занятиях. Разработана структурная схема в среде визуального программирования *MexBIOS Development Studio*, которая может быть предложена студентам для дальнейшей доработки по вариативному заданию в лабораторных и практических занятиях. С использованием *MexBIOS Development Studio* достигается наглядность полученных результатов за счет визуальных средств и вывода информации на виртуальные приборы.

Список литературы

1. Анучин А.С. Системы управления электроприводов / Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Издательский дом МЭИ», 2015. – 320 с.

$$\frac{d\vec{\Psi}_R}{dt} = |\vec{\Psi}_R| \cdot e^{j\omega_r t}. \quad (8)$$

Из формулы (2), раскладывая вектора на плоскость, с учетом приближения (8), имеем

2. Даденков Д.А., Солодкий Е.М., Шачков А.М. Моделирование системы векторного управления асинхронным двигателем в пакете Matlab/Simulink // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2014. – № 3 (11). – С. 117–128.

3. Калачёв Ю.Н. Наблюдатели состояния в векторном электроприводе. [Электронный ресурс]. http://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/kalachev_yu_n_nablyudateli_sostoyaniya_v_vektornom_elektropr.pdf (дата обращения: 10.02.2016).

4. Костыгов А.М., Даденков Д.А., Солодкий Е.М., Шачков А.М. Бездатчиковое векторное управление вентильным двигателем с коррекцией ошибки вычисления электрического угла // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – № 13–9. – С. 27–33.

5. Костыгов А.М., Зюзев А.М., Солодкий Е.М., Кухарчук А.В., Мудров М.В., Нестеров К.Е. Состояние и перспективы использования аппаратно-программных симуляторов электротехнических комплексов / Электротехника. – 2015. – № 6. – С. 8–12.

6. Костыгов А.М., Солодкий Е.М., Даденков Д.А. Синтез регуляторов тока и скорости в системе векторного управления вентильным электроприводом // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–7. – С. 656–661.

7. MexBIOS Development Studio – визуальная среда разработки и моделирования. [Электронный ресурс]. <http://mechatronica-pro.com/ru/catalog/software/> (дата обращения: 15.02.2016).

References

1. Anuchin A.S. Sistemy upravleniya jelektroprivodov / Ucheb- niki dlja vuzov. M.: Izd-vo «Izdatsel'skij dom MEI», 2015. 320 p.

2. Dadenkov D.A., Solodkij E.M., Shachkov A.M. Modelirovanie sistemy vektornogo upravleniya asinhronnym dvigatelem v pakete Matlab/Simulink // Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Jeletrotehnika, informacionnye tehnologii, sistemy upravleniya. 2014. no. 3 (11). pp. 117–128.

3. Kalachjov Ju.N. Nabljudateli sostojanija v vektornom jelektroprivoде. [Jelettronnyj resurs]. http://elprivod.nmu.org.ua/files/automaticED/kalachev_yu_n_nablyudateli_sostoyaniya_v_vektornom_elektropr.pdf (data obrashhenija: 10.02.2016).

4. Kostygov A.M., Dadenkov D.A., Solodkij E.M., Shachkov A.M. Bezdatchikovoe vektornoe upravlenie ventilnym dvigatelem s korrekciej oshibki vychislenija jelektricheskogo ugla // Informacionno-izmeritelnye i upravljajushhie sistemy. 2015. no. 13–9. pp. 27–33.

5. Kostygov A.M., Zjuzev A.M., Solodkij E.M., Kuharchuk A.V., Mudrov M.V., Nesterov K.E. Sostojanie i perspektivy ispolzovanija apparatno-programmyh simuljatorov jelektrotehnicheskikh kompleksov / Jeletrotehnika. 2015. no. 6. pp. 8–12.

6. Kostygov A.M., Solodkij E.M., Dadenkov D.A. Sintez reguljatorov toka i skorosti v sisteme vektornogo upravlenija ventilnym jelektroprivodom // Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 11–7. pp. 656–661.

7. MexBIOS Development Studio vizualnaja sreda razrabotki i modelirovanija. [Jelettronnyj resurs]. <http://mechatronica-pro.com/ru/catalog/software/> (data obrashhenija: 15.02.2016).

УДК 51-74 + 621.31]:004

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МЕТОДИКИ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ Г. ПЕРМИ

Трушников К.П., Ромодин А.В., Мишуриных С.В.*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

В статье проводится разработка модели долгосрочного прогнозирования потребления электрической энергии в электрических сетях г. Перми. Определена актуальность задачи прогнозирования потребления электрической энергии. Проведен обзор и анализ основных методов прогнозирования потребления электрической энергии. Выявлены преимущества и недостатки каждого метода относительно предлагаемой методики. Рассмотрена методика проверки статистических гипотез о законе распределения графиков потребления электрической энергии, а также методы приведения распределения данных потребления электрической энергии к закону нормального распределения. Предложена модель прогнозирования потребления электрической энергии в городских электрических сетях на 2014 год, представляющая из себя комбинацию основных методов прогнозирования. Выполнен прогноз потребления электрической энергии, с помощью предложенной модели, на 2014 год. Выполнена оценка точности выполненного прогноза.

Ключевые слова: потребление электроэнергии, долгосрочное прогнозирование, модель, методика прогнозирования

ON METHODOLOGY OF LONG-TERM FORECASTING OF ELECTRICITY NETWORK POWER CONSUMPTION IN PERM CITY.

Trushnikov K.P., Romodin A.V., Mishurinskikh S.V.*Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: romodin@msa.pstu.ru*

In this article modeling the long-term forecasting of power consumption of urban electricity networks in Perm city is carried out. Relevance of forecasting power consumption problem is identified. Overview and analysis of the main forecast power consumption methodologies is made. Advantages and disadvantages of each method in comparison with the proposed methodology are identified. Methodology of statistical hypothesis verification on consumption distribution and bringing the consumption data distribution to normal methods are considered. The forecasting power consumption model in urban electricity networks for 2014 as a combination of the main forecasting methods is offered. Power consumption forecast by means of the proposed method for 2014 is made. Evaluation of the forecast accuracy is performed.

Keywords: power consumption, long-time forecasting, model, forecasting methodology

В последние годы вопросу прогнозирования потребления электроэнергии уделялось достаточно большое внимание. Эта задача является достаточно актуальной в связи с тем, что расчет нагрузка узлов электрической сети, распределяющих электроэнергию. Соответственно, появляется задача прогнозирования потребления электроэнергии для того, чтобы правильно распределить потоки мощности в городских электрических сетях, обеспечить их надежную работу и бесперебойность питания потребителей [4–7].

В настоящее время существует множество методов прогнозирования потребления электроэнергии, которые могут давать достаточно точные результаты. Одни из них опираются на данные, полученные от потребителей или же на некоторые нормативы, полученные эмпирическим путем. А другие основываются на обработке статистических данных различными математическими методами или их комбинациями [9].

На величину потребления электроэнергии влияет множество факторов: температурный режим, время суток, погодные условия (в дождливую погоду люди вероятнее останутся дома) и прочие.

Однако в некоторых случаях существует проблема, что массив входных данных недостаточен для прогнозирования с применением распространенных методов. Такой случай рассмотрен в данной работе. Один из подходов, с помощью которого можно решить задачу прогнозирования в условиях малого массива входных данных, рассмотрен на примере подстанции (ПС) «Данилиха».

Далее приведены результаты анализа основных методов прогнозирования, применительно к предлагаемой методике.

Обзор методов прогнозирования электропотребления

Нормативный метод. Нормативные методы основываются на использовании норм расхода энергии по основным видам про-

дукции и секторам экономики. Использование нормативных методов предполагает прогнозирование удельных норм электропотребления на единицу продукции, на койко-место в больнице, на квартиру в многоквартирном доме и т.д.

Для определения величины нагрузки используются некоторые обобщенные показатели, коэффициенты, удельные нагрузки и удельные расходы электроэнергии, полученные на реальных предприятиях определенного типа, в процессе их эксплуатации.

Расчет ведется на основании таблиц удельной расчетной электрической нагрузки электроприемников квартир жилых домов, единицы выпускаемой продукции, единицы площади какого-либо помещения [3–5].

С точки зрения предлагаемой модели к достоинствам данного метода следует отнести то, что он довольно прост и не требует каких-либо сложных вычислений [2].

Метод обработки заявок потребителей. Прогнозирование на основе заявок потребителей достаточно эффективно для отдельных подстанций, узлов сети и менее эффективно для энергорайонов. Другими словами, относительная эффективность данного метода снижается по мере укрупнения территориального подразделения, т.е. по мере увеличения количества потребителей. С помощью этого метода возможно прогнозирование максимальной годовой нагрузки.

В разрезе разрабатываемой модели прогнозирования данный метод не будет давать ответа на главный вопрос, он не будет показывать характер изменения нагрузки, следовательно, его применение не является целесообразным в данной работе [2].

Линейный регрессионный анализ. Регрессионный анализ – метод обработки статистических данных, результатом которого является выявление зависимости случайной величины Y от переменных x_j ($j = 1, 2, \dots, k$), которые рассматриваются в регрессионном анализе как независимые.

Основной целью регрессионного анализа является определение связи между определенной величиной Y исследуемого явления или объекта и величинами $x_1, x_2, \dots, x_n$, которые объясняют, влияют на изменение Y . Переменная Y называется зависимой переменной, влияющие переменные $x_1, x_2, \dots, x_n$ называются регрессорами. Задачами регрессионного анализа являются: установление формы зависимости, подбор модели регрессии, а также оценка параметров этой модели.

В рамках разрабатываемой модели применение данного метода является невозможным, так как отсутствует минимально необ-

ходимый массив данных, который необходим для построения достоверной модели [1].

Ранговый анализ. Под ранговым распределением понимается распределение, полученное в результате процедуры ранжирования последовательности значений параметра, поставленных соответственно рангу. Ранжирование – процедура упорядочения объектов по степени выраженности какого-либо качества.

Применительно к предлагаемой модели данный метод является достаточно удобным, так как он требует минимального набора исходных данных, а также не требуется, чтобы распределение исходных данных соответствовало закону нормально распределения [10].

Нейросетевое программирование. Искусственные нейронные сети (ИНС) представляют собой вычислительные структуры, в которых моделируются процессы, схожие с процессами, происходящими в головном мозге человека.

Нейросети – это распределенные и параллельные системы, которые «умеют» адаптивно обучаться путем реакции на те или иные положительные и отрицательные воздействия.

В рамках данной модели построение нейронной сети не предусматривается. Это обуславливается тем, что данный метод требует значительных затрат времени, что отрицательно влияет на сроки составления прогноза, которые являются одним из основных достоинств предлагаемого метода [9, 11].

Модель прогнозирования электропотребления, на примере потребителей ПС «Данилиха»

В предлагаемой методике проверку статистической гипотезы закона распределения предлагается выполнить в соответствии с [9] по следующему алгоритму (см. рис. 1).

На основе анализа [8] предлагается выполнить оценку точности прогноза электропотребления, используя величину среднеквадратического отклонения согласно формуле

$$E_{\text{СКО}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (Y_{\Phi i} - \bar{Y})^2}, \quad (1)$$

где $Y_{\Phi i}$ – фактическое значение параметра; $\bar{Y}$ – среднее значение прогнозного параметра; n – количество точек на оцениваемом интервале упреждения.

Расчет модели прогнозирования электропотребления. Методы прогнозирования [1–8] имеют свои ограничения, и решить задачу прогнозирования потребления электроэнергии в городских электрических сетях

не удастся эффективно решить, используя только один из методов. Анализ дает нам методы применительно для данных условий. Рассмотрим комбинацию нормативного метода и рангового анализа.

Суть многих математических методов состоит в обработке обобщенных данных потребления электроэнергии, без разделения потребителей по отдельным группам. Возможно, прогноз потребления одной группой потребителей будет более точным, если вычисления произвести с помощью одного метода прогнозирования, а для другой группы более подходящим будет другой метод прогнозирования.

При таком подходе, после произведения отдельных вычислений, прогнозы можно будет просуммировать и получить уже общий прогноз, на который можно будет опираться при планировании нагрузки на узлы системы электроснабжения.

В жилых районах электрическая нагрузка представлена следующими группами потребителей:

- жилые дома;
- детские сады, школы, больницы;
- торговые центры;
- офисные здания;

– уличное освещение.

Исходными данными являлись:

- показания потребления электроэнергии жилыми домами;
- показания потребления электроэнергии школами и детскими садами;
- показания потребления электроэнергии торговыми центрами и офисными зданиями;
- протяженность дорог, средняя установленная мощность светильников, длительность осветительного периода;
- данные приборов учета ПС «Данилиха» за 2014 год.

Дискретность сбора данных составляла один месяц. Данные касались потребителей, питаемых от ПС «Данилиха».

Для различных типов зданий основными параметрами предлагается считать:

- жилые дома: типы домов и количество жильцов в них;
- детские сады и школы: ретроспективные данные потребления электроэнергии;
- офисные здания и торговые центры: площадь зданий;
- уличное освещение: протяженность дорог, средняя установленная мощность светильников, длительность осветительного периода.

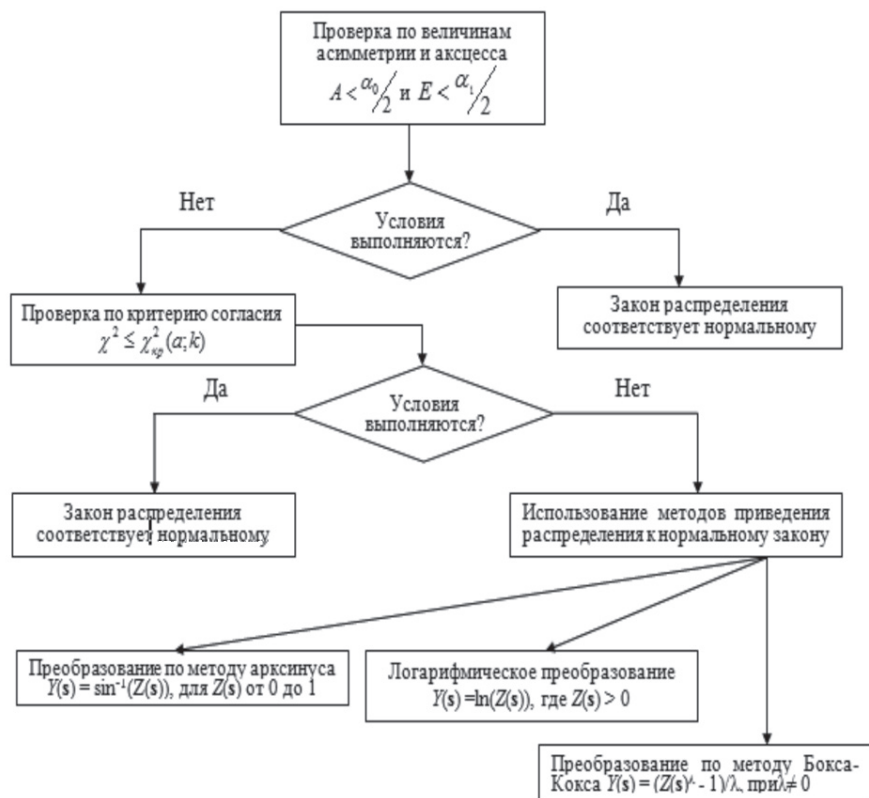


Рис. 1. Алгоритм проверки и приведения распределения данных к закону нормального распределения

Модель представляет собой многокомпонентное уравнение (2), где каждое из слагаемых отражает потребление электроэнергии той или иной группы потребителей.

$$W_{\Sigma} = W_{\text{ду}} + W_{\text{жд}} + W_{\text{оз}} + W_{\text{б}} + W_{\text{уо}}, \quad (2)$$

где W_{Σ} – суммарное потребление электроэнергии,

$W_{\text{ду}}$ – потребление электроэнергии школами и детскими садами,

$W_{\text{жд}}$ – потребление электроэнергии жилыми домами,

$W_{\text{оз}}$ – потребление электроэнергии офисными зданиями и торговыми центрами,

$W_{\text{б}}$ – потребление электроэнергии больницами,

$W_{\text{уо}}$ – потребление электроэнергии уличным освещением.

Расчет будет вестись для потребителей, питаемых от ПС «Данилиха».

На рис. 2–3 отражены прогнозные и реальные графики электропотребления.

Для прогнозирования потребления электроэнергии жилыми домами, торговыми центрами и офисными зданиями, а также уличным освещением расчет выполнен на основе усредненного показателя потребления (для домов на одного жильца, для торговых центров на единицу площади здания, для уличного освещения по установленной мощности светильников на единицу длины проезжей части). Электропотребление детских садов определено с помощью рангового анализа, а больниц и поликлиник – с помощью нормативного метода.

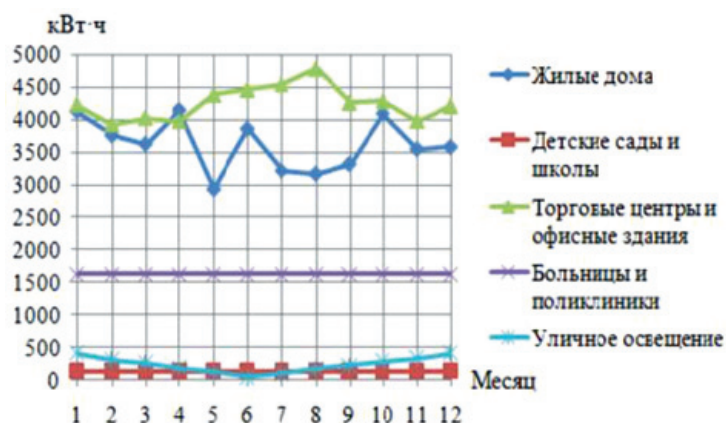


Рис. 2. Потребление электроэнергии каждой группой потребителей в отдельности. Примечание: Цифры по оси месяцев показывают порядковый номер месяца в году

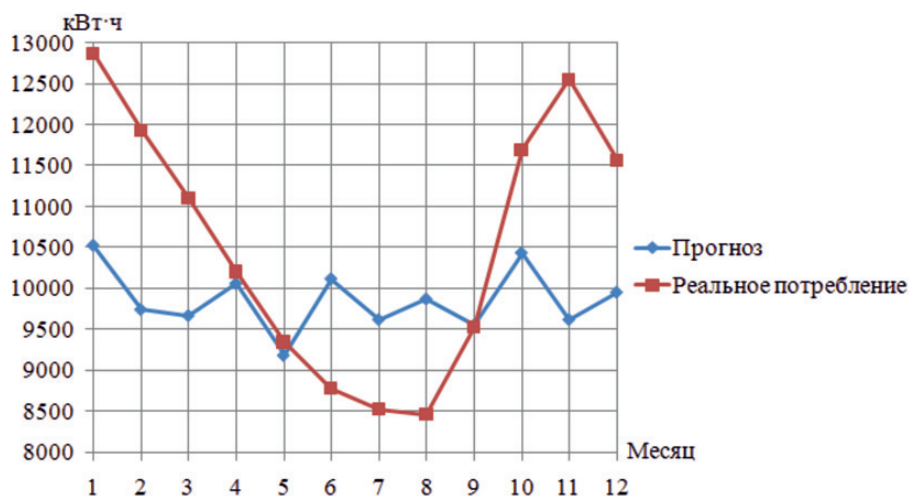


Рис. 3. Графики потребления электроэнергии. Примечание: Цифры по оси месяцев показывают порядковый номер месяца в году

Оценка точности прогноза. По формуле (1) определим погрешности прогноза.

Среднеквадратическое отклонение ошибки прогноза:

$$E_{\text{СКО}} = 1753,7 \text{ кВт}\cdot\text{ч}.$$

Заключение

Представленный метод прогнозирования показывает среднюю ошибку 12%, что является достаточным при имеющемся массиве начальных данных, а также скорости, с которой производятся вычисления [1].

Данная модель проста с точки зрения расчетов и сбора информации. Модель может работать даже при минимальном массиве данных. Количество факторов, влияющих на величину электропотребления, выбрано минимально возможным. Это избавляет от погрешностей, связанных с наличием большого количества переменных.

В случае, если результаты прогнозирования не удовлетворяют заданной точности, в методике предусмотрено внесение уточнений.

Дальнейшим направлением исследований является обучение модели на основе полученных статистических данных на объемах электропотребления.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0134 от 01.12.2015 г. в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Вучков И., Бояджиева Л., Солаков Е. Прикладной линейный регрессионный анализ / Пер. с болгар. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 239 с.
2. Матюнина Ю.В. Электропотребление электротехнических систем // Электрика. – 2007. – № 1. – С. 1–5.
3. Методика прогнозирования графиков электропотребления для технологий краткосрочного планирования [Электронный ресурс]. – URL: http://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/market_regulations/schedules.pdf (дата обращения: 02.05.2015).
4. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Комплекс «Энергооптимизатор» // Электротехника. – 2010. – № 6. – С. 49–54.
5. Петроченков А.Б., Ромодин А.В. Разработка подходов к построению комплекса «Энергооптимизатор» // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. – 2013. – № 4. – С. 20–25.
6. Петроченков А.Б., Ромодин А.В., Хорошев Н.И. Об одном формализованном методе оценки управленческих решений (на примере управления электротехническими объектами) // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 87. – С. 166–171.

7. Петроченков А.Б., Франк Т., Ромодин А.В., Кычкин А.В. Полунатурное моделирование активно-адаптивной электрической сети // Электротехника. – 2013. – № 11. – С. 60–63.

8. Порунов А.Н. Методика приведения ненормально распределенного ряда к нормальному распределению и оценка методической ошибки // IT-бизнес. – 2011. – № 2. – С. 3–8.

9. Ромодин А.В., Андриевская Н.В. Долгосрочное прогнозирование электропотребления на основе искусственной нейронной сети // Системы мониторинга и управления: Сб. науч. тр. / ПГТУ. – Пермь, 2008. – С. 132–137.

10. Садыков Р.И., Потанин А.В., Николаев В.А. О планировании электропотребления учреждений бюджетной сферы на основе устойчивого N-распределения / Вестник ПНИПУ. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2006. – 344 с.

11. Шумилова Г.П., Готман Н.Э., Старцева Т.Б. Модели прогнозирования нагрузок на основе аппарата искусственных нейронных сетей // Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики. Вып. 51. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 2000.

References

1. Vuchkov I., Bojadzhieva L., Solakov E. Prikladnoj lineynyj regressionnyj analiz / Per. s bolgar. M.: Finansy i statistika, 1987. 239 p.
2. Matyunina Ju. V. Jelektropotreblenie jelektrotechnicheskij sistem // Jelektrika. 2007. no. 1. pp. 1–5.
3. Metodika prognozirovanija grafikov jelektropotreblenija dlja tehnologij kratkosrochnogo planirovanija [Jelektronnyj resurs]. URL: http://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/market_regulations/schedules.pdf (data obrashhenija: 02.05.2015).
4. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Kompleks «Jenergooptimizator» // Jelektrotechnika. 2010. no. 6. pp. 49–54.
5. Petrochenkov A.B., Romodin A.V. Razrabotka podhoda k postroeniju kompleksa «Jenergooptimizator» // Jelektr. Jelektrotechnika, jelektrounergetika, jelektrotechnicheskaja promyshlennost. 2013. no. 4. pp. 20–25.
6. Petrochenkov A.B., Romodin A.V., Horoshev N.I. Ob odnom formalizovannom metode ocenki upravlencheskich reshenij (na primere upravlenija jelektrotechnicheskimi obektami) // Nauchno-tehnicheskie vedomosti SPbGPU. 2009. no. 87. pp. 166–171.
7. Petrochenkov A.B., Frank T., Romodin A.V., Kychkin A.V. Polunaturnoe modelirovanie aktivno-adaptivnoj jelektricheskoy seti // Jelektrotechnika. 2013. no. 11. pp. 60–63.
8. Porunov A.N. Metodika privedenija nenormalno raspredelenno rjada k normalnomu raspredeleniju i ocenka metodicheskoy oshibki // IT-biznes. 2011. no. 2. pp. 3–8.
9. Romodin A.V., Andrievskaja N.V. Dolgosrochnoe prognozirovanie jelektropotreblenija na osnove iskusstvennoj nejronnoj seti // Sistemy monitoringa i upravlenija: Sb. nauch. tr. / PGU. Perm, 2008. pp. 132–137.
10. Sadykov R.I., Potanin A.V., Nikolaev V.A. O planirovanii jelektropotreblenija uchrezhdenij bjudzhetnoj sfery na osnove ustojchivogo N-raspredelenija / Vestnik PNIPU. Perm: Izd-vo PNIPU, 2006. 344 p.
11. Shumilova G.P., Gotman N.E., Starceva T.B. Modeli prognozirovanija nagruzok na osnove apparata iskusstvennyh nejronnyh setej // Metodicheskie voprosy issledovaniya nadezhnosti bolshih sistem jenergetiki. Vyp. 51. Syktyvkar: Izd-vo Komi NC UrO RAN, 2000.

УДК 65.01:676.026

ПРОЦЕСС ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИЕЙ НА ООО «ПЕРМСКИЙ КАРТОН»

Фещенко А.А., Широков А.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: aleksandr.feshchenko@pcbku.ru*

Условия современного международного и российского рынка целлюлозно-бумажной промышленности диктуют с каждым годом всё более активное повышение темпов развития предприятий данной отрасли, которые прибегают к постоянной модернизации производственных площадок и технологических линий. Оборудование стремительно претерпевает комплексные и точечные изменения как ввиду планового пере-проектирования, так и аварийных ремонтных операций. Благодаря этому технологическая линия по прошествии времени приобретает уникальные конструктивные особенности, которые требуют постоянного обеспечения конструкторской документацией. Для эффективности и оперативности ее разработки предприятия прибегают к организации деятельности собственных проектно-конструкторских отделов. Непрерывное производство таких флагманов целлюлозно-бумажной промышленности, как ООО «Пермский картон», требует грамотного и организационно выверенного взаимодействия производственных цехов с проектно-конструкторским отделом. Поэтому в 2015 году на предприятии стартовал проект инжиниринга процесса обеспечения конструкторской документацией.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, конструкторская документация, непрерывное производство, техническое обслуживание и ремонт оборудования, PLM-система

PROCESS PROVIDING ENGINEERING DOCUMENTATION TO LLC «PERMSKIY KARTON»

Feshchenko A.A., Shirokov A.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: aleksandr.feshchenko@pcbku.ru

The conditions of the modern international and Russian market of pulp and paper industry dictate every year more and more actively increasing the development rate of the enterprises that resort to constant modernization of production sites and production lines. The equipment is rapidly undergoing a comprehensive and targeted changes because of a planned redesign, and emergency repairs. Thanks to this technological line over time acquires a unique design features that require permanent to provide engineering documentation to the efficiency and responsiveness of development that enterprises resort to the organization of the activities of their own design departments. Continuous production of such leaders of the pulp and paper industry as a limited liability company «Permskiy Karton» requires a competent and organizationally adjusted interaction of the production departments with engineering Department. Therefore, in 2015, the company launched the project engineering process ensure engineering documentation.

Keywords: the pulp and paper industry, engineering documentation, continuous production, maintenance and repair of equipment, PLM software

Обеспечение производства конструкторской документацией представляет собой сложный процесс, включающий в себя подготовку заявки на её разработку, согласование между цехом-заказчиком и подразделением-разработчиком, выстраивание последовательности этапов, логических связей между ними, определение ответственных исполнителей и участников операций, входящих и выходящих материальных и информационных потоков и многое другое.

Безусловно, наиболее эффективным методом решения такой задачи является инжиниринг бизнес-процессов, позволяющий увидеть любой процесс как со стороны самой технологии выполнения операций, так и со стороны управляющих воздействий и обеспечения её материальными ресурсами, документами, подготовленным персоналом. На ООО «Пермский картон» процесс обеспечения конструкторской документа-

цией производства действует с момента основания предприятия в 1959 г. Но ввиду динамичного последовательного развития производственных линий предприятия и непрекращающегося совершенствования технического и технологического процесса в целом меняется и взаимодействие с проектно-конструкторским отделом предприятия, и организация разработки конструкторской документации внутри него. Поэтому принято решение об обеспечении конструкторской документацией основного и вспомогательных производств и закрепления его в стандарте предприятия.

Производство бумаги представляет собой непрерывный технологический процесс. Бумагоделательная машина вырабатывает продукцию круглосуточно, постоянно происходит контроль показателей технического состояния оборудования. Ввиду неоднократной модернизации технологической

линии бумагоделательная машина приобретает уникальные конструктивные особенности, для эксплуатации которой требуется постоянная разработка новой конструкторской документации [4].

Кроме этого, непрерывность производства вынуждает проводить техническое обслуживание и ремонт оборудования в кратчайшие сроки без ущерба основного технологического процесса. Конечно, на 100 % это обеспечить невозможно: возникают внеплановые и аварийные остановки технологического комплекса. Соответственно, для проведения ремонтных и восстановительных операций деталей, узлов, агрегатов требуется оперативное обращение к конструкторской документации. Более того, не всегда необходимая конструкторская документация на тот или иной ремонтный случай уже имеется на предприятии. Этот недостаток обусловлен опять же уникальными конструктивными решениями и сложностью технологического комплекса.

Еще одной сложностью является то, что на предприятии ООО «Пермский картон» помимо гофроупаковочных линий запущены еще три полноценных бумагоделательных машины с абсолютно разными конструктивными особенностями и параметрами.

Процесс обеспечения конструкторской документацией разрабатывается по стандарту предприятия СТП ПК 1.2-01-2010. Данное решение позволяет подробно рассмотреть и проанализировать процесс, его этапы, исполняемые действия, документы процесса, принятие решений и управляющие воздействия.

Согласно существующей модели входным событием процесса является поступление заявки на конструкторскую документацию (КД). Далее происходит проверка наличия конструкторской документации в базе данных конструкторской документации. Если требуемой документации нет, то принимается решение о формировании заявки на разработку конструкторской документации. Необходимые чертежи разрабатываются в Проектно-конструкторском отделе и далее подвергаются проверке на соответствие заявке, на актуальность и на соответствие стандартам. Прошедшая проверку конструкторская документация поступает на учёт и хранение в архив в электронном и бумажном виде.

По стандарту предприятия СТП ПК 1.2-01-2010 разработан подробный алгоритм процесса обеспечения конструкторской документацией (рисунок).

Процесс обеспечения разбит на 4 основных этапа:

1. Проверка наличия конструкторской документации в архиве.

2. Инициация разработки конструкторской документации.

2.1. Определение вида конструкторской документации.

2.2. Формирование заявки на разработку эскиза.

2.3. Формирование заявки на разработку рабочей конструкторской документации.

2.4. Формирование технического задания.

3. Разработка конструкторской документации.

3.1. Разработка эскиза собственными силами подразделения.

3.2. Разработка эскиза в Проектно-конструкторском отделе.

3.3. Разработка рабочей конструкторской документации в Проектно-конструкторском отделе.

3.4. Разработка проекта сторонним подрядчиком.

4. Внесение и регистрация конструкторской документации в архивах.

4.1. Внесение и регистрация в архиве Проектно-конструкторского отдела.

4.2. Внесение и регистрация в архиве подразделения.

На этапе 1 заказчиком (например, механиком) осуществляется поиск необходимой конструкторской документации в базе электронного архива конструкторской документации, затем – в цеховом бумажном архиве, затем в техническом архиве Проектно-конструкторского отдела, и, если ни в одном из них искомой документации обнаружено не было, заказчик переходит к следующему этапу.

На этапе 2.1 заказчик определяет вид необходимой конструкторской документации (эскиз, рабочая КД). Эскиз в предлагаемом регламенте – временный чертеж, предназначенный для временных, аварийных, срочных работ, разрабатываемый оперативно. Эскиз может разрабатывать сам заказчик (например, механик) либо Проектно-конструкторский отдел. Рабочая КД в предлагаемом регламенте – полноценная конструкторская документация, выполненная согласно всем требованиям ЕСКД. Рабочую КД может разрабатывать Проектно-конструкторский отдел либо сторонний подрядчик [2].

На этапе 2.2 происходит формирование заявки на разработку эскиза в Проектно-конструкторском отделе. Если главный конструктор не принимает заявку (например, по причине ошибочного конструктивного решения заказчика), то происходит коллегиальное рассмотрение ситуации совместно с главными специалистами и главным инженером. Если главный конструктор заявку принял, то дальнейшим этапом развития этой ветки будет непосредственно разработка эскиза в Проектно-конструкторском отделе.

