

УДК 621.9.65.015.13

## МЕТОДЫ АВТОМАТИЗАЦИИ РАЗМЕРНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РОССИИ

<sup>1,2</sup>Масягин В.Б., <sup>1</sup>Мухолзоев А.В., <sup>2</sup>Шаимова С.Б.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Томск, e-mail: masaginvb@mail.ru;

<sup>2</sup>Омский государственный технический университет, Омск, e-mail: vsl.m@yandex.ru

Настоящая статья посвящена обзору методов автоматизации размерного анализа технологических процессов, который включает большое число сложных и трудоемких расчетно-аналитических процедур, необходимых при проектировании и анализе технологических процессов механической обработки. Рассмотрены методы И.А. Иващенко, В.В. Матвеева, В.Ю. Шамина, Б.С. Мордвинова, Ю.М. Сметанина, О.Н. Калачева, В.Б. Масягина с соавторами и модуль размерного анализа в КОМПАС-АВТОПРОЕКТ. Для каждого метода дано описание особенностей, отмечены достоинства и недостатки. В конце статьи перечислены основные направления совершенствования методов автоматизации размерного анализа технологических процессов: дальнейшее упрощение подготовки и совершенствование методов диагностики исходных данных, включение алгоритмов структурной и параметрической оптимизации, визуализация размерного анализа, совершенствование методов автоматического назначения допусков и припусков, использование более совершенных теоретических моделей размерного анализа, повышающих адекватность результатов.

**Ключевые слова:** размерная цепь, технологические размеры, допуск, припуск

## METHODS OF AUTOMATION OF THE DIMENSIONAL ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN RUSSIA

<sup>1,2</sup>Masyagin V.B., <sup>1</sup>Mukholzoev A.V., <sup>2</sup>Shaimova S.B.

<sup>1</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: masaginvb@mail.ru;

<sup>2</sup>Omsk State Technical University, Omsk, e-mail: vsl.m@yandex.ru

The present article is devoted to the review of methods of automation of the dimensional analysis of technological processes, which includes large number of complicated and labour-consuming rated-analytical procedures necessary for designing and the analysis of technological processes of machining. The methods of I.A. Ivaschenko, V.V. Matveev, V.Y. Shamin, B.S. Mordvinov, Yu.M. Smetanin, O.N. Kalachev, V.B. Masyagin et al and module of the dimensional analysis in a KOMPAS-AVTOPROEKT are considered. For each method the description of features is given, the dignities and defects are marked. In an extremity of the article the main directions of perfecting of methods of automation of the dimensional analysis of technological processes are listed: further simplification of preparation and perfecting of methods of diagnostics of basic data, inclusion of algorithms of structural and parametrical optimization, visualization of the dimensional analysis, perfecting of methods of automatic assignment of the tolerances and allowances, use of perfect theoretical models of the dimensional analysis raising adequacy of outcomes.

**Keywords:** dimensional chain, technological dimensions, tolerances, allowance

Размерный анализ технологических процессов – это совокупность большого числа сложных и трудоемких расчетно-аналитических процедур, необходимых при проектировании и анализе технологических процессов механической обработки [15]. Снижение трудоемкости размерного анализа возможно при его автоматизации. Рассмотрим методы автоматизации размерного анализа, разработанные в России.

Под автоматизацией размерного анализа понимается систематическое применение ЭВМ в процессе решения задач размерного анализа при обоснованном распределении функций между человеком и ЭВМ [2, 17]: распределение функций между человеком и ЭВМ должно быть таким, чтобы проектировщик – конструктор или технолог – решал задачи творческого характера, а ЭВМ – задачи, связанные с выполнением

нетворческих, рутинных или умственно-формальных процессов.

Одними из первых работ по автоматизации размерного анализа технологических процессов в России являются работы И.А. Иващенко с соавторами [5, 6], в которых изложен метод автоматизированного построения размерных цепей и расчета линейных и диаметральных технологических размеров. Исходные данные для расчета подготавливаются в виде таблицы с использованием предварительно составленной размерной схемы технологического процесса. Общая блок-схема алгоритма расчета линейных технологических размеров имеет линейную структуру и включает следующие этапы: ввод постоянной информации, ввод переменной информации о детали и технологическом процессе, построение размерных цепей, упорядочение (установление

последовательности решения) размерных цепей, расчет размерных цепей (определение припусков, операционных размеров и допусков). При решении задачи расчета припусков на поверхности вращения и диаметральных размеров блок-схема включает дополнительно этапы определения операционных допусков на биение обработанной поверхности относительно базирующей, построения размерных цепей биений и их проверочный расчет для проверки выполнения чертежных допусков и определения биений припусков. В дальнейшем метод был усовершенствован [6] и в него был включен расчет не только биений, но и других отклонений расположения на основе составления размерных цепей.

Метод, предложенный В.В. Матвеевым с соавторами [14, 15], включает преобразование и проверку чертежей детали и заготовки для выполнения размерного анализа. Размерный анализ начинают с преобразования чертежа и его проверки. В каждой из проекций чертежа размеры располагают горизонтально. Поэтому число проекций должно быть достаточным, чтобы это условие было выполнено. Обычно для тел вращения требуются две, а для корпусных деталей – три проекции. Однако в некоторых случаях для деталей сложной конфигурации возникает необходимость в дополнительных проекциях или сечениях. При преобразовании чертежа заготовки на контур заготовки тонкими линиями наносят чертеж детали. Отмечается, что при выполнении размерного анализа без преобразования чертежей даже у опытных проектировщиков возникают ошибки, на отыскание которых затрачивается значительно больше времени, чем на выполнение преобразованных чертежей. Ошибки, возникающие в результате размерного анализа, опасны для производства, так как ведут к значительным материальным затратам и подрывают доверие к этим методам. Кроме того, преобразование позволяет выполнять размерный анализ на ЭВМ значительно качественнее, чем без него. Следовательно, преобразование чертежей детали и заготовки является необходимым этапом размерного анализа.

В настоящее время при автоматизированном размерном анализе по методу В.В. Матвеева с соавторами используется программа В.Ю. Шамина с соавторами Visual KursAR [23]. Перед вводом в ЭВМ исходные данные для расчета кодируются на основе построенных вручную размерных схем. При кодировании указывается символ, характеризующий размерный параметр, который выступает в роли звена, и символ, характеризующий расположение

звена. При построении машиной размерных контуров разделение звеньев по проекциям осуществляется автоматически. При вводе исходных данных происходит их преобразование в форму средних значений. Для автоматического округления номиналов в процессе решения проектных задач предусмотрена подпрограмма округления. Программа предусматривает возможность расчета цепей отклонений расположения. Предусмотрено включение в программу специальной подпрограммы построения схем размерных цепей и модуля диагностики.

Таким образом, метод В.В. Матвеева с соавторами является универсальным методом, обеспечивающим не только расчет линейных и диаметральных размеров, но и всех видов отклонений расположения для деталей, как для деталей типа тел вращения, так и для корпусных деталей.

При автоматизированном расчете линейных технологических размеров по методу Б.С. Мордвинова с соавторами [16] необходимы следующие исходные данные: чертеж детали, план операций технологического процесса механической обработки, включая заготовительную операцию, схема формирования линейных технологических размеров, граф линейных размерных цепей, на котором можно без труда выявить все размерные цепи и при необходимости его оптимизировать, верхние и нижние отклонения полей допусков технологических размеров, минимальные припуски. Расчет выполняется с применением ЭВМ и включает ввод исходных данных в ЭВМ, получение предварительных результатов (уравнений размерных цепей, ожидаемых погрешностей конструкторских размеров), сравнение ожидаемых погрешностей с заданными допусками конструкторских размеров, при этом должно удовлетворяться условие обеспечения конструкторских допусков (ожидаемые погрешности должны быть не больше заданных конструкторских допусков), при нарушении которого корректируется маршрут технологического процесса механической обработки данной детали.

Метод Б.С. Мордвинова с соавторами обладает, как и методы И.А. Иващенко и В.В. Матвеева с соавторами, следующими достоинствами: уменьшение времени и повышение качества проектирования; возможность выбора наиболее эффективного варианта; уменьшение количества ошибок. Общим недостатком этих методов является наличие трудоемких ручных операций, связанных с подготовкой исходных данных: построение схемы обработки или графа.