Операция		Получение (для выполнения операции)		Участники	Передача (после выполнения операции)	
№	Наименование	документы	откуда		документы	куда
	Заказчиком выявлена потребность в КД					
1	Проверка наличия КД	КД обнаружена в техническом архиве ПКО				
2	Инициация	КД обнаружена в эл. архиве или архиве подразделения КД не обнаружена ни в одном из архивов 1.1 Проверить наличие КД 2.1 Определить статус КД и разработчика архивная, аварийная разработка проектирование, модернизация оборудования, технологической линии возможно разработать собственными силами подразделения невозможно разработать собственными силами подразделения разработка для постоянной эксплуатации невозможно разработать силами ПКО 2.2 Сформировать заявку на разработку эскиза 2.3 Сформировать заявку на разработку рабочей КД 3.1 Разработать эскиз собственными силами подразделения 3.2 Разработать эскиз в ПКО 3.3 Разработать рабочую КД в ПКО Сформировать ТЗ, разработать проект/рабочую КД согласно СПБ ПК 1.2-01-2010 4.1 Внести и зарегистрировать в архив ПКО 5.1 Передать КД заказчику 5.2 Внести и зарегистрировать в архив подразделения КД готова к использованию Заказчиком				
3	Разработка	Заявка		Заказчик	КД	Ответственный за архивы
4	Внесение и регистрация в архив ПКО	КД		Ответственные за архивы	КД	Заказчик
5	Передача заказчику	КД		Заказчик, Ответственный заказчика	-	-

Модель Процесса обеспечения конструкторской документацией. Уровень А1

На этапе 2.3 происходит формирование заявки на разработку рабочей КД. Если главный конструктор не принимает заявку (например, по причине ограниченности ресурсов), то он передаёт заявку для разработки технического задания на рабочую КД стороннему подрядчику. Если главный конструктор заявку принял, то дальнейшим этапом развития этой ветки будет непосредственно разработка рабочей КД в Проектно-конструкторском отделе.

На этапе 3.1 происходит информирование ответственного заказчика (заместителя начальника цеха) о разработке эскиза силами подразделения и непосредственно его разработка. Эскиз разрабатывается либо на основе существующего чертежа (вносятся нужные изменения), либо совершенно новый. Здесь же указывается причина изменений в технических требованиях к чертежу, присваивается номер эскиза, ставится дата разработки, подпись разработчика.

На этапе 3.2 происходит определение приоритета заявки, назначение ответственным исполнителем (главным конструктором) разработчика (инженера-конструктора) эскиза, выполняется непосредственно разработка эскиза, проверка ответственным исполнителем, присвоение номера, указывается дата разработки, подпись разработчика, подпись ответственного исполнителя.

На этапе 3.3 происходит определение приоритета заявки, назначение ответственным исполнителем (главным конструктором) разработчика (инженера-конструктора) рабочей КД, непосредственно разработка рабочей КД, проверка ответственным исполнителем, производится технический контроль, нормоконтроль, рабочая КД согласуется с заказчиком, присваивается номер, указывается дата разработки, подпись разработчика, подпись утверждающего (главного инженера) [3].

На этапе 4 происходит регистрация и внесение разработанных в Проектно-конструкторском отделе эскизов и рабочей КД в электронный архив и технический архив Проектно-конструкторского отдела [5].

На этапе 5.1 происходит передача ответственным за архивы разработанной в Проектно-конструкторском отделе и учтённой в архивах рабочей КД и эскизов заказчику. Заказчик заранее уведомляется и организуется доставка.

На этапе 5.2 происходит вложение эскизов и рабочей КД в папку агрегата в бумажном архиве подразделения, корректируется реестр папки.

Регламентом определены все участники процесса. Их роли, функции и позиции по штатному расписанию указаны в табл. 1.

Таблица 1

Участники процесса

Участник процесса (позиция по штатному расписанию)	Роль участника	Функция
Механик	Заказчик	– выявляет потребность в разработке/изменении КД; – определяет содержание заявки; – подготавливает заявку
Энергетик		
Специалист АСУ ТП		
Зам. начальника цеха	Ответственный заказчик	– организует размещение заявки; – взаимодействует с ответственным исполнителем по вопросам разработки/изменения КД
Начальник цеха		
Конструктор	Исполнитель	– выполняет разработку КД в соответствии с требованиями Заявки
Главный конструктор	Ответственный исполнитель	– отвечает за приемку заявки, его исполнение и передачу Заказчику; – принимает решение о возможности приемки заявки/ТЗ для исполнения; – принимает решение о разработке/изменении КД; – принимает решение о готовности КД для передачи заказчику; – взаимодействует с ответственным заказчиком по вопросам разработки/изменения КД
Главный механик	Главные специалисты	– выявляет потребность в разработке КД; – проверяют содержание заявки; – подготавливает требования для исполнения заявки
Главный энергетик		
Начальник АСУ ТП		
Главный инженер	Утверждающие	– проверяют содержание заявки; – участвуют в рассмотрении вариантов восстановления работоспособности оборудования после того, как главный конструктор отказал в принятии заявки
Зам. технического директора		

Таблица 2

Основные документы, участвующие в процессе

Документ	Описание функции документа
Заявка	Документ, содержащий сведения для разработки/изменения КД. При приеме заявки для разработки КД ответственный исполнитель отдает заказчику отрывное извещение, в котором прописан срок исполнения заявки
ТЗ	Документ, который содержит сведения для разработки проектно-конструкторской документации. Содержит перечень специальных условий, которые необходимо предусмотреть в процессе проектирования, в том числе исходные данные для проектирования
Журнал регистрации КД	Предназначен для регистрации всех заявок, принятых в ПКО для исполнения
Отчет о выполнении заявок	Отчет о выполнении заявок, исполнителем которых является ПКО. Формируется в ПКО

Регламентом определены все документы процесса. Их функции указаны в табл. 2.

В условиях нынешней экономической ситуации в Российской Федерации наблюдается повышение стоимости западных продуктов, в том числе и программных. Это вынуждает рассматривать автоматизацию процесса обеспечения конструкторской документацией как импортозамещающее решение.

Отечественный рынок предоставляет гораздо более скудный выбор автоматизированных систем управления проектно-конструкторскими данными.

В результате изучения отечественного рынка выбран программный пакет ЛОЦМАН:PLM от российской компании «Аскон».

Система ЛОЦМАН:PLM предназначена для управления инженерными данными и жизненным циклом изделия. Является центральным компонентом Комплекса решений АСКОН и обеспечивает:

- управление информацией о структуре, вариантах конфигурации изделий и входимости компонентов в различные изделия;
- хранение технической документации на изделия;
- управление процессом разработки изделия, интеграцию компонентов САПР, САПР ТП, справочных данных.

Ключевые особенности ЛОЦМАН:PLM:

- наличие интерфейсов, обеспечивающих доступ к данным ЛОЦМАН:PLM из КОМПАС-3D, ВЕРТИКАЛЬ и прочих компонентов Комплекса решений АСКОН;
- учет конструкторско-технологической и организационно-распорядительной документации в рамках единого интерфейса;
- маршрутизация документов (WorkFlow). Встроенные средства маршрутизации интегрированы с системами электронной почты;

- проведение изменений документации в соответствии с ГОСТ 2.503-90;

- открытый интерфейс для использования электронно-цифровой подписи (ЭЦП) объектов, документов и файлов посредством криптографических функций операционной системы Windows;

- использование корпоративных справочников при вводе в базу данных информации об объектах производства;

- механизм версий объектов и документов, позволяющий хранить историю изменений;

- хранение документов как внутри базы данных, так и в файловой системе;

- тесная интеграция с едиными справочными базами данных, использование информации о материалах и сортаментах, стандартных изделиях и т.д.

Внедрение именно PLM-системы позволит не только автоматизировать процесс обеспечения конструкторской документацией, но и объединить, интегрировать другие программные продукты, используемые на предприятии (например, 1С: Предприятие), для обеспечения более качественного взаимодействия различных цехов, служб и подразделений [1].

Итак, разработан процесс обеспечения конструкторской документацией на ООО «Пермский картон», включающий в себя этапы проверки наличия конструкторской документации, инициации, разработки конструкторской документации, внесения разработанной конструкторской документации в архивы предприятия. Для данного процесса разработан подробный алгоритм, определены участвующие в процессе документы и участники, четко разграничено назначение временной конструкторской документации (эскиза) и рабочей конструкторской документации исходя из непрерывного характера производства бумажной продукции. Процесс обеспечения конструкторской до-

кументацией разработан по стандарту предприятия СТП ПК 1.2-01-2010. Предложено произвести автоматизацию процесса в программной среде ЛОЦМАН:PLM.

Список литературы

1. Берлинер Э. Актуальность применения САПР в машиностроении // САПР и графика. – 2000. – № 9.
2. Буйлов Г.П. Автоматика и автоматизация производственных процессов целлюлозно-бумажных производств: методическое пособие. – СПб.: СПбГТУРП, 2005. – 112 с.
3. ГОСТ 2.111-68. Единая система конструкторской документации. Normokontrol. Vved. 1971–07–01. – М.: Стандартиформ, 2007. – 9 с.
4. Стерлинг Э. PLM – Источник инноваций // САПР и графика. – 2011. – № 5. – С. 8–9.
5. Технология целлюлозно-бумажной промышленности: энциклопедический справочник (т. 2, ч. 2). – М.: Просвещение, 2002. – 676 с.

6. Эйдли И.Я. Бумагоделательные и отделочные машины. Лесная промышленность. – 1970. – 624 с.

References

1. Berliner Je. Aktualnost primenenija SAPR v mashinostroenii // SAPR i grafika. 2000. no. 9.
2. Bujlov G.P. Avtomatika i avtomatizacija proizvodstvennyh processov celljulozno-bumazhnyh proizvodstv: metodicheskoe posobie. SPb.: SPbGTURP, 2005. 112 p.
3. GOST 2.111-68. Edinaja sistema konstruktorskoj dokumentacii. Normokontrol. Vved. 1971–07–01. M.: Standartinform, 2007. 9 p.
4. Sterling Je. PLM Istochnik innovacij // SAPR i grafika. 2011. no. 5. pp. 8–9.
5. Tehnologija celljulozno-bumazhnoj promyshlennosti: jenciklopedicheskij spravocnik (t. 2, ch. 2). M.: Prosveshhenie, 2002. 676 p.
6. Jejdlin I.Ja. Bumagodelatelnye i otdelochnye mashiny. Lesnaja promyshlennost. 1970. 624 p.

УДК 658.58/513

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Хорошев Н.И., Баяндина Ю.С.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: horoshev@msa.pstu.ru, yu.bayandina@mail.ru*

В статье рассмотрен вариант определения параметра оптимальной периодичности проведения мероприятий в области технического обслуживания и ремонта электрооборудования. Предлагаемый способ расчета направлен на обеспечение минимизации внеплановых (аварийных) и плановых простоев производственного электротехнического оборудования. На основе общеизвестного статистического метода был предложен консолидированный алгоритм определения оптимальной периодичности мероприятий ремонтного и профилактического (предупредительного) характера. Осуществлена формализация ключевых эксплуатационных факторов, оказывающих влияние на техническое состояние оборудования. Приведены результаты расчетов различных статистических показателей для группы электродвигателей, определяющих теоретический закон распределения времени достижения оборудованием предельного состояния (значения). Предложенный способ повышения эффективности технического обслуживания и ремонта электрооборудования имеет практический интерес и может быть использован при построении систем технической эксплуатации оборудования промышленных предприятий.

Ключевые слова: метод планирования, техническое обслуживание и ремонт, оборудование, оптимальная периодичность

STATISTICAL METHOD FOR DETERMINING OPTIMAL PERIODICITY FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Khoroshev N.I., Bayandina Yu.S.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: yu.bayandina@mail.ru, horoshev@msa.pstu.ru

In the article the question of choosing the optimal frequency of the maintenance and repair of electrical equipment, in which the minimized unplanned (emergency) and planned downtime of production facilities. On the basis of the statistical method was proposed consolidated algorithm to determine the optimal frequency of maintenance activities that are preventive in nature. Described formalization of operational factors, will inevitably affect the equipment. The results of calculations of the statistical parameters of the group of electric motors, the law establishing the allocation of time to achieve the limit value. The proposed method of increasing the efficiency of maintenance and repair of electrical equipment, is of practical interest and can be used in an industrial plant.

Keywords: planning method, maintenance and repair, equipment, the optimal frequency

Современные российские промышленные предприятия и сетевые компании постепенно приходят к пониманию значимости вопросов совершенствования технологии технического обслуживания и ремонта (ТОиР) электроэнергетического оборудования, его диагностики с учётом целого множества технических, технологических, экономических, инфраструктурных, климатических и других видов факторов. Процедуры, направленные на контроль текущего состояния оборудования и планирование ремонтно-профилактических и других видов работ, позволяют максимально эффективно использовать фактический ресурс оборудования, предотвратить его аварийный отказ и сократить время планового простоя.

На основе данных, собранных в результате диагностики электрооборудования, происходит его многокритериальная оценка с последующим планированием организа-

ционно-технических мероприятий, направленных на предупреждение возникновения аварийных ситуаций. Осуществляется составление календарных графиков, в которых указывают сроки проведения осмотров, малых, средних и капитальных ремонтов по каждой единице оборудования. Таким образом, появляется возможность максимально увеличить качество функционирования системы технической эксплуатации электрооборудования и свести к минимуму денежные и временные затраты.

Цель и задачи исследования

Цель заключается в оптимальном выборе периодичности ТОиР, который носит предупредительный характер для заданного числа электрооборудования. Для этого необходимо на основе статистического метода разработать общий алгоритм определения оптимальной периодичности ремонтных мероприятий. Принимая во внимание экс-

платационные факторы, требуется также рассчитать статистические показатели, устанавливающие закон распределения времени достижения оборудованием предельного состояния.

Обоснование периодичности ремонта электрооборудования

Для того чтобы электроэнергетическое оборудование находилось в исправном состоянии, предприятия чаще всего используют одну из стратегий ремонта – по техническому состоянию оборудования. Эта стратегия является весьма эффективной в рамках промышленного предприятия [2, 7]. Основной задачей данной стратегии является определение оптимальной периодичности проведения профилактических мероприятий.

Отказ электрооборудования может привести к серьезным авариям и простоям, поэтому профилактические мероприятия, основанные, например, на статистических характеристиках, способствуют увеличению срока его эксплуатации. В ходе исследования был предложен алгоритм статистического метода определения оптимальной

периодичности проведения технического обслуживания (рис. 1).

Данный метод основывается на моделировании реальных случайных процессов технического обслуживания, что дает возможность исключить влияние побочных факторов, сократить стоимость экспериментов и ускорить испытания [6].

В начале алгоритма необходимо определиться с видом, количеством контролируемых объектов (блок 1). В качестве объекта процедуры ремонтных мероприятий рассмотрена группа электрических двигателей, поскольку они являются одними из наиболее ответственных элементов во многих технологических процессах промышленного предприятия. Следующим этапом является выбор метода измерения контролируемых параметров – прямой, косвенный, совместный, совокупный. В зависимости от выбранного метода необходимо подобрать средства измерения (блок 3). Например, для измерения температуры воздуха используют термометр, силы тока – амперметр, диаметра вала – микрометр, сопротивления изоляции – мегаомметр и т.п.

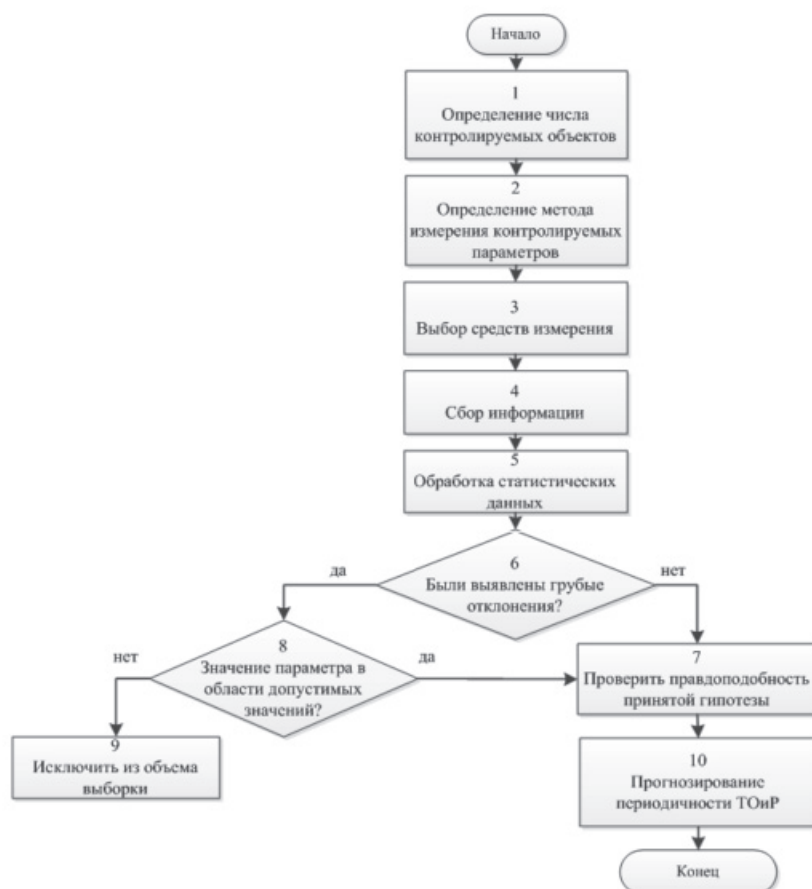


Рис. 1. Общий алгоритм статистического метода определения периодичности ТОиР

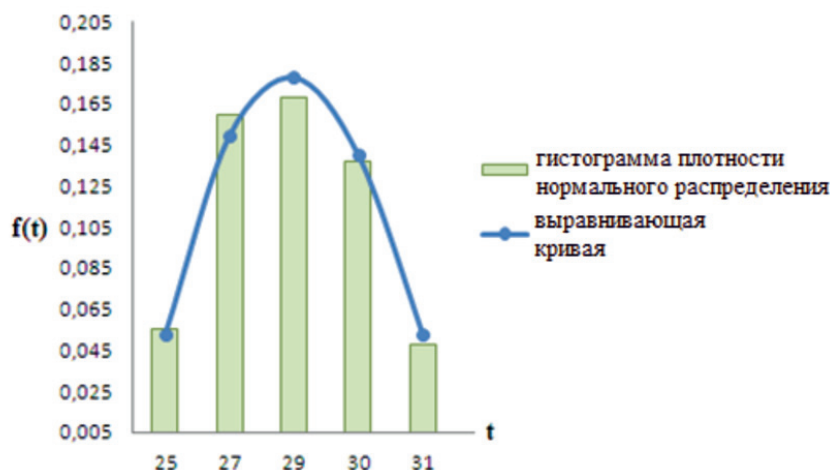


Рис. 2. Гистограмма плотности нормального распределения статистических данных

Значения параметров могут быть собраны (блок 4) в результате периодического контроля с использованием экспертной оценки. По собранным результатам измерений осуществляют обработку статистических данных (блок 5). После проведения анализа данных возможно получение результата, который сильно отличается от среднего значения выборки. Эта ситуация может возникнуть вследствие погрешности средств измерений, неправильного использования измерительного прибора, невнимательности наблюдателя.

Чтобы исключить грубые ошибки (промахи) измерений, используют, например, область допустимых значений параметра (блоки 8 и 9). Если значение параметра окажется в данной области, то можно полагать, что наблюдаемое значение не является ошибочным [1].

На предпоследнем этапе необходимо проверить правдоподобность гипотезы (блок 7), то есть определить степень согласия собранных данных и теоретических законов. Исходя из полученных данных, составляется прогноз периодичности ТОиР (блок 10).

При определении оптимальной периодичности проведения ТОиР необходимо учитывать условия эксплуатации оборудования, которые характеризуются количественными и качественными характеристиками. Если оборудование используют в более благоприятных условиях, чем модельные, наработка ее до капитального ремонта должна увеличиваться, и, наоборот, при работе в тяжелых условиях ее межремонтная (доремонтная) наработка уменьшится [4].

Совокупность эксплуатационных факторов, которые влияют на наработку электрических машин, можно представить следующим образом:

1. Электромеханические:
 - степень загрузки;
 - вибрация;
 - электрическое напряжение;
 - сопротивление изоляции.
2. Объективные факторы, которые не зависят от использования оборудования:
 - температура;
 - влажность;
 - запыленность воздуха производственной среды.
3. Субъективные (случайные) факторы:
 - квалификация обслуживающего персонала;
 - уровень организации технического обслуживания и ремонта машин [3, 5].

В данной работе учтены факторы, неизбежно влияющие на надежность оборудования.

Для расчетов статистических показателей была выбрана группа электродвигателей промышленного предприятия по обобщенному критерию – сопротивление изоляции.

Расчет статистических показателей

Для расчета статистических показателей, определяющих периодичность проведения профилактических и ремонтно-восстановительных мероприятий, анализировалась работа пяти асинхронных электрических машин. При этом в качестве основного показателя рассматривался параметр предельного состояния – время наработки до критического состояния. В ходе наблюдений были полу-

чены следующие значения данного показателя: 27, 25, 30, 31, 29 месяцев.

На рис. 2 изображена диаграмма плотности нормального распределения $f(t)$ статистических данных и выравнивающая ее кривая (теоретический закон распределения). При этом теоретическая кривая нормального закона распределения может быть построена на основе расчета параметров закона модуля разности или на основе выражения [4]:

$$f(t) = \frac{C_p \sum_{i=1}^n m_i}{\sigma} \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}},$$

где C_p – величина интервала, определяемая на основе генеральной совокупности анализируемых данных; $t = (t_i - \bar{t})/\sigma$; σ – среднее квадратическое отклонение анализируемого признака; m_i – частота анализируемого признака (количество двигателей, достигших своего предельного состояния).

Если принять оптимальную периодичность профилактических мероприятий (t_0) равную средней и наибольшей продолжительности работы оборудования ($\bar{t}$), то присутствует большая вероятность того, что обслуживание уже не понадобится, поскольку некоторые электрические машины (двигатели) достигнут предельного состояния [6]. Поэтому следующим шагом необходимо рассчитать оптимальную периодичность. Для этого определяются параметры статистического распределения (1)–(7).

Математическое ожидание, мес.:

$$M(t) = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} = \frac{27 + 25 + 30 + 31 + 29}{5} = 28,4. \quad (1)$$

Дисперсия, мес.²:

$$D(t) = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - M(t))^2}{n} = 4,64. \quad (2)$$

Среднеквадратическое отклонение, мес.:

$$\sigma(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_i - M(t))^2}{n}} = 2,15. \quad (3)$$

Далее необходимо определить периодичность, которую можно считать оптимальной:

$$t_0 = \bar{t} - \sigma = 28,4 - 2,15 = 26,25, \quad (4)$$

$$t_0 = \bar{t} + \frac{2}{3}\sigma = 28,4 + \frac{2}{3} \cdot 2,15 = 29,8, \quad (5)$$

$$t_0 = \bar{t} + 3\sigma = 28,4 + 3 \cdot 2,15 = 34,85, \quad (6)$$

$$t_0 = \bar{t} - 3\sigma = 28,4 - 3 \cdot 2,15 = 21,95. \quad (7)$$

Периодичность, рассчитанная по формуле (7), не может быть оптимальной, поскольку по истечению данного периода времени ни один из двигателей не достигнет предельного состояния. Остановы для проведения профилактических или ремонтных мероприятий будут частыми и нерезультативными, что приведет к дополнительным временным и денежным затратам.

Если выбрать периодичность (6), то формируется противоположная ситуация – все двигатели преждевременно достигнут своего предельного состояния и профилактика в данном случае не будет иметь предупредительный характер, то есть аварийная ситуация может возникнуть намного раньше.

Проанализировав выражения (4)–(7), можно констатировать, что при использовании формы (5) предельного состояния достигнут порядка 60,2 % электродвигателей, а при (4) – только 20 %, что существенно меньше.

Следовательно, можно сделать вывод, что оптимальной периодичностью является $t_0 = \bar{t} - \sigma$, так как по истечению данного периода времени только 20 % двигателей достигнут предельного состояния, для оставшихся 80 % мероприятия будут носить предупредительный характер. Процедуры ТОиР не будут частыми и позволят повысить качество функционирования системы технической эксплуатации электрооборудования и свести к минимуму денежные и временные затраты.

Заключение

Согласно рассмотренному методу определения оптимальной периодичности проведения ТОиР электрооборудования были рассчитаны статистические показатели, устанавливающие закон распределения времени наработки до отказа. Предложенный способ повышения эффективности технического обслуживания и ремонта электрооборудования имеет практический интерес и может быть применен на промышленном предприятии.

Список литературы

1. Антоненко И.Н., Крюков И.Э. Информационные системы и практики ТОиР: Этапы развития / Главный энергетик. – 2011. – № 10. – С. 37–44.
2. Баяндина Ю.С., Хорошев Н.И. Комплексная интеллектуальная оценка состояния электротехнического оборудования // Автоматизированные системы управления и информационные технологии: материалы Всерос. Научно-практ. конф., г. Пермь, 15 мая 2015 г. – Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2015. – С. 243–248.
3. Ерошенко Г.П., Медведько Ю.А., Таранов М.А. Эксплуатация энергооборудования сельскохозяйственных

предприятий: Учебник для вузов по специальности 311400 и 101600 «электрификация и автоматизация сельского хозяйства». – Ростов-на-дону: ООО «Тера»; НПК «Гефест». – 2001. – 592 с.

4. Основы технической диагностики: в 2-книгах. Кн.1: Модели объектов, методы и алгоритмы диагноза / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян и др.; Под ред. П.П. Пархоменко. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.

5. Пястолов А.А., Ерошенко Г.П. «Эксплуатация электрооборудования». – М.: ВО Агропромиздат, 1990. – 287 с.

6. Таран В.П. «Техническое обслуживание электрооборудования в сельском хозяйстве». – М.: Космос, 1975. – 304 с.

7. Черепанов С.С. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве (основы научной организации). – М.: Колос, 1978. – 15 с.

References

1. Antonenko I.N., Krjukov I.Je. Informacionnye sistemy i praktiki TOIR: Jetapy razvitija / Glavnyj jenergetik. 2011. no. 10. pp. 37–44.

2. Bajandina Ju.S., Horoshev N.I. Kompleksnaja intellektualnaja ocenka sostojanija jelectrotehnicheskogo oborudovanija // Avtomatizirovannye sistemy upravlenija i informacionnye tehnologii: materialy Vseros. Nauchno-prakt. konf., g. Perm, 15 maja 2015 g. Perm: Izd-vo PNIPU, 2015. pp. 243–248.

3. Eroshenko G.P., Medved#ko Ju.A., Taranov M.A. Jekspluatacija jenergooborudovanija sel'skhozajstvennyh predpriyatij: Uchebnik dlja vuzov po specialnosti 311400 i 101600 «jelektifikacija i avtomatizacija sel'skogo hozjajstva». Rostov-na-donu: ООО «Tera»; NPK «Gefest». 2001. 592 p.

4. Osnovy tehnicheckoj diagnostiki: v 2-knigah. Kn.1: Modeli obektov, metody i algoritmy diagnoza / V.V. Karibskij, P.P. Parhomenko, E.S. Sogomonjani dr.; Pod red. P.P. Parhomenko. M.: Jenergija, 1976. 464 p.

5. Pjastolov A.A., Eroshenko G.P. «Jekspluatacija jelectrooborudovanija». M.: VO Agropromizdat, 1990. 287 p.

6. Taran V.P. «Tehnicheckoe obsluzhivanie jelectrooborudovanija v sel'skom hozjajstve». M.: Kosmos, 1975. 304 p.

7. Cherepanov S.S. Tehnicheckoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom hozjajstve (osnovy nauchnoj organizacii). M.: Kolos, 1978. 15 p.

УДК 681.5

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ JSON-МОДЕЛИ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Шмидт И.А., Васенев Н.В.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru*

Статья посвящена исследованию способов хранения результатов испытания сложных технических изделий. Результатом проведения испытания является массив более чем 100 000 разнородных параметров. При сохранении данных в документноориентированном виде возможны различные варианты компоновки данных в документы. В качестве системы хранения данных выбрана документно-ориентированная БД MongoDB. Рассматриваются различные конфигурации JSON-документов для сохранения данных и определяется оптимальная с точки зрения быстродействия. Результаты получены при помощи моделирования, воспроизводящего процесс испытаний. Моделирование реализовано в многофункциональной платформе LabVIEW. Проводится анализ полученных результатов и выбирается самая быстрая по скорости записи структура хранения данных. Результаты исследований показали, что для типичного набора данных, генерируемого испытаниями, наибольшая скорость записи достигается при использовании структуры типа «временной ряд».

Ключевые слова: структура хранения, сбор данных, Mongo DB, временной ряд

THE CHOICE OF THE OPTIMAL JSON MODEL FOR STORING TEST RESULTS

Shmidt I.A., Vasenev N.V.

Perm National Research Polytechnic University», Perm, e-mail: shmidt@msa.pstu.ru

The article is devoted to the method of storing test results of complex technical products. The result of the test is an array of more than 100 000 diverse settings. There are various options of data packaging in documents by storing the data in document-oriented view. As the storage system, was selected document-oriented database MongoDB. Discusses the various configuration documents for saving data, determined the optimal in terms of performance. The simulation is implemented in the multi-platform LabVIEW. At the end of this article there is the analysis of the obtained results and select the fastest recording speed of data storage structure. For a typical data set the highest recording speed is achieved using the structure type «time series».

Keywords: storage structure, collection data, MongoDB, timing series

Стенды для проведения испытаний сложных технических изделий оснащены несколькими сотнями измерительных каналов и большим количеством управляющих элементов. Следовательно, системы сбора, передачи, записи и хранения информации довольно сложны и требуют грамотного подхода в разработке. Система архивации должна обладать массой противоречивых качеств: высокой частотой записи данных, скоростью доступа – и учитывать ограничения по объему памяти [2].

Цель данной статьи – разработка и выбор структуры хранения результатов испытания, при которой сохранится высокая скорость записи данных и повысится гибкость системы.

Научная новизна заключается в разработке универсальной структуры хранения результатов параметров испытаний, отличающейся высокой скоростью записи и гибкостью системы, что позволит добавлять и изменять новые параметры, не влияя на систему хранения.

Для хранения параметров испытаний была выбрана документноориентированная база данных MongoDB. Эта БД отличается

рядом преимуществ: гибкость, скорость записи, простота в получении данных из базы, надежность, бесплатность. Подробное обоснование выбора базы данных MongoDB приводится в статье [4].

При сохранении трендов, полученных при проведении испытаний, в виде набора документов возникает проблема поиска оптимальной структуры таких документов [3]. В MongoDB документы изначально представляются в JSON-формате, поэтому будем говорить о выборе оптимальной JSON-модели. Под оптимальностью, прежде всего, мы понимаем скорость записи трендов в БД. Система сбора параметров стенда реализована в многофункциональной платформе LabVIEW [3], поэтому средой разработки приложений для исследования и выбора JSON-модели, оптимальной для сохранения параметров, также выбрана LabVIEW [5]. Обоснование выбора среды разработки приводится в статье [1].

Для определения оптимальной структуры было разработано специальное приложение на платформе LabVIEW. Приложение имитирует поток данных от испытательного

стенда, формирует JSON-документы и записывает их в БД [4].

Идея, примененная в приложении, заключается в использовании буфера, который получает сформированные документы, а затем выгружает их в базу данных в виде массива. Массив также является документом. В базе данных MongoDB каждому новому документу присваивается уникальное поле, что занимает некоторое время. Чем больше документов сохраняется, тем больше времени требуется на их обработку. С увеличением размера буфера, уменьшается частота записи документов в БД, следовательно, уменьшается общее время их обработки, что, в свою очередь, влияет на скорость записи.

При разработке структуры хранения параметров испытания необходимо использовать идею с применением буфера. Также разрабатываемая структура должна отвечать трем основным требованиям:

1. Гибкость. Набор регистрируемых параметров при проведении испытаний разного типа может меняться. Изменение или добавление новых датчиков в исследовательский стенд не должно влиять на систему хранения с разработанной структурой записи данных.

2. Быстродействие. Частота записи параметров может достигать 200 Гц, поэтому скорость сохранения данных в БД должна быть максимально быстрой;

3. Простота получения информации. Для обработки и анализа полученной информации, структура должна позволять легко получать данные из базы с помощью высокоуровневых языков запроса.

Были рассмотрены три различных структуры хранения параметров испытаний, которые условно можно назвать «по вертикали», «по горизонтали» и «подо-

кументно». Суть каждой разработанной структуры проиллюстрирована на рис. 1.

На данном рисунке представлена таблица, в которой по строке расположены названия параметров, а по столбцу – кадры. Кадр – набор значений параметров, относящихся к одной временной отметке. На пересечении кадра и параметра вносится записанное значение физической величины. Число параметров в таких стендах приблизительно 100–500 штук, а частота снятия может достигать 200 Гц. Испытания могут проводиться несколько часов, следовательно, количество столбцов меньше количества строк на несколько порядков. Для подробного рассмотрения разработанных структур, необходимо обратить внимание на выделенные области на рис. 1.

Данные, соответствующие первой разработанной структуре, выделены синим. Формат такой структуры выглядит следующим образом:

название_параметра_1: {время: значение_1, физ_величина: значение_1},
{время: значение_2, физ_величина: значение_2}, ..., {время: значение_n, физ_величина: значение_n}.