В основе метода автоматизации размерного анализа, изложенного в работах

Ю.М. Сметанина с соавторами [20], лежит матричное представление уравнений размерных цепей. Вручную или с помощью ЭВМ формируются для дальнейших расчетов две матрицы – исходная, в которой замыкающие звенья размерных цепей (конструкторские размеры и припуски) выражены только через составляющие звенья (технологические размеры), и обратная матрица, в которой каждый технологический размер выражен только через конструкторские размеры и припуски. В этом случае никаких ограничений на систему уравнений размерных цепей не накладывает, и решение получается при любой, даже не решаемой с точки зрения других методов системе постановки технологических размеров.

Методы И.А. Иващенко, В.В. Матвеева, Б.С. Мордвинова и Ю.М. Сметанина с соавторами включают все основные этапы автоматизированного расчета размерных цепей с использованием аппарата размерных цепей, графов и матриц, и вследствие этого явились базовыми для большого числа более поздних методик [1, 3, 4, 8, 9, 19, 21].

Были сделаны попытки включить размерный анализ в системы САПР.

Метод автоматизации размерного анализа технологических процессов О.Н. Калачева [7] основывается, как и метод Б.С. Мордвинова, на применении размерной схемы и графа, но все построения ведутся на ЭВМ в диалоговом режиме в системе AutoCAD.

Исходной информацией является файл чертежа детали. Система посредством графического диалога с пользователем создает первичную модель размерных изменений непосредственно на экране исходя из конфигурации детали в порядке, обратном обработке, т.е. воссоздает поверхности заготовки в заданном координатном направлении, достраивая припуски, указывая положение размеров заготовки и технологические размеры обработки. При этом система «нагружает» размеры заготовки и технологические размеры вводимой с помощью диалоговых меню технологической информацией о методах и характере обработки, предполагаемом расположении допусков и т.п. На основе указанных пользователем-технологом границ технологических размеров и методов их получения система формирует вторичную модель размерных изменений, которая оформляется в виде списковой структуры, преобразуемой затем в матрицу исходных данных для последующего поиска состава и решения размерных цепей в программном модуле. Средством анализа модели детали, организации диалога и создания вторичной модели в AutoCAD служит язык AutoLISP.

Положительные стороны данной методики состоят в том, что исходной информацией является файл чертежа детали, и результат также сохраняется в файле в виде матрицы исходных данных для дальнейших расчетов. Недостатком является то, что все построения ведутся в диалоге с ЭВМ, и пользователю приходится самостоятельно выбирать границы размеров, припусков и назначать допуски на размеры, что требует длительного времени подготовки исходных данных для расчета линейных технологических размеров. Трудно и практически невозможно выполнить построение модели размерных для сложных деталей с наложением линий (например, внешних и внутренних поверхностей для втулки). Кроме того, программа только с ранними версиями AutoCAD и для расчетов в настоящее время используется модуль КОИ7, данные для которого могут быть подготовлены без применения AutoCAD вводом данных с размерной схемы, подготовленной вручную.

Автоматизированный расчет технологических размерных цепей в специализированном модуле программы КОИПАС-АВТОПРОЕКТ имеет следующие особенности (И. Хармац [22]). В окне модуля пользователем формируется маршрут изготовления детали в виде операционных эскизов. Запускается модуль расчета технологических размерных цепей. В окне модуля в виде дерева показывается перечень всех операций сформированного маршрута. Заполняются данные о технологическом процессе и конструкторских размерах. Готовые исходные данные можно посмотреть в файле. После запуска расчета рассчитанные данные вставляются в пустые места исходных данных. В конструкторские данные попадают данные о конструкторских биениях, которые не были указаны и которые модуль назвал сам (в настройках может быть включен учет биений). В технологические данные попадают не указанные технологическим значением (номинал, верхнее и нижнее отклонение, технологические биения). Количество итераций в расчетах может быть любое – пока результат не удовлетворит технолога. Если все результаты, полученные в результате расчета, технолога устраивают, он может приступить к написанию подробного технологического процесса. Стандартными средствами КОИПАС-АВТОПРОЕКТ технология сохраняется в архиве. Вместе с технологическим процессом в архив помещается полная размерная структура технологического процесса. При необходимости, технолог может извлечь технологический процесс из архива, изменить исходные данные и вновь все пересчитать.

Достоинствами данного метода является то, что не нужно строить размерные схемы, но при этом остается трудоёмкость подготовки данных, обусловленная необходимостью расчета и упорядочения цифровых и графических данных, которые вручную вводятся с помощью специальных «окон» для того, чтобы можно было выполнить расчет. К сожалению, в связи с завершением жизненного цикла программы КОМПАС-АВТОПРОЕКТ стал недоступным и встроенный в нее модуль автоматизированного размерного анализа.

Повышение степени автоматизации размерного анализа технологических процессов обеспечивают разработанные В.Б. Масыгиным программы для ЭВМ «Автоматический расчет линейных технологических размеров «АУТОМАТ»» [10, 13], «Размерный анализ технологических процессов осесимметричных деталей «NORMAL»» [11] и алгоритм, предложенный А.В. Мухомозовым [18]. Характеристика программы «АУТОМАТ»: автоматическая проверка правильности исходных данных; применение матрицы смежности графа для непосредственного расчета размеров и допусков без решения алгебраической системы уравнений размерных цепей; автоматическое выявление погрешности базирования; автоматическое назначение технологических допусков и припусков; автоматическое обеспечение конструкторских допусков; расчет по методу min-max; расчет для двух вариантов распределения полей допусков; задание (по усмотрению технолога) допусков, учитывающих реальную точность оборудования в обход нормативной базы данных программы; адаптация базы данных под конкретные условия производства. Программа «NORMAL» имеет следующие особенности: учет всех видов отклонений расположения, характерных для деталей типа тел вращения, и их взаимного влияния за счет использования кромочной модели детали [12], в отличие от известных методов, основанных на раздельном расчете конструкторских и технологических размеров и отклонений расположения; визуализация схемы припусков по рассчитанным размерам.

Основным достоинством данных программ, как и модуля размерного анализа программы КОМПАС-АВТОПРОЕКТ, является использование для подготовки исходных данных только информации чертежа и технологического процесса. Из процесса подготовки данных исключен трудоемкий этап построения размерных схем, характерный для других программ,

который заменяется описанием геометрических моделей детали и технологического процесса.

Основными направлениями дальнейшей автоматизации размерного анализа технологических процессов являются, во-первых, дальнейшее упрощение и обеспечение качества подготовки исходных данных за счет встраивания в САПР ТП и совершенствования методов диагностики исходных данных, во-вторых, включение в методы размерного анализа алгоритмов структурной и параметрической оптимизации размерных цепей, допусков и припусков, в-третьих, визуализация исходных данных, процесса и результатов размерного анализа, в-четвертых, совершенствование методов автоматического назначения допусков и припусков и наконец использование более совершенных теоретических моделей размерного анализа, повышающих адекватность результатов автоматизированного размерного анализа.

#### Список литературы

1. Антипина Л.А. Метод автоматизированного проектирования станочных приспособлений на основе интегрированных моделей элементов технологической системы: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2002. – 16 с.
2. Бондаренко С.Г., Чередников О.Н., Губий В.П., Игнатцев Т.М. Размерный анализ конструкций. – Киев: Техника, 1989. – 150 с.
3. Волков С.А., Рябов А.Н. Расчет операционных размеров с использованием пакета программ «Техкард» // СТИИ. – 2008. – № 3. – С. 20–23.
4. Дорофеев В.Д., Савкин С.П., Шестопап Ю.Т., Кольчугин А.Ф. Реализация процедуры формирования уравнений размерного анализа в системе принятия решений САПР ТП // Сб. учен. тр. Пенз. гос. техн. ун-та: сер. Машиностроение. – 2001. – № 3. – С. 73–79.
5. Иващенко И.А. Технологические размерные расчеты и способы их автоматизации. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.
6. Иващенко И.А., Иванов Г.В., Мартынов В.А. Автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей двигателей летательных аппаратов: учеб. пособие для вузов. – М.: Машиностроение, 1992. – С. 336.
7. Калачев О.Н., Богоявленский Н.В., Погорелов С.А. Графическое моделирование размерной структуры технологического процесса на электронном чертеже в системе AUTOCAD // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2012. – № 5. – С. 13–19.
8. Кузьмин В.В. Размерный технологический анализ при проектировании технологической подготовки производства // Вестник машиностроения. – 2012. – № 6. – С. 19–23.
9. Куликов Д.Д., Блаер И.Ю. Расчет операционных размеров в системах автоматизированного проектирования технологических процессов // Изв. вузов. Приборостроение. – 1997. – Т. 40. – № 4. – С. 64, 69, 74.
10. Масыгин В.Б. Автоматическое обеспечение конструкторских допусков при размерных технологических расчетах с применением линейного программирования // Справочник. Инженерный журнал с приложением. – 2015. – № 2(215). – С. 26–30.