В подсистеме регистрации параметров испытаний происходит последовательный опрос датчиков с помощью буфера опроса. Датчики, которые реагируют на сигнал опроса, посылают полученное значение физической величины и свой номер. К полученному физическому значению добавляется поле с временем записи. Такая пара формируется в отдельный документ для каждого параметра. Эти документы поступают в массив, ключом которого является номер датчика. Контролируя размер массива, контролируется размер буфера, что позволяет изменять скорость записи индивидуально.

		Параметр						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	Pn
Время	T1=0.1	Значение				Значение		
	T2=0.2	Значение		Значение		Значение		
	T3=0.3	Значение				Значение		
	T4=0.4	Значение		Значение		Значение		
	T5=0.5	Значение				Значение		
	T6=0.6	Значение	Значение	Значение	Значение	Значение	Значение	
	Tn=...							

1		Запись по каждому параметру в массив
2		Запись временного ряда в массив
3		Запись каждого значения параметра без массива

Рис. 1. Разработанные структуры регистрации параметров испытаний

Второй разработанный формат на рис. 1 обведен оранжевым. Структура называется «временной ряд». Работа подсистемы регистрации параметров испытаний начинается с опроса всех датчиков. Один цикл опроса – это один кадр. Если за один кадр хотя бы один датчик посылает сигнал на запись вместе с замеренным параметром, то имя этого параметра и его физическое значение записывается в отдельный документ. Далее, если за этот же кадр произошло получение данных с других датчиков, то их имена и физические значения также записываются в отдельные документы. Все созданные документы за один кадр формируются в массив. После завершения опроса происходит выгрузка всех данных в БД. Формат рассмотренной структуры следующий:

время_1: [{название_параметра: имя_1, физ_величина: значение_1},
{название_параметра: имя_2, физ_величина: значение_2}, ...,
{название_параметра: имя_n, физ_величина: значение_n}].

Частота опросов равна минимальной частоте записи параметра, существующего

в исследовательском стенде. Размер массива зависит от количества опрошенных датчиков, поэтому изменять этот размер невозможно. Структура наглядно отображает частоту записи параметров и полученные физические значения, что удобно для дальнейшей обработки и анализа.

Третья разработанная структура на рис. 1 обозначена зеленым. При такой структуре в ходе опроса датчиков формируются документы, состоящие из времени записи, названия параметра и его физического значения. Формат такой структуры выглядит следующим образом:

внешний_буфер: [{название_параметра: имя_1, физ_величина: значение_1, время: значение_1},

{название_параметра: имя_2, физ_величина: значение_1, время: значение_1},

{название_параметра: имя_1, физ_величина: значение_2, время: значение_2}, ...,

{название_параметра: имя_n, физ_величина: значение_n, время: значение_n}].

Такие документы формируются для каждого датчика по каждому полученному значению физической величины.

Таблица 1

Результат работы приложения

Необходимое количество элементов, шт	Размер буфера, шт	Общее время записи, мс	Время записи одного документа, мс
5000	20	2250	0,45
5000	40	1192	0,24
5000	60	1151	0,23
5000	80	1073	0,21
5000	100	974	0,19

Зависимость времени записи одного документа от размера буфера

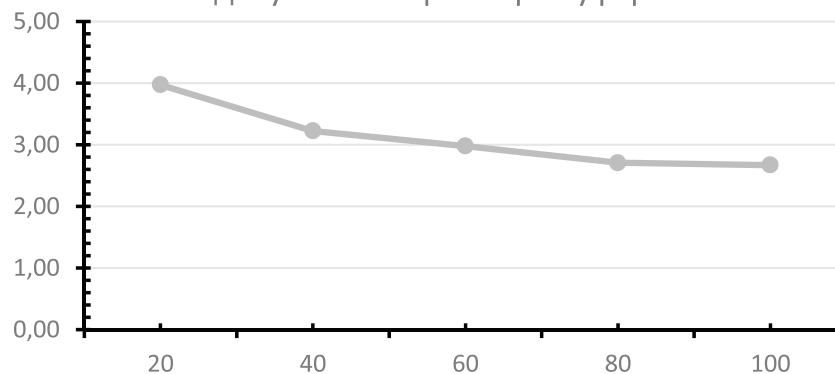


Рис. 2. Зависимость времени записи одного документа от размера буфера

Таблица 2

Результат работы приложения

Необходимое количество элементов, шт	Количество опрашиваемых датчиков, шт	Общее время записи, мс	Время записи одного документа, мс
5000	10	3355	0,6
5000	50	1002	0,2
5000	100	492	0,09

Таблица 3

Результат работы приложения

Необходимое количество элементов, шт.	Размер буфера, шт.	Общее время записи, мс	Время записи одного документа, мс
5000	20	19865	3,97
5000	40	16120	3,22
5000	60	14900	2,98
5000	80	13540	2,71
5000	100		2,67

В предыдущих двух структурах были использованы возможности БД MongoDB объединения документов в массив, который выступал в роли буфера. Для данной структуры использование таких массивов не предусмотрено, поэтому для контролирования скорости записи предлагается ввести дополнительный внешний буфер. Такой буфер не относится к структуре БД MongoDB и является массивом среды разработки.

Разработанные исследовательские приложения также выполняют следующие функции:

1. Добавление и изменение информации о датчиках. Информация содержит частоту снятия им норм датчика.
2. Изменение размера буфера.
3. Подключение к БД MongoDB.
4. Расчет времени записи документов в БД MongoDB.
5. Расчет количества записанных документов.

Для приложения были созданы подпрограммы, которые формируют одну из трех разработанных структур.

Для определения скорости записи одного документа в базу данных проводится ряд экспериментов. В каждом эксперименте изменяется размер буфера. При изменении размера буфера изменяется количество документов, записанных в массив. Размер буфера равен 20, 40, 60, 80, 100 элементам на разных этапах исследования. Результаты исследования представлены в табл. 1.

Как видно из рис. 2, при увеличении размера буфера уменьшается общее время

записи в БД, следовательно, и время записи одного элемента.

Таким образом, идея с применением буфера для созданной структуры работает.

Исследование проводится в несколько этапов. На каждом этапе вместо изменения размера буфера меняется количество датчиков. Были выбраны 10, 50, 100 датчиков. Для структуры «временной ряд» массив формируется из документов, созданных за один кадр. Поэтому количество документов в массиве будет разным. Результаты работы приложения представлены в табл. 2.

Итоговая таблица показывает, что при увеличении количества датчиков резко снижается время записи в БД. Для структуры «временной ряд» идея с буфером также работает, однако в отличие от предыдущей рассмотренной структуры здесь нет возможности контролировать размер буфера. На рис. 3 представлен график зависимости времени записи одного документа от числа опрашиваемых датчиков.

Исследование скорости проводится в несколько этапов. На каждом этапе меняется размер буфера, который равен 20, 40, 60, 80, 100 значениям. Разработанная структура подразумевает запись всех данных в БД без использования массива документов. В качестве буфера для данной структуры применяется массив ссылок на документы. Такой массив является классом среды разработки LabVIEW. Результаты исследования приведены в табл. 3.

Зависимость времени записи одного документа от количества датчиков

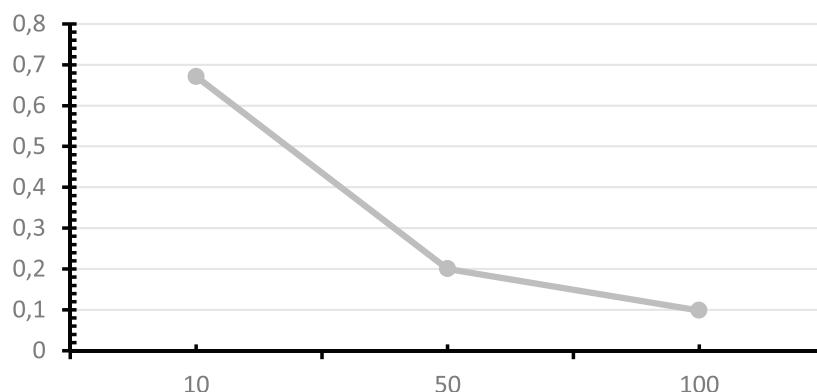


Рис. 3. Зависимость времени записи одного документа от количества датчиков

Зависимость времени записи одного документа от размера буфера

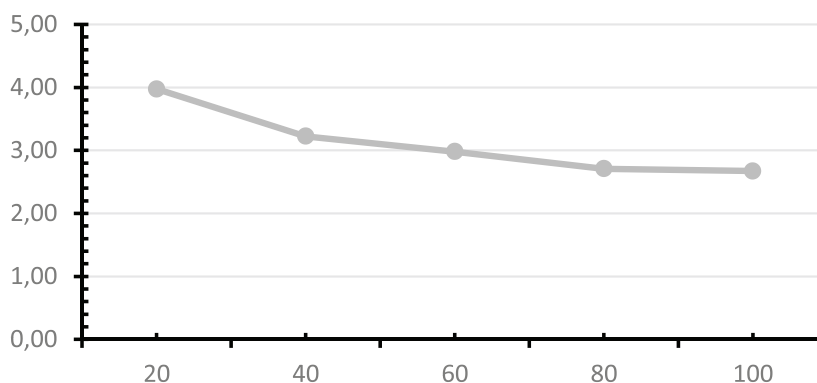


Рис. 4. Зависимость времени записи одного документа от размера буфера

Как видно из таблицы, приложение с рассматриваемой структурой записи тратит много времени на сохранение полученных данных в БД. Это связано с тем, что каждое полученное значение формируется в отдельный документ и записывается в БД без использования массива документов. База данных MongoDB обрабатывает каждый записанный документ и присваивает ему уникальный номер. Когда каждое полученное значение физической величины формируется в отдельный документ, обработка и присвоение номера проходит чаще, что существенно снижает скорость записи в БД. Кроме этого, при расчете скорости записи в базу данных учитывается время обработки массива ссылок на документы.

На рис. 4 представлен график зависимости общего времени записи от размера буфера.

Заключение

В статье были рассмотрены разработанные структуры хранения параметров испытаний и с помощью созданных приложений были проведены исследования скорости записи каждой структуры. Результаты работы исследований показали наибольшую скорость записи у структуры с формированием массива для каждого датчика и структуры «временной ряд». Это связано с процессом обработки сформированных документов и массивов в БД MongoDB. Каждому такому документу присваивается уникальный ключ. Когда поступает большое количество

документов, уходит некоторое время на его формирование и присваивание уникального ключа. Чем больше таких документов поступает, тем больше уходит времени на их обработку. Поэтому при структуре с меньшим числом документов требуется меньше времени на запись. Кроме этого, для структуры «временной ряд» использование динамически меняющегося размера буфера позволяет не нагружать подсистему регистрации параметров и записывать столько данных, сколько было получено.

Список литературы

1. Попов Д.А., Шмидт И.А. Оперативный сбор параметров при испытаниях различных типов ГТУ на базе оборудования NATIONAL INSTRUMENTS // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 2. – С. 192–196.
2. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка системы управления архивными данными испытаний газотурбинных установок большой мощности // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12035>.
3. Попов Д.А., Шмидт И.А. Разработка функциональной структуры программного комплекса испытаний газотурбинных установок мощностью до 40 мвт. // На-

учные исследования и инновации. – 2012. – Т. 6. № 1–4. – С. 264–270.

4. Igor Shmidt, Storing Data in the Trial of Complex Technical Products. // Proc. of the 2nd International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT), March 2014.

5. LabVIEW. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – URL: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/russia/software/labview_user_manual.pdf (дата обращения: 27.04.2014).

References

1. Popov D.A., Shmidt I.A. Operativnyj sbor parametrov pri ispytaniyah razlichnyh tipov GTU na baze oborudovaniya NATIONAL INSTRUMENTS // Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzhja. 2014. no. 2. pp. 192–196.
2. Popov D.A., Shmidt I.A. Razrabotka sistemy upravlenija arhivnymi dannymi ispytanij gazoturbinnyh ustanovok bolshoj moshhnosti // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2014. no. 2.; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=12035>.
3. Popov D.A., Shmidt I.A. Razrabotka funkcionalnoj struktury programmnogo kompleksa ispytanij gazoturbinnyh ustanovok moshhnostju do 40 mvt. // Nauchnye issledovaniya i innovacii. 2012. T. 6. no. 1–4. pp. 264–270.
4. Igor Shmidt, Storing Data in the Trial of Complex Technical Products. // Proc. of the 2nd International Conference on Applied Innovations in IT, (ICAIIIT), March 2014.
5. LabVIEW. Rukovodstvo polzovatelja [Elektronnyj resurs]. URL: ftp://ftp.ni.com/pub/branches/russia/software/labview_user_manual.pdf (data obrashheniya: 27.04.2014).

УДК 621.791.755

ФОРМИРОВАНИЕ ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУИ В ДВУХКАМЕРНЫХ ПЛАЗМОТРОНАХ

Щицын Ю.Д., Косолапов О.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: koa@msa.pstu.ru*

В настоящей статье описано взаимодействие закрученных газовых потоков в двухкамерных плазмотронах с последовательным расположением вихревых камер. Произведена оценка выходных параметров истекающей струи. Опытным путем установлено явление пульсации сжатой дуги на выходе из двухкамерного плазмотрона. Предложено теоретическое описание взаимодействия закрученных потоков при последовательном, соосном расположении вихревых камер. Показана возможность активного управления технологическими процессами плазменной обработки металлов путем изменения параметров взаимодействия закрученных потоков, истекающих из анодной и стабилизирующей камер плазмотрона. Рассмотрены условия взаимодействия газовых струй при различных условиях соотношения диаметров анодной и стабилизирующей камер. К пограничным случаям относятся полное заклинивание струи и ее свободное истечение. Между ними находится область регулирования характеристик процесса.

Ключевые слова: плазмотрон, вихревые камеры, сжатая дуга, плазменные технологии, сварка, резка, металлизация, пульсация, анод, катод, газовые потоки, плазмообразующее сопло, анодная камера, стабилизирующая камера, закрученные газовые потоки

CREATING THE OUTPUT PARAMETERS OF THE JETS IN THE TWO-CHAMBER PLASMA TORCHES

Schitsyn Yu.D., Kosolapov O.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: koa@msa.pstu.ru

This article describes the interaction of swirling gas flows in the two-chamber plasma torches with a serial arrangement of the vortex chambers. The estimation of the output parameters of the effluent stream was held. There was established by test the phenomenon of compressed arc pulsation in output of the dual-chamber plasma torch. Invited theoretically the interaction of swirling flows in sequential, coaxial vortex chambers. The possibility of active management in technological process of metals plasma processing by changing the parameters of swirling flows interaction. The possibility of active management of technological processes of plasma processing of metals by changing the parameters of the interaction of swirling flows flowing from the anode chambers and stabilizing the plasma torch. The conditions for interaction between the gas jets under different conditions and the ratio of the diameter of the anode stabilizing cameras. For borderline cases are full jet lock and its expiration free. Between them is the area of process control features.

Keywords: plasma torches, vortex chambers, compressed arc, plasma technology, welding, cutting, metal coating, pulsation, anode, cathode, gas flows, plasma forming spray pipe, anode chamber, stabilizing the camera, swirling gas flow

В плазмотронах для комбинированных технологий (плазменная сварка плавящимся электродом, плазменная металлизация, плазменная резка с комбинированной подачей газов и др.) используются системы с многоканальной подачей газов и наличием нескольких, последовательно расположенных вихревых камер. Использование закрученных газовых потоков расширяет возможности активного изменения тепловых и газодинамических характеристик плазмотронов.

Характер движения и скорость газовой среды на поверхности нагретых тел определяет интенсивность конвективной теплопередачи, а в замкнутых объемах – и особенности теплообмена между элементами системы [1, 2, 7]. Движение газового потока в плазмообразующей камере при тангенциальном подводе можно рассматривать как вихревое движение в цилиндрической

камере со сбросом через осевое отверстие в торцевой стенке. Следует добавить, что структура и скорости течения закрученного потока во многом определяют свойства сжатой дуги на срезе плазмообразующего сопла (поперечное сечение, распределение температур и скоростей по сечению, плотности тока и др.) и ее технологические возможности [3, 4].

Закрученные потоки в стесненных условиях с истечением через осевое отверстие в торцевой стенке имеют сложный трехмерный характер и отличаются весьма сложным распределением давлений, скоростей и направлений перемещения по главным сечениям объема. При последовательном расположении вихревых камер возможно несколько вариантов смешения газовых потоков, которые обеспечивают различные параметры газовых струй на выходе [5, 6].

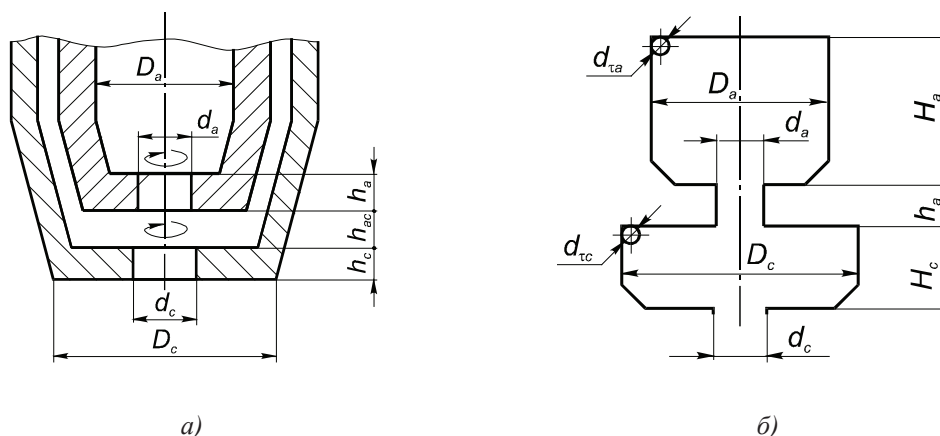


Рис. 1. Анодно-сопловая часть плазмотрона: а – конструктивная схема; б – расчетная схема

Взаимодействие газовых потоков внутри плазмотрона с последовательным расположением вихревых камер можно рассмотреть на примере работы плазмотрона для плазменной сварки плавящимся электродом. При исследовании работы плазмотрона с кольцевым анодом без подачи плавящегося электрода авторами были выявлены зоны при определенном соотношении геометрических параметров плазмотрона и технологических параметров процесса, в которых обеспечивалось существование пульсирующей сжатой дуги. Плазмотрон с кольцевым анодом и стабилизирующим соплом представляет собой двухкамерную систему с вихревой подачей газов (рис. 1). В принципе, вихревых камер может быть больше при использовании дополнительных фокусирующих насадок.

Тангенциальная подача анодного (плазмобразующего) и стабилизирующего газов обуславливается рядом причин. Во-первых, характерное распределение давлений и скоростей по сечению выходного осевого отверстия обеспечивает «втягивание» активных пятен сжатой дуги на цилиндрическую поверхность анода, что обеспечивает пространственную и временную стабилизацию дуги, улучшенное охлаждение анода и стабилизирующего сопла и увеличение срока службы анода и сопла. Во-вторых, снижаются требования к обеспечению соосности плавящегося электрода и сжатой дуги.

В двухкамерной системе с вихревой подачей газов и соединении камер осевым отверстием возникает сложное взаимодействие газовых потоков, определяющее параметры струи, истекающей из стабилизирующего сопла. Характер взаимодействия

потоков зависит от геометрических параметров системы и характеристик газовых струй на выходе из тангенциальных каналов (рис. 1). Определяющими параметрами взаимодействия газовых потоков являются: D_a , d_a , h_a , D_c , d_c , h_c , n_a , d_{ta} , n_c , d_{tc} , h_c , Q_n , Q_c , направления закрутки газов, где D_a – диаметр анодной камеры, d_a – диаметр кольцевого анода, h_a – высота кольцевого анода, D_c – диаметр стабилизирующей камеры, d_c – диаметр стабилизирующего сопла, h_c – высота стабилизирующего сопла, n_a – количество тангенциальных каналов подвода плазмобразующего газа, d_{ta} – диаметр подводящих каналов плазмобразующего газа, n_c – количество тангенциальных каналов подачи стабилизирующего газа, d_{tc} – диаметр подводящих каналов стабилизирующего газа, p_{na} и p_{nc} – давления в подводящих каналах в анодную и стабилизирующую камеру соответственно, Q_n , Q_c – расход плазмобразующего и защитного газов.

Для уяснения газодинамической обстановки в плазмотроне необходимо рассмотреть структуру газовых потоков в стабилизирующей камере и анодной камере отдельно (рис. 2–3).

Параметры газового потока на выходе из кольцевого анода: p_{ra} – давление по радиусу струи на выходе, u_{ta} – тангенциальная скорость закрученного потока, u_{za} – осевая скорость на выходе, $d_{ва}$ ($r_{ва}$) – внутренний диаметр (радиус) кольцевого сечения потока на выходе. Эти параметры определяются величиной Q_a , p_{na} , n_a , d_{na} , D_a , d_a , h_a , и $p_{a\text{вых}}$ – давление на выходе из кольцевого анода. Стабилизирующая камера представляет собой вихревую камеру с двумя осевыми выходами на противоположных торцевых стенках (рис. 2).

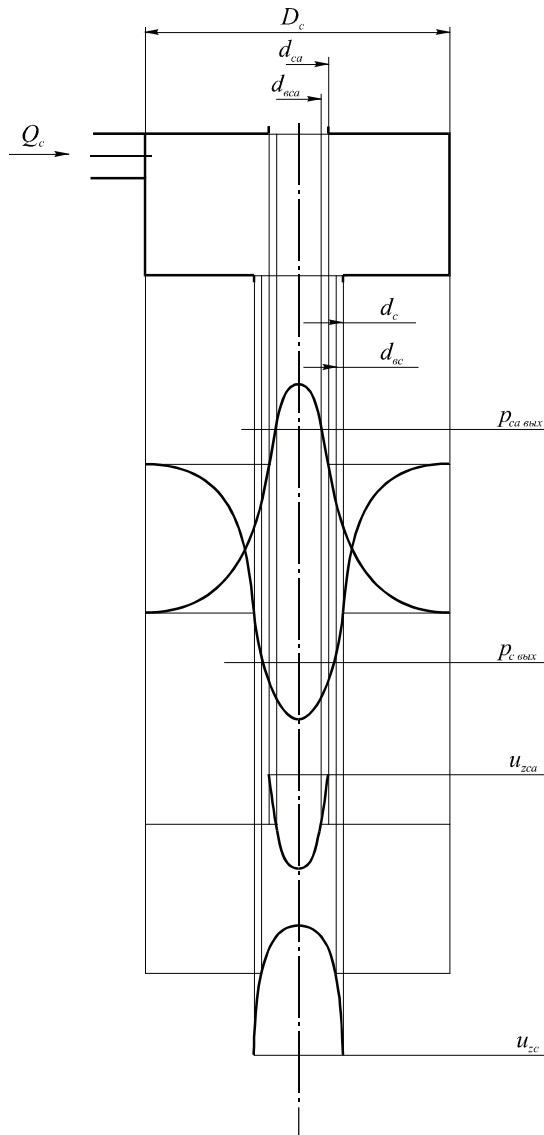


Рис. 2. Структура газовых потоков в стабилизирующей камере плазматрона

В такой камере обеспечивается двухстороннее истечение газа с параметрами потоков, определяемыми Q_c , p_c , n_c , d_{nc} , D_c , d_{ca} , h_c и давлениями среды на выходе из отверстий ($p_{c \text{ вых}}$ и $p_{ca \text{ вых}}$). При равенстве d_c и d_{ca} и $p_{c \text{ вых}} = p_{ca \text{ вых}}$ обеспечивается симметричное истечение потоков. При $d_c \neq d_{ca}$ и $p_{c \text{ вых}} \neq p_{ca \text{ вых}}$ происходит нарушение симметрии истекающих потоков. В зависимости от соотношения параметров вихревых камер возможно несколько вариантов взаимодействия газовых потоков в канале их соединяющем и, как следствие, изменение параметров струи на выходе из стабилизирующего сопла. Необходимо рассмотреть их последовательно. Для упрощения будут рассматриваться усредненные значения параметров по сечению струй в выходных

каналах. Из тех же соображений считается $n_a = n_c$ и $d_{na} = d_{nc}$.

1. Вариант при соотношении выходных отверстий $d_c < d_{ca}$. При таком соотношении диаметров не обеспечивается устойчивая работа плазматрона без двойного дугообразования при любых соотношениях параметров газовых потоков в камерах. Поэтому этот вариант рассматриваться не будет.

2. Вариант $d_c > d_{ca} > d_{nc}$. При таком соотношении давление p_c , осевая скорость u_{zc} и расход Q_c и, соответственно p_{ca} , u_{zca} , Q_{ca} будут определяться из следующих соотношений:

средний радиус кольца выходных сечений потока:

$$r = \frac{r_c - r_{вс}}{2}; \quad (1)$$

$$r = \frac{r_{ca} - r_{вс а}}{2}$$

где $r_{вс} = k_c \cdot r_c$; $r_{вс а} = k_a \cdot r_{ca}$; k_c и k_a зависят от соотношения R_c^* и

$$r_{nc} = d_{nc}/2.$$

Осредненное давление на выходе определяется величиной тангенциальной скорости v_τ

$$p_c = p_{R_c} + [\rho \cdot (v_{\tau R_c}^2 - v_{\tau вс}^2) / 2]; \quad (2)$$

$$p_{ca} = p_{R_c} + [\rho \cdot (v_{\tau R_c}^2 - v_{\tau вса}^2) / 2], \quad (3)$$

где

$$v_{\tau вс} = v_{R_c} \cdot [2R_c / (r_c + r_{вс})]^{n-1}, \quad (4)$$

$$v_{\tau вса} = v_{R_c} \cdot [2R_c / (r_{ca} + r_{вса})]^{n-1}. \quad (5)$$

Тогда осредненная осевая скорость определяется как

$$v_{zc} = \sqrt{2\Delta p_c / \rho}, \quad (6)$$

$$v_{zca} = \sqrt{2\Delta p_{ca} / \rho}, \quad (7)$$

где Δp_c и Δp_{ca} перепад давлений на выходе из камеры через осевые отверстия.

Расходы:

$$Q_c = v_{zc} \cdot \pi \cdot (r_c^2 - r_{вс}^2), \quad (8)$$

$$Q_{ca} = v_{zca} \cdot \pi \cdot (r_{ca}^2 - r_{вса}^2). \quad (9)$$

При $d_{ca} < d_c$, $p_{ca} < p_c$ осевая скорость истекающей струи $v_{zca} < v_{zc}$, тогда $Q_{ca} < Q_c$.

Рассматривая истечение газового потока из верхней (анодной) вихревой камеры, следует отметить, что параметры струи определяются аналогичным образом. Необходимо помнить, что $R_a < R_c$ из конструкции плазматрона и толщина кольцевого сече-

ния струи, истекающей из анодной камеры, при прочих равных условиях будет больше (рис. 3). В зависимости от соотношения поперечных размеров струй, а также p_{za} ; p_{zca} ; v_{za} ; v_{zca} ; v_{tba} ; v_{tba} возможны различные механизмы взаимодействия струй. Необходимо рассмотреть два крайних случая.

1. Полное запирание истечения газа из анодной полости при $p_a < p_{ca}^{a_{вых}}$. Такой вариант возможен при $d_{ca} > d_c^a$, а также при определенном соотношении Q_{ca} ; Q_c и геометрических параметров камер. Запирание истечения газа из кольцевого анода приводит к нарушению устойчивого горения сжатой дуги, повышает вероятность двойного дугообразования. Анодные пятна располагаются на торце анода, наблюдаются участки подплавления поверхности анода. Использование таких режимов работы плазмотрона для технологических целей невозможно.

2. Свободное истечение струи из анодной камеры без взаимодействия с вихревым потоком сопловой камеры. Такой случай возможен при $d_a < (d_{sc} - 1)$ при $H_c = 1-3$ мм и при близких расходах Q_n и Q_c . При таком соотношении параметров сжатая дуга горит устойчиво, анодные пятна втягиваются на цилиндрическую поверхность кольцевого анода, столб дуги имеет цилиндрическую форму с диаметром близким к d_c . Такой вариант работы плазмотрона обеспечивает стабильность ведения процесса плазменной сварки плавящимся электродом с различной формой переноса металла.

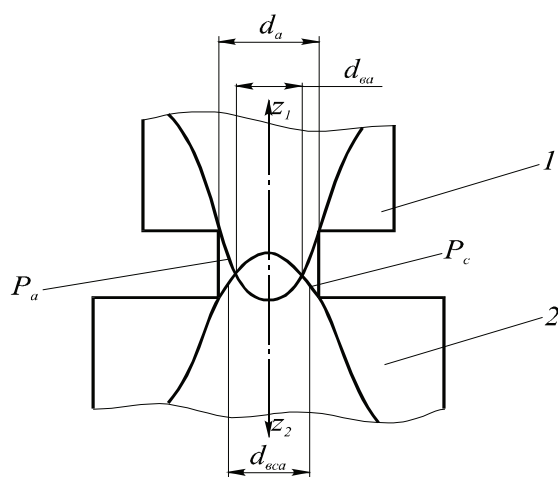


Рис. 3. Схема взаимодействия газовых потоков в плазмотроне (где 1 – анодная камера; 2 – стабилизирующая камера)

Между описанными крайними случаями работы плазмотрона могут существовать промежуточные зоны с различными

параметрами результирующих газовых потоков, определяющих устойчивость горения и степень сжатия дуги и стабильность ведения процесса в целом.

Применение осредненных значений v_r , v_r , v_z , p для описания взаимодействия газовых потоков возможно при идеализации процесса без учета потерь в камере на трение, размеров пограничных слоев, гидравлических сопротивлений на входе и выходе из камеры. При рассмотрении взаимодействия газовых потоков при работе сжатой дуги необходимо учитывать неравномерность распределения давлений и температур по сечению сжатой дуги. Наличие плавящегося электрода по оси выходных каналов, особенно при крупнокапельном переносе металла и горении дуги с него внутри плазмотрона, также нарушает упорядоченность взаимодействия закрученных потоков.

Описанное выше явление пульсации сжатой дуги наблюдается при близких значениях p_{aq} и $p_{сж}$ и при неравенстве $v_{ta} \neq v_{tca}$; $v_{za} \neq v_{zca}$ (рис. 3). Такие устройства являются генераторами колебаний выходных потоков. Эксперименты показали, что при определенных сочетаниях геометрических параметров анодной и стабилизирующей камер и расходов Q_a и Q_c в плазмотроне могут генерироваться колебания параметров сжатой дуги с частотой от 3 до 50 Гц. Пульсации газового потока также возможны при встречной закрутке газовых потоков в камерах [5].

Исследования плазменной сварки плавящимся электродом с использованием режимов пульсирующей дуги показали благоприятное влияние такого режима на отрыв и перенос металла с плавящегося электрода при сварке обесточенной проволокой и при сварке с токоведущей проволокой с крупнокапельным переносом металла. При этом снижается размер капли и увеличивается частота их переноса. Эффект пульсации сжатой дуги может использоваться и для других сварочных процессов.

Таким образом, изменяя параметры взаимодействия закрученных газовых потоков в двухкамерных плазмотронах, можно в широких пределах менять характеристики газового потока на выходе из плазмотрона и технологические возможности плазменной обработки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (договор № 02.G25.31.0134 от 01.12.2015 в составе мероприятия по реализации постановления Правительства РФ № 218).

Список литературы

1. Абрамович Г.Н. Теория центробежной форсунки // Сборник ЦАГИ по промышленной аэродинамике. – 1994. – С. 46–63.
2. Борисенко Н.И., Тусишвили О.С., Гасишвили Г.П. Течение газов в катодной камере аксиального плазмотрона с торцовым катодом // Сварочное производство. – 1980. – № 12. – С. 26–28.
3. Исакиев Э.Х., Тюфяков А.С. Влияние геометрии сопла на характеристики дуги в плазмотроне для резки металлов. // Сварочное производство. – 1994. – № 7. – С. 23–24.
4. Киренский И.Е., Амосов А.П., Попов В.В. Нарушение стабильности горения сжатой дуги. // Сварочное производство. – 1997. – № 4. – С. 23–24.
5. Лебедев И.В. К расчету вихревых элементов струйной автоматики. Доклады НТК МЭИ, секция электромашиностроительная. Изд. МЭИ, 1969. – С. 35–43.
6. Теория термической электродуговой плазмы. Ред. Жуков М.Ф. – Новосибирск: Наука, 1987. – Ч. 1. – 287 с.
7. Щицын Ю.Д., Косолапов О.А. О тепловых нагрузках на плазмотрон для сварки // Материалы 15 НТК «Пути и методы совершенствования систем и образцов ракетного вооружения, их эксплуатации и боевого применения». – Пермь, 1997. – С. 26–27.

References

1. Abramovich G.N. Teoriya centrobeznoj forsunki // Sbornik CAGI po promyshlennoj ajerodinamike. 1994. pp. 46–63.
2. Borisenko N.I., Tusishvili O.S., Gasishvili G.P. Techenie gazov v katodnoj kamere aksialnogo plazmotrona s torcovym katodom // Svarochnoe proizvodstvo. 1980. no. 12. pp. 26–28.
3. Isakiev Je.H., Tjufjakov A.S. Vlijanie geometrii sopla na harakteristiki dugi v plazmotrone dlja rezki metallov. // Svarochnoe proizvodstvo. 1994. no. 7. pp. 23–24.
4. Kirenskij I.E., Amosov A.P., Popov V.V. Narushenie stabilnosti gorenija szhatoj dugi. // Svarochnoe proizvodstvo. 1997. no. 4. pp. 23–24.
5. Lebedev I.V. K raschetu vihrevyh jelementov strujnoj avtomatiki. Doklady NTK MJeI, sekcija jelektromashinostroitelnaja. Izd. MJeI, 1969. pp. 35–43.
6. Teorija termicheskoj jelektrodugovoj plazmy. Red. Zhukov M.F. Novosibirsk: Nauka, 1987. Ch. 1. 287 p.
7. Shhicyn Ju.D., Kosolapov O.A. O teplovyh nagruzkah na plazmotron dlja svarki // Materialy 15 NTK «Puti i metody sovershenstvovanija sistem i obrazcov raketnogo vooruzhenija, ih jekspluatacii i boevogo primenenija». Perm, 1997. pp. 26–27.

УДК 330.3:338.4

**ПРОГНОЗ АРХИТЕКТУРЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА
РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН****Аслаева С.Ш., Гатауллин Р.Ф.***ФГБУН «Институт социально-экономических исследований» Уфимского научного центра
Российской академии наук, Уфа, e-mail: Salima2006A@mail.ru*

Цель работы: построение прогноза архитектуры экономического пространства Республики Башкортостан (РБ). Использовались экономико-математические методы и логическое моделирование. Исследовано экономическое пространство РБ и его структура в динамике по муниципальным образованиям (МО). Определены основные элементы архитектуры экономического пространства РБ: «оси развития», «точки роста», «полоса развития», «периферийные территории», «депрессивные территории» и по ним локализованы МО РБ. По составленному прогнозу развития структуры экономического пространства по муниципальным образованиям с учетом прогноза Минэкономразвития РФ видно, что в 2030 г. экономическое пространство РБ станет более дифференцированным и неравномерным. Интегрировав основные формы архитектуры и прогноз развития экономики, получили в виде карты архитектуру экономического развития РБ. Оптимальная модель архитектуры экономического пространства требует оптимального сочетания рыночных факторов с реализацией государственных программ социально-экономического развития территорий.

Ключевые слова: архитектура, экономическое пространство, валовая продукция, прогноз, ось развития, точки роста

FORECAST OF ECONOMIC SPACE ARCHITECTURE BASHKORTOSTAN**Aslaeva S.Sh., Gataullin R.F.***Institute for Social and Economics Research, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Ufa,
e-mail: Salima2006A@mail.ru*

Objective: To predict the architecture of economic space of the Republic of Bashkortostan (RB). We used economic and mathematical methods and logic modeling. It considered the republic's economy and its structure in the dynamics of Municipal Education. The basic architectural elements of economic space of Belarus: «development axis», «growth points», «poles of development», «peripheral territory's», «depressed territory's» and distributed them municipalities of the republic of Bashkortostan. In making projections of the structure of economic space from municipalities, taking into account the forecast of Ministry of Economic Development shows that in 2030 the economic space of Belarus will become more differentiated and uneven. By integrating the basic forms of architecture and the forecast for the development of the economy, a forecast of economic development Belarus architecture that presented as a map. Bending Economy architecture requires an optimal combination of market factors to the implementation of government programs for socio-economic development of territories.

Keywords: architecture, economic space, the gross output, forecast, development axis, the growing point

Экономическое пространство Республики Башкортостан дискретно, неоднородно, что выражается и в социально-экономическом развитии региона. Исходя из знаний о развитии структуры экономического пространства возможно построение ее архитектуры. Архитектура экономического пространства подразумевает систему субъектов, из которых она состоит, и процесс его формирования. Построение архитектуры регионального экономического пространства предполагает выявление основных структурных элементов [6]. Архитектура состоит из таких основных форм, как: центральная ось, вокруг которой формируются важнейшие промышленные и магистральные объекты; точки роста, определяющие развитие региона и дающие начало зонам опережающего развития; периферийные территории, имеющие пассивный характер развития; опорного экономического каркаса, который выступает как сеть, на основе которого фор-

мируется экономическое пространство [3]. Для определения формы элементов экономического пространства сравним их основные характеристики: плотность не только населения, но и производства продукции; где они размещены; и наличие связей как внутренних, так и внешних.

По анализу структуры экономического пространства Республики Башкортостан определим ее архитектуру. Так, по всем позициям с 2005–2014 гг. первые места занимает г. Уфа, где доля отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами в общем объеме по республике варьировала от 48,2% до 55,2%. Среднегодовая численность работников предприятий и организаций изменялась от 31,1% до 37,1%, инвестиции в основной капитал, за счет всех источников финансирования – от 41,25% до 44,9%. В 2005–2014 гг. минимальные значения наблюдались в 2009 г., наибольшие

в 2014 г. На втором месте по объемам производства в Республике Башкортостан находится г. Салават, удельный вес валовой продукции которого вырос от 13,2% до 16,2%, среднегодовой численности занятого населения от 4,5% до 5,3%, инвестиции от 4,5% до 12,8%. На третьем месте – г. Стерлитамак, где ВП вырос от 5,7% до 8,3%, среднегодовая численность занятого населения – от 6,8% до 7,7%, инвестиции – от 3,0% до 5,3%. На четвертом месте г. Нефтекамск, доля которого в ВП увеличилась – от 2,58% до 4,99%, доля занятого населения – от 3,7% до 3,9%, инвестиции – от 1,8% до 2,9% [2]. Эти города имеют наибольший удельный вес в экономическом пространстве, кроме того, в них располагаются важнейшие промышленные объекты, не только в масштабах республики, и магистральные объекты. Эти города имеют наибольший доход в РБ, а также наибольшую инвестиционную отдачу и фондовооруженность. Они и формируют внутреннюю ось развития Республики Башкортостан. Наиболее активная экономическая деятельность, как и наибольшая плотность населения, проявляется на участке оси Уфа – Стерлитамак. Кроме того, через РБ проходит федеральная ось Москв – Владивосток, фрагмент которой представлен в республике участком оси Самара – Уфа – Челябинск. Федеральная ось закреплена автодорогой М-5 и железной дорогой, а также целой сетью нефте- и продуктопроводов [2]. Не будем забывать и про ось стратегического партнерства Москва – Пекин, соединяющую крупные экономические центры по ресурсообеспеченным территориям. Стратегическая ось Москва – Пекин может стать осью мирового развития в недалекой перспективе, которая в виде автомагистрали касательно проходит через Башкортостан и будет оказывать влияние на экономическое состояние РБ и, соответственно, выступит фактором и направлением сдвига экономического каркаса республики.

Точки роста дают начало зонам опережающего развития, определим их с учетом средней скорости роста экономических показателей, и рассчитываются как средняя арифметическая из показателей скорости роста за отдельные периоды времени. Положительные изменения значений средних абсолютных приростов структуры объемов ВП, инвестиций в экономику, численности занятого населения в структуре экономического пространства республики произошли за последние десять лет в г. Уфе, Сибее, Уфимском районе, а в 2012–2014 гг. – в Давлекановском, Дюртюлинском, Ишимбайском и Нуримановском районах. Эти районы и город войдут в муниципальные

образования, которые образуют «точки роста» экономического пространства РБ.

Периферийные территории – это муниципальные образования, имеющие малоподвижный, то есть инертный характер развития, но при этом обладающие некоторыми возможностями его ускорения. За последние десять лет в восьми районах практически не произошли изменения значений средних абсолютных приростов структуры рассмотренных выше показателей. Это Архангельский, Белокатайский, Бурзянский, Иглинский, Нуримановский, Салаватский, Чекмагушевский и Шаранский районы. Такая ситуация наблюдалась в 2009–2012 гг. в 9 районах, в 2012–2014 гг. в 12 районах. Указанные муниципальные образования формируют периферийные территории.

Группу, в которой абсолютные приросты структуры экономического пространства с 2004–2014 гг. показывают уменьшение их доли в структуре РБ, назовем «депрессивными», в нее входят Абзелиловский, Альшеевский, Баймакский, Белебеевский, Бижбулякский, Гафурийский, Мечетлинский районы и г. Агидель. Количество МО в данной группе в 2012–2014 гг. по сравнению с 2009–2012 гг. сократилось в 2,4 раза. Несмотря на то, что средние абсолютные приросты всех трех показателей за последние 10 лет отрицательны в Дюртюлинском и Туймазинском районе, мы их не включаем в состав «депрессивных» районов, так как Дюртюлинский район, демонстрирует тенденцию, выражающуюся в улучшении данных показателей, и Туймазинский район имеет третий по величине абсолютный прирост валовой продукции с 2010–2014 гг., потому что в «депрессивных» районах наблюдается постоянное ухудшение социально-экономического положения.

Рассмотрим удельные веса валовой продукции в сравнении со средними темпами роста валовой продукции на одного занятого в динамике. Классификация проведена с использованием матрицы БКГ, инструментом для стратегического анализа и планирования [4]. Данная матрица имеет теоретическое обоснование, в ее основу заложены следующие концепции: жизненный цикл товара и эффекта масштаба производства или кривой обучения (рис. 1).

Мы считаем, что данный метод применим к изучению структуры экономического пространства республики. Показатели структуры валовой продукции муниципальных образований (МО) ($\delta_{ri} > 1$, где δ_{ri} – доля ВП МО в общем объеме по РБ) [1] совместно с темпами роста ВП являются основой для дополнительной квалификации городов республики с использованием методологии БКГ.

Темп роста	Высокий	«Проблема»	«Звезды»
	Низкий	«Собака»	«Дойная корова»
		Малая	Высокая
		Относительная доля	

Рис. 1. Матрица БКГ. Примечания. «Звёзды» – Высокий рост объёма продаж и высокая доля рынка. Долю рынка необходимо сохранять и увеличивать. «Звезды» приносят очень большой доход и требуют существенных инвестиций для обеспечения высокого темпа роста; «Дойные коровы» – Высокая доля на рынке, но низкий темп роста объёма продаж. Их привлекательность объясняется тем, что они не требуют дополнительных инвестиций и сами при этом обеспечивают хороший денежный доход; «Проблема» – Низкая доля рынка, но высокие темпы роста. В перспективе они могут стать как звездами, так и собаками. Если существует возможность перевода в звезды, то нужно инвестировать, иначе – избавляться; «Собаки» – Темп роста низкий, доля рынка низкая, продукт, как правило, низкого уровня рентабельности и требует большого внимания со стороны управленческого аппарата

К категории «звезд» относятся г. Уфа, Нефтекамск, Салават, Стерлитамак, также со значительным отставанием в эту же группу входят г. Октябрьский, Туймазинский, Белорецкий, Благовещенский, Дюртюлинский, Учалинский районы. У них наибольшая доля в экономическом пространстве и наиболее высокие показатели темпов роста экономического развития. Они привлекательны, перспективны, быстро развиваются, но при этом требуют значительных инвестиций в себя, поэтому они и «звезды». Рано или поздно рост «звезд» начинает замедляться, и тогда они превращаются в «дойных коров». Затратных инвестиций «дойные коровы» не требуют, приносят при этом стабильный и высокий доход. В республике Башкортостан ни одно МО не может считаться на сегодняшний день «дойной коровой». «Проблемные» с низкой долей валового продукта в РБ, но имеющие высокий темп роста экономических показателей – г. Кумертау, г. Сибай, «собака» с низким темпом роста, с маленьким удельным весом в экономике РБ, как мы определили – г. Агидель. И при таком же управлении положение города ухудшится.

Используя данную классификацию «звезд» и рассмотренные выше «точки роста», определим «полюса развития». Полюсами развития в Башкортостане выступают гг. Уфа, Октябрьский, Салават, Стерлитамак, Сибай, а также Благоварский, Дюртюлинский, Давлекановский, Ишимбайский,

Уфимский и Нуримановский районы. Мировая практика свидетельствует, что «полюсами развития» становятся субъекты с выгодным экономико-географическим положением и широкими транспортными возможностями.

Построим прогноз развития структуры экономического пространства Республики Башкортостан к 2030 г., с учетом не только инфляции, но и с корректировкой основных фондов на неполную загруженность, численности занятых на неполную занятость в экономике. Прогноз развития структуры экономического пространства проведен с использованием статистических методов прогнозирования с учетом прогноза Минэкономразвития РФ на 2030 г. [7]. При этом структура экономического пространства РБ сохранится малоподвижной, экономические показатели г. Уфы в несколько раз отличаются от показателей остальных МО. При сохранении существующих тенденций в структуре экономического пространства произойдет более сильная дифференциация, неравномерность экономического пространства увеличится. Между развитием различных МО, как ожидается, могут возникнуть большие различия. Так, к 2030 г. в большинстве районов ожидается уменьшение их доли в объеме ВП Республики Башкортостан. Удельный вес занятого населения в экономике в 47 районах ожидается меньше 1 % в каждом из них, и при этом наибольший вес по данному показателю бу-

дет иметь г. Уфа (37,1%). Удельный вес инвестиций в основной капитал, за счет всех источников финансирования в 47 районах ожидается меньше 1% в каждом из них, а наибольший в г. Уфе (43,8%).

Подавляющее большинство муниципальных образований (51 МО) находится в группе, в которой доля отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами имеют долю меньше 1% в РБ, в эту же группу входят г. Агидель и Гафурийский район, в которых ВП приблизился к нулевому значению. При сохраняющейся

тенденции эти МО будут к 2030 г. иметь наихудшие показатели экономического развития. Во вторую группу с удельным весом валовой продукции от 1% до 2% войдут 8 МО, среди которых 2 города: г. Октябрьский и г. Сибай. Группы с положительной динамикой состоят из городов, так в третью группу вошел г. Sterlitamak с 5,3% удельного веса ВП в составе РБ, г. Салават 14,6% г., в 4 группу – Уфа 56,1%. Город Уфа как и сейчас, занимает лидирующие показатели по экономическому развитию среди муниципальных образований РБ, так и продолжит.

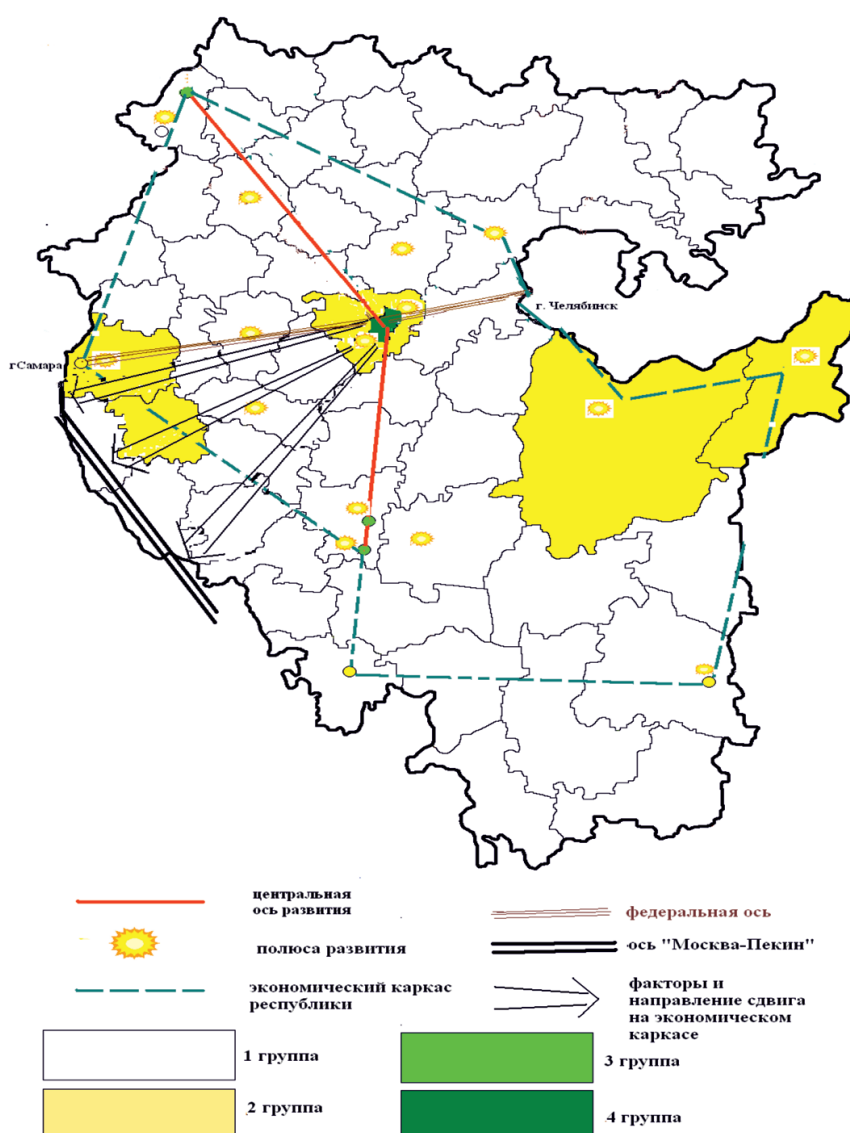


Рис. 2. Прогноз структуры архитектуры экономического пространства РБ к 2030 г. Обозначения территорий на рисунке: 1 группа – доля ВП в структуре РБ меньше 1%, 2 группа – доля ВП в структуре РБ 1–2%, 3 группа – доля ВП в структуре РБ 2–20%, 4 группа – доля ВП в структуре РБ от 20% и выше

Прогноз структуры экономического пространства РБ по ВП представлен на карте совместно с каркасом, осями и полюсами развития (рис. 2).

Формирование архитектуры экономики нуждается в оптимальном сочетании рыночной экономики с государственными программами социально-экономического развития территорий [5]. В ряде случаев важным фактором развития может стать укрепление экономических связей с крупными центрами соседних регионов, в случае Республики Башкортостан – с городами Магнитогорск, Орск, Оренбург, Екатеринбург, Набережные Челны, Альметьевск.

Мы считаем неприемлемой: прогнозную архитектуру экономического пространства РБ, так как:

– расширяется ареол депрессивности при сверхконцентрации экономики в г. Уфе, Салавате, Стерлитамаке;

– ожидается крах экономики, в таких муниципальных образованиях, как г. Агидель и Гафурьевский район.

Выходом может служить активизация территориального управления экономикой РБ, разработка действенных рычагов активизации потенциала депрессивных территорий при диверсификации экономики традиционных центров.

Создание благоприятных условий для инвестиций также невозможно без организации взаимовыгодного сотрудничества бизнеса и власти, чего можно достичь лишь при разработке долгосрочных стратегий, в рамках которой можно связать интересы ключевых предприятий, органов власти и всех стейкхолдеров территорий.

Данное исследование выполнено в рамках госзадания ИСЭИ УНЦ РАН по теме № 0253-2014-0001 «Стратегическое управление ключевыми потенциалами развития разноразмерных социально-экономических систем с позиций обеспечения национальной безопасности» (№ гос. регистрации 01201456661)».

Список литературы

1. Аксянова А.В. Моделирование и анализ структурной динамики региональных экономических систем [Текст] / А.В. Аксянова. – Казань: КГТУ, 2010. – 216 с.
2. Аслаева С.Ш., Гатауллин Р.Ф. Диагностика структуры экономического пространства Республики Башкортостан [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://konf.ufa-isei.ru> (дата обращения 05.11.2016).
3. Гатауллин Р.Ф. Механизм формирования архитектуры регионального экономического пространства / Р.Ф. Гатауллин, А.Г.Каримов, С.Ш. Аслаева // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 7–2. – С. 324–329.
4. Гриднев Е.С. Применение матрицы БКГ при разработке стратегии предприятия [Текст] / Е.С. Гриднев // *Вестник государственного технического университета*. – 2010. – № 10. – С. 61–64.
5. Кириллова С.А. Управление регионами с позиций устойчивого развития [Текст] / С.А. Кириллова, О.Г. Кантор // *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. – 2013. – № 5(29). – С. 53–64.
6. Лежнин В.В. Теоретические основы определения экономического пространства [Текст] / В.В. Лежнин // *Экономика сегодня: проблемы и пути решения*. – 2015. – № 8. – С. 51–54.
7. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года / Министерство экономического развития, 2013. URL: http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06 (дата обращения 10.10.2016).

References

1. Aksjanova A.B. Modelirovanie i analiz strukturnoj dinamiki regionalnyh jekonomicheskikh system [Tekst] / A.V. Aksjanova. Kazan: KGTU, 2010. 216 p.
2. Aslaeva S.Sh., Gataullin R.F. Diagnostika struktury jekonomicheskogo prostranstva Respubliki Bashkortostan [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://konf.ufa-isei.ru> (data obrashhenija 05.11.2016).
3. Gataullin R.F. Mehanizm formirovanija arhitektury regionalnogo jekonomicheskogo prostranstva / R.F. Gataullin, A.G. Karimov, S.Sh. Aslaeva // *Fundamentalnye issledovanija*. 2016. no. 7–2. pp. 324–329.
4. Gridnev E.S. Primenenie matricy BKG pri razrabotke strategii predpriyatija [Tekst] / E.S. Gridnev // *Vestnik gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2010. no. 10. pp. 61–64.
5. Kirillova S.A. Upravlenie regionami s pozicij ustojchivogo razvitija [Tekst] / S.A. Kirillova, O.G. Kantor // *Jekonomicheskie i socialnye peremeny: fakty, tendencii, prognoz*. 2013. no. 5(29). pp. 53–64.
6. Lezhnin V.V. Teoreticheskie osnovy opredelenija jekonomicheskogo prostranstva [Tekst] / V.V. Lezhnin // *Jekonomika segodnja: problemy i puti reshenija*. 2015. no. 8. pp. 51–54.
7. Prognoz dolgosrochnogo socialno-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda / Ministerstvo jekonomicheskogo razvitija, 2013. URL: http://economy.gov.ru/minrec/activity/sections/macro/prognoz/doc20130325_06 (data obrashhenija 10.10.2016).

УДК 330.1

ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ИННОВАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ

Кауфман Н.Ю.*БУ ВО «Сургутский государственный университет», Сургут, e-mail: ntlrus@gmail.com*

В статье проанализирована роль управленческих инноваций в процессе формирования инновационного развития предприятий. В процессе исследования автором определено понятие инноваций, а также выявлено, что доля инноваций в условиях конкуренции в различных секторах рынка остается невысокой из-за отсутствия четких подходов к технологиям создания и выпуска инноваций на рынок. Выявлены проблемы компаний при переходе на инновационные условия их развития. Рассмотрены преимущества компаний, внедряющих управленческие инновации, условия внедрения управленческих методов в условиях управления инновационным развитием через взаимодействие функций, приемов и методов руководства, направленных на управленческие нововведения. Проанализированные принципы позволят применять предприятиям новые управленческие решения и управленческие инновации, способные значительно развить и оптимизировать деятельность предприятий, обозначив их конкурентные преимущества.

Ключевые слова: управление, инновации, методы, управленческое решение, инновационное развитие, формирование, нововведение

PRECONDITIONS OF FORMATION OF MANAGERIAL INNOVATIONS IN THE CONDITIONS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF ENTERPRISES

Kaufman N.Yu.*BU IN «Surgut State University», Surgut, e-mail: ntlrus@gmail.com*

The article analyzes the role of managerial innovations in the process of formation of innovative development of enterprises. In the process of research the author has defined the concept of innovation, as well as revealed that the share of innovations in the conditions of competition in different sectors of the market remains low due to the lack of clear approaches to technologies to develop and produce innovations to the market. The problems identified companies in the transition to innovative conditions of their development. Discusses the benefits companies that implement managerial innovations, the implementation of management practices in terms of management of innovative development through the interaction of functions, techniques and methods of management to management novovvedeniya. Analyzes the principles will apply to companies new managerial solutions and management innovations, can significantly develop and optimize the activities of enterprises, identifying their competitive advantages.

Keywords: management, innovations, methods, managerial decision, innovative development, formation, innovation

Исследование современных тенденций инновационного развития предприятий показывает увеличение роли управления инновациями. В настоящее время сложившаяся ситуация на предприятиях показывает их способность к инновационной активности, к осуществлению перспективных научно-исследовательских разработок и реализации эффективных инновационных программ. Актуальность данного направления развития обусловлена необходимостью подготовки эффективной методической базы, обеспечивающей формирование инновационных разработок для развития стратегий предприятий.

Для формирования инновационной деятельности необходимы специальные мероприятия, способствующие инновационному развитию. Существует ряд факторов, влияющих на создание потребности в инновациях и реализацию инновационных программ, определяя условия инновационного развития предприятий.

В процессе исследования автором определено, что доля инноваций в условиях

конкуренции в различных секторах рынка остается невысокой из-за отсутствия четких подходов к технологиям создания и выпуска инноваций на рынок. Предприятиям, планирующим увеличивать долю продаж на рынке, оптимизировать свои расходы и сохранять стабильную клиентскую базу, необходимо найти пути для увеличения роли инноваций и заниматься постоянным их созданием.

Инновационная деятельность включает: ресурсы инновационной деятельности (кадры, производственные фонды, финансовые ресурсы), а также результаты инновационной деятельности (инновационная продукция и влияние на результаты деятельности предприятий).

Инновация – это необходимая мера, ускоряющая реакции предприятия на процессы, происходящие как в конкурентной среде, так и внутри организации. Для внедрения новых технологий необходима отчетливо выстроенная управленческая стратегия и ее организация, способная привести к желаемому результату.

По характеру практической деятельности инновации могут быть не только производственные, но и управленческие, в которых воплощается продукт нематериальной сферы или услуга, связанные с внедрением инноваций в управленческом процессе предприятия. Соответственно управленческая инновация связана с внедрением в организационный и административный процесс новых знаний, управленческих технологий.

Серьезной проблемой в применении компаниями управленческих инноваций является: отсутствие технологий развития стратегии, сложность анализа и выявления скрытых проблем в деятельности, отсутствие системы внедрения нововведений, стимулирования производительной работы подчиненных и организации эффективного учета, дефицит квалифицированных управленческих кадров и др. Управленческие аспекты, кадровый и организационный потенциалы практически не используются, что приводит к существенному снижению темпов развития [9].

По мнению Гэри Хеймела, компании, последовательно внедряющие управленческие инновации, добились более высокого повышения производительности. Центральным моментом таких компаний являются управленческие инновации, с помощью которых обеспечивается первенство в конкурентной борьбе. Производственные и технологические инновации также становятся эффективными, если обеспечивается соответствующий процесс управления.

Для долгосрочных преимуществ компаний внедряемые управленческие методы должны удовлетворять определенным условиям:

- иметь в своей основе новаторский подход, который позволит пересмотреть принципы управления;
- основываться на системном механизме, охватывая ряд процедур и методов;
- являться не единичным изобретением, а постоянным процессом поиска новых решений, влияющим на развитие компании.

Таким образом, необходимы меры, позволяющие активизировать инновационную составляющую деятельности предприятия, воспринимая эту деятельность как более глубокий процесс, основанный на экономике знаний, а не только как научно-технический и инновационный бизнес.

Проблемой многих компаний является то, что не всегда имеются свои разработанные процедуры, позволяющие совершенствовать систему управления постоянно. Примером постоянного улучшения управленческого процесса может служить

известная японская система «Кайдзен», направленная на совершенствование многих процессов в компании ежедневно и непрерывно, так как ежедневные улучшения не требуют серьезных финансовых затрат [2]. Процессы «Кайдзен» не всегда заметны для работников, и последующие результаты редко проявляются сразу. Положительным моментом является формирование с помощью «Кайдзен» способа мышления сотрудников, ориентированных на непрерывность процесса [6, с. 102].

Глобальные же инновации требуют крупных инвестиций для покупки новых технологий или оборудования [4, с. 19]. В международной практике для прорыва применяется система KAIRYO, направленная на крупные организационные или технологические изменения, принципиально новую продукцию, поэтому KAIRYO-система связана со значительными инвестициями. Эффект от KAIRYO-системы ощутим и прослеживается сразу после быстрых радикальных изменений, которые будут и дальше приносить желаемую прибыль предприятиям, если на всех уровнях управления далее будут применяться постоянные постепенные изменения, улучшения, совершенствования [8].

Возможно применение следующих инструментов Kairyo улучшений:

- реинжиниринг бизнес-процессов – новая методология радикальной перестройки деятельности, работающая в рамках творческого коллективного подхода специалистов разных функциональных подразделений;
 - расширение, работает путем создания новых подразделений, диверсификации производства, приобретение оборудования и т.п.
- В России примером данного инструмента служат крупные промышленные добывающие предприятия, открывая новые подразделения или запуская новые ассортиментные линии производства продукции.

В практической деятельности многие компании применяют оба принципа – KAIRYO и KAIZEN.

Все это требует наличия соответствующей системы управления, способной сосредотачивать и поддерживать стремления всех сотрудников компании к совершенствованию, имея возможность корректировать их усилия в данном направлении.

В связи с этим автором предлагается рассматривать управление инновационным развитием через взаимодействие функций, приемов и методов руководства, направленных на управленческие нововведения, в соответствии с которым должна быть проработана программа внедрения управленческих инноваций.

Расширенная концепция эволюционных преобразований в процессе инновационного развития предприятия включает структурные и кадровые аспекты. Структурный подход способствует реализации инновационных мероприятий через изменение управления и создание благоприятных условий для достижения целей развития. В рамках кадрового подхода предусмотрено развитие персонала на базе повышения его квалификации, стимулирование его к готовности реализации инновационной стратегии развития [5].

Кадровая составляющая компании – основной ресурс, от которого зависят любые организационные изменения, влияющие как на эффективность деятельности, так и на банкротство. Соответственно, управленческие инновации напрямую зависят от организационных изменений и носят непредсказуемый характер. А сотрудникам, задействованным в инновационном процессе, необходимы новые знания для обработки большого объема информации и принятия решений в условиях неопределенности.

Существуют некоторые особенности процесса принятия управленческих решений инновационных предприятий: неопределенность имеющейся информации; сложность получения и отбора информации; затрудненность использования расчетных методов принятия решений; доминирование эвристических, приближенных методов принятия решений.

Следовательно, под инновационным решением следует понимать результат использования инновационных идей заинтересованной группой лиц, с учетом инновационного потенциала предприятия и ведущий к его качественным изменениям во всех процессах хозяйственной деятельности.

Для предпринимателей идея – это основа развития новаторства. Поэтому необходимо иметь уникальные для предприятия идеи, поддерживаемые с последующим внедрением в организацию, так как любой продукт творчества должен приносить коммерческую пользу.

Использование творческого потенциала внутри предприятия необходимо для достижения управления идеями как важного источника формирования инноваций предприятия. Идеи, возникающие у сотрудников, формируют неограниченный источник ценности и конкурентных преимуществ, оказывая непосредственное влияние на ресурсную составляющую инновационного потенциала, инфраструктурную, а также результативную составляющую.

Кроме того, инновационные идеи часто появляются ассоциативно, в процессе

работы, внезапно и неожиданно. Это зависит от настроя управленческого поиска, через социальный заказ или средства массовой информации, характеризующие потребности общества. Управление инновационным развитием предприятия – это планируемые изменения с целью внедрения и применения новых процессов, технологий и оборудования в различных сферах инновационной деятельности предприятия.

В управлении инновационным развитием предприятий используется применение методов управления творчеством (синектика, теория решения изобретательских задач). Креативность кадров в ходе реализации функциональных обязанностей переходит в интеллектуальный капитал предприятия, являясь в настоящее время определяющим фактором развития во всем мире.

Творчество и креативность необходимо рассматривать как элемент развития и способ увеличения возможностей человека, способность к формированию новых навыков и созданию новых понятий. Для этого выделяются три направления: развитие креативности персонала, диагностика креативности и разработка систем мотивации, предназначенных для достижения результата [10, с. 334]. Методы генерации идей и дальнейшие принципы их применения строятся рационально и основаны на приобретенном опыте и появившихся спонтанно подходах. Существующие методы распределяются по уровням сложности задач при поиске решений [1].

Методы психологической активизации творческого мышления являются коллективными. Они направлены на устранение так называемой психологической инерции мышления, мешающей более тщательному рассмотрению проблемы и препятствующей нахождению изобретательских решений и новых бизнес-идей. С помощью этих методов можно существенно увеличить число выдвигаемых идей, повышая продуктивность данного процесса. Однако эти методы малоэффективны для решения сложных изобретательских и нестандартных бизнес-задач, в основе которых находится много противоречий. К данному виду методов можно отнести мозговой штурм, синектики, конференции идей, «Шесть шляп мышления», коллективного блокнота.