11. Масыгин В.Б. Автоматизация размерного анализа технологических процессов механической обработки деталей типа тел вращения // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. – 2008. – № 3(70). – С. 40–44.
12. Масыгин В.Б. Размерный анализ технологических процессов деталей типа тел вращения с учетом отклонений расположения на основе применения кромочной модели деталей // Справочник. Инженерный журнал. – 2009. – № 2. – С. 20–25.
13. Масыгин В.Б., Мухолзоев А.В. Методика размерного анализа технологических процессов механической обработки с применением компьютерной программы // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы IX Всерос. науч. конф., посвящ. памяти гл. конструктора ПО «Полёт» А.С. Клинышкова (Омск, 17 февр. 2015 г.). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – С. 226–236.
14. Матвеев В.В., Бойков Ф.И., Свиридов Ю.Н. Проектирование экономических технологических процессов в машиностроении. – Челябинск: Юж.-Урал. кн. изд-во, 1979. – 111 с.
15. Матвеев В.В., Тверской М.М., Бойков Ф.И. Размерный анализ технологических процессов. – М.: Машиностроение, 1982. – 264 с.
16. Мордвинов Б.С., Яценко Л.Е., Васильев В.Е. Расчет линейных технологических размеров и допусков при проектировании технологического процесса механической обработки. – Иркутск: Иркутский госуниверситет, 1980. – 104 с.
17. Мухолзоев А.В. Автоматизация размерного анализа // Динамика систем, механизмов и машин. – 2014. – № 2. – С. 349–352.
18. Мухолзоев А.В., Масыгин В.Б. Расчет допусков замыкающих звеньев размерных цепей на основе алгоритма Флойда-Уоршела // Проблемы разработки, изготовления и эксплуатации ракетно-космической техники и подготовки инженерных кадров для авиакосмической отрасли: материалы IX Всерос. науч. конф., посвящ. памяти гл. конструктора ПО «Полёт» А.С. Клинышкова (Омск, 17 февр. 2015 г.). – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – С. 276–283.
19. Скворцов А.В. Параллельный инжиниринг при обратном проектировании технологических операций механообработки в интегрированной CAD/CAM/CAPP-среде // Вестник машиностроения. – 2005. – № 12. – С. 47–50.
20. Сметанин Ю.М., Трухачев А.В. Методические указания для проведения размерного анализа техпроцессов с использованием графов. – Устинов: Изд-во Устиновск. мех. ин-та, 1987. – 43 с.
21. Фридендер И.Г., Иванов В.А., Барсуков М.Ф., Слудкер В.А. Размерный анализ технологических процессов обработки. – Л.: Машиностроение: Ленингр. отд-ние, 1987. – 141 с.
22. Хармац И. Компас – Автопроект: точный контроль над технологической информацией. Новые модули и новые возможности системы // САПР и графика. – 2004. – № 6. – С. 17–19.
23. Шамин В.Ю. Теория и практика размерно-точностного проектирования. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 520 с.
3. Volkov S.A., Rjabov A.N. *Raschet operacionnyh razmerov s ispolzovaniem paketa programm «Tehkard»* [Calculation of operating sizes using the software package «Tehkard», *STIN*, 2008, no. 3, pp. 20–23.
4. Dorofeev V.D., Savkin S.P., Shestopal Ju.T., Kolchugin A.F. *Realizacija procedury formirovanija uravnenij razmernogo analiza v sisteme prinjatija reshenij SAPR TP* [Implementation of the procedure of forming the dimensional analysis of equations in the system of decision-making CAD-CAM], *Sb. uchen. tr. Penz. gos. tehn. un-ta: ser. Mashinostroenie*, 2001, no 3, pp. 73–79.
5. Ivashhenko I.A. *Tehnologicheskie razmernye rascheti i sposoby ih avtomatizacii* [Process dimensional calculations and processes for their automation]. Moscow, Mashinostroenie, 1975. 222 p.
6. Ivashhenko I.A., Ivanov G.V., Martynov V.A. *Avtomatizirovannoe proektirovanie tehnologicheskikh processov izgotovlenija detalej dvigatelej letatelnyh apparatov: ucheb. posobie dlja vuzov* [Computer-aided design of technological processes of manufacturing of aircraft engine parts: studies. aid for technical colleges]. Moscow, Mashinostroenie, 1992. 336 p.
7. Kalachev O.N., Bogojavlenskij N.V., Pogorelov S.A. *Graficheskoe modelirovanie razmernoj struktury tehnologicheskogo processa na jelektronnom chertezhe v sisteme AUTOCAD* [Graphical simulation of the size structure of the process on an electronic drawing system AUTOCAD], *Vestnik kompjuternyh i informacionnyh tehnologij*, 2012, no 5, pp. 13–19.
8. Kuzmin V.V. *Razmernyj tehnologicheskij analiz pri proektirovanii tehnologicheskoy podgotovki proizvodstva* [Dimensional technological analysis at the design of production tooling], *Vestnik mashinostroenija*, 2012, no 6, pp. 19–23.
9. Kulikov D.D., Blaer I.Ju. *Raschet operacionnyh razmerov v sistemah avtomatizirovannogo proektirovanija tehnologicheskikh processov* [The calculation of operational sizes in systems of automated designing of technological processes], *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 1997, v. 40, no 4, pp. 64, 69, 74.
10. Masyagin V.B. *Avtomaticeskoe obespechenie konstruktorskih dopuskov pri razmernyh tehnologicheskikh raschetah s primeneniem linejnogo programmirovaniya* [Automatic tolerance chart balancing using linear programming], *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal s prilozheniem*, 2015, no 2(215), DOI: 10.14489/hb.2015.02, pp. 026–030.
11. Masyagin V.B. *Avtomatizacija razmernogo analiza tehnologicheskikh processov mehanicheskoj obrabotki detalej tipa tel vrashhenija* [Automation dimensional analysis of processes machining of parts such as bodies of rotation], *Omskij nauchnyj vestnik, Serija Pribory, mashiny i tehnologii*, 2008, no 3(70), pp. 40–44.
12. Massyaguine V.B. *Razmernyj analiz tehnologicheskikh processov detalej tipa tel vrashhenija s uchetom odklonenij raspolozhenija na osnove primenenija kromochnoj modeli detalej* [Dimension analyses of technological processes of machine parts with revolution surfaces with taking into account tolerance of position based on application of edged model of machine part], *Spravochnik. Inzhenernyj zhurnal*, 2009, no 2, pp. 20–25.
13. Masyagin V.B., Muholzoev A.V. *Metodika razmernogo analiza tehnologicheskikh processov mehanicheskoj obrabotki s primeneniem kompjuternoj programmy* [Technique of the dimensional analysis of technological processes of machining with application of a computer program], (Problemy razrabotki, izgotovlenija i jekspluatcii raketno-kosmicheskoy tehniki i podgotovki inzhenernyh kadrov dlja aviakosmicheskoy otrasli : materialy IX Vseros. nauch. konf., posvjashh. pamjati gl. konstruktora PO «Poljot» A.S. Klinyshkova (Omsk, 17 fevr. 2015)), *Omsk, Izd-vo OmGTU*, 2015, pp. 226–236.
14. Matveev V.V., Bojkov F.I., Sviridov Ju.N. *Proektirovanie jekonomichnyh tehnologicheskikh processov v mashinostroenii* [Designing of economic technological processes in a mechanical engineering], *Cheljabinsk, Juzh.-Ural. kn. izd-vo*, 1979, 111 p.
15. Matveev V.V., Tverskoj M.M., Bojkov F.I. *Razmernyj analiz tehnologicheskikh processov* [The dimensional analysis