С помощью методов направленного поиска разрешаются противоречия при использовании эвристических приемов: библиотека эвристических приемов и алгоритм теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Но ТРИЗ не показывает ясных

механизмов при переходе от сформулированного противоречия к его практическому разрешению. На наш взгляд, это является серьезным препятствием для решения реальных задач.

Методы систематизированного поиска основаны на упорядочении признаков частных решений и системном анализе комплексных решений. К ним относятся методы упорядоченных признаков и десятичных матриц поиска, методы модификации морфологического анализа и синтеза.

Морфологический подход является плодотворным способом мышления (именно так его представлял Ф. Цвикки), который, реализуясь, может служить продуктивным методом обработки проблемы, то есть подготовки, переформулировки, изменения взгляда на проблему. Морфологический метод – это метод для мышления, а не вместо мышления, так как оценка и выбор решения осуществляются человеком, а не алгоритмом [7].

В результате исследования полученное решение может повлиять на единичный процесс, а может обозначить концепцию деятельности на ближайшую перспективу. Следовательно, непосредственным результатом исследовательской работы является эффективное решение проблемы.

Сущность метода морфологического анализа заключается в соединении в единую систему методов выявления, обозначения, подсчета и классификации всех выбранных вариантов какой-либо функции данной инновации.

Такой процесс накопления и применения знаний способствует решению сразу нескольких проблем управления инновационным развитием предприятия. В первую очередь усиливается творческая предприимчивость работников. Во-вторых, формируются необходимые условия для формализации и стандартизации процессов инновационного развития, что улучшает их управляемость. В-третьих, создается необходимая база инновационных проектов для последующего включения их в инвестиционную программу.

В настоящий период прослеживается постепенное увеличение сложности задач, происходит модификация методов под конкретные решения, создаются программы для ЭВМ, позволяющие комбинировать приемы, активно используются психотехники, направленные на синтез нестандартных решений.

Таким образом, применение инновационных подходов в сфере управленческих решений позволит решить большинство стоящих перед предприятием задач [3].

Факторы, определяющие предпосылки инновационного развития предприятий, формируют потребность в инновациях и средствах реализации инновационных программ. Для того чтобы инновация привела к успеху, она должна быть постоянной, новой и конкурентоспособной, приемлемой для предприятия и реальной для рынка, а инновационному продукту необходимо быть заметным для любой ведущей компании. Очень важным моментом для применения инновации является позитивное мышление и перспективное планирование.

В связи с этим мы считаем, что для предприятий, желающих заниматься инновациями, необходима методика, способствующая созданию и реализации потока новых предложений, вызванных генерацией идей, их обработкой, совместным обсуждением, оценкой и последующим внедрением в проекты предприятия.

Список литературы

1. Альтшуллер Г.С. Алгоритм изобретения [Текст] / Г.С. Альтшуллер. – М.: Московский рабочий, 1973. – 296 с.
2. Виханский О. Приживется ли система кайдзен в России? [Электронный ресурс] / О.Виханский. – URL: <http://www.mgubs.ru/images/systems.jpg> (дата обращения: 14.01.2016).
3. Кауфман Н.Ю. Управление инновационным развитием предприятий химического производства [Текст] / дис. на соиск. учен. степ. канд.эконом. наук (08.00.05). Кауфман Наталья Юрьевна; Самарский государственный экономический университет. – Омск, 2013. – 162 с.
4. Масааки И. Гемба кайдзен: путь к снижению затрат и повышению качества [Текст] / И. Масааки. – М.: Альпина Бизнес Бук, 2005. – 346 с.
5. Маснавиева Г.Ф. Управление инновационным развитием предприятий [Электронный ресурс] / Г.Ф. Маснавиева. – URL: <http://www.uecs.ru/uecs> (дата обращения: 14.07.2016).
6. Медведев В.П. Инновации как средство обеспечения конкурентоспособности организации [Текст] / В.П. Медведев. – М.: Магистр, 2009. – 159 с.
7. Титов В.В. Морфологический подход [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.metodolog.ru/00915/00915.html> (дата обращения: 25.10.2016).
8. Севастьянов А.К. Kairyo-kaizen- и pcm-dm-системы: сравнительный анализ. Часть 1. [Электронный ресурс]. – URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/50029/04-Sevastianov.pdf?sequence=1> (дата обращения: 15.11.2016).
9. Сафиуллин Л.Н., Маратканова Э.М. Управленческие инновации Гарант успешной деятельности организации. [Электронный ресурс]. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/upravlencheskie-innovatsii-garant-uspeshnoy-deyatelnosti-organizatsii> (дата обращения: 20.02.2016).
10. Цыганкова В.Н. Проблемы использования и выбора методов генерации идей. [Электронный ресурс]. – URL: <http://my-trust.ru/upload/iblock/a9d/bnrlgexa%20itimpoed%20cpwvfinppkac-mqboeskwz%20kfqsrfghi.pdf> (дата обращения: 20.02.2016).
11. Хеймел Г. Что есть что в управленческих инновациях. [Электронный ресурс]. – URL: <http://hbr-russia.ru/upravlenie/upravlenie-izmeneniyami/a10003/> (дата обращения: 20.02.2016).

References

1. Altshuller G.S. Algoritm izobretenija [Tekst] / G.S. Altshuller. M.: Moskovskij rabochij, 1973. 296 p.
2. Vihanskij O. Prizhivetsja li sistema kajdzen v Rossii? [Elektronnyj resurs] / O.Vihanskij. URL: <http://www.mgubs.ru/images/systems.jpg> (data obrashhenija: 14.01.2016).
3. Kaufman N.Ju. Upravlenie innovacionnym razvitiem predpriyatij himicheskogo proizvodstva [Tekst] / dis. na soisk. uchen. step. kand.jekonom. nauk (08.00.05). Kaufman Natalja Jurevna; Samarskij gosudarstvennyj jekonomicheskij universitet. Omsk, 2013. 162 p.
4. Masaaki I. Gemba kajdzen: put k snizheniju zatrat i povysheniju kachestva [Tekst] / I. Maasaki. M.: Alpina Biznes Buk, 2005. 346 p.
5. Masnavieva G.F. Upravlenie innovacionnym razvitiem predpriyatij [Elektronnyj resurs] / G.F. Masnavieva. URL: <http://www.uecs.ru/uecs> (data obrashhenija 14.07.2016).
6. Medvedev V.P. Innovacii kak sredstvo obespechenija konkurentosposobnosti organizacii [Tekst] / V.P. Medvedev. M.: Magistr, 2009. 159 p.
7. Titov V.V. Morfologicheskij podhod [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.metodolog.ru/00915/00915.html> (data obrashhenija: 25.10.2016).
8. Sevastjanov A.K. Kairyo-kaizen- i pcm-dm-sistemy: sravnitelnyj analiz. Chast 1. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/50029/04-Sevastjanov.pdf?sequence=1> (data obrashhenija: 15.11.2016).
9. Safiullin L.N., Maratkanova Je.M. Upravlencheskie innovacii Garant uspešnoj dejatel'nosti organizacii. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/upravlencheskie-innovatsii-garant-uspešnoj-deyatelnosti-organizatsii> (data obrashhenija: 20.02.2016).
10. Cygankova V.N. Problemy ispol'zovanija i vybora metodov generacii idej. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://my-trust.ru/upload/iblock/a9d/bnrlgexa%20itimpood%20cpwvfinppkacmqboeszkwx%20kfqsrfhgi.pdf> (data obrashhenija: 20.02.2016).
11. Hejmel G. Chto est chto v upravlencheskih innovacijah. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://hbr-russia.ru/upravlenie/upravlenie-izmeneniyami/a10003/> (data obrashhenija: 20.02.2016).

УДК 332.122: 001.895

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Пузакова А.А., Севастьянова И.Г.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: sig@msa.pstu.ru*

В статье проанализирована тенденция инновационного развития Пермского края за 2010–2014 гг. На основе обработанных данных федерального статистического наблюдения определены места региона в рейтинге традиционно сложившихся конкурентов, к которым относятся Свердловская область, республики Татарстан и Башкортостан. Дана оценка научно-технической и экономической эффективности инновационной деятельности региона. По результатам анализа выявлено замедление инновационной активности края. Выделены «точки роста» – высокотехнологичные и наукоемкие промышленные предприятия, пользующиеся прямой государственной финансовой поддержкой адресного характера. Отмечена низкая инновационная активность малых предприятий Пермского края, связанная с недостатком собственных средств. Раскрыта необходимость использования механизмов, включающих поддержку высокотехнологичного сектора и растущих компаний с привлечением неформального капитала. Тема представленной работы актуальна на сегодняшний день, так как для модернизации, обновлений и инноваций необходима тесная взаимосвязь с инфраструктурными проектами государства и частного бизнеса.

Ключевые слова: инновационная активность, экономическая эффективность, научно-технический потенциал, малый инновационный бизнес, региональное развитие

ANALYSIS OF DYNAMICS OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF PERM KRAI

Puzakova A.A., Sevastyanova I.G.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: sig@msa.pstu.ru

In article the tendency of innovative development of Perm Krai for 2010–2014 is analysed. On the basis of the processed data of federal statistical observation places of the region in the rating of traditionally developed competitors whom Sverdlovsk region, the Republic of Tatarstan and Bashkortostan treats are determined. An assessment of scientific and technical and cost efficiency of innovative activities of the region is given. On analysis results delay of innovative activity of edge is revealed. «growth points» – the high-technology and knowledge-intensive industrial enterprises enjoying a direct state financial support of address nature are allocated. The low innovative activity of small enterprises of Perm Krai connected with a lack of own means is noted. Need of use of the mechanisms including support of high-technology sector and the growing companies with attraction of the informal equity is disclosed.

Keywords: innovative activity, cost efficiency, scientific and technical potential, small innovative business, regional development

В основе качественных сдвигов, происходящих в процессе становления рыночных отношений, лежит необходимость выработки приоритетных направлений инновационного развития и формирования «точек роста». Одним из важнейших индикаторов научно-технического и социально-экономического развития региона является динамика инновационной активности. В соответствии с Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2011 г. № 2227-р разработаны целевые показатели реализации Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 г. [3], позволяющие осуществлять мониторинг процессов, происходящих в научно-технической и социально-экономической сферах.

С целью информационной поддержки управляющего воздействия на эти сферы представляется актуальным проведение анализа складывающейся ситуации в инновационном секторе Пермского края.

Пермский край входит в состав Приволжского федерального округа, включающего 14 регионов, и занимает 2 место среди них по рейтингу научно-технического и социально-экономического развития за 2014 г. (табл. 1).

Однако по доле инвестиций в основной капитал к ВРП среди традиционно сложившихся конкурентов (Свердловская область, республики Татарстан и Башкортостан) Пермский край находится на последнем месте. За период с 2010 по 2014 г. наблюдается тенденция снижения данного показателя (рис. 1). Это отрицательно сказывается на финансировании в объекты интеллектуальной собственности, что приводит к низкой изобретательской активности в регионе.

Так, инновационная активность организаций, выполняющих научные исследования и разработки за 2010–2014 гг., снизилась в 2 раза. При росте численности персонала, занятого научными исследова-

ниями и разработками, наблюдается низкая творческая активность изобретателей края (табл. 2). В год выдается лишь 4 патента на 100 специалистов [5].

Важной составляющей реального сектора экономики Пермского края является сфера промышленного производства. В рейтинге основных региональных конкурентов по доле инвестиций на реконструкцию и модернизацию оборудования в общем объеме инвестиций за 2010–2014 гг. Пермский край занимает лидирующие позиции. Вместе

с тем прослеживается отрицательная динамика данного показателя (рис. 2).

Оценка экономической эффективности инновационной деятельности региона за последние 5 лет показала, что при росте затрат на технологические инновации в 3,5 раза имеет место снижение количества разработанных и используемых передовых производственных технологий, а также уменьшение удельного веса малых предприятий, осуществляющих технологические инновации (табл. 3).

Таблица 1

Рейтинг научно-технического и социально-экономического развития регионов Приволжского федерального округа за 2014 г. [6]

Место	Регион	Места в компонентах рейтинга	
		Научно-технический потенциал	Социально-экономический потенциал
1	Удмуртская Республика	2	12
2	Пермский край	5	10
3	Нижегородская область	9	6
4	Республика Марий Эл	12	7
5	Республика Татарстан	1	11
6	Кировская область	14	4
7	Пензенская область	10	1
8	Республика Башкортостан	3	13
9	Чувашская Республика	4	3
10	Ульяновская область	7	2
11	Республика Мордовия	6	8
12	Самарская область	11	5
13	Оренбургская область	13	9
14	Саратовская область	8	14

Таблица 2

Основные показатели научно-технического потенциала Пермского края за 2010–2014 гг.

Показатель	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Инновационная активность организаций, %	21,3	13,6	14,1	11,4	11,1
Численность персонала, занятого НИР, чел.	9739	9899	10034	10319	10588
Коэффициент изобретательской активности, единиц	1,70	1,72	1,49	1,52	1,46
Подано патентных заявок, единиц	646	651	626	664	560
Выдано патентов, единиц	614	500	586	556	536

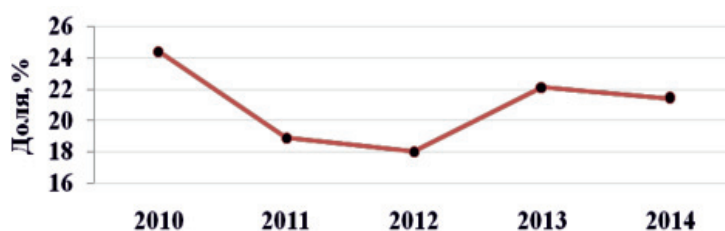


Рис. 1. Доля инвестиций в основной капитал к ВРП в Пермском крае за 2010–2014 гг.

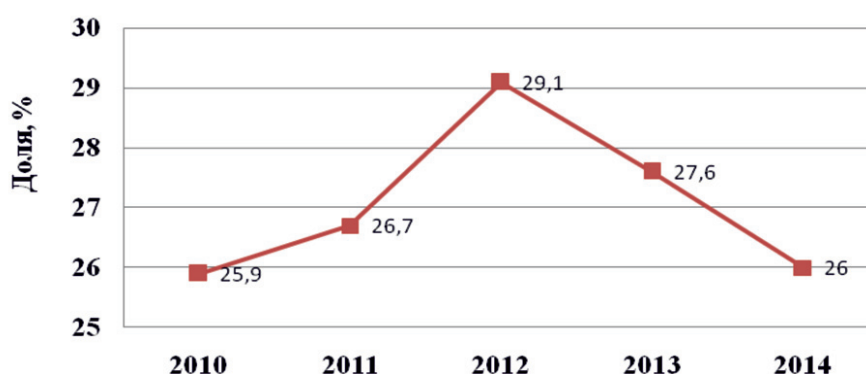


Рис. 2. Доля продукции высокотехнологичных и наукоемких отраслей к ВРП в Пермском крае за 2010–2014 гг.

Таблица 3

Динамика инновационного развития Пермского края за 2010–2014 гг.

Показатель	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Интенсивность затрат на технологические инновации, %	1,5	1,8	2	3,2	5
Количество разработанных передовых производственных технологий, ед.	15	25	18	14	20
Количество используемых передовых производственных технологий, ед.	5182	4510	4392	4595	4496
Удельный вес малых предприятий, осуществлявших технологические инновации, в общем числе обследованных малых предприятий, %	11	6,5	7	12,5	9,5

В целом за 2010–2014 гг. по региону можно отметить замедление экономического роста, сопровождающегося спадом инновационной деятельности. В этих условиях возрастает необходимость воспроизводства и поддержания конкурентоспособности, связанной с активной ориентацией на производство высокотехнологичной продукции [2]. Источниками наиболее эффективных способов производства и генераторами новых технических и технологических решений в Пермском крае являются такие высокотехнологичные и наукоемкие отрасли, как нефтегазовая промышленность, энергетическое машиностроение и станкостроение (рис. 3).

Наряду с основными выявленными проблемами региона наблюдается рост доли продукции к ВРП этих высокотехнологичных и наукоемких отраслей края (рис. 4) [6]. Однако эти отрасли пользуются прямой государственной финансовой поддержкой адресного характера, которая в большей степени ориентирована на достижение определенных целей и приоритетов государства [4].

Анализ научно-технического потенциала промышленных предприятий региона по патентной деятельности (табл. 4) позволил выявить «точки роста», к которым относятся ОАО НПО «Искра», ЗАО «Новомет-Пермь», АО «Авиадвигатель» и ОАО «Протон-ПМ».

Эти предприятия имеют мощную базу для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и участвуют в реализации долгосрочных научно-технических программ и проектов для приоритетных направлений науки, технологий и техники. Между тем современная система экономических отношений не может эффективно функционировать без развития малого инновационного бизнеса. Именно малый бизнес представляет собой наиболее подвижную и гибкую структуру для модернизации, обновлений и инноваций. В настоящее время амбициозной задачей на государственном уровне является обеспечение 40–50 % ВВП вместо текущих 20 % малым и средним бизнесом [1].

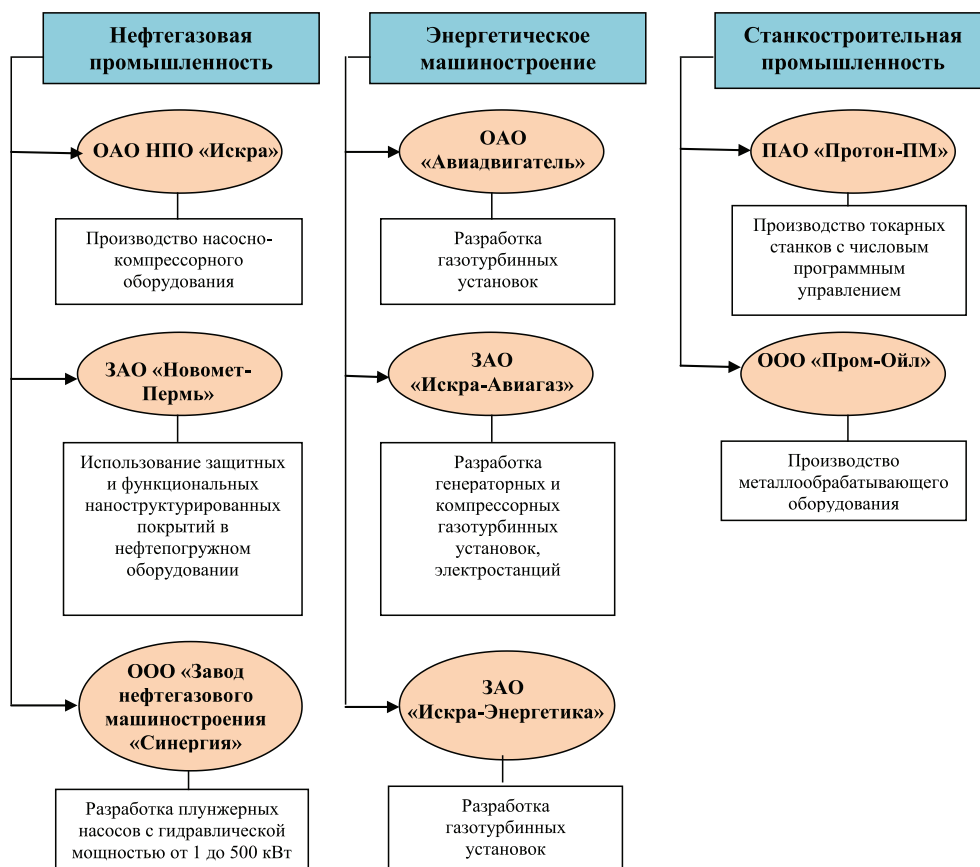


Рис. 3. Приоритетные направления и «точки роста» в области импортозамещения в Пермском крае

Таблица 4
Количество патентов на изобретения организаций Пермского края за 2010–2014 гг.

Организация	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	2014 г.
ОАО НПО «Искра»	21	32	40	21	26
ЗАО «Новомет-Пермь»	15	9	13	12	20
АО «Авиадвигатель»	7	16	26	12	20
ОАО «Протон-ПМ»	5	7	8	5	10
ОАО «Мотовилихинские заводы»	2	3	2	2	6
ООО «Лукойл-Пермь»	6	1	3	0	5
ООО «Радиус-Сервис»	3	5	9	6	4
ООО «Лукойл-Инжиниринг»	2	0	7	7	3
ОАО «Пермский завод «Машиностроитель»	0	2	0	1	3
ОАО «Редуктор-ПМ»	1	0	0	3	3
ОАО «Галургия»	0	0	0	0	5

Однако статистические данные за 2010–2014 гг. свидетельствуют о том, что количество малых предприятий в Пермском крае растет незначительными темпами: ежегодный прирост составляет ~1% [5]. Инновационная активность малого бизнеса края находится на низком

уровне (рис. 5). Считаем, что главными факторами, препятствующими развитию инновационной деятельности малых предприятий, являются финансовые. Основные трудности для реализации инновационного потенциала связаны с недостатком собственных средств.

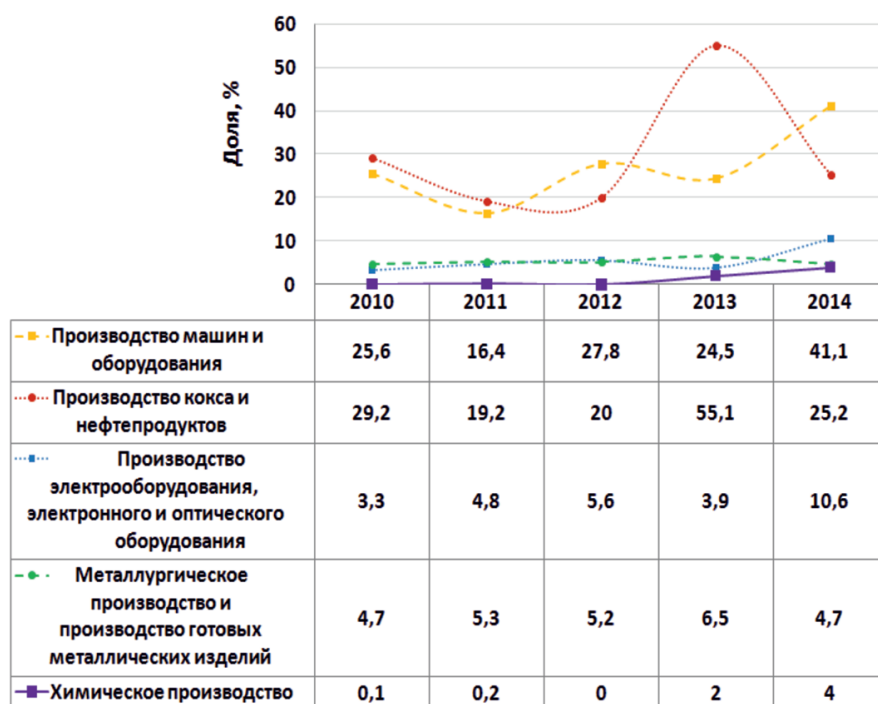


Рис. 4. Объем инновационных товаров, работ и услуг организаций, осуществляющих технологические инновации в % от общего объема отгруженной продукции в Пермском крае за 2010–2014 гг.

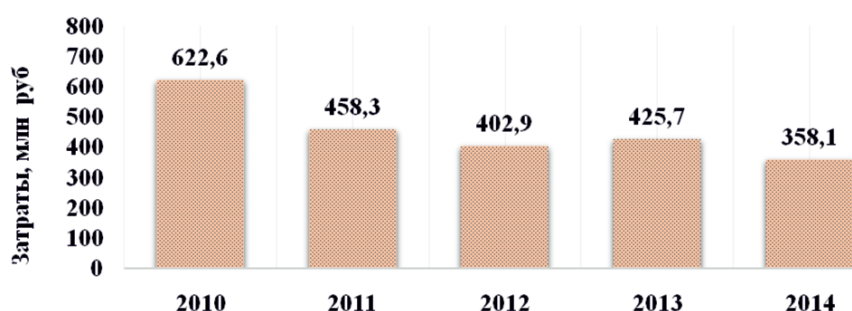


Рис. 5. Затраты на технологические инновации малых предприятий в Пермском крае за 2010–2014 гг.

В условиях затянувшегося кризиса, роста инфляции и ослабления курса рубля требуется разработка и применение особых инвестиционных механизмов. Развитие субъектов малого и среднего предпринимательства, а также поддержка инновационных и перспективных проектов малых предприятий, нуждающихся в финансировании, видится в эффективном использовании венчурного механизма.

Таким образом, анализ динамики инновационного развития Пермского края за период 2010–2014 гг. свидетельствует

о сокращении инвестиций в основной капитал и на модернизацию оборудования, низкой изобретательской активности, снижении использования передовых технологий и уменьшении затрат на технологические инновации малых предприятий. Отсутствие реальной конкуренции ведет к деградации регионального развития. Доминирующая роль государства в поддержке прикладных исследований и разработок высокотехнологичных отраслей не является эффективным стимулом активизации инновационной деятельности. Катализа-

тором роста инновационной активности должна послужить тесная взаимосвязь с инфраструктурными проектами государства и частного бизнеса, базирующаяся на выявлении объективных процессов перемещения капитала.

Список литературы

1. Государственная поддержка малого бизнеса [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.opora-credit.ru/programs/> (дата обращения: 08.09.2016).
2. Распоряжение Правительства РФ от 17.11.2008 N 1662-р «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90601/ (дата обращения: 05.09.2016).
3. Распоряжение Правительства РФ от 8 декабря 2011 г. № 2227-р. «О Стратегии инновационного развития РФ на период до 2020 г.» [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/> (дата обращения: 18.08.2016).
4. Севастьянова И.Г., Докшина М.А. Проблемы стимулирования инновационной сферы экономики России // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2016. – № 1. – С. 119–127.
5. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. [Электрон-

ный ресурс]. – URL: http://permstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/permstat/ru/ (дата обращения: 10.08.2016).

6. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 02.09.2016).

References

1. Gosudarstvennaja podderzhka malogo biznesa [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.opora-credit.ru/programs/> (data obrashhenija: 08.09.2016).
2. Rasporjazhenie Pravitelstva RF ot 17.11.2008 N 1662-r «Konceptija dolgosrochnogo socialno-jekonomicheskogo razvitija Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda» [Elektronnyj resurs]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_90601/ (data obrashhenija: 05.09.2016).
3. Rasporjazhenie Pravitelstva RF ot 8 dekabrya 2011 g. no. 2227-r. «O Strategii innovacionnogo razvitija RF na period do 2020 g.» [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70006124/> (data obrashhenija: 18.08.2016).
4. Sevastjanova I.G., Dokshina M.A. Problemy stimulirovanija innovacionnoj sfery jekonomiki Rossii // Vestnik PNI-PU. Socialno-jekonomicheskie nauki. 2016. no. 1. pp. 119–127.
5. Territorialnyj organ Federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki po Permskomu kraju. [Elektronnyj resurs]. URL: http://permstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/permstat/ru/ (data obrashhenija: 10.08.2016).
6. Federalnaja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. [Elektronnyj resurs]. URL: <http://www.gks.ru/> (data obrashhenija: 02.09.2016).

УДК 330.542:338.45

ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ АКТИВИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сахарова Л.А.*Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: lolasakharova@yandex.ru*

В статье рассмотрены проблемы современного промышленного развития с позиций необходимого усиления функциональной роли государства. Отмечается, что промышленность находится в таком состоянии, что ее самостоятельное возрождение невозможно. В период промышленного спада необходимы стимулирующие меры государственной поддержки и регулирования, разработка и проведение целенаправленной государственной промышленной политики, оптимально учитывающей сложившиеся экономические отношения, перспективные интересы России и участие в международном разделении труда. Предлагается использование государственно-частного партнерства в качестве организационно-экономического инструмента реализации кластерных инициатив, осуществляемого в рамках промышленной политики повышения конкурентоспособности национальных производств с использованием принципов проектного финансирования. Это обусловлено тем, что финансовое участие государства в проекте делает его более привлекательным для частных инвесторов и кредиторов, а также снижению конечной стоимости будет способствовать и сокращение издержек, связанных с вовлечением государственных средств в реализацию проекта. В совокупности это обеспечит повышение вероятности социально-экономического успеха реализуемого проекта.

Ключевые слова: промышленность, инвестиции, государственно-частное партнерство, проектное финансирование

ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC FORMS OF ACTIVIZATION OF STATE REGULATION OF DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL PRODUCTION

Sakharova L.A.*Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: lolasakharova@yandex.ru*

In article problems of a modern industrial development from line items of necessary strengthening of a functional role of the state are considered. It is noted that the industry is in such condition that its independent revival is impossible. During industrial recession the stimulating measures of the state support and regulation, development and carrying out the purposeful state industrial policy which is optimum considering the developed economic relations, perspective interests of Russia and participation in the international job specialization are necessary. Use of public-private partnership as the organizational and economic instrument of implementation of cluster initiatives performed within industrial policy of increase in competitiveness of national productions with use of the principles of project financing is offered. It is caused by the fact that financial participation of the state in the project does it more attractive to private investors and creditors, and also decrease in final cost will be promoted also by cost reduction, the public funds connected with involvement in project implementation. In total it will provide increase in probability of social and economic success of the implementable project.

Keywords: industry, investments, public-private partnership, project financing

Глобальные требования промышленного развития обуславливают необходимость активных структурных изменений в системе организации производственных процессов, ориентированных на повышение конкурентоспособности национальных производств и ведения успешной конкурентной борьбы. Кроме того, расширяющееся распространение внеэкономических факторов развития (политические санкции, приоритеты блоковых норм над требованиями рынка и т.п.) требует повышения эффективности государственного регулирования промышленного воспроизводства [5, 6].

Однако, как видно из графиков на рис. 1, практически на протяжении последних лет наблюдается замедление ежегодных темпов роста промышленного производства.

При этом существует множество факторов, оказывающих негативное влияние на динамику темпов промышленного производства. К основным из них относится снижение показателей рентабельности [1, 2, 5, 6]. Из графиков на рис. 2 видно, что практически по всем отраслям индустриального сектора отечественной экономики происходит снижение рентабельности проданных товаров, а следовательно и рентабельности активов.

Причем, если в первых двух третях рассматриваемого периода (2003–2013 гг.) наблюдалась смешанная динамика показателей рентабельности по отраслям промышленности, то в 2011–2013 гг. отчетливо проявилось возобновление тенденции к дальнейшему снижению показателей рентабельности.

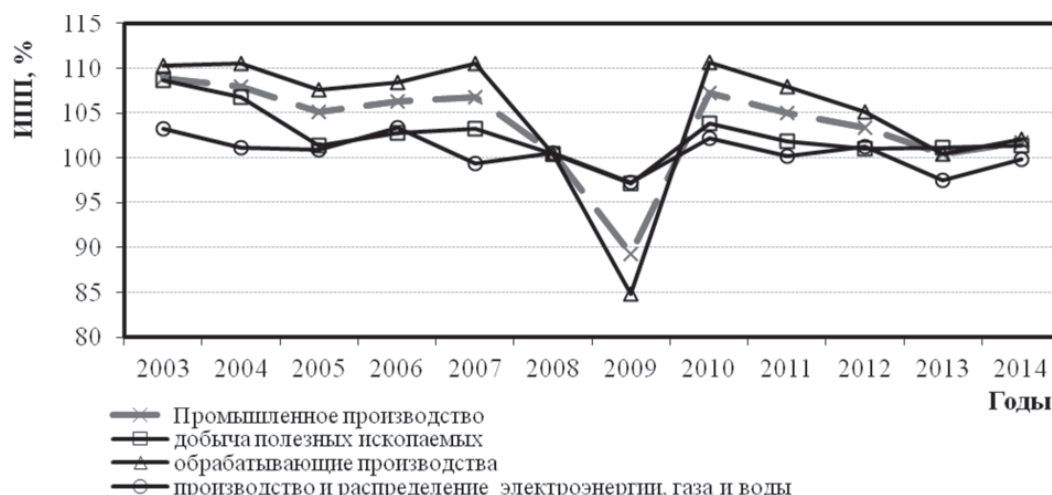


Рис. 1. Динамика индексов промышленного производства в период с 2003 по 2014 годы, в % к предыдущему году. График построен автором на основе данных [7]

Наиболее вероятно, что следствием дальнейшего снижения рентабельности промышленных производств станет снижение объемов производства в данной сфере экономической деятельности. В свою очередь, учитывая глубину взаимосвязи индустриального сектора экономики со всем хозяйственным комплексом, можно прогнозировать, что подобные тенденции приведут и к цепному замедлению производства в других секторах экономики, в т.ч. в сфере нематериального производства.

Представляется, что проблемным аспектом в данном вопросе являются инвестиции [3, 4]. На рис. 3 представлены графики, иллюстрирующие динамику инвестиций в основной капитал в Российской Федерации по секторам промышленности и экономики в целом в период с 2005 по 2014 г.

Данные на графиках приведены в сопоставимых ценах. Рассматривая график, иллюстрирующий базисные темпы роста инвестиций, можно отметить, что в целом по экономике за рассматриваемые годы физический объем инвестиций в основной капитал увеличился на 70,4%. Немногим больше объем инвестиций увеличился в сфере добычи полезных ископаемых — на 88,4%.

В сфере обрабатывающих производств темпы роста объема инвестиций были несколько ниже, чем в целом по экономике — прирост составил 60,7%. В то же время объем инвестиций в сфере производства и распределения электроэнергии газа и воды увеличился более чем в два раза — темп роста составил 224,5%.

Если проанализировать графики, отражающие цепные темпы прироста фи-

зического объема инвестиций в основной капитал, то можно отметить, что динамика прироста физического объема инвестиций, как в целом по экономике, так и в отдельности по секторам промышленности, в последние годы замедлилась. Как видно из графиков, пик замедления пришелся на кризисные 2008–2009 гг. При этом, если в 2006–2007 г. ежегодные темпы прироста физического объема инвестиций в основной капитал в целом по экономике и в частности по секторам промышленности находились на уровне 10–30%, то в 2010–2013 гг. ежегодные темпы прироста физического объема инвестиций сократились до 0–10%. В 2014 г. в целом по экономике и в частности по промышленности, за исключением добывающего сектора, был продемонстрирован отрицательный прирост физических объемов инвестиций (сокращение) в сравнении с уровнем 2013 г.

Все эти тенденции в значительной мере в последние годы усугубляются действием санкций, принятых по политическим мотивам рядом развитых стран. Для преодоления такой ситуации объективно требуется расширение и повышение эффективности государственного регулирования. В таком контексте целесообразно использование государственно-частного партнерства в качестве организационно-экономического инструмента реализации кластерных инициатив, осуществляемого в рамках промышленной политики повышения конкурентоспособности национальных производств.

Представляется, что данный проект ГЧП может преследовать различные цели и задачи, направленные на формирование основ

кооперации и производственной интеграции, которые по тем или иным причинам не привлекают в чистом виде частных инвесторов и не под силу для самостоятельной реализации государством (к примеру, создание различного рода инфраструктуры кластера является достаточно ресурсоемким и имеет слабую коммерческую привлекательность). Именно для реализации таких целей и задач и может использоваться инструмент ГЧП.

Сам же механизм реализации ГЧП должен полностью соответствовать Федеральному закону «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации». То есть оценка проекта ГЧП, предложенного в рамках реализации кластерной инициативы, должна производиться специализированной комиссией по оценке проектов, согласно тексту Закона. Далее, в случае положительного заключения комиссии, должен быть организован конкурс на реализацию проекта ГЧП и отобраны его победители,

с которыми впоследствии должны быть заключены соглашения о партнерстве для реализации проекта ГЧП.

Предлагаемая схема позволит закрепить использование механизма реализации партнерских отношений между публичным и частным сектором в качестве ключевого организационно-экономического инструмента реализации национальной кластерной политики, интегрированной в промышленную политику повышения конкурентоспособности отечественных товаропроизводителей.

В совокупности это приведет к достижению таких целей, как повышение эффективности бизнес проектов; стимулирование развития новых производств; повышение конкурентоспособности продукции; развитие инноваций и переход к новому технологическому укладу; развитие производственной и социальной инфраструктуры; расширение налогооблагаемой базы; решение вопросов занятости.

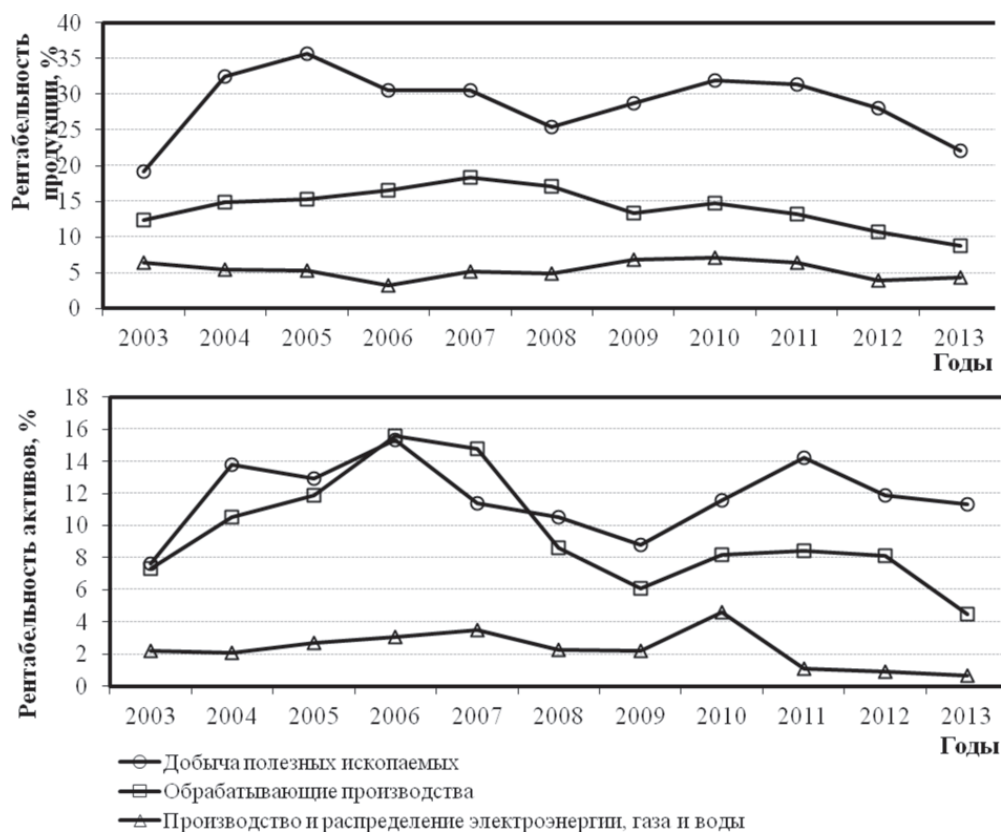


Рис. 2. Динамика показателей рентабельности проданных товаров, продукции (работ и услуг), а также активов организаций промышленности в период с 2003 по 2013 гг.
(графики построены автором на основе данных: Промышленность России. 2008: Статистический сборник. – М.: Росстат, 2008. – С. 290–291; Промышленность России. 2010: Статистический сборник. – М.: Росстат, 2010. – С. 294–295; Промышленность России. 2014: Статистический сборник. – М.: Росстат, 2014. – С. 221–222)

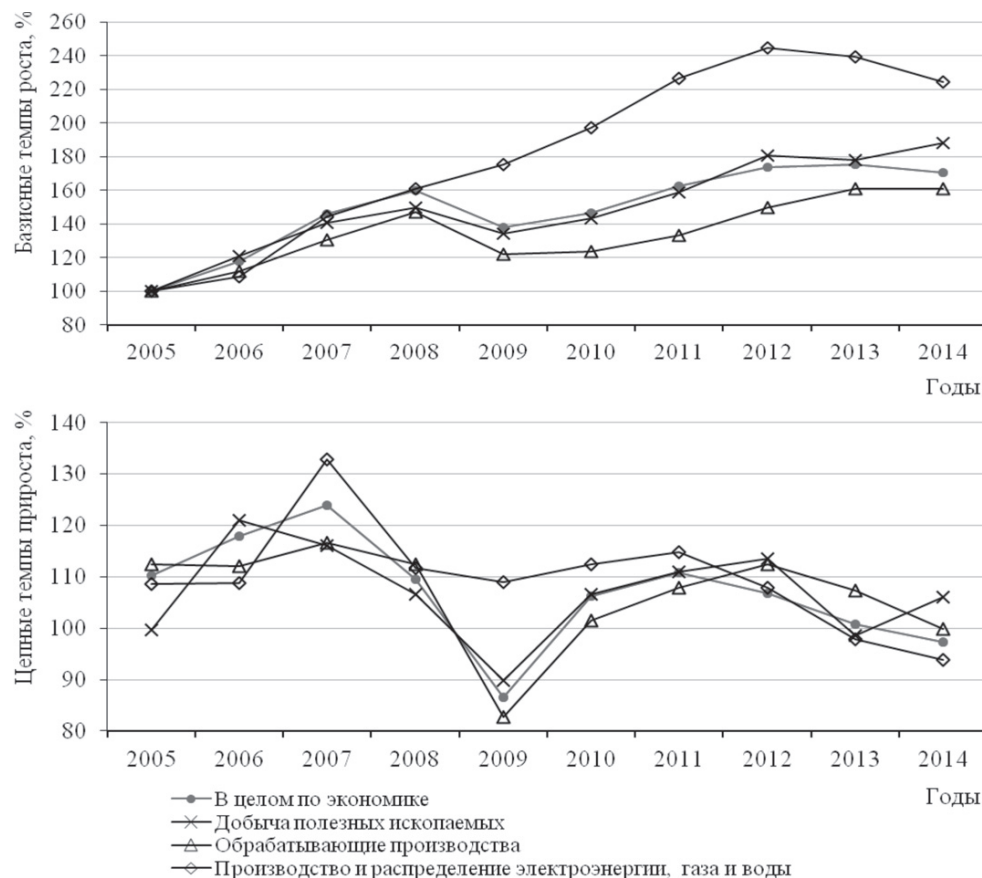


Рис. 3. Динамика инвестиций в основной капитал в Российской Федерации по секторам промышленности и экономике в целом за период с 2005 по 2014 годы, в сопоставимых ценах (графики рассчитаны и построены автором на основе данных [8])

Благодаря этому следует ожидать увеличение мультипликатора синергетических эффектов, опосредованных кооперацией и внутренней конкуренцией, способствующих ускоренному внедрению инноваций в производственный процесс и повышению производственной эффективности и конкурентоспособности предприятий, т.е. вызванных развитием и повышением конкурентоспособности российской промышленности в ходе развития промышленных кластеров. В свою очередь, это будет способствовать формированию хозяйственной среды, основанной на использовании инноваций, что является залогом успешного социально-экономического развития в современных условиях – условиях глобализации и глобальной конкуренции.

Серьезную поддержку практике применения проектного финансирования должна оказать утвержденная в конце 2014 г. Правительством РФ «Программа поддержки инвестиционных проектов, реализуемых

на территории Российской Федерации на основе проектного финансирования». Цель данной программы заключается в создании механизма поддержки инвестиционных проектов, реализуемых на территории Российской Федерации на основе проектного финансирования, способствующего увеличению объемов кредитования организаций реального сектора экономики на долгосрочных и льготных условиях.

Однако по факту получается, что Программа поддержки инвестиционных проектов, реализуемых на основе проектного финансирования, из инструмента льготного государственного финансирования ключевых для экономики, в том числе и для промышленности, инвестиционных проектов, превратилась в инструмент льготного финансирования ключевых для страны банков под осуществление тех самых проектов. В дополнение к этому государство выдает обеспечение в виде гарантии на 25% от суммы выданного кредита. При этом банки,

получая дешевые средства, не обременены особыми обязательствами по выдаче столь же дешевых кредитов, в результате чего стоимость кредита для конечного заемщика становится очень высокой. Таким образом, применение проектного финансирования в качестве организационно-экономического инструмента реализации кластерных инициатив в рамках осуществления промышленной политики повышения конкурентоспособности национальных производств на основе государственно-частного партнерства вызывает сомнение в силу низкой коммерческой привлекательности и долгосрочности данных проектов.

Безусловно, привлечение коммерческих банков для развития в стране проектного финансирования как отдельного инструмента экономической политики необходимо в силу специфики данного инструмента, в т.ч. высоких рисков и издержек, сопровождающих его. Тем не менее использование данного инструмента, в рамках предложенной ранее схемы применения государственно-частного партнерства в качестве организационно-экономического инструмента реализации кластерных инициатив в рамках осуществления промышленной политики повышения конкурентоспособности национальных производств, ведет к дублированию части функций различными структурами, предусмотренными Федеральным законом «О промышленной политике в Российской Федерации», Федеральным законом «О государственно-частном партнерстве, муниципально-частном партнерстве в Российской Федерации» и утвержденной Правительством РФ «Программы поддержки инвестиционных проектов, реализуемых на территории Российской Федерации на основе проектного финансирования».

В связи с этим представляется необходимым предложить схему применения проектного финансирования в качестве организационно-экономического инструмента реализации кластерных инициатив в рамках осуществления промышленной политики повышения конкурентоспособности национальных производств на основе государственно-частного партнерства.

Так, специализированная организация, создаваемая для реализации кластерной инициативы, может исполнять также и функции проектной организации. Межведомственная комиссия по оценке инвестиционных проектов, реализуемых на основе проектного финансирования, может осуществлять свою деятельность в рамках специализированной комиссии по оценке проекта ГЧП. В то же время, если частные партнеры для реализации объекта соглаше-

ния о ГЧП привлекают кредиты у коммерческих банков, то коммерческая привлекательность и риски реализации проекта ГЧП этими банками в любом случае должны быть проанализированы и просчитаны. Поэтому государство может осуществлять кредитование данных проектов посредством этих же коммерческих банков за незначительное вознаграждение, не включающее в себя необходимость проведения нового полноценного анализа коммерческих перспектив и рисков проекта. С этой целью могут быть привлечены и государственные фонды развития промышленности, предусмотренные статьей 11 Федерального закона от 31 декабря 2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации».

В целом же реализация предложенной схемы применения проектного финансирования в качестве организационно-экономического инструмента реализации кластерных инициатив в рамках осуществления промышленной политики повышения конкурентоспособности национальных производств на основе государственно-частного партнерства будет способствовать снижению конечной стоимости проекта. С одной стороны, это обусловлено тем, что финансовое участие государства в проекте делает его более привлекательным для частных инвесторов и кредиторов. С другой стороны, снижению конечной стоимости будет способствовать и сокращение издержек, связанных с вовлечением государственных средств в реализацию проекта. В совокупности это обеспечит повышение вероятности социально-экономического успеха реализуемого проекта.

Список литературы

1. Гешева М.В., Нагоев А.Б. Отраслевые факторы регионального развития: принципы преодоления кризисных явлений / Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2–3. – С. 547–551.
2. Белов В.В. Проблемы экономического развития отечественной промышленности // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 12–2(53–2). – С. 102–106.
3. Колмыкова Т.С., Ситникова Э.В., Третьякова И.Н. Кредитные ресурсы в решении задач модернизации национальной экономики // Финансы и кредит. – 2015. – № 14(638). – С. 2–11.
4. Кумышева М.М., Абанокова Э.Б., Нагоев А.Б. Кластерная политика как механизм реализации эффективного управления промышленными предприятиями / Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–8. – С. 1703–1707.
5. Кильчуков З.Х., Нагоев А.Б. Современное состояние машиностроительного комплекса в Кабардино-Балкарской республике / Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–4. – С. 673–678.
6. Tatuev A.A., Nagoev A.B., Zhankaziev A.H., Rokotyskanskaya V.V., Bondarenko L.V. Evaluation and prospects of the cluster of industrial development / Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2015. – T. 12. – P. 591–600.

7. Официальная статистика: промышленное производство // Федеральная служба государственной статистики. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/ind_prom_okved.xls. (дата обращения: 18.05.2016).

8. Официальная статистика: инвестиции в нефинансовые активы // Федеральная служба государственной статистики. – URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/invest/

References

1. Gesheva M.V., Nagoev A.B. Otrasleyve factory regionalnogo razvitiya: principy preodoleniya krizisnyh javlenij / Fundamentalnye issledovaniya. 2016. no. 2–3. pp. 547–551.

2. Belov V.V. Problemy jekonomicheskogo razvitiya otechestvennoj promyshlennosti // Jekonomika i predprinimatelstvo. 2014. no. 12–2(53–2). pp. 102–106.

3. Kolmykova T.S., Sitnikova Je.V., Tretjakova I.N. Kreditnye resursy v reshenii zadach modernizacii nacionalnoj jekonomiki // Finansy i kredit. 2015. no. 14(638). pp. 2–11.

4. Kumysheva M.M., Abanokova Je.B., Nagoev A.B. Klasternaja politika kak mehanizm realizacii jeffektivnogo upravlenija promyshlennymi predpriyatijami / Fundamentalnye issledovaniya. 2014. no. 12–8. pp. 1703–1707.

5. Kilchukov Z.H., Nagoev A.B. Sovremennoe sostojanie mashinostroitel'nogo kompleksa v Kabardino-Balkarskoj respublike / Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2015. no. 1–4. pp. 673–678.

6. Tatuev A.A., Nagoev A.B., Zhankaziev A.H., Rokotyanskaya V.V., Bondarenko L.V. Evaluation and prospects of the cluster of industrial development / Biosciences Biotechnology Research Asia. 2015. T. 12. pp. 591–600.

7. Oficialnaja statistika: promyshlennoe proizvodstvo // Federalnaja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/ind_prom_okved.xls. (data obrashhenija: 18.05.2016).

8. Oficialnaja statistika: investicii v nefinansovye aktivy // Federalnaja sluzhba gosudarstvennoj statistiki. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/invest/

УДК 330.322.2: 334.723

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО В ВЕНЧУРНОМ БИЗНЕСЕ РОССИИ

Севастьянова И.Г., Пузакова А.А.

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь,
e-mail: zav@msa.pstu.ru*

Поддержка государством венчурных инвесторов является важным фактором повышения жизнеспособности и привлекательности инвестиций. Государственный сектор получает возможность передавать часть коммерческих и финансовых рисков частному сектору. Частный сектор в свою очередь получает доход от участия в инвестиционных проектах в обмен на предоставление долгосрочного заемного финансирования. В данной статье рассмотрены этапы развития государственно-частного партнерства в венчурном бизнесе России. Выделены основные тенденции и характерные черты кооперации государства и частных инвесторов. Представлена структура финансирования региональных венчурных фондов. Описаны особенности механизма функционирования закрытых паевых инвестиционных фондов. Проанализирована деятельность Российской венчурной компании за 2012–2014 гг. Обоснована необходимость развития нефинансовых инструментов для привлечения частного венчурного капитала. Отмечены основные проблемы, препятствующие развитию отечественной венчурной индустрии.

Ключевые слова: венчурное инвестирование, венчурный инновационный фонд, региональные венчурные фонды, российская венчурная компания, закрытые паевые инвестиционные фонды

PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP IN THE VENTURE CAPITAL BUSINESS IN RUSSIA

Sevastyanova I.G., Puzakova A.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: zav@msa.pstu.ru

Government support to venture investors is an important factor to improve the viability and attractiveness of the investment. The public sector gets the opportunity to give a portion of commercial and financial risks to the private sector. The private sector, in turn, receives income from participation in investment projects in exchange for the provision of long-term debt financing. This article describes the stages of development of public-private partnership in the venture capital business in Russia. The main trends and characteristic features of cooperation of state and private investors. The structure of financing of regional venture funds. Describes the features of the mechanism of functioning of the closed-end mutual funds. Analyze the activities of Russian venture company for 2012–2014. The necessity of development of non-financial instruments to attract private venture capital. The major problems hindering the development of the domestic venture capital industry.

Keywords: Venture Capital, Venture Innovation Fund, the regional venture capital funds, the Russian Venture Company, closed mutual funds

Сегодня важным компонентом новой экономики, движимой малыми инновационными компаниями, становится венчурное инвестирование. Развитие венчурной индустрии способствует оживлению инвестиционной активности в различных отраслях, в том числе в высокотехнологичных. Венчурный бизнес во многом определяет контуры технологического развития и играет ключевую роль в формировании «точек роста» новых секторов экономики. Ориентация венчурного инвестирования на новые перспективные направления науки и техники адекватна потребностям быстрого развития на базе революционных технологических изменений. Одним из ключевых факторов инновационной активности малых форм предприятий в научно-технической сфере является кооперация государства и частных инвесторов.

Основными функциями государства в механизме государственно-частного партнерства являются:

- привлечение финансирования со стороны частного сектора;
- сохранение окончательного права собственности над инвестиционным объектом;
- передача части коммерческих и финансовых рисков частному сектору;
- использование управленческого опыта частных инвесторов;
- оценка общественной пользы инноваций;
- выбор тарифной политики и бюджетного регулирования;
- формирование законодательных правовых и налоговых основ инновационной деятельности.

В свою очередь для венчурных инвесторов участие и поддержка государства представляются важным фактором жизнеспособности и привлекательности инвестиций. Так, частный сектор получает доход от участия в проекте в обмен на предоставление акционерного или долгосрочного заемного финансирования, технического и управленческого

опыта. При этом бизнес ведет поиск оптимальных схем распределения рисков и разрабатывает механизм распределения прибыли с государственными организациями.

Распределение рисков является центральной задачей концессионного соглашения между государством и частным сектором. Создание стимула для эффективного распределения доходов от проекта должно обеспечиваться за счет ответственности, связанной с рисками, того партнера, который наилучшим образом может контролировать и управлять ими. Определения границ и детального распределения рисков варьируются в зависимости от сектора экономики, конъюнктуры и формы рынка. Такая концепция государственного-частного партнерства позволяет избавить государство от рисков, связанных с выполнением инновационных проектов. Поэтому государство, контролируя деятельность частного инвестора, является гарантом положительного результата для него. Форма партнерства с участием частного капитала зависит от целей, поставленных государством, и может определяться в зависимости от желаемого распределения инвестиционных рисков, требуемого опыта для организации необходимых для партнерства контрактных отношений, определения плательщиков за услуги объекта и последствий выбранной формы для них.

Кооперация государства и частных инвесторов в России представляет собой институциональный и организационный альянс в целях реализации социально значимых проектов и программ в широком отраслевом спектре. Начало становления и развития государственно-частного партнерства в отечественном венчурном бизнесе положено с момента учреждения в 2000 г. венчурного инновационного фонда (ВИФ) (табл. 1).

Основной целью создания ВИФ являлось развитие системы венчурного ин-

вестирования в России и осуществление приоритетной поддержки проектов (на начальной стадии) российских предприятий, создающих продукты и технологии, относящиеся к перечню критических технологий федерального уровня.

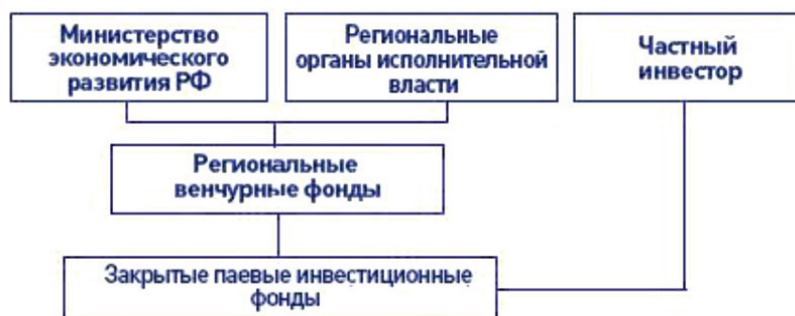
За основу формы сотрудничества государства и венчурного капитала при создании ВИФ была взята модель «фонда фондов», получившая широкое распространение в европейских странах с сильным государственным регулированием экономики. На основе успешного опыта Израиля, где на этапе реализации программы «фонда фондов» за один год было создано 10 региональных фондов [9], подобный результат ожидался и в нашей стране. Однако ограниченность финансовых ресурсов государства, переориентация и уход инвесторов из высокорискованных сфер в период начавшегося мирового финансового кризиса внесли существенные коррективы в развитие отечественного венчурного бизнеса. На рынке удержались только два фонда: региональный фонд «ЛИДИНГ» в Санкт-Петербурге и отраслевой венчурный фонд ОАО «Корпорация «Аэрокосмическое оборудование» [3].

Формирование нового федерального устройства и повышение экономической самостоятельности регионов изменили сложившиеся стереотипы хозяйственного поведения и потребовали изыскания дополнительных резервов для активизации имеющегося научно-технического потенциала. Результатом поддержки субъектов РФ и выравнивания уровня их социально-экономического развития явилось создание региональных государственно-частных фондов. В настоящее время в России действует 22 региональных венчурных фонда инвестиций в малые предприятия в научно-технической сфере, созданных под эгидой Минэкономразвития РФ совместно с администрациями регионов общим объемом 8,9 млрд руб [5].

Таблица 1

Этапы развития государственно-частного партнерства в венчурном бизнесе России

Год	Этап	Цели
2000	Создание венчурного инновационного фонда (ВИФ)	Создание венчурных инвестиционных институтов, вкладывающих средства в высокотехнологичный инновационный бизнес
2001	Начало создания региональных венчурных фондов	Прямые инвестиции в компании, находящиеся на стадии создания либо раннего развития
2003	Начало создания закрытых паевых инвестиционных фондов (ЗПИФ)	Снижение для частных инвесторов риска вкладывания средств в российские инновационные компании
2006	Создание российской венчурной компании (РВК)	Финансовое участие в венчурных фондах и контроль за их целевым назначением
2010	Утверждена новая стратегия развития РВК	Поддержка инновационных компаний на всех стадиях развития: от идеи до самостоятельного прибыльного бизнеса



Структура финансирования региональных венчурных фондов

Таблица 2

Деятельность Российской венчурной компании за 2012–2014 гг.

Показатель	2012 г.	2013 г.	2014 г.
Количество венчурных фондов, созданных при участии РВК	13	15	20
Общий объем фондов с участием РВК, млрд руб.	26,6	25,2	31,2
Одобрено к инвестированию проектов	*	148	175

Примечание. *Официальные данные отсутствуют.

Фонды ориентируются на поддержку инновационных проектов на ранних стадиях развития. Финансирование фондов осуществляется из средств федерального бюджета, поступающих через промежуточные региональные фонды содействия развитию венчурных инвестиций в малые предприятия в научно-технической сфере, из регионального бюджета и частных инвесторов (рисунок).

Венчурные фонды с участием государства регистрируются в России как закрытые паевые инвестиционные фонды (ЗПИФ), регулируемые Федеральной службой по фондовым рынкам. Руководство каждым ЗПИФ осуществляет специальная управляющая компания, в обязанности которой входит отбор объектов инвестиций – компаний, занятых в таких сферах, как микроэлектроника, информационные, телекоммуникационные, медицинские технологии, биотехнологии, нанотехнологии, альтернативная энергетика [2].

Диверсификация вложенных пайщиками ЗПИФов средств в высокотехнологичный бизнес между несколькими проектами служит инструментом снижения рисков. Считается, что доходность инвестиций, приносимых ЗПИФами, достаточно высока. Это связано с тем, что им проще планировать свои инвестиции на длительный период, так как у пайщиков отсутствует возможность изъятия средств из фонда в любой момент.

С 2006 г. поддержку высокотехнологичных компаний на посевной стадии совмест-

но с частными инвесторами осуществляет ОАО «Российская венчурная компания» (ОАО «РВК»), вкладывающая средства только в ЗПИФы. Сегодня основные функции РВК сосредоточены:

- на приобретении паев частных венчурных фондов;
- отборе частных венчурных управляющих компаний на конкурсной основе;
- контроле за целевыми назначениями венчурных фондов в частном управлении;
- экспертизе проектов, отобранных управляющими компаниями.

Обработанная статистическая информация [1] деятельности РВК за 2012–2014 гг. представлена в табл. 2.

По состоянию на конец 2014 г. доля РВК в суммарном размере сформированных ею фондов составила 18,3 млрд руб. (~ 59%). Одобрено 175 проектов, находящихся в портфеле фондов с участием капитала РВК, на сумму свыше 15 млрд руб.

Следует отметить, что инвестирование на венчурном рынке в рамках государственно-частного партнерства является необходимым, но недостаточным условием. Помимо этого требуется развитие нефинансовых инструментов, включающих формирование эффективной инфраструктуры для привлечения частного венчурного капитала, продвижение и популяризацию инновационно-технологического предпринимательства, содействие глобализации отечественной

инновационной индустрии. С учетом целей и приоритетов научно-технологического развития России в 2010 г. утверждена новая стратегия развития РВК, направленная на поддержку инновационных компаний на всех стадиях развития: от идеи до самостоятельного прибыльного бизнеса [8].

Венчурный механизм является важной составляющей частью национальной инновационной системы. Этим обосновано стремление индустриально развитых стран к его более широкому распространению в экономике. Однако в России рынок венчурного капитала пока находится на начальной стадии развития.

Существует ряд причин, препятствующих развитию отечественной венчурной индустрии. Одной из основных причин является недостаточный уровень развития инфраструктуры, обеспечивающей взаимодействие венчурного капитала с малым и средним бизнесом. Кроме того, наличие слабых экономических стимулов для привлечения венчурного капитала к реализации наукоемких проектов и низкий престиж предпринимательской деятельности в сфере малого наукоемкого бизнеса не мотивируют инвесторов и разработчиков. Существенная проблема заключается в том, что значительное число разработок не пригодны для коммерческого освоения, являясь интеллектуальным сырьем, не доведенным до уровня патентов и лицензий. Недостаточная конкурентоспособность интеллектуальной продукции и слабая ее технологическая завершенность в свою очередь приводят к снижению спроса и емкости рынка нововведений [7].

Неблагоприятный инвестиционный климат связан и с тем обстоятельством, что инвесторы отдают предпочтение проектам в таких традиционных секторах экономики, как сырьевой, потребительский, финансовый, которые обеспечивают высокую доходность при относительно низких рисках [6]. Ситуация усугубляется тем, что подавляющее большинство предпринимателей, стремящихся получить средства для финансирования своих инновационных проектов, терпят неудачу. Они не представляют процесс венчурного финансирования во всей его полноте и не знают последовательности его шагов. Низкий уровень предпринимательской культуры инициаторов инновационных проектов не позволяет им эффективно представлять инвестиционные проекты потенциальным инвесторам [4].

Тем не менее имеется надежда, что с учетом накопленного опыта и сложившихся условий в России будет сформирована эффективная схема стратегических решений и тактических мер по поддержке инновационного сектора экономики. От того, насколько

успешно функционирует венчурный механизм, сегодня во многом зависит скорость коммерциализации новых перспективных научных идей и технологических разработок, а следовательно, и конкурентоспособность национальной промышленности. Государственная поддержка и неформальный капитал, выступающие в качестве взаимодополняющих инвестиционных ресурсов, должны послужить катализатором роста инновационной активности в стране.

Список литературы

1. Аналитика и исследования РВК [Электронный ресурс]; [URL: <http://www.rusventure.ru/ru/programm/analytics/>] (дата обращения: 25.02.2016).
2. История развития паевых инвестиционных фондов в мире и в России [Электронный ресурс]; [URL: <http://www.ereport.ru/articles/finance/pifhyst.htm>] (дата обращения: 20.02.2016).
3. Каширин А.И., Семенов А.С. Венчурное инвестирование в России. – М.: Вершина, 2007. – 320 с.
4. Котельников В.Ю. Венчурное финансирование от А до Я. – М.: ЭКСМО, 2009. – 176 с.
5. Региональные венчурные фонды [Электронный ресурс]; [URL: http://www.rusventure.ru/ru/investments/regional_funds/] (дата обращения: 15.02.2016).
6. Севастьянова И.Г., Докшина М.А. О механизмах поддержки инновационной деятельности в условиях модернизации российской экономики // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 2–1. – С. 202–205.
7. Севастьянова И.Г., Докшина М.А. Проблемы стимулирования инновационной сферы экономики России // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2016. – № 1. – С. 119–127.
8. Характеристика основных этапов становления венчурного бизнеса в России [Электронный ресурс]; [URL: <http://www.actualeconomic.ru/actecs-343-4.html>] (дата обращения: 25.02.2016).
9. European innovation scoreboard 2006. Comparative analysis of innovation performance [Электронный ресурс]; [URL: [http://www.berlin-partner.de/fileadmin/user_upload/01_chefredaktion/02_pdf/studien-rankings/2006/INNO-Metrics%20-%20European%20Innovation%20Scoreboard%20-EIS-%20\(2006%20english\).pdf](http://www.berlin-partner.de/fileadmin/user_upload/01_chefredaktion/02_pdf/studien-rankings/2006/INNO-Metrics%20-%20European%20Innovation%20Scoreboard%20-EIS-%20(2006%20english).pdf)] (дата обращения: 14.03.2016).

References

1. Analitika i issledovaniya RVK [Elektronnyj resurs] [URL: <http://www.rusventure.ru/ru/programm/analytics/>] (data obrashheniya: 25.02.2016).
2. Istoriya razvitiya pavykh investicionnykh fondov v mire i v Rossii [Elektronnyj resurs]; [URL: <http://www.ereport.ru/articles/finance/pifhyst.htm>] (data obrashheniya: 20.02.2016).
3. Kashirin A.I., Semenov A.S. Venchurnoe investirovanie v Rossii. M.: Vershina, 2007. 320 p.
4. Kotelnikov V.Ju. Venchurnoe finansirovanie ot A do Ja. M.: JEKSMO, 2009. 176 p.
5. Regionalnye venchurnye fondy [Elektronnyj resurs]; [URL: http://www.rusventure.ru/ru/investments/regional_funds/] (data obrashheniya: 15.02.2016).
6. Sevastjanova I.G., Dokshina M.A. O mehanizmah podderzhki innovacionnoj dejatel'nosti v uslovijah modernizacii rossijskoj jekonomiki // Fundamentalnye issledovaniya. 2016. no. 2–1. pp. 202–205.
7. Sevastjanova I.G., Dokshina M.A. Problemy stimulirovaniya innovacionnoj sfery jekonomiki Rossii // Vestnik PNIPIU. Socialno-jekonomicheskie nauki. 2016. no. 1. pp. 119–127.
8. Harakteristika osnovnykh etapov stanovleniya venchurnogo biznesa v Rossii [Elektronnyj resurs] [URL: <http://www.actualeconomic.ru/actecs-343-4.html>] (data obrashheniya: 25.02.2016).
9. European innovation scoreboard 2006. Comparative analysis of innovation performance [Elektronnyj resurs] [URL: [http://www.berlin-partner.de/fileadmin/user_upload/01_chefredaktion/02_pdf/studien-rankings/2006/INNO-Metrics%20-%20European%20Innovation%20Scoreboard%20-EIS-%20\(2006%20english\).pdf](http://www.berlin-partner.de/fileadmin/user_upload/01_chefredaktion/02_pdf/studien-rankings/2006/INNO-Metrics%20-%20European%20Innovation%20Scoreboard%20-EIS-%20(2006%20english).pdf)] (data obrashheniya: 14.03.2016).

УДК 331.104

ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ КОРПОРАТИВНОЙ СОЦИАЛЬНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОАО «ГАЗПРОМ НЕФТЕХИМ САЛАВАТ»

Хафизов А.М., Малышева О.С., Семенов А.В., Сиразиев Д.И., Саниев Д.Ф., Гареев И.М.
*Филиал ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Салават,
e-mail: alik_hafizov@mail.ru*

В данной статье рассматривается понятие и структура корпоративной социальной ответственности, изучается институциональная структура социальной ответственности бизнеса и ее интеграция в общую корпоративную стратегию компании. На основании проведенного анализа формулируются актуальные направления развития социальной ответственности в компании ОАО «Газпром нефтехим Салават». Максимальный эффект может быть получен при выделении отдельной организационной структуры, компетенции которой заключаются в интеграции всех усилий компании по реализации социально-ориентированного сценария развития. В настоящее время корпоративная социальная ответственность бизнеса (КСО) входит в область стратегического целеполагания многих компаний. Особенно следует подчеркнуть актуальность данного исследования для России, где сложились достаточно непростые взаимоотношения бизнеса и общества, где существует сильная дифференциация доходов населения, что может привести к социальной нестабильности.

Ключевые слова: корпоративная социальная ответственность, программы, перспективы, проблемы, предприятие, безопасность труда

THE IMPACT OF THE STRATEGY OF CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY ON THE ACTIVITIES OF JSC «GAZPROM NEFTEKHIM SALAVAT»

Khafizov A.M., Malysheva O.S., Semenov A.V., Siraziev D.I., Saniev D.F., Gareev I.M.
Branch of SEI HE «Ufa State Petroleum Technological University», Salavat, e-mail: alik_hafizov@mail.ru

This article discusses the concept and structure of corporate social responsibility, examines the institutional structure of the social responsibility of business and its integration into the overall corporate strategy of the company. On the basis of the analysis formulated the actual directions of development of social responsibility in JSC «Gazprom neftekhim Salavat». The maximum effect can be obtained by a separate the organizational structure, the competence of which is the integration of all the company's efforts in implementation of social-oriented scenario development. The company organizes social programs in the areas of urban infrastructure, healthcare, sports, culture, education, charity, support of pensioners, invalids and veterans. Currently, corporate social responsibility (CSR) is included in the region strategic goal setting many companies. Especially it is necessary to emphasize the relevance of this study for Russia, where there is a fairly complicated relationship between business and society, where there is a strong differentiation of incomes, which could lead to social instability.

Keywords: corporate social responsibility, programs, perspectives, problems, enterprise, safety of work

Внедрение в практику принципов корпоративной социальной ответственности (КСО) коренным образом изменило роль корпораций в мире: бизнес стал рассматриваться не только как главный катализатор экономического прогресса, но также и как институт, принимающий активное участие в поддержании социальной стабильности в обществе. Более того, мировая экономическая рецессия и ряд событий последних лет существенно повысили ожидания общественности относительно социально ответственного поведения компаний, которым приходится постоянно подтверждать свою репутацию «ответственных граждан», при этом оставаясь конкурентоспособными и экономически эффективными.

Большой интерес представляет рассмотрение стратегий социальной ответственности бизнеса в различных странах, поскольку специфика национальных моде-

лей КСО оказывает существенное влияние на деятельность местных компаний и организаций. Параллельно идут процессы стандартизации принципов КСО в связи с усилением глобализации и активности ТНК. Особенно следует подчеркнуть актуальность данного исследования для России, где сложились достаточно непростые взаимоотношения бизнеса и общества, где существует сильная дифференциация доходов населения, что может привести к социальной нестабильности. Для достижения высоких результатов в долгосрочном периоде российские экономисты должны обратить пристальное внимание на формирование благоприятной бизнес-среды, которая бы способствовала экономическому росту и плодотворным партнерским взаимоотношениям бизнеса, общества и государства, построенным на принципах социальной ответственности перед гражданами.

В настоящее время корпоративная социальная ответственность бизнеса (КСО) входит в область стратегического целеполагания многих компаний. Без данного направления невозможно представить успешную компанию, которая стремится играть роль лидера на международном рынке. Концепция КСО трансформируется в интернациональный элемент международной политики и усиления ключевой компетенции, а деятельность в этой сфере становится капиталобразующей для корпоративной структуры [3].

Вопросы социальной ответственности бизнеса исследуются уже долгое время. Так, основные представления о социальной ответственности были заложены в трудах великих философов и ученых (Аристотель, Т. Веблен, Г. Гегель, Э. Дюркгейм, А. Камю, И. Кант, Н. Макиавелли, Ф. Ницше, Платон).

Особый вклад в генерирование современных подходов, концепций и массива исследовательской информации в области КСО внесли международные организации (ООН, ОЭСР, Всемирный банк, ЮНЕСКО, международная ассоциация этики бизнеса и экономики – ISBEE), российские некоммерческие организации (Научно-исследовательский институт труда и социального развития, Ассоциация менеджеров, РСНП, ТПП, Институт экономики города) и транснациональные аудиторские компании (Pricewaterhouse Coopers, KPMG, Ernst&Young).

КСО является ключевым направлением в политике современных компаний и в общем результате представляет собой систему мер, направленных:

- на несение ответственности организации за выполнением социальных обязательств;
- бережное отношение к природным ресурсам, энергоэффективность, повышение качества жизни и работы людей, обеспечение экологической безопасности [2, 6];
- выпуск высококачественной и конкурентной продукции;
- готовность компании нести расходы сверх плана, на нужды работников и общества в целом, исходя из моральных и этических соображений [1].

На практике же развитие моделей КСО в российских компаниях происходило в начале 90-х годов, что значительно позже нежели у западных предприятий, у которых развитие КСО началось в 70-х годах XX в. Учитывая достаточно малый срок развития данной модели в России, можно утверждать, что крупные игроки рынка на примере ПАО «Газпром» и дочернего общества ОАО «Газпром нефтехим Салават» добились высоких результатов после формирования модели КСО.

ОАО «Газпром нефтехим Салават» – одна из крупнейших нефтехимических компаний в комплексе ТЭК России и крупнейший переработчик нефти и газового конденсата в Приволжском ФО. В компании производится более 120 наименований продуктов. Штат насчитывает более 12000 высококвалифицированных сотрудников, обслуживающих самые современные процессы переработки нефти, газа и процессы нефтехимии.

Основу успешного бизнеса компании создает политика получения качественных продуктов, всесторонняя поддержка своих сотрудников и обеспечение экологической безопасности [4].

Анализируя рис. 1, можно сделать вывод о том, что после введения данных программ на предприятии резко сократилось общее число несчастных случаев и профессиональных заболеваний, что свидетельствует об эффективности принятых мер.

В компании ежегодно рассматривается и утверждается программа корпоративной социальной ответственности, распространяющаяся на сотрудников, партнеров и общество в целом.

В частности, на ОАО «Газпром нефтехим Салават» реализуются и поддерживаются следующие программы.

Перед работниками компании:

- ежемесячная доплата к сумме страховых выплат по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний от 22.10.2001 г. [4];
- положение о порядке бесплатного медицинского обслуживания работников и неработающих пенсионеров, в том числе стоматологического, в поликлинике ООО «Медсервис», принадлежащей группе компаний ОАО «Газпром нефтехим Салават» от 02.05.2006 года;
- положение о материальной помощи бывшим руководителям;
- положение о материальной помощи неработающим пенсионерам (надбавка бывшим работникам группы компаний ОАО «Газпром нефтехим Салават» к государственной пенсии в размере до 10000 руб. в месяц) [5];
- выплаты матерям-одиночкам;
- организация курортного лечения и отдыха работникам компании;
- проведение профессиональных праздников с выдачей подарков, поздравительных писем, дипломов, грамот, материальных поощрений;
- выплата материальной помощи участникам боевых действий;
- оплата похорон близких родственников;
- выплата компенсаций семьям погибших на производстве (до 2 млн руб.) [5].

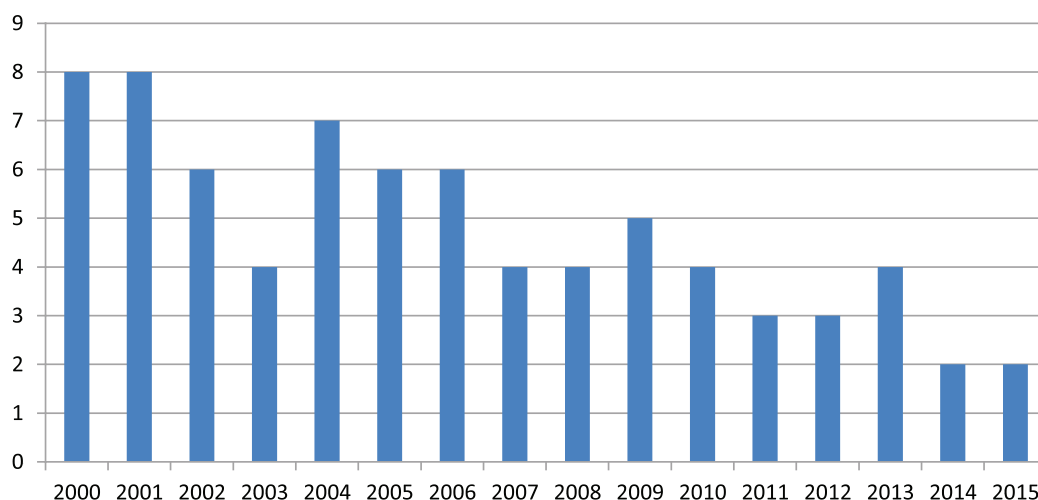


Рис. 1. Количество несчастных случаев и профессиональных заболеваний по годам

Учитывая богатый опыт компании по социальной ответственности можно сделать вывод, что компания прикладывает значительные усилия для обеспечения достойного труда работников.

Перед партнёрами:

- выпуск продукции с качеством мирового уровня (по ГОСТ, ТУ, ISO);
- политика жесткого контроля за соблюдением норм технологического режима, соблюдением сроков отгрузки готовой продукции.

Перед обществом:

- политика в области охраны труда, направленная на снижение числа несчастных случаев, аварий, профессиональных заболеваний;
- обеспечение экологической политики, направленной на снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду;
- материальная поддержка студентов, обучающихся в учебных заведениях г. Салавата;
- выделение финансирования на строительство объектов общественного значения СКК «Салават», МОУ СОШ № 1, ремонт детской городской больницы, благоустройство парка культуры и отдыха [5].

На рис. 2 показана текущая схема реализации КСО, недостатками данной схемы являются:

- отсутствие единого контроля за реализацией программ КСО;
- разлаженность действий отделов;
- отсутствие единого центра сбора статистических данных и результатов проведенных мероприятий;
- отсутствие четких целей и единых планов по реализации программ КСО;

– отсутствие подготовленных специалистов широкого профиля, обеспечивающих работу программ КСО.

Рассматривая положительные особенности системы управления КСО, можно отметить, использование множества международных стандартов КСО, наиболее распространенными из которых являются ИСО 14001:2004, ИСО 26000:2012, OHSAS 18001:2007 и GRI. Во всей группе компаний ПАО «Газпром» используются международные стандарты.

Еще одним преимуществом КСО ОАО «Газпром нефтехим Салават» является разнообразие направлений социальных инвестиций. Компания организует социальные программы в сферах городских инфраструктур, здравоохранения, спорта, культуры, образования, благотворительности, поддержки пенсионеров, инвалидов и ветеранов.

Для обеспечения благоприятных социально-экономических эффектов от КСО необходима организация комплексного внутреннего отдела, специалисты которого должны иметь различные профили деятельности и непрерывно взаимодействовать для оптимизации социальных инициатив.

Примером реализации данной схемы является отдел социальной направленности компании ПАО «Газпром нефть» г. Омска. Данный отдел зарекомендовал себя как мощный инструмент продвижения программ КСО. Работу отдела можно оценить по затратам компании в 4,5 млрд руб. за период 2014–2015 гг., инвестированных в организацию и участие в проектах «Родные города», оплате обучения студентов в лучших вузах страны, комплексе ГТО и т.д.



Рис. 2. Схема реализации политики КСО на данный момент



Рис. 3. Предлагаемая схема реализации политики КСО

На рис. 3 показано схематичное изображение предлагаемого варианта реализации КСО в компании ОАО «Газпром нефтехим Салават».

Для обеспечения качественной политики КСО в ОАО «Газпром нефтехим Салават» требуется предпринять ряд мер, направленных на разработку методов контроля и долгосрочного планирования программ КСО. Решением послужит создание общего комитета по программам социальной ответственности, в обязанности которого должны входить:

- согласование и утверждение стратегии в области корпоративной ответственности;
- оценка деятельности в сфере корпоративной ответственности в соответствии с установленными ключевыми показателями эффективности (КПЭ);
- анализ возникающих рисков и средств управления ими;
- информирование совета директоров об основных вопросах в области корпоративной ответственности.

В настоящее время качественный рост концепции КСО сдерживается отсутствием единого аппарата интерпретации данного явления в структуре компании. Непонимание сущности данного процесса толкает многих к выстраиванию гибридных форм КСО, что имеет мало общего с общемировыми тенденциями повышения социальной ответственности бизнеса. Хотя существуют вполне успешные практики и подходы к развитию корпоративных социальных инвестиций. Корпоративный сектор должен подходить к интерпретации корпоративной социальной деятельности как к целостной инновационной системе, позволяющей эффективно разрешать общественные проблемы, в привязке к стратегии устойчивого развития компании с целью генерирования устойчивых конкурентных преимуществ. Максимальный эффект может быть получен при выделении отдельной организационной структуры, компетенции которой заключаются в интеграции всех усилий компании по реализации социально-ориентированно-

го сценария развития. Только при реальном включении принципов КСО в управленческую рутину и постоянной работе над социальным позиционированием можно добиться положительных результатов.

Список литературы

1. Бикметов А.Г. О методах управления персоналом на примере ОАО «Газпром Нефтехим Салават» [Текст] / Бикметов А.Г., Малышева О.С., Хафизов А.М., Капустин Г.В. // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–5. – С. 992–995.
2. Кузнецов Д.Л. Экономическое обоснование разработки программы диагностирования змеевиков трубчатых печей / Д.Л. Кузнецов, О.С. Малышева, А.М. Хафизов // Интеграция науки и образования в вузах нефтегазового профиля – 2016: материалы Международной научно-методической конференции / редкол.: Н.Г. Евдокимова и др. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. – С. 342–344.
3. Малышева О.С. Управление проектами: учебное пособие [Текст] / Авт.-сост. О.С. Малышева, Т.М. Левина. – Уфа: РИЦ УГНТУ, 2014. – 67 с.
4. Хафизов А.М. Проблемы корпоративной социальной ответственности в области экологии на примере ПАО «Газпром» [Текст] / А.М. Хафизов, О.С. Малышева, А.И. Самошкин, Я.Ф. Хабирова // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 6–2. – С. 480–484.
5. Хафизов А.М. Разработка технологии управления кадровым резервом на примере ПАО «Газпром Нефтехим Салават» [Текст] / А.М. Хафизов, О.С. Малышева, С.В. Волков, Р.И. Дятлов / Фундаментальные исследования. – 2016. – № 10–2. – С. 430–434.
6. Юхин Е.Г. Разработка виртуального тренажера-имитатора работы трубчатой печи для повышения профессио-

нальных навыков сотрудников предприятий нефтегазовой отрасли / Е.Г. Юхин, Н.А. Кошелев, А.М. Хафизов, О.С. Малышева // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 12–5. – С. 970–974.

References

1. Bikmetov A.G. O metodah upravlenija personalom na primere OAO «Gazprom Neftehim Salavat» [Tekst] / Bikmetov A.G., Malysheva O.S., Hafizov A.M., Kapustin G.V. / Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 12–5. pp. 992–995.
2. Kuznecov D.L. Jekonomicheskoe obosnovanie razrabotki programmy diagnostirovanija zmeevikov trubchatyh pechej / D.L. Kuznecov, O.S. Malysheva, A.M. Hafizov // Integracija nauki i obrazovanija v vuzah neftegazovogo profilja 2016: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-metodicheskoy konferencii / redkol.: N.G. Evdokimova i dr. Ufa: Izd-vo UGNTU, 2016. pp. 342–344.
3. Malysheva O.S. Upravlenie proektami: uchebnoe posobie [Tekst] / Avt.-sost. O.S. Malysheva, T.M. Levina. Ufa: RIC UGNTU, 2014. 67 p.
4. Hafizov A.M. Problemy korporativnoj socialnoj otvetstvennosti v oblasti jekologii na primere PAO «Gazprom» [Tekst] / A.M. Hafizov, O.S. Malysheva, A.I. Samoshkin, Ja.F. Habirova // Fundamentalnye issledovanija. 2016. no. 6–2. pp. 480–484.
5. Hafizov A.M. Razrabotka tehnologii upravlenija kadrovym rezervom na primere PAO «Gazprom Neftehim Salavat» [Tekst] / A.M. Hafizov, O.S. Malysheva, S.V. Volkov, R.I. Djatlov / Fundamentalnye issledovanija. 2016. no. 10–2. pp. 430–434.
6. Juhin E.G. Razrabotka virtualnogo trenazhera-imitatora raboty trubchatoy pechi dlja povyshenija professionalnyh navykov sotrudnikov predpriyatij neftegazovoj otrasli / E.G. Juhin, N.A. Koshelev, A.M. Hafizov, O.S. Malysheva // Fundamentalnye issledovanija. 2015. no. 12–5. pp. 970–974.

О ПРОБЛЕМАХ НАЛОГОВОЙ ПОЛИТИКИ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Цапулина Ф.Х., Казакова Н.Ю., Герасимова И.Н.

ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Чебоксары,
e-mail: fair300161@mail.ru, peleny@rambler.ru, geraidada_1966@mail.ru

Происходящие в агропромышленном комплексе России радикальные преобразования и динамичные изменения экономической ситуации являются основой для научной разработки системной трансформации эффективной налоговой политики на основе имеющихся теоретических, методологических и практических исследований. Проблема оптимизации и нахождения приоритетных направлений действующих расходных обязательств федерального бюджета по оказанию государственной поддержки развитию агропромышленного комплекса предлагается к разрешению через проведение рациональных налоговых стимулов для отечественных товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции. Как показал анализ теории и практики налогообложения в сельском хозяйстве, стимулирующая роль государственного налогового механизма существенно превалирует над фискальной функцией пополнения бюджета страны. Исследование современной системы аграрного налогообложения Российской Федерации определило, что сельское хозяйство в силу своей специфики не может существовать без поддержки государства. Важнейшим инструментом участия государства в регулировании и поддержке сельского хозяйства, обеспечении устойчивости развития производства и сельской местности является система налогообложения. Учитывая, что пополнение отечественного бюджета невозможно без налоговых поступлений, нужно использовать лояльную систему налогообложения. К числу основных стимулирующих налоговых мер на селе можно отнести: снижение налогового бремени и формирование благоприятного инвестиционного климата в агропромышленном комплексе.

Ключевые слова: система налогообложения АПК, эффективность налоговой политики, единый сельскохозяйственный налог, земельный налог, налоговые стимулы сельхозпроизводителям

ABOUT PROBLEMS OF TAX POLICY OF AGROINDUSTRIAL COMPLEX OF RUSSIA

Tsapulina F.Kh., Kazakova N.Yu., Gerasimova I.N.

Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, e-mail: fair300161@mail.ru,
peleny@rambler.ru, geraidada_1966@mail.ru

Occurring in the Russian agro-industrial complex radical transformation and dynamic change in economic conditions are the basis for the scientific development of systemic transformation in the effective tax policy on the basis of existing theoretical, methodological and practical research. The problem of optimization and finding priorities of the current spending obligations of the federal budget to provide state support for the development of agro-industrial complex is proposed to resolve through the conduct of rational tax incentives for domestic producers of agricultural products. As the analysis of the theory and practice of taxation in agriculture, boosting the role of the state tax mechanism significantly prevails over the fiscal function of replenishing the country's budget. The study of modern agricultural tax system of the Russian Federation has determined that agriculture because of their nature can not exist without government support. The most important instrument of the state's participation in the regulation and support of agriculture, ensuring the sustainability of the production and the countryside is the system of taxation. Given that the completion of the national budget is impossible without tax revenues, it is necessary to use a loyal tax system. The main incentive of tax measures in rural areas are: reducing the tax burden and create a favorable investment climate in agriculture.

Keywords: APC Tax System, taxation efficiency of fiscal policy, a single agricultural tax, land tax, tax incentives to agricultural producers

Сельское хозяйство имеет существенное значение в экономической системе любого государства. Особенно актуален такой тезис в эпоху проблемы обеспечения продовольственной безопасности, непосредственно связанной с национальными интересами. В российской экономике аграрный сектор также занимает солидную нишу. Санкционная политика Европейского союза доказала эффективность политики «импортозамещения» и развитие устойчивой макроэкономической стабилизации Российской Федерации.

Все это обуславливает поиск новых рычагов развития сельского хозяйства, среди

которых немаловажную роль играют фискальные механизмы. Как свидетельствует опыт, государственные структуры почти всегда активно вмешиваются в особые условия налогообложения, налоговые льготы аграрного сектора экономики. Для России, которая исторически является аграрным государством, актуальны поиски действенных инструментов налоговой политики. При разработке налоговых стимулов современного отечественного АПК необходим учет лучшего из зарубежного опыта ряда стран.

По данным исследования существующих систем налогообложения аграрных

видов деятельности можно констатировать то, что проблемам налогового стимулирования деятельности сельхозпроизводителей уделялось и уделяется много внимания как зарубежными, так и отечественными учёными. К примеру, в развитых странах вопросы аграрного налогообложения изложены в работах Дж. Беккера, Н. Стерна, Б. Хилла, Дж.А. Хорнера и др. [3]. В точках зрения перечисленных экономистов красной нитью проходит мысль о предоставлении определённых льгот для определённых сельхозпроизводителей. Отечественные разработки по налоговой политике в аграрном секторе представлены в трудах М. Борисова, А. Брызгалина, Е. Евстигнеева, В. Панскова, М. Романовского, Д. Черника, Т. Юткиной и др. [3].

Несмотря на наличие определённых подходов к действующим специальным режимам налогообложения, на постоянные реформы, налоговая политика аграрного сектора российской экономики нуждается в определённой разработке соответствующих налоговых стимулов для сельхозпроизводителей. Происходящие в агропромышленном комплексе России радикальные преобразования, динамичные изменения экономической ситуации являются основой для научной разработки системной трансформации налоговой политики на основе имеющихся теоретических и методологических исследований.

Целью данной научной работы является оценка эффективности налоговой политики для успешного развития агропромышленного комплекса. Для реализации поставленной цели определены следующие задачи:

- обобщение теории и практики аграрного налогообложения;
- оценка экономического эффекта специального налогового режима для отечественных сельхозпроизводителей;
- необходимость применения налоговых льгот для экономического роста АПК России;
- разработка налоговых инструментов аграрной политики нашего государства.

Предметом исследования обозначена действующая система налоговых отношений отечественных сельхозпроизводителей.

Разрешая поставленные задачи исследования, во-первых, необходимо отметить, что «сложившиеся в государстве налоговые отношения отражаются в налоговой политике, задача которой состоит в обеспечении финансовыми ресурсами самого государства, создании благоприятных условий для увеличения эффективности национальной экономики и повышения уровня жизни населения» [11]. С другой стороны, система

аграрного налогообложения тесно связана с такими особенностями сельскохозяйственного производства, как зависимость от природных условий, сезонность, невысокий и нерегулярный уровень доходности, которые, в свою очередь, влияют на эффективность аграрного сектора экономики.

Как показал анализ теории и практики налогообложения в сельском хозяйстве, стимулирующая роль государственного налогового механизма существенно превалирует над фискальной функцией пополнения бюджета страны.

Инструменты аграрной налоговой политики призваны реализовывать следующие цели:

1. Оказание финансовой помощи для определённых групп налогоплательщиков.
2. Создание экономических стимулов для инвестиций в основной капитал и развитие отдельных видов земледелия.
3. Сокращение расходов на налоговое администрирование за счёт упрощения процесса сбора налогов [13].

Таким образом, отечественная налоговая политика в сельском хозяйстве должна использовать весь потенциал налоговых инструментов в целях реализации Дорожной карты развития сельского хозяйства России до 2020 г. [5], по которой установлен переход от ретроспективного планирования на основе уже достигнутых результатов к планированию, основанному на оценке реальных производственных возможностей отечественного аграрного сектора и емкости рынка продуктов питания.

Для реализации этого принципа необходимо также изменение положений Доктрины продовольственной безопасности России. А именно, необходимо существенное повышение целевого уровня самообеспечения нашей страны продуктами питания так, чтобы даже в случае неурожая, вызванного климатическими факторами, Россия сохраняла независимость от импорта продовольствия из других стран [5].

В Дорожной карте меры отечественной аграрной политики выделены в три основных блока:

- 1) меры, направленные на развитие внутреннего рынка сбыта;
- 2) стимулирование производства;
- 3) развитие экспорта [5].

ЕСХН, то есть единый сельскохозяйственный налог – это один из элементов такой государственной налоговой политики. Анализ эффективности данного налога показал следующее. ЕСХН в 2015 г. применяли чуть менее 100 тыс. хозяйствующих субъектов: почти 75 тыс. ИП и крестьянских (фермерских) хозяйств и около

24 тыс. организаций. Учитывая, что почти треть населения РФ проживает в сельской местности, а к плательщикам ЕСХН относятся еще и рыболовецкие предприятия, это совсем немного [14]. Результаты нашего исследования такой «непопулярности» специального налогового режима сельхозпроизводителей определили, что необходимо на законодательном уровне включить в понятие «производители сельхозпродукции» не только производителей данной продукции, но и перерабатывающие производства.

Следующей рекомендательной мерой по развитию стимулирующей роли ЕСХН является нивелирование такого действующего в настоящее время ограничения: не менее 70% от их общего дохода должен составлять доход от реализации произведенной продукции сельхозпроизводителями. Как показал анализ практики налоговых режимов, предприниматели, работающие в сельском хозяйстве, вынуждены выбирать схожий льготный режим без таких ограничений – это упрощенная система налогообложения или УСН с формулой, или налоговой базой: «доходы минус расходы», налоговая ставка при которой составляет 6%. Для анализа налоговой нагрузки сравним налоговую базу, объектом налогообложения которых являются полученные «доходы». В этом налоговом режиме также действует ставка 6%. Но, несмотря на это, налоговая ставка на ЕСХН и на УСН по критерию «Доходы» одинакова, но налоговая база на УСН «Доходы» больше, так как не учитывает произведенные расходы, а значит, будет больше и налог к уплате [14]. Сопоставить ЕСХН по налоговой нагрузке можно только с УСН «Доходы минус расходы» (при условии минимально возможной ставки в 5%, которая применяется далеко не во всех регионах) [2]. Ну а сравнивать ЕСХН с ОСНО даже не стоит – налоговая ставка последней при схожей налоговой базе выше в три с лишним раза, и это без учета необходимости платить НДС.

Таким образом, вывод можно сделать однозначный: единый сельскохозяйственный налог – это режим очень выгодный налогоплательщику-сельхозпроизводителю, если он соответствует установленным законодательством требованиям [14].

Эффективность налоговой политики следует анализировать и по способам предоставления налоговых льгот по земельному налогу. По нашему мнению, следует учитывать опыт ряда стран, в которых земли сельскохозяйственного назначения полностью исключаются из налогообложения. Также, следуя этому опыту, земли, на которых осуществляются инвестиции (при-

родоохранные, дренажные, ирригационные работы), должны временно освобождаться от налогов. Льготный подход к налогообложению земли в аграрном секторе экономики формируется прежде всего так, что ставка налога на земли сельскохозяйственного назначения намного ниже налоговой ставки на так называемые «несельскохозяйственные» земли. Отметим, что большинство мировых стран (Венгрия, Дания, Испания) не превышают размер земельного налога в 1%, а в отдельных государствах (Великобритания, Нидерланды) он и вовсе отсутствует.

В странах Евросоюза земля облагается налогом в рамках налога на имущество и налогом на прирост капитала. В Нидерландах, Бельгии и Польше земли сельскохозяйственного назначения выведены из-под обложения налогом на прирост капитала, освобождены от налога на имущество в течение первых пяти лет сельскохозяйственные земли в Чехии, Нидерландах. В некоторых странах, например, в Дании, применяются более низкие ставки по земельному налогу.

В нашей стране земельный налог с момента введения в действие федеральным законом РФ «О плате за землю» от 11.10.1991 г. так же, как и в зарубежных странах, был предназначен стимулировать рациональное использование земель, их охрану и освоение, повышение плодородия почв, создание одинаковых социально-экономических условий хозяйствования на землях разного качества, развитие инфраструктуры в сельской местности. Следует отметить, что на долю земельного налога приходится около 6% от общей суммы налогов, начисленных сельскохозяйственными производителями [6].

Современный земельный налог в нашем государстве действует как местный, и его ставки определяются муниципальными органами власти. Размеры налоговой ставки варьируются от 0,3% до 0,5% от кадастровой стоимости земельных участков в зависимости от типа земельных угодий. Например, в Чувашской Республике согласно нормам Налогового кодекса РФ [2] и решению Чебоксарского городского Собрания депутатов Чувашской Республики [8] земельный налог определен в размере 0,3%. Стимулирующая роль данного налога и действие специального налогового режима для сельхозпроизводителей ярко проявляется в следующих результатах деятельности республики. Так, в 2015 г. окончательные итоги уборки урожая основных сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий Чувашии показали увеличение валового сбора зерна (на 0,3% к 2014 г.), картофеля (на 20,6% к 2014 г.),

овощей открытого и закрытого грунта (на 4,7% к 2014 г.) [1]. Развитие сельского предпринимательства Чувашии можно проиллюстрировать и такими положительными показателями: на 1 января 2016 г. поголовье скота и птицы в крестьянских (фермерских) хозяйствах и у индивидуальных предпринимателей увеличилось в среднем на 10% относительно 1 января 2015 г. [1].

Проведенный анализ налоговых льгот показал, что наши граждане, впервые организующие крестьянские (фермерские) хозяйства, освобождаются от уплаты земельного налога в течение пяти лет с момента предоставления им земли. Кроме того, с 2015 г. индивидуальные предприниматели аграрного сектора экономики перешли на упрощенный порядок составления налоговой декларации. Как следствие, происходит перестройка государственных институтов землевладения и землепользования к эффективному регулированию земельного рынка. Однако «налоговое администрирование земельных участков является достаточно сложным ввиду многообразия отношений и сделок, связанных с землей» [7]. Как следствие этого, весьма сложным и зачастую запутанным, противоречивым является налоговый (бухгалтерский) учет земельного налога для сельхозпроизводителей.

Исследование современной системы аграрного налогообложения Российской Федерации показало, что сельское хозяйство в силу своей специфики не может существовать без поддержки государства. Важнейшим инструментом участия государства в регулировании и поддержке сельского хозяйства, обеспечении устойчивости развития производства и сельской местности является система налогообложения [12].

Учитывая, что пополнение государственного бюджета невозможно без налоговых поступлений, нужно использовать лояльную систему налогообложения. В частности, по Федеральному закону от 02.10.2012 г. № 161-ФЗ была утверждена бессрочная нулевая ставка по налогу на прибыль организаций для сельскохозяйственных товаропроизводителей [9]. Ранее налоговая ставка по налогу на прибыль для сельхозпроизводителей, не перешедших на систему налогообложения для сельскохозяйственных товаропроизводителей (единый сельскохозяйственный налог – ЕСХН), в 2004–2012 гг. составляла 0%, в 2013–2015 гг. – 18%; начиная с 2016 года – 20%. Федеральный закон № 161-ФЗ также установил льготную налоговую ставку по налогу на добавленную стоимость (НДС) в размере 10% при ввозе на территорию России семенного материала и эмбрионов отдель-

ных видов племенного скота для сельхозпроизводителей [9]. Применение пониженной ставки НДС для сельхозпроизводителей в 2013–2015 гг. позволило получить дополнительные средства в размере 75,4 млрд рублей, т.е. по 25 млрд рублей ежегодно. Что касается фермеров, то по налоговым преференциям этого закона они получили ежегодно по 455 млн рублей. Следующий пример весомой, на наш взгляд, господдержки АПК: с 1 января 2017 г. ЕСХН смогут применять также организации и ИП, оказывающие услуги вспомогательной деятельности в области производства сельскохозяйственных культур и послеуборочной обработки сельскохозяйственной продукции [10].

Таким образом, наше государство снижает налоговую нагрузку на сельскохозяйственных товаропроизводителей, но всё-таки господдержка относительно АПК явно недостаточна. В настоящее время единый сельхозналог (ЕСХН) установлен из расчета 6% от доходов фермерского или крестьянского хозяйства, уменьшенных на величину расходов. Кроме этого он заменяет собой налог на прибыль (или на доходы физических лиц), а также налог на имущество и НДС. И как раз в этом случае и возникает правовая нестыковка. Перерабатывающие и торгово-закупочные организации при приобретении сельскохозяйственной продукции у сельскохозяйственных товаропроизводителей, применяющих ЕСХН, не могут принять к вычету НДС, так как плательщики ЕСХН не являются плательщиками НДС и не выделяют его в стоимости своей продукции. Поэтому следует дать возможность плательщикам ЕСХН одновременно быть и плательщиками НДС. Первый налог в этом случае будет исчисляться по пониженной ставке от нуля до 3%, а определение ее размера нужно возложить на региональные власти. Причем положительный эффект инициативы для бюджета уже подсчитан. «По расчетам Минсельхоза России, произведенным по данным отчетности ФНС России за 2015 год, бюджет может получить дополнительно за счет уплаты НДС до 26,6 миллиарда рублей», – уверяет пояснительная записка [4]. Польза для фермеров тоже есть, многим хозяйствам такая схема может оказаться выгодна: им возместят НДС, уплаченный при приобретении оборудования [4]. Итак, инвестиций в сельское хозяйство можно добиться, реализуя регулируемую и стимулирующую функции налоговой политики, а не только фискальную. К числу основных стимулирующих налоговых мер на селе можно отнести: снижение налогового бремени и формирование благоприятного инвестиционного климата в аг-

ропромышленном комплексе. Наши рекомендации для формирования эффективной налоговой политики в агропромышленном комплексе следующие:

1. Упрощение системы бухгалтерского учёта и налоговой отчётности для сельхозпроизводителей.

2. Уменьшение ставки ЕСХН в первые три года сельскохозяйственной деятельности.

3. Льготное налогообложение для аграриев, инвестирующих в развитие сельского хозяйства.

4. Перенос убытков деятельности на будущие периоды на срок не менее 10 лет.

5. Льготное налогообложение при привлечении инвестиционных и инновационных проектов.

6. Расширение льгот региональными властями с учётом региональных особенностей ведения сельского хозяйства.

7. Льготный режим при осуществлении природоохранных мероприятий.

8. Применение повышающих амортизационных коэффициентов при инвестировании в новые проекты.

По нашему мнению, при разработке государственной налоговой политики следует учитывать, что «связь между экономикой региона и поступлениями налогов очень велика. Чем более развита региональная экономика, тем больше доходы организаций, расположенных на его территории, а соответственно, и населения. Отсюда больше отчислений в региональный и местные бюджеты. Это, в свою очередь, увеличивает инвестиции в развитие инфраструктуры региона, что делает данный регион более привлекательным для ведения экономической деятельности и притока капиталов» [11].

Проблемы оптимизации и нахождения приоритетных направлений действующих расходных обязательств федерального бюджета по оказанию государственной поддержки развитию сельского хозяйства, а также внедрению дополнительных мер по стимулированию экономического роста в агропромышленном комплексе определены в таких официальных и программных документах, как:

1. Основные направления бюджетной политики на 2016 год и плановый период 2017 и 2018 годов;

2. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года;

3. Послание Президента Российской Федерации В.В. Путина Федеральному Собранию от 3 декабря 2015 года.

Применяемые налоговые льготы и преференции многочисленны, но требуется их систематизировать и оптимизировать с точ-

ки зрения долгосрочной стратегии развития государства, уровня налоговой нагрузки на субъекты АПК.

Таким образом, важнейшим инструментом участия государства в регулировании и поддержке сельского хозяйства, обеспечении устойчивости развития производства и сельской местности является система налогообложения. Эффективность отечественной налоговой политики в агропромышленном секторе экономики в настоящее время подтверждается значительными успехами сельхозпроизводителей России в деле продовольственной безопасности России. Поэтому меры налогового администрирования нашего государства также должны быть не только экономически обоснованы и аргументированы с точки их эффективности, но и последовательны и своевременны.

Список литературы

1. Валовый региональный продукт [Электронный ресурс] «Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Чувашской Республике – Чувашии» / – сайт – URL: /www.chuvash.gks.ru.

2. Глава 26.1. Система налогообложения для сельскохозяйственных товаропроизводителей (единый сельскохозяйственный налог). Налоговый кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]. Кодексы и законы РФ-сайт: URL: http://kodeks.systems.ru/nk_rf/nk_glava26_1/ (дата обращения: 15.07.2016 г.).

3. Гончаренко Г.А. Система налогообложения в сельском хозяйстве России в современных условиях [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. экон. наук (08.00.05; 08.00.10) / Гончаренко Галина Александровна; МГУ им. М.В. Ломоносова. – М., 2010 – 26 с.

4. Добровольный налог. Фомченков Т. [Текст] / Т. Фомченков // Российская газета – Федеральный выпуск № 7055 (187) // URL: <https://rg.ru/2016/08/22/fermeram-dadut-pravodobvolno-platit-nds.html> (дата обращения: 31.08.2016).

5. Дорожная карта развития сельского хозяйства России до 2020 года // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://partyadela.ru>.

6. Касторнов Н. Механизм налогообложения в системе государственного регулирования АПК // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2007. – № 2. С. 46–47.

7. Миронова О.А., Ханафеев Ф.Ф. Налоговое администрирование: учебник для студентов вузов, обучающихся по профилям направления «Экономика» и специальностям «Налоги и налогообложение», «Экономическая безопасность». – Йошкар-Ола: ООО «Стринг», 2013. – 418 с.

8. Решение Чебоксарского городского Собрания депутатов Чувашской Республики от 10 июня 2004 г. № 1287// [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://base.garant.ru/17501975/#ixzz4L3J5fWZh> (дата обращения: 28 августа 2016 года).

9. Федеральный закон от 2 октября 2012 г. N 161-ФЗ «О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации и признании утратившими силу отдельных положений законодательных актов Российской Федерации». Информационно-правовой портал «Гарант» // [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: www.garant.ru.

10. Федеральный закон от 23 июня 2016 г. № 216-ФЗ «О внесении изменений в статьи 346.2 346.3 части второй Налогового кодекса Российской Федерации». Информационно-

правовой портал «Гарант» // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: www.garant.ru

11. Цапулина Ф.Х., Александрова Н.В., Селиванов И.М. Налоговая политика государства: региональные особенности: монография. – Чебоксары: 2014. – 336 с. С. 17.

12. Царегородцев Е.И., Сайранова М.В. Экономический потенциал социально-экономических систем региона: монография. – Йошкар-Ола, 2015. – 178 с.

13. Taxation and Security in Agriculture// OECD. – 2005. – 126 p. P. 16.

14. ЕСХН – единый сельхозналог 2016. Сайт «1Старт». URL: <http://www.regberry.ru/nalogooblozhenie/ESHN> (дата обращения: 12.07.2016).

References

1. Valovyy regionalnyy produkt [Elektronnyy resurs] «Territorialnyy organ Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Chuvashskoy Respublike Chuvashii» / sayt URL: www.chuvash.gks.ru.

2. Glava 26.1. Sistema nalogooblozheniya dlja sel'skhozjajstvennyh tovaroproizvoditelej (edinyj sel'skhozjajstvennyj nalog). Nalogovyy kodeks Rossijskoj Federacii [Elektronnyy resurs]. Kodeksy i zakony RF-sajt; URL: http://kodeks.systems.ru/nk_rf/nk_glava26_1/ (data obrashhenija: 15.07.2016 g).

3. Goncharenko G.A. Sistema nalogooblozheniya v sel'skom hozjajstve Rossii v sovremennyh uslovijah [Tekst]: avtoref. dis. na soisk. uchen. step. kand. jekon. nauk (08.00.05; 08.00.10) / Goncharenko Galina Aleksandrovna; MGU im. M.V. Lomonosova. M., 2010 26 p.

4. Dobrovolnyj nalog. Fomchenkov T. [Tekst] / T. Fomchenkov // Rossijskaja gazeta Federalnyj vypusk no. 7055 (187) // URL: <https://rg.ru/2016/08/22/fermeram-dadut-pravo-dobrovolno-platit-nds.html> (data obrashhenija: 31.08.2016).

5. Dorozhnaja karta razvitiya sel'skogo hozjajstva Rossii do 2020 goda // [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: URL: <http://partyadela.ru>.

6. Kastornov N. Mehanizm nalogooblozheniya v sisteme gosudarstvennogo regulirovanija APK // Jekonomika sel'skhozjajstvennyh i pererabatyvajushhih predpriyatij. 2007. no. 2. pp. 46–47.

7. Mironova O.A., Hanafeev F.F. Nalogovoe administrirovanie: uchebnik dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po profiljam napravlenija «Jekonomika» i specialnostjam «Nalogi i nalogooblozhenie», «Jekonomicheskaja bezopasnost». Joshkar-Ola: ООО «String», 2013. 418 p.

8. Reshenie Cheboksarskogo gorodskogo Sobranija deputatov Chuvashskoj Respubliki ot 10 ijunja 2004 g. no. 1287// [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: URL: <http://base.garant.ru/17501975/#ixzz4L3J5fWZh> (data obrashhenija: 28 avgusta 2016 goda).

9. Federalnyj zakon ot 2 oktjabrja 2012 g. N 161-FZ «O vnesenii izmenenij v chast' vtoruju Nalogovogo kodeksa Rossijskoj Federacii i priznanii utrativshimi silu otdelnyh polozhenij zakonodatelnyh aktov Rossijskoj Federacii». Informacionno-praovoj portal «Garant» // [Elektronnyj resurs] Rezhim dostupa: URL: www.garant.ru.

10. Federalnyj zakon ot 23 ijunja 2016 g. no. 216-FZ «O vnesenii izmenenij v stati 346.2 346.3 chasti vtoroj Nalogovogo kodeksa Rossijskoj Federacii». Informacionno-praovoj portal «Garant» // [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: URL: www.garant.ru

11. Capulina F.H., Aleksandrova N.V., Selivanov I.M. Nalogovaja politika gosudarstva: regionalnye osobennosti: monografija. Cheboksary: 2014. 336 p. pp. 17.

12. Caregorodcev E.I., Sajranova M.V. Jekonomicheskij potencial socialno-jekonomicheskikh sistem regiona: monografija. Joshkar-Ola, 2015. 178 s.

13. Taxation and Security in Agriculture// OECD. 2005. 126 p. pp. 16.

14. ESHN edinyj sel'hoznaolog 2016. Sajt «1Start». URL: <http://www.regberry.ru/nalogooblozhenie/ESHN> (data obrashhenija: 12.07.2016).

УДК 338.3:658

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ

Шашло Н.В.

ФГБОУ ВО «Владивостокский государственный университет экономики и сервиса», Владивосток,
e-mail: Ninellsss@gmail.com

В статье проведено исследование основных подходов к определению сущности категории экономической безопасности предприятия. Выделены подходы – стратегический, ресурсно-функциональный, рыночный, конкурентный, гармонизированный, защитный, дедуктивный, системный, уголовный. Доказано, что целью экономической безопасности является гарантирование стабильного и максимально эффективного функционирования, экономического роста, исключение возможностей получения убытков, их предотвращение и противодействие их влиянию. Предложен комплексный подход, в рамках которого сформирована структура системы экономической безопасности предприятия, а также выделены функциональные компоненты экономической безопасности. С целью анализа угроз и их противодействия предложено проводить диагностику, включающую порядок оценивания, качественные и количественные критерии оценивания вероятности наступления угрозы и величины дестабилизирующего влияния, качественные и количественные критерии для совокупного ожидаемого критерия влияния угрозы на экономическую безопасность.

Ключевые слова: экономическая безопасность, предприятие, потенциал, ресурсы, риск, угроза, система, опасность, коммерческая тайна, стратегия, политика, противодействие

AN INTEGRATED APPROACH TO ENSURING OF THE ENTERPRISES ECONOMIC SECURITY

Shashlo N.V.

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education «Vladivostok State University of Economics and Service», Vladivostok, e-mail: Ninellsss@gmail.com

The article studied the main approaches to determination of essence of the category of economic security of the enterprise. The following approaches are allocated: strategic, resource and functional, market, competitive, harmonized, protective, deductive, system, criminal. It is proved that the purpose of the economic security is to ensure the most stable and efficient functioning, economic growth, an exception of opportunities of receiving losses, their prevention and counteraction to their influence. It is suggested an integrated approach within which the structure of system of the enterprise economic security, as well as highlighted the functional components of the economic security. For the purpose of the analysis of threats and their counteraction it is offered to carry out diagnostics including an estimation order, qualitative and quantitative criteria of estimation of probability of approach of threat and size of the destabilizing influence, qualitative and quantitative criteria for the cumulative expected criteria of threat on the economic security.

Keywords: economic security, enterprise, potential, resources, risk, threat, system, danger, trade secret, strategy, policy, counteraction

Разновекторная направленность исследований категории экономической безопасности способствовала развитию научного направления под названием «экосистейт», объектом исследования которого является безопасность государства, общества, регионов, предприятий и граждан. Среди многообразия комплексных экономических категорий экономическая безопасность предприятия имеет важное значение, поскольку является характеристикой способности предприятия к эффективной деятельности, развитию, экономической устойчивости и конкурентоспособности.

Цель исследования состоит в разработке комплексного подхода к обеспечению экономической безопасности предприятий и инструментария его реализации.

Материалы и методы исследования

В процессе исследования эволюции теоретических подходов к обоснованию сущности эконо-

мической безопасности предприятия выявлено, что в большинстве работ 90-х годов безопасность рассматривалась в контексте обеспечения условий хранения коммерческой тайны [4, 8, 9]. Затем прослеживается другой подход, согласно которому экономическая безопасность исследовалась как состояние предприятия, обеспечивающее его способность противостоять воздействию неблагоприятных факторов. Значительное количество трактовок данной категории свидетельствует о незавершенности процесса теоретико-методического обоснования. Исходя из этого, нами выделены основные подходы к определению сущности экономической безопасности предприятия. А именно, стратегический – состояние защищенности предприятия от внутренних и внешних угроз [10]; ресурсно-функциональный – эффективное использование ресурсов или потенциала и выделения его функциональных составляющих; рыночный – эффективное использование ресурсов для обеспечения рыночного развития предприятия [7]; конкурентный – наличие конкурентных преимуществ [6]; гармонизированный – достижение пропорциональности и согласованности характеристик элементов системы; защитный – защита экономических интересов предприятия;

дедуктивный – состояние предприятий, свободное от беспокойства; системный – обеспечение сохранности, равновесия и устойчивости предприятия; уголовный – защита от экономических преступлений. Анализируя подходы к определению категории «экономическая безопасность предприятия», можно отметить, что подавляющее их большинство отражает несколько векторов: первый – «защитный» – базируется на использовании понятия угрозы, второй – «ресурс-

но-функциональный» – эффективное использование ресурсов или потенциала, третий «доходный» – получение прибыли. Наиболее часто используемые – защитный и ресурсно-функциональный, это обусловлено тем, что экономическая безопасность предприятия понимается как состояние защищенности от угроз, ресурсное обеспечение является обязательным условием функционирования и основой для обеспечения экономической безопасности.

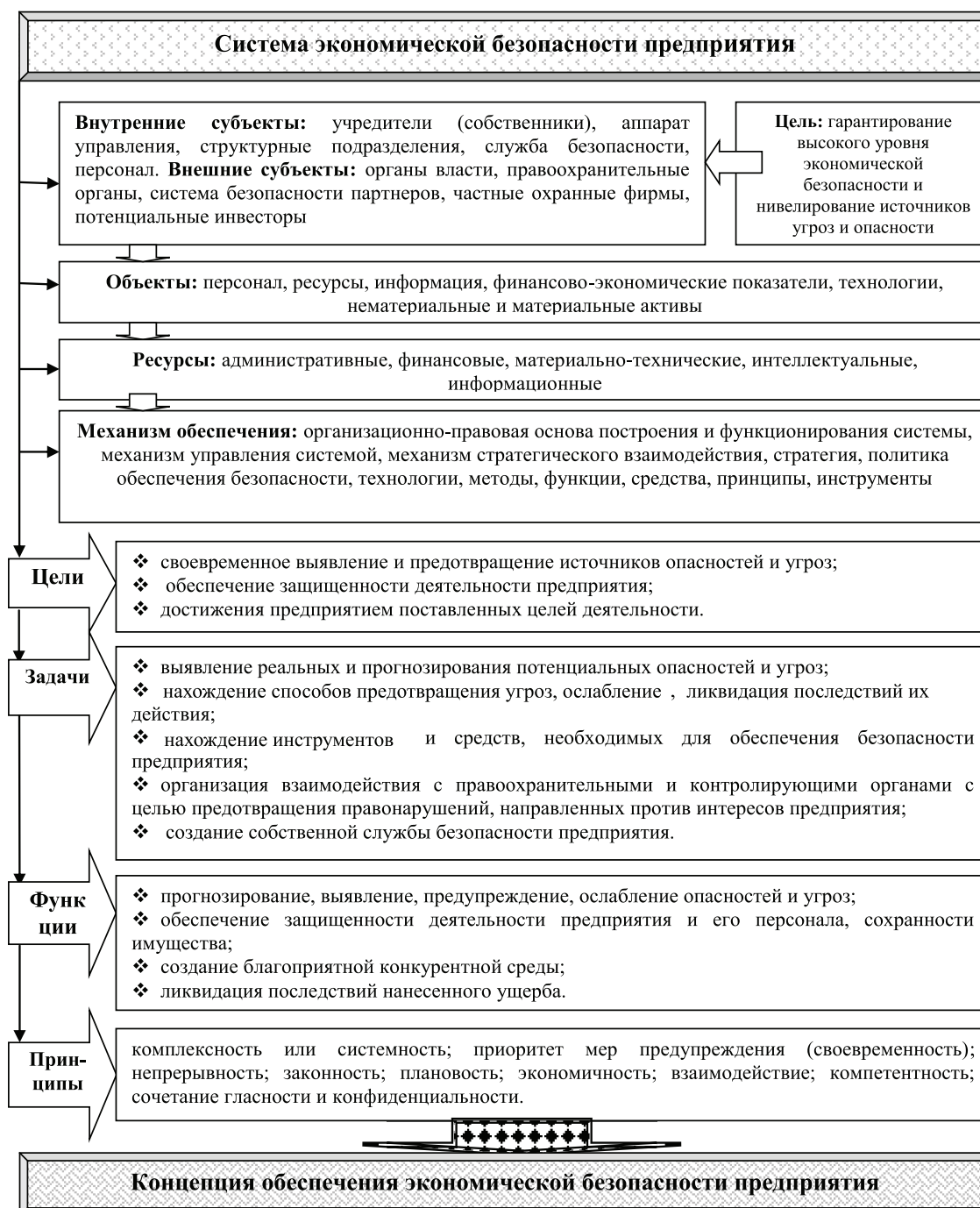


Рис. 1. Система экономической безопасности предприятия

Таким образом, экономическая безопасность предприятия – это такое состояние развития предприятия, при котором гарантируется и обеспечивается наиболее эффективное использование и развитие всех видов ресурсов и составляющих потенциала, что способствует стабильности экономического и финансового развития, эффективности нейтрализации, предотвращения и противодействия внутренним и внешним факторам с целью достижения стратегической миссии предприятия. Экономическая безопасность отражает уровень жизнеспособности предприятия в течение периода жизненного цикла функционирования, уровень экономической эффективности деятельности, состояние защищенности от внешних и внутренних рисков.

Результаты исследования и их обсуждение

В эпоху информационной постиндустриальной экономики необходимостью для предприятий является обеспечение экономической безопасности путем управления, что требует создания собственной системы безопасности, целями функционирования которой является своевременное выявление и предотвращение опасностей и угроз, а также обеспечение достижения стратегических и тактических целей деятельности. Реализация целей осуществляется на основе решения комплекса задач, среди которых – выявление реальных и прогнозирование потенциальных опасностей и угроз, нахождение способов их предотвращения, ослабления или ликвидации последствий их воздействия, анализ сил и средств, необходимых для обеспечения безопасности. Данной позиции придерживаются множество ученых [3, 4, 5].

Системный подход базируется на принципе целостности объекта, то есть исследование свойств экономической без-

опасности как единого целого [1]. Наличие таких свойств обусловлено результатом возникновения между элементами синергетической связи, которая при совместном взаимодействии отдельных элементов системы обеспечивает общий эффект, больший, чем сумма эффектов элементов, функционирующих независимо друг от друга. Создание системы осуществляется за счет структуры взаимосвязей между составляющими. Поэтому систему экономической безопасности предприятия мы рассматриваем как неотъемлемую часть системы управления, направленную на противодействие внешним и внутренним угрозам функционирования предприятия (рис. 1). Структурными компонентами системы экономической безопасности предприятий являются субъекты системы, ресурсы, организационно-правовая основа построения и функционирования системы экономической безопасности, механизмы управления системой, механизмы стратегического взаимодействия, технологии, методы и средства обеспечения экономической безопасности. Поскольку экономическая безопасность находится в плоскости обеспечения жизнеспособности предприятия, то управление экономической безопасностью должно включать подсистемы всех уровней управления. А это требует создания эффективной системы управления экономической безопасностью, которая заключается в оценке и прогнозировании не только финансово-экономического состояния, но и динамики влияния внешних факторов, на основе чего выявляются сильные и слабые стороны предприятия, разрабатываются мероприятия по его развитию и принимаются соответствующие управленческие решения (рис. 1).

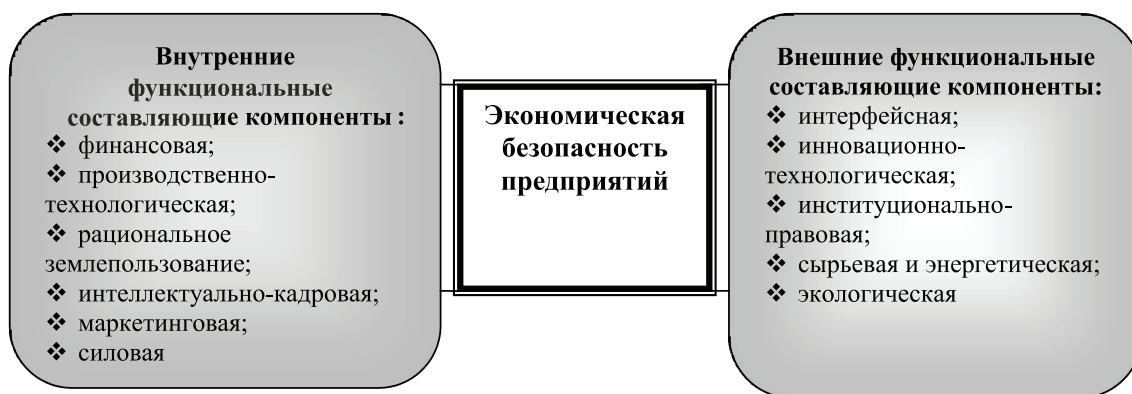


Рис. 2. Функциональные компоненты экономической безопасности предприятий

Система экономической безопасности включает как внутреннюю составляющую (ядро), так и внешнюю составляющую (контур экономической безопасности). Внутренняя составляющая экономической безопасности – это способность предприятия так организовать свою внутреннюю структуру и внутренние взаимоотношения, чтобы максимально обеспечить собственную экономическую безопасность. Внешняя составляющая отражает способность организовать взаимодействие с внешней средой таким образом, чтобы обеспечить защиту от существующих и потенциальных угроз, реализовать возможности повышения уровня экономической безопасности (рис. 2).

Система экономической безопасности предприятия должна находиться в состоянии постоянного ожидания сигналов угрозы со стороны внешней и внутренней среды и адекватного реагирования на них. Таким образом, системой экономической безопасности можно считать организо-

ванную совокупность взаимосвязанных элементов внешней и внутренней безопасности предприятий, интеграцию функциональных подсистем, направленных на обеспечение реализации интересов предприятия, а также обеспечивающих безопасность функционирования предприятия в условиях нестабильности внешней и внутренней среды [11]. Система экономической безопасности предприятия конструируется в соответствии с разработанной политикой и стратегией обеспечения безопасности. С целью анализа угроз и их противодействия [2] целесообразно проводить диагностику, включающую порядок оценивания, качественные и количественные критерии оценивания вероятности наступления угрозы и величины дестабилизирующего влияния (убытка), качественные и количественные критерии для совокупного ожидаемого критерия влияния угрозы на экономическую безопасность (формула 1):

$$I = \frac{K_{e1}(P_1 \times D_1) + K_{e2}(P_2 \times D_2) + \dots + K_{en}(P_n \times D_n)}{G} \quad (1)$$

I – совокупный ожидаемый критерий влияния угрозы на экономическую безопасность, имеющий градацию: незначительная угроза – 0,01–0,20; умеренная угроза – 0,21–0,50; значительная угроза – 0,51–0,80; опасная угроза – 0,81–0,1.

K_{ei} – весовой коэффициент мнения эксперта от 1 до 0, сумма всех весовых коэффициентов = 1.

$$\sum_{i=1}^n K_{ei} = 1, \quad (2)$$

P_i – вероятность возникновения угрозы (маловероятная угроза – 0,1–0,15, потенциальная угроза – 0,16–0,99, реальная угроза – 1); D_i – возможное дестабилизирующее влияние (незначительный ущерб – 1, умеренный ущерб – 2, значительный ущерб – 3, разрушительный ущерб – 4);

G – количество экспертов.

Формирование вывода об эффективности реализации разработанной системы экономической безопасности предприятия становится возможным при расчете интегрального качественного или количественного показателя экономической безопасности и сравнения его с плановым, нормативным. Построение системы экономической безопасности предприятия является процессом стратегического

управления, в котором учитываются угрозы и риски и разрабатываются механизмы противодействия.

Выводы

Таким образом, экономическая безопасность предприятия определяется состоянием защищенности систем при осуществлении хозяйственной деятельности; состоянием ресурсов и предпринимательских способностей; совокупностью методов, которые носят организационно-правовой, режимно-охранной, технический, технологический, экономический, финансовый и информационно-аналитический характер; состоянием социально-технологической системы, которая позволяет избежать угрозы и противостоять факторам дезорганизации с помощью структурной организации и связей менеджмента. Цель экономической безопасности – гарантирование стабильного и максимально эффективного функционирования, экономического роста, исключение возможностей получения убытков, их предотвращение и противодействие их влиянию.

Список литературы

1. Ворожбит О.Ю., Шашло Н.В. Синергетический подход в управлении маркетинговой деятельностью пред-

приятий / О.Ю. Ворожбит, Н.В. Шашло // Азимут научных исследований: экономика и управление. – 2016. – Т. 5, № 2 (15). – С. 49–52.

2. Воротынская А.М. Особенности оценки уровня экономической безопасности на современном предприятии / А.М. Воротынская // Известия Санкт-Петербургского университета экономики и финансов. – 2013. – № 2 (80). – С. 98–100.

3. Дмитриева Л.Н. Система управления экономической безопасностью предприятия: проблемы и перспективы развития / Л.Н. Дмитриева, Ю.Н. Дуванова // Экономика. Инновации. Управление качеством. – 2013. – № 3(4). – С. 125–126.

4. Экономическая безопасность Украины в условиях рыночных трансформационных процессов: моногр. / Ткаченко В.И., Богачев В.И., Н.В. Шашло [и др.]. – Луганск-Ровеньки: «Наука», 2007. – 370 с.

5. Жило П.А. О необходимости формирования системы обеспечения экономической безопасности на предприятии / П.А. Жило // Социально-экономические явления и процессы. – 2013. – № 4 (050). – С. 63–66.

6. Кузубов А.А. Основные резервы и факторы повышения конкурентоспособности агропромышленных предприятий / А.А. Кузубов // Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков. – 2013. – № 3. – С. 119–125.

7. Родионов А.В. Усовершенствование системы управления кадровым и образовательным потенциалом региона на основе процессного подхода / А.В. Родионов // Карельский научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 95–97.

8. Савина Н.В. Основные теоретические подходы к определению содержания экономической безопасности предприятия / Н.В. Савина // Человеческий капитал. – 2013. – № 1(49). – С. 131–134.

9. Сущность, роль и значение сельских домохозяйств в обеспечении продовольственной безопасности Украины: моногр. / Ткаченко В.Г., Богачов В.И., Шашло Н.В. [и др.]. – К.: Издательский дом «Виниченко», 2013. – 380 с.

10. Шашло Н.В. Маркетинговая стратегия внешнеэкономической деятельности предприятий АПК Украины / Н.В. Шашло // Научные труды SWorld. – 2007. – Т. 9, № 4. – С. 18–19.

11. Система економічної безпеки: держава, регіон, підприємство: моногр.: в 3-х т. Т.2. / Г.В. Козаченко, О.М. Ляшенко, Ю.С. Погорелов [та ін.]. – Луганськ: ТОВ «Віртуальна реальність», 2012. – 318 с.

References

1. Vorozhbit O.Ju., Shashlo N.V. Sinergeticheskij podhod v upravlenii marketingovoj dejatel'nostju predpriyatij / O.Ju. Vorozhbit, N.V. Shashlo // Azimut nauchnyh issledovanij: jekonomika i upravlenie. 2016. T. 5, no. 2 (15). pp. 49–52.

2. Vorotynskaja A.M. Osobennosti ocenki urovnja jekonomicheskoy bezopasnosti na sovremennom predpriyatii / A.M. Vorotynskaja // Izvestija Sankt-Peterburgskogo universiteta jekonomiki i finansov. 2013. no. 2 (80). pp. 98–100.

3. Dmitrieva L.N. Sistema upravlenija jekonomicheskoy bezopasnostju predpriyatija: problemy i perspektivy razvitiya / L.N. Dmitrieva, Ju.N. Duvanova // Jekonomika. Innovacii. Upravlenie kachestvom. 2013. no. 3(4). pp. 125–126.

4. Jekonomicheskaja bezopasnost Ukrainy v uslovijah rynochnyh transformacionnyh processov: monogr. / Tkachenko V.I., Bogachev V.I., N.V. Shashlo [i dr.]. Lugansk-Rovenki: «Nauka», 2007. 370 p.

5. Zhilo P.A. O neobhodimosti formirovaniya sistemy obespechenija jekonomicheskoy bezopasnosti na predpriyatii / P.A. Zhilo // Socialno-jekonomicheskie javleniya i processy. 2013. no. 4 (050). pp. 63–66.

6. Kuzubov A.A. Osnovnye rezervy i faktory povysheniya konkurentosposobnosti agropromyshlennyh predpriyatij / A.A. Kuzubov // Selskohozjajstvennye nauki i agropromyshlennyj kompleks na rubezhe vekov. 2013. no. 3. pp. 119–125.

7. Rodionov A.V. Usovershenstvovanie sistemy upravlenija kadrovym i obrazovatel'nyim potencialom regiona na osnove processnogo podhoda / A.V. Rodionov // Karelskij nauchnyj zhurnal. 2014. no. 3. pp. 95–97.

8. Savina N.V. Osnovnye teoreticheskie podhody k opredeleniju soderzhanija jekonomicheskoy bezopasnosti predpriyatija / N.V. Savina // Chelovecheskij kapital. 2013. no. 1(49). pp. 131–134.

9. Sushhnost, rol i znachenie selskih domohozjajstv v obespechenii prodovol'stvennoj bezopasnosti Ukrainy: monogr. / Tkachenko V.G., Bogachov V.I., Shashlo N.V. [i dr.]. K.: Izdatelskij dom «Vinichenko», 2013. 380 p.

10. Shashlo N.V. Marketingovaja strategija vneshnejekonomicheskoy dejatel'nosti predpriyatij APK Ukrainy / N.V. Shashlo // Nauchnye trudy SWorld. 2007. T. 9, no. 4. pp. 18–19.

11. Sistema ekonomichnoї bezpeki: derzhava, region, pidpriemstvo: monogr.: v 3-h t. T.2. / G.V. Kozachenko, O.M. Ljashenko, Ju.S. Pogorelov [ta in]. Lugansk: TOV «Virtualna realnist», 2012. 318 p.