## References

1. Antipina L.A. *Metod avtomatizirovannogo proektirovanija stanochnyh prisposoblenij na osnove integrirovannyh modelej jelementov tehnologicheskoy sistemy* [The method of computer-aided design of machine tools based on integrated models of elements of technological systems], *Avtoreferat dis. kand. tehn. Nauk*, Ufa, 2002, 16 p.
2. Bondarenko S.G., Cherednikov O.N., Gubij V.P., Ignatcev T.M. *Razmernyj analiz konstrukcij* [Dimensional analysis of structures]. Kiev, Tjehnika, 1989. 150 p.

sis of technological processes]. Moscow, Mashinostroenie, 1982. 264 p.

16. Mordvinov B.S., Jacenko L.E., Vasilev V.E. *Raschet linejnyh tehnologicheskikh razmerov i dopuskov pri proektirovanii tehnologicheskogo processa mehanicheskoj obrabotki* [Calculation of linear dimensions and technological tolerances in the design process of machining]. Irkutsk, Irkutskij gosuniversitet, 1980. 104 p.

17. Muholzoev A. V. *Avtomatizacija razmernogo analiza* [Automation of the dimensional analysis], Dinamika sistem, mehanizmov i mashin, 2014, no 2, pp. 349–352.

18. Muholzoev A.V., Masyagin V.B. *Raschet dopuskov zamykajushhih zvenev razmerov cepaj na osnove algoritma Flojda-Uorshela* [Calculation tolerances of closing links of dimensional chains based on the algorithm of Floyd-Uorshel], (Problemy razrabotki, izgotovlenija i jekspluatcii raketno-kosmicheskoi tehniki i podgotovki inzhenernyh kadrov dlja aviakosmicheskoi otrasli: materialy IX Vseros. nauch. konf., posvjashh. pamjati gl. konstruktora PO «Poljot» A.S. Klinyshkova (Omsk, 17 fevr. 2015)), Omsk, Izd-vo OmGTU, 2015, pp. 276–283.

19. Skvorcov A.V. *Parallelnyj inzhiniring pri obratnom proektirovanii tehnologicheskikh operacij mehanoobrabotki v integrirovannoj CAD/CAM/CAPP-srede* [Parallel Engineering in the reverse engineering process of machining operations in the integrated CAD/CAM/CAPP-environment], Vestnik mashinostroenija, 2005, no 12, pp. 47–50.

20. Smetanin Ju.M., Truhachev A.V. *Metodicheskie ukazanija dlja provedenija razmernogo analiza tehprocessov s ispolzovaniem grafov* [Guidelines for size analysis of technical

processes using graphs]. Ustinov, Izd-vo Ustinovsk. meh. in-ta, 1987. 43 p.

21. Fridlender I.G., Ivanov V.A., Barsukov M.F., Slucker V.A. *Razmernyj analiz tehnologicheskikh processov obrabotki* [Dimensional analysis of the technological processes]. Ltninograd, Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1987. 141 p.

22. Harmac I. *Kompas-Avtoproekt: tochnyj kontrol nad tehnologicheskoi informaciej. Novye moduli i novye vozmozhnosti sistemy* [Kompas-Avtoproekt: precise control over the technological information. New modules and new capabilities of the system], SAPR i grafika, 2004, no 6, pp. 17–19.

23. Shamin V.Ju. *Teorija i praktika razmerno-tochnostnogo proektirovanija* [Theory and practice size and precision engineering]. Cheljabinsk, Izd-vo JuUrGU, 2007. 520 p.

#### Рецензенты:

Акимов В.В., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Автомобили, конструкционные материалы и технологии», Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, г. Омск;

Рауба А.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск.