

# Автоматизация и Современные Технологии

---

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

---

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор  
В.Л. Белоусов

**3**  

---

**2013**

РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ:  
Бучаченко А.Л.  
Гусев А.А.  
Дегтярев Ю.И.  
Елисеев В.А.  
Иванов А.П.  
Мальцева С.В.  
Нефедов Е.И.  
Шебалин И.Ю.  
(заместитель главного редактора)

УЧРЕДИТЕЛИ:  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ  
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

---

РЕДАКЦИЯ:  
Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора  
Осипова В.Г. — научный редактор  
Богус С.В. — секретарь

Журнал зарегистрирован 9 апреля  
1999 г. за № 018684 в Комитете  
Российской Федерации по печати

---

Журнал входит в перечень  
утверждённых ВАК РФ изданий  
для публикации трудов соискателей  
учёных степеней

---

ООО «Издательство Машиностроение»

Адрес редакции:  
107076, Москва,  
Стромынский пер., 4  
Тел.: (499) 748 0290,  
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:  
107076, Москва,  
Стромынский пер., 4  
Тел.: (499) 268 3858,  
факс: (499) 269 4897

## СОДЕРЖАНИЕ

### АВТОМАТИЗАЦИЯ

#### НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Лобанов Д.В., Янюшкин А.С. Автоматизация организационной подготовки инструмента для обработки композиционных материалов .....	3
Козлович Р.А., Сердобинцев С.П. Система автоматизированного управления процессом сушки керамической продукции .....	9

### СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лавров В.В., Спирин Н.А., Девятых Е.А., Рыболовлев В.Ю., Краснобаев А.В. Разработка информационно-моделирующей системы расчёта оптимального состава доменной шихты .....	15
Рустамов Г.А., Абдуллаева А.Т., Рустамов Р.Г. Оптимизация функции Ляпунова при релейном управлении динамическими объектами .....	21
Носов О.А., Васечкин М.А., Рыжкова Е.А. Новый подход к проектированию бесконтактных транспортирующих систем .....	25
Буйносов А.П. Определение полного и остаточного ресурса бандажей колёсных пар локомотивов на железнодорожном транспорте необщего пользования .....	30
Домнин С.М. Интеграция программных средств автоматизации начальных этапов проектирования изделий на машиностроительном предприятии .....	36

### ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кузнецов С.А. К вопросу о монополии зарубежных специализированных САПР на мировом рынке программных продуктов .....	39
---	----

### ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

По страницам журналов .....	47
-----------------------------	----

## CONTENTS

### AUTOMATION OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

Lobanov D.V., Yanyushkin A.S. Automation of the tool organizational preparation for composite materials machining .....	3
Kozlovich R.A., Serdobintsev S.P. Automatic control system of the ceramic production drying .....	9

### MODERN TECHNOLOGIES

Lavrov V.V., Spirin N.A., Devyatikh E.A., Rybolovlev V.Yu., Krasnobaev A.V. Information-modeling system development for the optimum blast-furnace charge calculation .....	15
Rustamov G.A., Abdullaeva A.T., Rustamov R.G. The Lyapunov function optimization at relay control of the dynamic objects .....	21
Nosov O.A., Vasechkin M.A., Ryzhkova E.A. A new approach to the non-contact transporting systems projecting .....	25
Buynosov A.P. Definition of the full and residual resource for locomotives tyre wheel pairs at uncommon using railway transport .....	30
Dominin S.M. Automation software integration of the product design initial stages at an machine building enterprise .....	36

### ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

Kuznetsov S.A. To a question of the foreign specialized САПР (SAPR) monopoly in the software world market ....	39
--	----

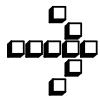
### SURVEY OF PERIODICALS

Periodicals review .....	47
--------------------------	----

Сдано в набор 28.12.12. Подписано в печать 28.02.13.  
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.  
Усл.печ. л. 5,88. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Белый ветер»  
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна  
при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка  
на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.  
За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель



УДК 621.9

Д.В. Лобанов, канд. техн. наук, доц., А.С. Янюшкин, д-р техн. наук, проф.  
(Братский государственный университет)

mf\_nauka@brstu.ru

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ ПОДГОТОВКИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ОБРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Представлены результаты исследований, направленных на автоматизацию организационной подготовки инструмента для обработки композиционных материалов. Описаны методика моделирования сборного фрезерного инструмента и программные продукты для составления базы данных инструмента и сравнительного анализа конструктивных решений инструмента для определённых условий его эксплуатации.*

**Ключевые слова:** инструмент, моделирование, программные продукты, автоматизация, производство.

*The research results directed at automation of the tool organizational preparation for composite materials machining. The modelling methodology of the collapsible milling tool and software products for the tool data base drawing up and for the comparative analysis of the tool constructive decisions at certain operation conditions are described.*

**Key words:** the tool, modelling, software products, automation, production.

Организационная подготовка режущего инструмента на предприятиях, занимающихся обработкой резанием композиционных материалов, характеризуется высокими затратами времени и ресурсов. Труд проектировщиков и конструкто-ров нового и специального инструмента, а также технологов, занимающихся его подготовкой к работе с учётом варьируемых условий производства, зачастую рутинен, связан с необходимостью использования большого объёма информации. При рациональном выборе инструмента и режимов обработки, гарантирующих необходимое качество обработки и производительность, это приводит к снижению эффективности производства в целом. Особенно остро эта проблема прослеживается при использовании сборного инструмента, оснащённого режущими элементами из разных инструментальных материалов и имеющего различное технологическое назначение.

Оборудование, приспособления и инструмент практически для всех технологических переделов и способов обработки представлены на рынке. Кроме стандартного отечественного или импортного инструмента, который можно приобрести, множество фирм и организаций предлагают свои услуги по производству специализированного инструмента под заказ, и производственные предприятия могут выбирать подходящие средства технологического оснащения.

Так как качественный инструмент дорог, то многие руководители предприятий уделяют больше внимания контролю за его использованием. Причём интересуются не только его наличием и местоположением, но и более детальными показателями, например текущей наработкой конкретного экземпляра инструмента, историей его использования и т. д. Подобная информация полезна и с точки зрения оценки эффективности использования дорогостоящего инструмента, и для отслеживания его реального состояния, которое, в свою очередь, напрямую влияет на такие важнейшие показатели, как качество выпускаемой продукции и процент брака.

Поэтому для повышения результативности использования инструмента необходим переход от ручной обработки информации к автоматизации организационной подготовки инструмента, что позволит принимать технико-экономически обоснованные решения с учётом факторов, влияющих на выбор, в короткие сроки.

Разработана методика моделирования сборных конструкций фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов, которая при необходимости может быть адаптирована и под другие виды инструментов.

Этому предшествовало изучение существующих конструкций сборного режущего инструмента. В основе исследования лежит анализ вариан-

тов исполнения режущей части, способов крепления режущих элементов в корпусе фрезы, применяемых марок инструментальных материалов, профилей режущих кромок, точностных и размерных характеристик, геометрии режущей части, характеристик корпуса фрез и схем крепления [1].

В ходе исследований выявлены основные характеристики, позволяющие описать конструкцию сборного фрезерного инструмента. Фреза рассматривается как совокупность структурных, геометрических, конструктивных и эксплуатационных характеристик, объединённых в три основные части: режущую, корпусную и крепёжную.

При описании режущей части фрезы используются:

конструктивное исполнение режущей части инструмента. По этому признаку режущая часть разделена на цельную, сборную с паяным соединением режущих элементов, сборные с kleёным соединением режущих элементов и сборные с механическим соединением режущих пластин с державкой;

геометрические характеристики режущей части, где выделяются передний и задний углы, так как они влияют на процесс резания;

материал режущей части (формируется список инструментальных материалов, применяемых в современной промышленности);

точностные и размерные характеристики режущей части;

профиль режущей кромки, прямой или фасонный;

наличие или отсутствие износостойкого покрытия или упрочнения на режущем элементе.

Корпусную часть характеризуют:

пазы в корпусной части; их количество, которое соответствует количеству зубьев фрезы; линейные и геометрические размеры пазов;

материал корпуса (конструкционные и легированные стали);

упрочнение корпусной части (общее или местное);

размеры корпуса.

Крепёжная часть включает схему крепления: наличие клиньев, крепёжных и регулировочных болтов, штифтов, их количество, размеры, обозначение и точность.

Кроме того, важно знать назначение инструмента и его изготовителя.

На основе полученных данных создана обобщённая графовая модель сборной конструкции фрезерного инструмента, включающая основные составляющие элементы, которые могут входить в состав различных конструкций инструментов, и наглядно описывающая условную обобщённую конструкцию фрезы [1, 2].

Модель конструкции сборной фрезы рассматривается в виде системы отдельных, функционально связанных между собой конструктивных элементов, наглядно представленной в виде ориентированного графа  $\Gamma = (X, E)$  (рис. 1), где  $X$  – множество вершин;  $E$  – отображение множества  $X$  в  $X$  или соответствие, которое показывает, как между собой связаны вершины графа (представленное линиями связи).

Каждое ребро графа ( $l_i$ ) представляет собой множество вершин графа  $l_i \subset X$  и одновременно  $l_i = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ . Если  $X_1, X_2, \dots, X_n$  являются множествами, то

$$l_i = \bigcup_{i=1}^n X_i.$$

Рассмотрим предметную ориентацию рёбер и вершин графа  $\Gamma = (X, E)$ .

Укрупнённо конструкция сборных фрез представлена в виде объединения режущей (вершина  $X_1$ ), корпусной (вершина  $X_2$ ), крепёжной (вершина  $X_3$ ) и других частей (вершины  $X_4, X_5$ ):

$$l_X = \bigcup_{i=1}^n X_i.$$

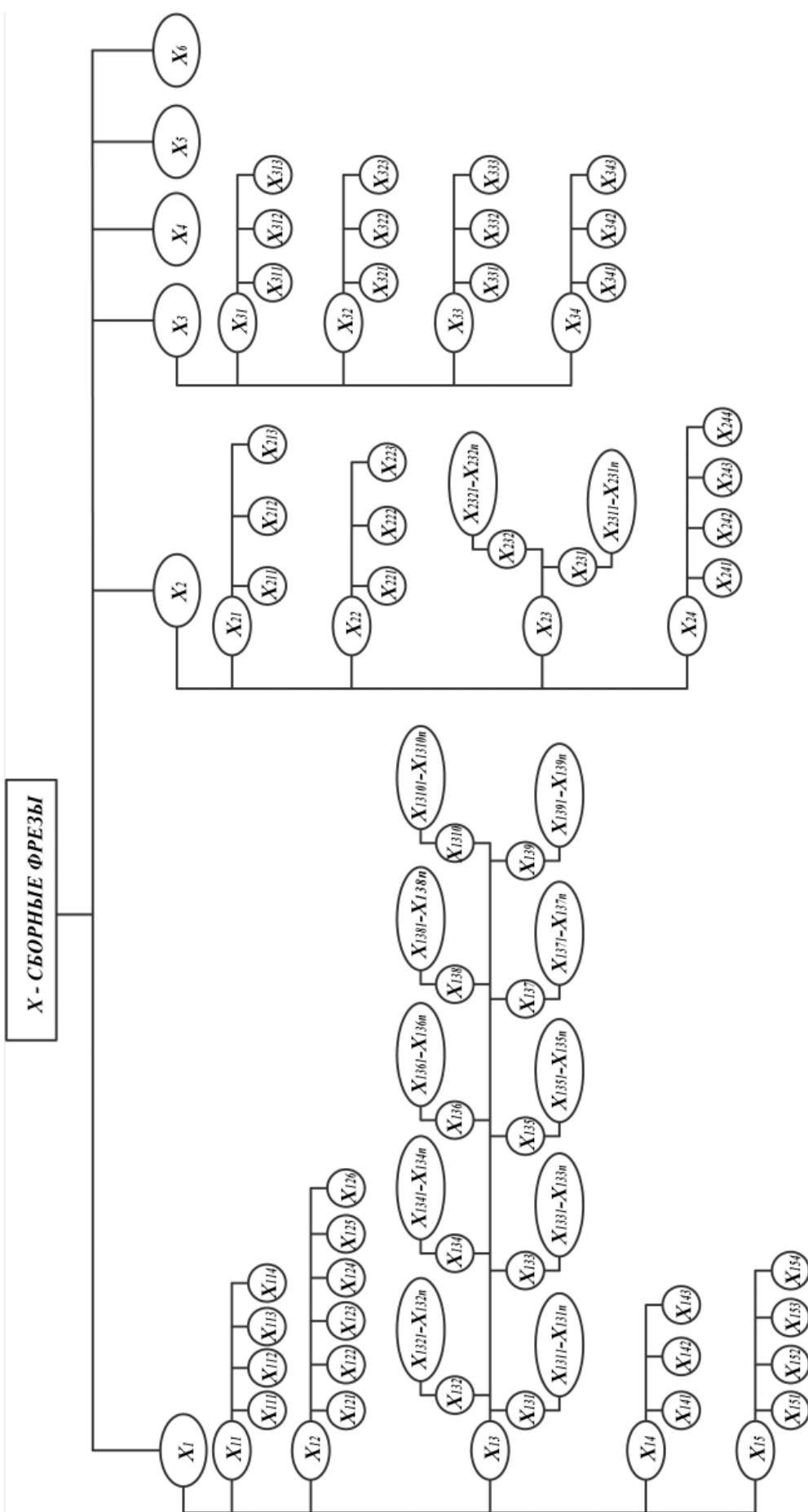
В свою очередь, режущая часть сборных фрез (вершина  $X_1$ ) характеризуется системой параметров, являющихся вершинами ребра  $l_{X_1}$ :  $X_{11}$  – вид конструктивного исполнения режущей части;  $X_{12}$  – параметрические размеры режущей части;  $X_{13}$  – материал режущей части;  $X_{14}$  – профиль режущей части;  $X_{15}$  – износостойкое покрытие и упрочнение режущей части;  $X_{nlX_1}$  – другие параметры, т. е.

$$l_{X_1} = \bigcup_{i=1}^n X_{1i}.$$

Вид конструктивного исполнения режущей части (вершина  $X_{11}$ ) целесообразно охарактеризовать параметрами, являющимися вершинами ребра  $l_{X_{11}}$ :  $X_{111}$  – цельная режущая часть;  $X_{112}$  – сборная режущая часть (клееное соединение);  $X_{113}$  – сборная режущая часть (паяное соединение);  $X_{114}$  – сборная режущая часть (с механическим креплением);  $X_{nlX_{11}}$  – другие варианты исполнения, т. е.

$$l_{X_{11}} = \bigcup_{i=1}^n X_{11i}.$$

Параметрические размеры режущей части (вершина  $X_{12}$ ) представлены различными вариантами размерных параметров, являющихся вершинами ребра  $l_{X_{12}}$ :  $X_{121}$  – диаметр резания;  $X_{122}$  – длина вставки;  $X_{123}$  – ширина вставки;  $X_{124}$  – высота



**Рис. 1.** Графовая модель сборной фрезы:  
 $X_1$  – режущая часть;  $X_2$  – корпусная часть;  $X_3$  – крепёжная часть

вставки;  $X_{125}$  – передний угол;  $X_{126}$  – задний угол;  $X_{n/X_{12}}$  – другие материалы, т. е.

$$l_{X_{12}} = \bigcup_{i=1}^n X_{12i}.$$

Материал режущей части инструмента (вершина  $X_{13}$ ) целесообразно представить в виде вариантов, являющихся вершинами ребра  $l_{X_{13}}$ :  $X_{131}$  – углеродистая сталь;  $X_{1311}\dots X_{131n}$  – марки углеродистых сталей;  $X_{132}$  – легированная сталь;  $X_{1321}\dots X_{132n}$  – марки легированных сталей;  $X_{133}$  – обычная быстрорежущая сталь (БРС);  $X_{1331}\dots X_{133n}$  – марки обычных БРС;  $X_{134}$  – БРС повышенной прочности;  $X_{1341}\dots X_{134n}$  – марки БРС повышенной прочности;  $X_{135}$  – однокарбидные вольфрамокобальтовые твёрдые сплавы (ВКТС);  $X_{1351}\dots X_{135n}$  – марки однокарбидных вольфрамокобальтовых твёрдых сплавов;  $X_{136}$  – двухкарбидные ВКТС;  $X_{1361}\dots X_{136n}$  – марки двухкарбидных вольфрамокобальтовых твёрдых сплавов;  $X_{137}$  – трёхкарбидные ВКТС;  $X_{1371}\dots X_{137n}$  – марки трёхкарбидных вольфрамокобальтовых твёрдых сплавов;  $X_{138}$  – безвольфрамовые твёрдые сплавы;  $X_{1381}\dots X_{138n}$  – марки безвольфрамовых твердых сплавов;  $X_{139}$  – минералокерамические материалы;  $X_{1391}\dots X_{139n}$  – марки минералокерамических материалов;  $X_{1310}$  – сверхтвёрдые материалы;  $X_{13101}\dots X_{1310n}$  – марки сверхтвёрдых материалов, т. е.

$$l_{X_{13}} = \bigcup_{i=1}^n X_{13i}.$$

Профиль режущей части (вершина  $X_{14}$ ) представлен вершинами ребра  $l_{X_{14}}$ :  $X_{141}$  – прямой профиль;  $X_{142}$  – фасонный острозаточенный;  $X_{143}$  – фасонный затылованный;  $X_{n/X_{14}}$  – другие варианты, т. е.

$$l_{X_{14}} = \bigcup_{i=1}^n X_{14i}.$$

Износостойкое покрытие и упрочнение режущей части (вершина  $X_{15}$ ) представлены параметрами, являющимися вершинами ребра  $l_{X_{15}}$ :  $X_{151}$  – вид упрочнения;  $X_{152}$  – глубина упрочнения;  $X_{153}$  – материал покрытия;  $X_{154}$  – толщина покрытия;  $X_{n/X_{15}}$  – другие варианты, т. е.

$$l_{X_{15}} = \bigcup_{i=1}^n X_{15i}.$$

Корпусная часть сборных фрез (вершина  $X_2$ ) характеризуется системой параметров, являющихся вершинами ребра  $l_{X_2}$ :  $X_{21}$  – пазы в корпусной части;  $X_{211}$  – количество пазов;  $X_{212}$  – размеры паза ( $h \times b$ );  $X_{213}$  – угол наклона пазов;  $X_{22}$  –

упрочнение корпусной части;  $X_{221}$  – общее упрочнение;  $X_{222}$  – местное упрочнение;  $X_{223}$  – упрочнение отсутствует;  $X_{23}$  – материал корпусной части;  $X_{231}$  – конструкционные стали;  $X_{2311}\dots X_{231n}$  – марки конструкционных сталей;  $X_{232}$  – легированные стали;  $X_{2321}\dots X_{232n}$  – марки легированных сталей;  $X_{24}$  – размеры корпусной части;  $X_{241}$  – диаметр посадочного отверстия;  $X_{242}$  – квалитет точности отверстия;  $X_{243}$  – наружный диаметр корпусной части;  $X_{244}$  – ширина корпусной части;  $X_{n/X_2}$  – другие параметры, т. е.

$$l_{X_2} = \bigcup_{i=1}^n X_{2i}.$$

Крепёжная часть сборных фрез (вершина  $X_3$ ) характеризуется системой параметров, являющихся вершинами ребра  $l_{X_3}$ :  $X_{31}$  – крепёжные клинья;  $X_{311}$  – количество клиньев;  $X_{312}$  – линейные размеры клина;  $X_{313}$  – угол заклинивания;  $X_{32}$  – регулировочные болты;  $X_{321}$  – количество болтов;  $X_{322}$  – размеры резьбы;  $X_{323}$  – точность резьбы;  $X_{33}$  – крепёжные болты;  $X_{331}$  – количество болтов;  $X_{332}$  – размеры резьбы;  $X_{333}$  – точность резьбы;  $X_{n/X_3}$  – другие составляющие, т. е.

$$l_{X_3} = \bigcup_{i=1}^n X_{3i}.$$

Назначение фрезы определено вершиной  $X_4$ .

Завод-изготовитель фрезы определён вершиной  $X_5$ .

Другие параметры фрезы (примечания, дополнения) представлены вершиной  $X_6$ .

Предложенная графовая структура является обобщённой, описывает варианты конструкций сборного режущего инструмента и позволяет, с одной стороны, разложить на элементы любую его конструкцию для получения более полного представления об устройстве, с другой стороны, построить логическую схему найденного технического решения и оценить его.

Исходя из сказанного выше, задавшись чётким определением вершин графа, любую конструкцию инструмента, по обобщённой графовой модели, можно представить в виде матрицы  $B$ :

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1j} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{i1} & b_{i2} & \dots & b_{ij} \end{pmatrix},$$

$$\text{где } b_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } l_{ij} \in l_n \\ 0, & \text{если } l_{ij} \notin l_n \end{cases}.$$

Матрица  $B$  отражает связи между проектированием фрезерного сборного инструмента и последовательностью действий по варианному решению выбора её рациональных характеристик.

Представленная модель позволяет описать любую конструкцию сборного инструмента и представить результаты в матричной форме. В результате создаётся информационная база данных. Кроме того, можно дополнить модель при создании конструкций с новыми составляющими.

Методика моделирования конструкций сборного инструмента явилась основой создания автоматизированных программ для формирования базы данных инструмента и сравнительного анализа конструктивных решений [3, 4].

Для облегчения труда технологов во время выбора рациональной конструкции инструмента при определённых условиях производства разработана методика оценки синтезированных технических решений конструкций инструмента, которая позволяет сравнивать различные варианты конструктивных решений, выбирать конструк-

ции, удовлетворяющие заданному перечню требований, а также получать научно обоснованные решения [5, 6].

Методика реализована в виде автоматизированного программного модуля, интерфейс которого позволяет работать с базами данных, а также проводить расчёт и определять рациональную конструкцию режущего инструмента при заданных условиях производства [4]. Главная форма диалогового окна программного модуля для составления базы данных инструментов представлена на рис. 2.

Данный модуль позволяет описать конструкцию режущего инструмента в диалоговом режиме. В верхней части диалогового окна располагается основное меню, позволяющее выполнять операции, связанные с определением оптимальной конструкции инструмента, создавать отчёты, содержащие информацию об имеющихся конструкциях, выполнять поиск информации по параметрам, задаваемым пользователем, и выводить её на печать. Кроме того, возможно выводить справки о программе.

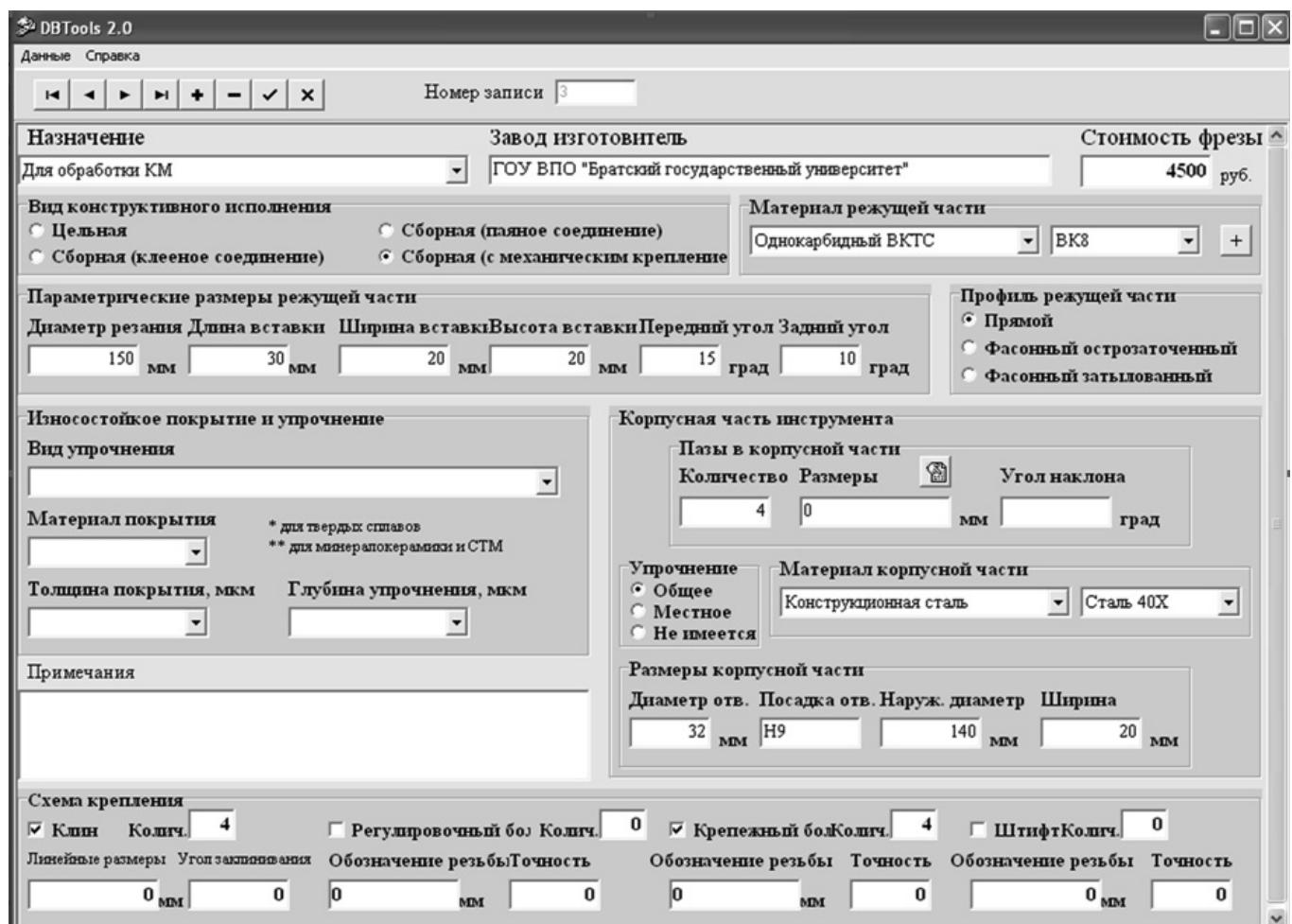


Рис. 2. Диалоговое окно программы для создания базы данных инструментов

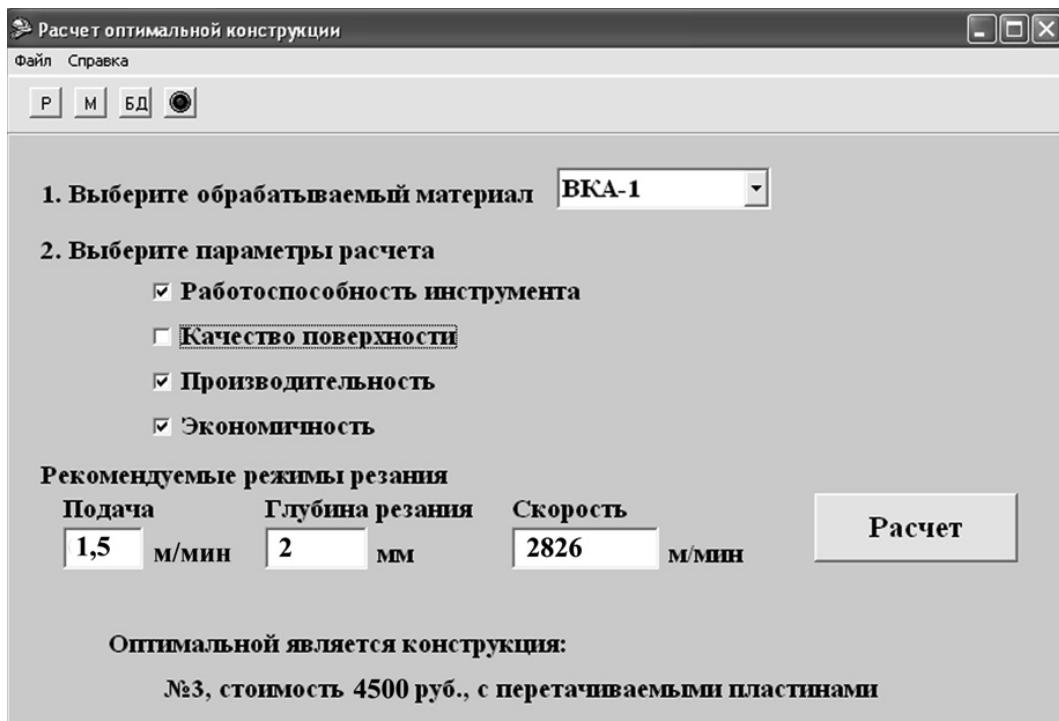


Рис. 3. Диалоговое окно для выбора оптимальной конструкции режущего инструмента

Ниже располагается навигатор, позволяющий перемещаться по записям, редактировать, добавлять и удалять исходные данные.

Основное поле программы позволяет вносить информацию о конструкции инструмента.

Для поиска оптимальной конструкции необходимо выбрать в меню пункт «Данные», затем «Оптимальные конструкции», после чего открывается доступ ко второму программному модулю, интерфейс которого представлен на рис. 3.

Первым этапом определения оптимальной конструкции инструмента является выбор обрабатываемого материала из раскрывающегося списка. На втором этапе выбирают параметры расчёта в зависимости от задач производства и требуемого эффекта. Не рекомендуется выбирать только один параметр при выборе оптимальной конструкции фрезы, так как это не позволяет достаточно полно оценить возможности инструмента на конкретной операции и получить достоверный результат. На третьем этапе задаются режимы резания. При этом необходимо руководствоваться информацией, полученной на первом и втором этапах и учитывать особенности применяемого оборудования. В справочном модуле программы предусмотрены рекомендации по выбору рациональных режимов резания при обработке некоторых композиционных материалов. Для этого необходимо перейти в одно из полей режимов резания и на-

жать клавишу *F1*, после чего откроется окно справки, в котором находится соответствующая информация.

После ввода информации проводится расчёт, результат которого выводится в нижней части диалогового окна в виде описания оптимального варианта конструкции режущего инструмента с указанием его номера в базе данных, стоимости и конструктивного исполнения режущей части.

Для удобства пользователя предусмотрены кнопки быстрого перехода, позволяющие провести расчёт, добавить новый обрабатываемый материал, вернуться в базу данных или выйти из программы.

Преимуществами представленной автоматизированной системы являются совмещение программных модулей составления и хранения базы данных и сравнительного анализа инструмента, что позволяет проводить расчёты и выявлять оптимальную конструкцию режущего инструмента на основе данных, имеющихся на предприятии.

Реализация представленных методик и программных продуктов позволит повысить уровень автоматизации организационной подготовки инструмента на предприятиях, занимающихся механической обработкой композиционных материалов. Кроме того, разработки могут быть применены в отраслях промышленности, где используется сборный режущий инструмент и есть необходимы-

мость в обоснованном выборе инструмента для задаваемых условий производства.

#### **Библиографические ссылки**

1. **Лобанов Д.В., Янюшкин А.С.** Подготовка режущего инструмента для обработки композиционных материалов. Братск: БрГУ, 2011. 192 с.

2. **Организация** инструментального хозяйства при обработке композиционных материалов / Д.В. Лобанов, А.С. Янюшкин, Н.П. Петров, Д.А. Рычков // СТИН. 2010. № 11. С. 2–4.

3. **Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.** Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Формирование базы данных фрезерного сборного инструмента. (DB Tools v.1.0). № 2007613694. 08.09. 2007.

4. **Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.** Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. Формирование базы данных инструментов с возможностью выбора оптимальной конструкции фрезерного инструмента для заданных условий производства (DB Tools v.2.0). № 2010615966. 13.09.2010.

5. **Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.** Оптимизация выбора режущего инструмента на основе методов сравнительного анализа // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 5–2 (283). С. 23–31.

6. **Янюшкин А.С., Лобанов Д.В., Рычков Д.А.** Сравнительный анализ конструкций фрезерного инструмента для обработки композиционных материалов // Системы. Методы. Технологии. 2009. № 3. С. 83–85.

УДК 69.691.421

**Р.А. Козлович, С.П. Сердобинцев,** д-р техн. наук, проф.  
(Калининградский государственный технический университет)

amplifier12@mail.ru

## **СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ СУШКИ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

*Рассмотрена автоматизированная система управления сушкой продукции комбинированным способом. Разработаны концепция, структурная и функциональная схемы системы автоматизации, выбраны технические средства и оборудование с учётом особенностей технологического процесса.*

**Ключевые слова:** система автоматизации, производительность, сушка, кирпич, электроосмос.

*Automatic control system of the ceramic production drying by combined way is considered. The automation system conception, structural and functional diagrams are developed. Technical means and equipment by taking into account the technological process features are selected.*

**Key words:** automation system, productivity, drying, brick, electroosmosis.

В условиях современного рынка строительных материалов необходимо обеспечить конкурентные преимущества применяемой технологии и выпускаемой продукции.

При классической конвективной сушке сушильный агент (воздух) нагревается и проходит через сушилку. Интенсификацию сушки можно достичь уменьшением влажности, повышением температуры и скорости движения теплоносителя [1]. Для предотвращения дефектов, которые возникают из-за чрезмерной скорости сушки, необходимо снижать градиент влагосодержания у поверхности изделия. В качестве критерия трещинообразования используют гигрометрический критерий М.В. Кирпичёва:

$$Ki = \frac{\Delta U_n R}{U_H},$$

где  $\Delta U_n$  – текущее значение градиента влагосодержания у поверхности;  $U_H$  – начальное влагосодержание изделия;  $R$  – характерный размер изделия.

Значение критерия  $Ki$  определяется экспериментально и не должно превышать предельного значения для определённого вида глины и размеров изделия.

Из-за неоднородного распределения теплоносителя по объёму сушилки скорость сушки в верхних рядах сушильной вагонетки существенно превышает скорость сушки в нижних рядах [2], что не позволяет использовать производительность сушилки в полной мере.

Интенсифицируя механизмы внутреннего массообмена в толще кирпича, можно существенно повысить скорость сушки, не вызывая значительного градиента влагосодержания у поверхности изделия, что

уменьшает значение критерия  $K_i$  и риск образования дефектов [3].

Это возможно, скомпенсировав падение скорости диффузии влаги из внутренних слоёв кирпича к внешним с использованием объёмных способов подвода энергии [4].

Ниже рассмотрено применение конвективной сушки в совокупности с электроосмосом при производстве керамической продукции.

На основе комбинированного способа сушки отформованного кирпича-сырца [5] разработаны концепция и основные технические решения системы автоматизированного управления процессом сушки керамической продукции.

Показано, что использование электроосмотического эффекта значительно ускоряет процесс сушки керамических строительных материалов при обеспечении высокого качества, улучшает структурно-механические свойства керамики, повышает компактность и снижает материалоёмкость сушильных агрегатов. Сушильные установки нового поколения, построенные на основе комбинированных методов сушки, позволят повысить производительность и существенно снизить расходы на эксплуатацию заводов, выпускающих керамическую продукцию.

В таких условиях наиболее действенно дополнить классическую конвективную сушку кирпича электроосмосом.

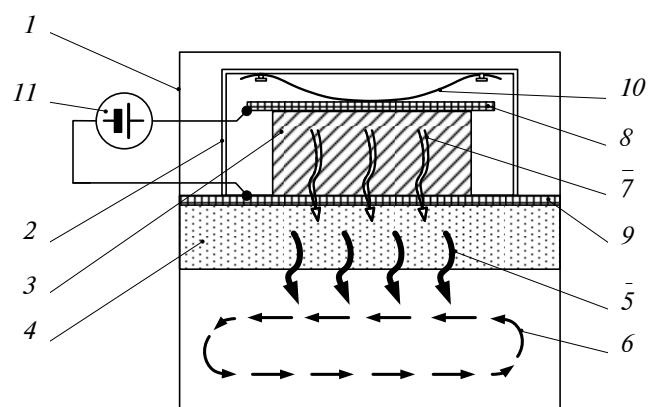
Под действием внешнего электрического поля происходит перемещение слоя жидкости, заполняющей кирпич-сырец, к катоду. Электроосмотические силы ускоряют перенос влаги из кирпича-сырца в подложку и позволяют увеличить интенсивность сушки подложки конвективным способом без увеличения критерия М.В. Кирпичёва (рис. 1).

Отформованный кирпич-сырец укладывается на пористое основание (подложку), оснащённое катодным электродом. Сверху кирпич накрывает влагонепроницаемым, теплоизолирующим колпаком, оснащённым прижимным анодным электродом (металлической пластиной). В качестве подложки используется пористый материал с высоким влагопоглощением.

Количество воды, выделяемое из кирпича-сырца электроосмотическими силами, определяется выражением

$$Q_{\Theta} = \frac{k_{\Theta} S U t}{L},$$

где  $k_{\Theta}$  – коэффициент электроосмоса;  $S$  – сечение кирпича-сырца в плоскости прилегания электродов;  $U$  – приложенное к электродам напряжение;  $t$  – время пропускания тока;  $L$  – расстояние между электродами.



**Рис. 1. Схема сушки кирпича комбинированным способом:**

1 – камера конвективной сушки; 2 – теплоизолирующий влагонепроницаемый колпак; 3 – кирпич-сырец; 4 – пористая подложка; 5 – конвективное испарение влаги; 6 – поток теплоносителя; 7 – электроосмотическая диффузия влаги из сырца в пористую подложку; 8 – анодный электрод; 9 – катодный электрод; 10 – прижимная пружина; 11 – источник напряжения

При площади катодного и анодного электродов  $200 \text{ см}^2$ , толщине кирпича 5 см и подводимому напряжению 10 В кирпич с объёмным влагосодержанием  $Q_B = 0,5$  от объёма кирпича  $V_K$  может быть осушен за время

$$t = \frac{Q_B V_K L}{k_{\Theta} S U};$$

$$t = \frac{(0,5 \cdot 200 \cdot 5) \cdot 5 \cdot 100\,000}{4 \cdot 200 \cdot 10} = 31\,250 \text{ с},$$

что составляет 8,5 ч. В свою очередь, влага с поверхности подложки удаляется конвективным способом сушки.

За счёт выталкивания влаги в подложку электроосмосом создаются условия конвективной сушки подложки, которая постоянно может быть влажной. Этим достигается высокая производительность конвективной части сушки.

В то же время необходимо отметить преимущества комбинированного способа сушки. На заводах по производству строительной керамики в качестве теплоносителя, используемого для сушки изделий, применяют воздух, пропущенный через зону охлаждения печи обжига. Утилизация теплоты воздуха из зоны охлаждения печи обжига и применение электроосмоса позволяют осуществлять скоростные режимы сушки и существенно повысить энергоэффективность производства [6].

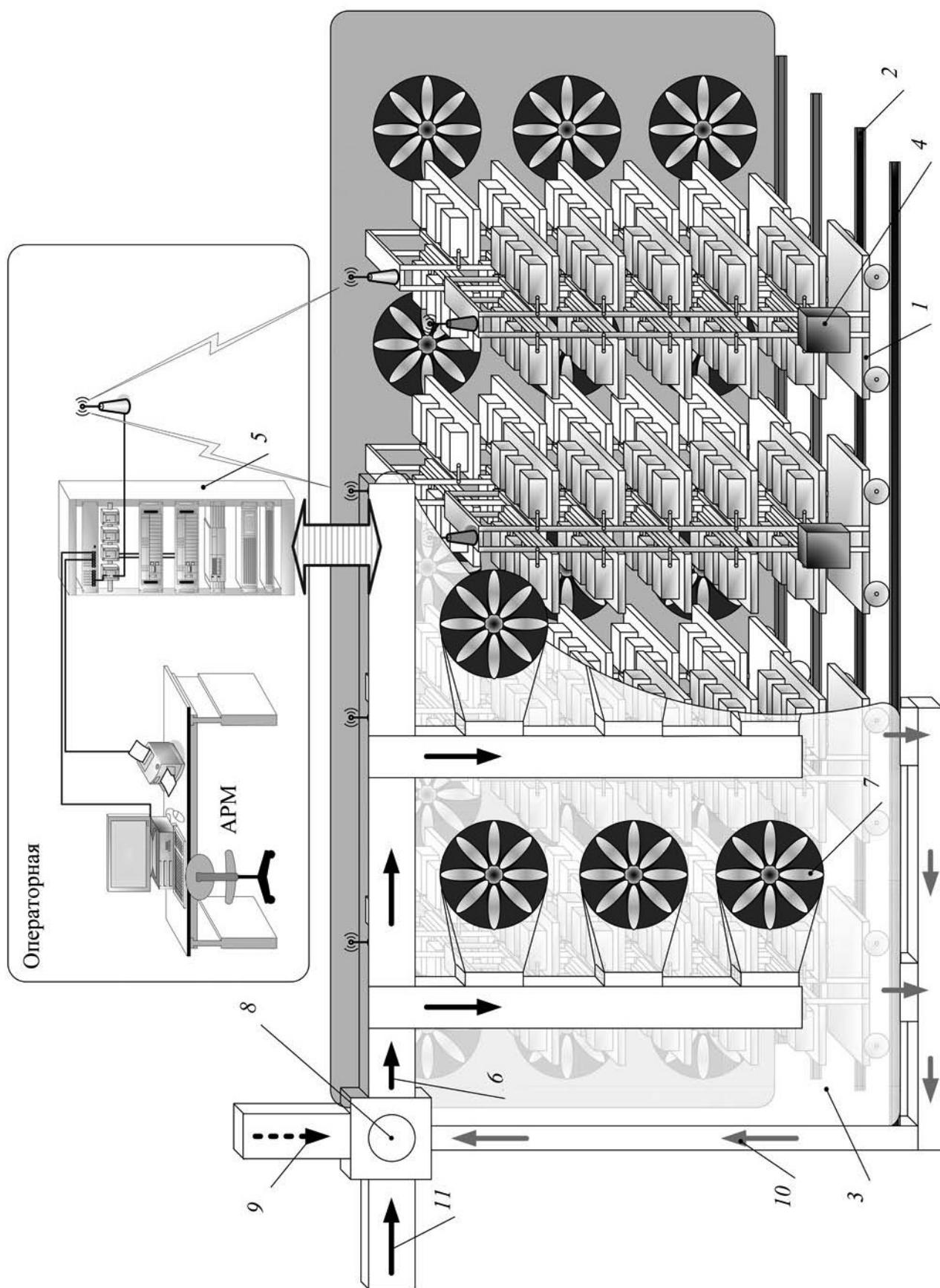


Рис. 2. Схема комплекса технических средств системы автоматизированного управления

На основе способа комбинированной сушки [5] разработана структура и выбраны технические средства системы автоматизированного управления (САУ) сушилкой с использованием программируемых логических контроллеров (ПЛК). Для этого сушилку оснащают системой управления, датчиками и исполнительными механизмами (рис. 2).

Кроме того, на САУ возложены функции управления вспомогательными операциями сушки, аппаратами садчиками, конвейерами, транспортировкой вагонеток.

Технические средства автоматизации выбирались с учётом требований надёжности и условий эксплуатации оборудования в условиях высокой температуры, влажности и повышенной запылённости.

Сушку кирпича выполняют на сушильных вагонетках 1, которые по рельсам 2 помещают в сушилку 3 и выдерживают там согласно регламенту технологического процесса.

Каждая вагонетка (рис. 3) представляет собой стеллаж с полками – пористыми основаниями 12, оснащёнными катодными электродами, на которые укладывают кирпич-сырец 13. Кирпич накрывается поворачивающимися колпаками 14 с анодным электродом.

Колпаки на вагонетке связаны системой тяг 15 и устроены таким образом, что могут откидываться толкателем во время укладки кирпича на вагонетку.

Каждая вагонетка оснащена локальным щитом автоматизации 4 и имеет связь с основным щитом САУ 5 (см. рис. 2). В щитах автоматизации вагонеток расположены преобразователи напряжения для работы системы электроосмоса и технические средства автоматизации.

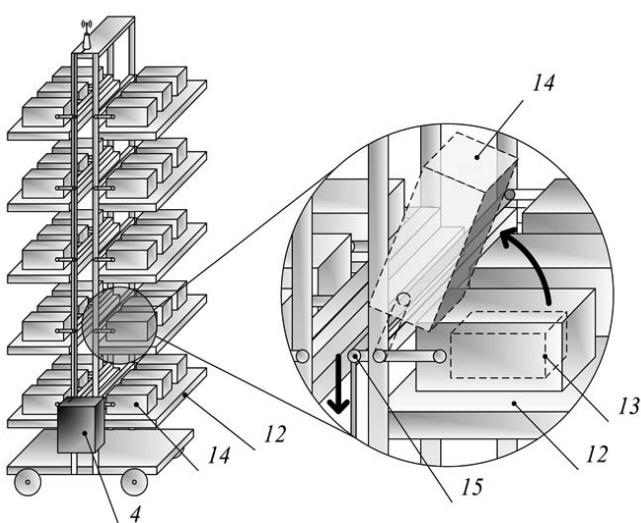


Рис. 3. Вагонетка с изолирующими колпаками

Питание локальных щитов автоматизации вагонеток осуществляется через рельсы безопасным переменным напряжением 27 В.

САУ по сигналам датчиков температуры и влажности управляет подачей теплоносителя 6 (мощностью вентиляторов 7 через преобразователи частоты переменного тока) и параметрами смешивания теплоносителя (через управляемую заслонку 8 с многооборотным исполнительным механизмом).

Теплоноситель, поступающий в сушилку, образуется при смешении трёх компонентов: горячего воздуха 9 из зоны охлаждения печи обжига, рециркуляционного воздуха 10, отобранного из сушилки, и холодного наружного воздуха 11.

В щите САУ используются ПЛК производства GE Fanuc (США – Япония), позволяющие реализовать адаптивные алгоритмы управления и способные обрабатывать аналоговые и дискретные сигналы соответствующими модулями ввода-вывода.

Электропитание щита системы автоматизации организовано с помощью импульсных преобразователей напряжения.

Технические средства автоматизации размещены в щите фирмы Rittal DK 7821.600 (Германия) размерами 600×600×1800 мм. Для подключения кабелей используются самозажимные пружинные клеммные колодки Wago, которые обеспечивают надёжность и быстроту монтажа и не требуют последующего обслуживания.

Управляющая программа для ПЛК написана с использованием пакета Proficy Machine Edition, который содержит набор стандартных инструментальных средств для обслуживания систем, построенных на базе изделий GE Fanuk, а также набор средств для настройки параметров контроллера, конфигурирования коммуникационных соединений, наладки, обслуживания и диагностики.

Управление параметрами электроосмотической сушки в зависимости от параметров теплоносителя, а также ввод данных в основной щит САУ для решения расчётных задач осуществляются беспроводной сетью передачи данных Wireless-HART, что обеспечивает передачу данных с высоким уровнем надёжности и имеет стек протоколов верхнего уровня, совместимый с промышленными протоколами HART, ModBus-RTU и Industrial Ethernet [7].

Шлюзы на каждой сушильной вагонетке образуют массив Wireless-Hart устройств. Аналогичный шлюз установлен в основном щите САУ, а связь непосредственно с ПЛК осуществляется через интерфейс Ethernet по протоколу Modbus TCP.

В щитах автоматизации вагонеток применены разработки ООО «Машавтоматика» (г. Калининград): шлюз Wireless HART WH12-01 и система сбора данных MK-12-03. Локальный щит автоматизации на основании данных, полученных от

датчиков и основного щита САУ по линии связи, формирует управляющие воздействия для управления напряжением процесса электроосмоса.

Предлагаемая система управления (рис. 4) позволяет не только повысить качество кирпича, но и увеличить производительность сушки.

Для визуализации процесса в системе автоматизации предусмотрено АРМ оператора.

Программное обеспечение АРМ оператора, разработанное на базе SCADA системы Wonderware In touch 10 и СУБД MS SQL Express, обладает возможностями расширения и модернизации.

Предлагаемая система автоматизации способна обеспечивать функции мониторинга и оперативного управления, отображает графическую, текстовую и цифровую информацию, позволяет опе-

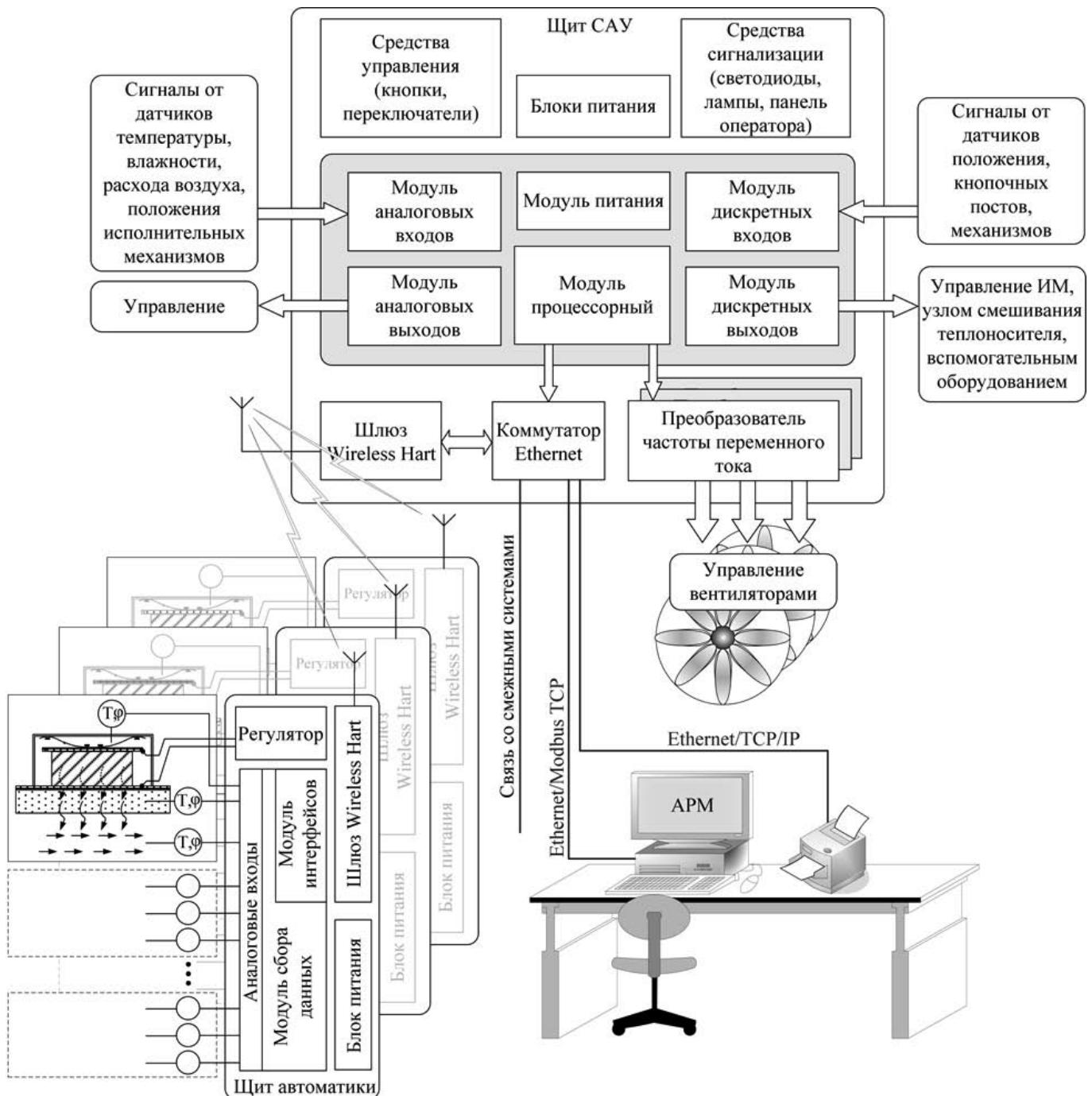


Рис. 4. Функциональная схема системы автоматизации

ратору управлять технологическим процессом вводом цифровой информации, отображает на экране АРМ сообщения о возникающих аварийных ситуациях.

Все предупреждения и отказы заносятся в электронный журнал, который можно просмотреть в экранной форме или распечатать с помощью принтера отчётов.

Дальнейшее совершенствование системы автоматизации основано на объединении локальных систем управления в единую АСУ ТП для синхронизации работы смежных систем (систем управления сушилкой, обжиговой печью, формированием, резкой и вспомогательным оборудованием).

Применяя предложенный способ сушки с описанной системой автоматизированного управления на базе современных технических решений, можно существенно повысить производительность сушилок керамического кирпича при высоком качестве высушиваемых изделий.

### **Библиографические ссылки**

1. **Лыков А.В.** Теория сушки: учеб. для вузов. М.: Энергия, 1968. 472 с.
2. **Смирнов Ю.В.** Пути повышения качества керамического кирпича и эффективность работы технологических линий. М.: ВНИИстром, 2004. С. 23–27.
3. **Усачёв А.М.** Сорбционная сушка // Актуальные проблемы современной науки: тр. 4-й междунар. конф. молодых учёных и студентов. Самара. 2003. С. 69–71.
4. **Жуков Д.В.** Скоростная сушка кирпича-сырца: учеб. для вузов. М.: Госстройиздат, 1959. 234 с.
5. **Сердобинцев С.П., Козлович Р.А.** Способ сушки отформатированного кирпича-сырца // Патент России № 2433102. 2011. Бюл. № 31.
6. **Кондратенко В.А., Пешков В.Н., Следнев Д.В.** Проблемы кирпичного производства и способы их решения // Строительные материалы. 2002. № 3. С. 43–45.
7. **Обзор** технологии Wireless HART URL: [http://www.hartcomm.org/LG/RU/protocol/wihart/wireless\\_overview.html](http://www.hartcomm.org/LG/RU/protocol/wihart/wireless_overview.html).



**ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ**

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ**

**В.И. Васильев**

2013 г.

Объем 172 с.

Формат 60x88 1/16

ISBN 978-5-94275-667-3

Цена 250 р.



Рассмотрены основы построения интеллектуальных систем защиты информации в корпоративных информационных системах. Особое внимание уделено построению биометрических систем идентификации личности, систем обнаружения и предотвращения вторжений, анализа и управления информационными рисками. Изложены современные подходы к созданию данного класса систем с использованием методов теории нейронных сетей, искусственных иммунных систем, нечетких когнитивных моделей.

Допущено Учебно-методическим объединением по образованию в области информационной безопасности в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специализациям специальности "Комплексное обеспечение информационной безопасности автоматизированных систем".

**Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:**

по почте: 107076, г. Москва, Стромынский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru)  
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте [WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)



УДК 669.162.263

**В.В. Лавров**, канд. техн. наук, доц., **Н.А. Спирин**, д-р техн. наук, проф., **Е.А. Девятых**  
 (Уральский федеральный университет им. первого президента России Б.Н. Ельцина,  
 г. Екатеринбург), **В.Ю. Рыболовлев**, канд. техн. наук, **А.В. Краснобаев** (ОАО «Магнитогорский  
 металлургический комбинат»)

lavrov@k66.ru

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ РАСЧЁТА ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ДОМЕННОЙ ШИХТЫ

*Описаны математическая модель и программное обеспечение информационно-моделирующей системы для расчёта оптимального состава доменной шихты с учётом технологических ограничений на шлаковый режим доменной плавки.*

**Ключевые слова:** информационно-моделирующая система, информационные технологии, доменное производство, оптимальная доменная шихта.

*Mathematical model and the software of the information-modeling system for the optimum blast furnace charge calculation by taking into account the technological restrictions on the blast furnace slag mode are described. The decision support system for blast furnaces engineering-technological personnel is designed.*

**Key words:** information-modeling system, informational technologies, blast furnace production, optimum blast furnace charge.

В современных условиях доменной плавки в состав рудной части шихты входит, как правило, несколько составляющих. При определении оптимального состава доменной шихты, подбора рациональных дутьевых параметров неизбежно решение оптимизационных задач, так как приходится при выборе оптимальных управляющих воздействий учитывать комплекс ограничивающих и лимитирующих параметров [1–4].

Постановка задачи выбора оптимального состава доменной шихты, а также последовательность решения задачи оптимизации отражена на рис. 1. Оптимизационная модель в данном случае включает в себя два основных компонента: целевая функция и технологические ограничения на доменную печь.

1. *Целевая функция.* Предусмотрены следующие варианты целевых функций:

заданная основность конечного шлака:

$$Z = B \rightarrow B_{3D} , \quad (1)$$

$$X_{i, \text{ш}} \in G_{x_{\text{ш}}}$$

где  $i$  – индекс вида шихтовых материалов;  $X_{i, \text{ш}}$  – вектор, характеризующий виды, расходы и химический состав  $i$ -х материалов доменной шихты;

$X_{i, \text{ш}} \in G_{x_{\text{ш}}}$  – ограничения на параметры шихты заполнения, т. е. виды, химические составы, физические свойства загружаемых шихтовых материалов;  $G_{x_{\text{ш}}}$  – область допустимых решений параметров шихты;

минимум содержания серы в чугуне:

$$Z = [S] \rightarrow \min_{X_{i, \text{ш}} \in G_{x_{\text{ш}}} ;} \quad (2)$$

минимум удельного расхода кокса:

$$Z = K \rightarrow \min_{X_{i, \text{ш}} \in G_{x_{\text{ш}}} ;} \quad (3)$$

максимум производительности:

$$Z = P \rightarrow \max_{X_{i, \text{ш}} \in G_{x_{\text{ш}}} .} \quad (4)$$

2. *Технологические ограничения.* Особенность решения сложных оптимизационных задач математического программирования связана с тем, что в процессе решения могут возникнуть такие случаи, когда ограничения, наложенные на режимы работы печи, противоречивы, т. е. отсутствует область

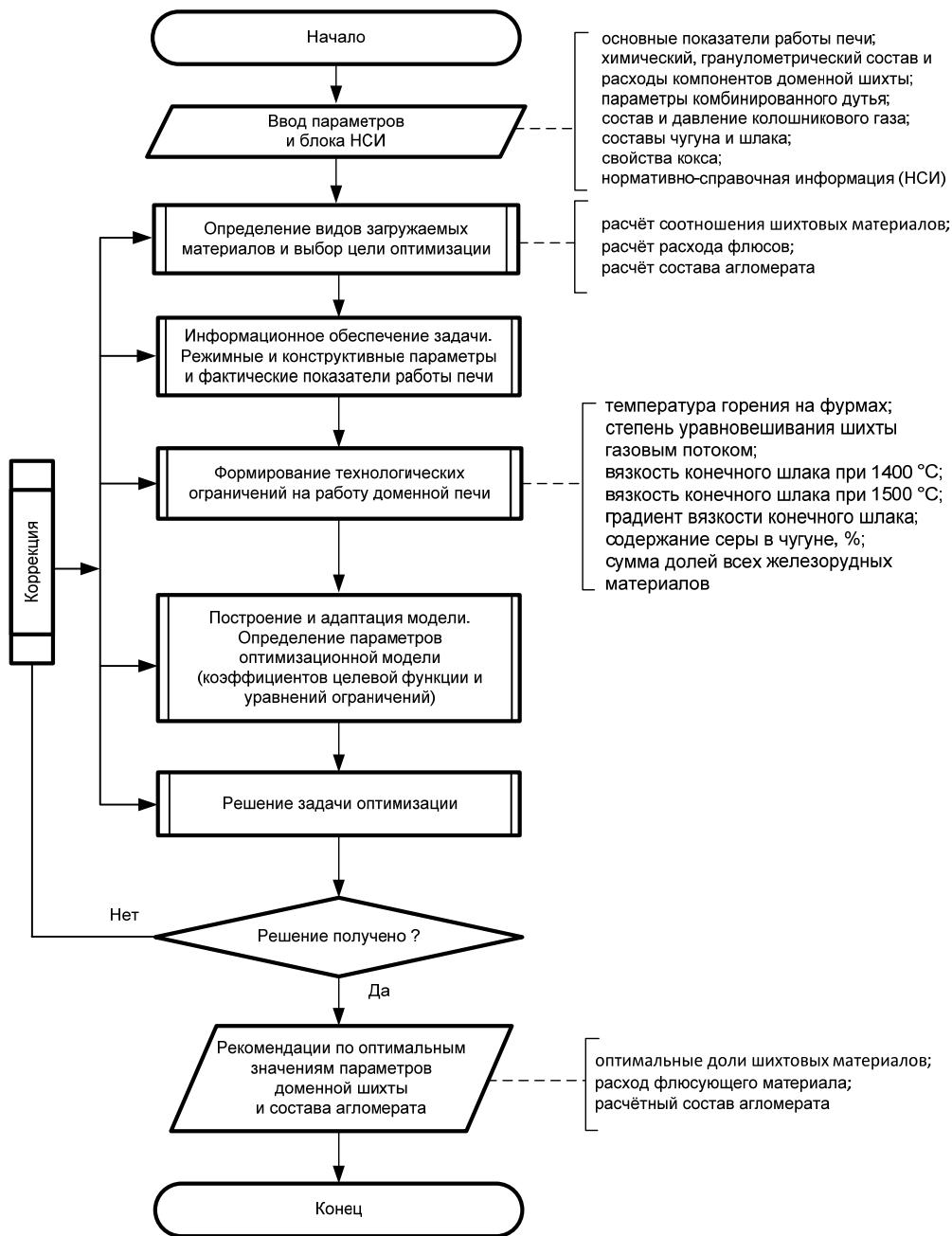


Рис. 1. Последовательность решения задачи выбора оптимального состава доменной шихты

допустимых решений. В связи с этим в алгоритме решения предусмотрен этап анализа решения задачи. В случае отсутствия допустимой области решения задачи и противоречивости условий используется этап коррекции, т. е. оценка корректности использования шихтовых материалов, ограничений, надёжности исходной информации и т. д.

В связи с этим важным этапом решения задачи выбора оптимального состава шихты является формирование технологических ограничений, предусматривающих учёт и математическое описание ограничений на тепловой, газодинамический и шлаковый режимы плавки. В общем случае ограни-

чения сводятся к следующему: реализация рационального газодинамического режима; обеспечение нормального шлакового режима; получение чугуна с допустимым содержанием в нём серы.

**Тепловой режим.** При выборе ограничивающих факторов, характеризующих тепловой режим, расход кокса в проектном периоде определялся с использованием корректировочных коэффициентов, что обеспечивает баланс тепла в целом по печи (или в лимитирующей нижней зоне печи). В связи с этим в качестве дополнительного параметра выбрана теоретическая температура горения на фурмах

$$T^{\min} \leq T(X_{\Delta}) \leq T^{\max}; \quad X_{\Delta} \in G_{x_{\Delta}}, \quad (5)$$

где  $X_{\Delta}$  – вектор, характеризующий вид, расход и состав дутьевых параметров (влажность дутыя, расход природного газа, технологического кислорода);  $G_{x_{\Delta}}$  – области допустимых значений параметров дутыя;  $T^{\min}, T^{\max}$  – минимально и максимально допустимые значения теоретической температуры горения, °C.

*Газодинамический режим.* При выборе дутьевых параметров (вектора  $X_{\Delta}$ ), состава и свойств шихтовых материалов (вектора  $X_{i,\text{ш}}$ ) следует учитывать то обстоятельство, что не должен нарушаться газодинамический режим доменной плавки. Математически это означает, что степень уравновешивания шихты газовым потоком  $CY(X_{i,\text{ш}}, X_{\Delta})$  не должна превышать максимально допустимого значения  $CY_{\text{КР}}$ :

$$CY(X_{i,\text{ш}}, X_{\Delta}) \leq CY_{\text{КР}}. \quad (6)$$

Как показывает практика работы доменных печей ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»), ОАО «НЛМК» и др. [1, 2], изменение в сходе шихтовых материалов наступает при достижении значения  $CY_{\text{КР}} = 45–50\%$ . Этот параметр является настройкой модели.

#### Шлаковый режим:

значение вязкости конечного шлака при температуре 1400 °C,  $\eta_{1400}$  находится в интервале

$$\eta_{1400}^{\min} \leq \eta_{1400}(X_{i,\text{ш}}, X_{\Delta}(\tau)) \leq \eta_{1400}^{\max}, \quad (7)$$

где  $\eta_{1400}^{\min}, \eta_{1400}^{\max}$  – постоянные величины, минимально и максимально допустимые вязкости при температуре 1400 °C (при 1400 °C обеспечивается движение шлака через коксовую насадку);

значение вязкости конечного шлака при температуре 1500 °C,  $\eta_{1500}$  находится в интервале

$$\eta_{1500}^{\min} \leq \eta_{1500}(X_{i,\text{ш}}, X_{\Delta}(\tau)) \leq \eta_{1500}^{\max}, \quad (8)$$

где  $\eta_{1500}^{\min}, \eta_{1500}^{\max}$  – постоянные величины, минимально и максимально допустимые вязкости при температуре 1500 °C (ограничение обусловлено тем, что температуру 1500 °C имеет выпускаемый из печи конечный шлак);

градиенты вязкости не превышают допустимых значений:

$$\Delta\eta_7^{25} \leq (\Delta\eta_7^{25})^{\max}; \quad (9)$$

$$\Delta\eta_{1400}^{1500} \leq (\Delta\eta_{1400}^{1500})^{\max}, \quad (10)$$

где  $\Delta\eta_7^{25} = \frac{25 - 7}{t_7^{\text{шл}} - t_{25}^{\text{шл}}} \lim_{x \rightarrow \infty}$  – градиент-1 вязкости шла-

ка, численно равный уменьшению вязкости шлака при увеличении температуры шлака на 1 °C в диапазоне вязкости шлака от 25 до 7 пуз, пуз / °C;  $\Delta\eta_{1400}^{1500} = \frac{\eta_{1400} - \eta_{1500}}{1500 - 1400}$  – градиент-2 вязкости шлака, численно равный изменению вязкости шлака при изменении температуры шлака на 1 °C в пределах от 1400 °C до 1500 °C, пуз / °C;  $(\Delta\eta_7^{25})^{\max}, (\Delta\eta_{1400}^{1500})^{\max}$  – постоянные величины, максимально допустимые величины, соответственно, градиента-1 и градиента-2 вязкости шлака, пуз / °C.

*Качество выплавляемого чугуна.* Оценивается по содержанию серы в чугуне  $[Si](X_{i,\text{ш}}, X_{\Delta})$ . Оно не должно превышать допустимого предела  $[Si]_{\text{зд}}$ , т. е.

$$[Si](X_{i,\text{ш}}, X_{\Delta}) \leq [Si]_{\text{зд}}. \quad (11)$$

*Условие шихтовки.* Сумма весовых долей компонентов  $G_i^*$  железорудной части шихты равна единице, т. е.

$$\sum_{i=1}^n G_i^* = 1. \quad (12)$$

В математическом плане решение задачи оптимизации состава доменной шихты (1)–(12) не вызывает затруднений, так как в настоящее время имеется большой выбор компьютерных инструментальных средств для решения подобных задач (системы Microsoft Office Excel, MatLab, Visual Fortran, MathCAD, Maple, Mathematica и др.) [5–7].

Реализованное в доменном цехе ОАО «ММК» на основе описанной выше модели программное обеспечение предназначено для решения задачи выбора оптимального состава доменной шихты с учётом ограничений на шлаковый режим доменной плавки. Предусмотрено решение следующих технологических задач:

подбор оптимального соотношения долей агломерата ОАО «ММК» и одного из видов привозных окатышей (из выпадающего списка выбирается материал, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака);

подбор расхода одного из видов флюсующих материалов (из выпадающего списка выбирается вид флюса, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака);

подбор химии (основности) агломерата в проектном периоде при заданных расходах или долях железорудных материалов и флюсах.

После регистрации пользователя в программе и загрузки главной формы на экране будут отражены отчётные данные для базового периода работы доменной печи, которые автоматическичитываются из базы данных центра АСУ «ММК»

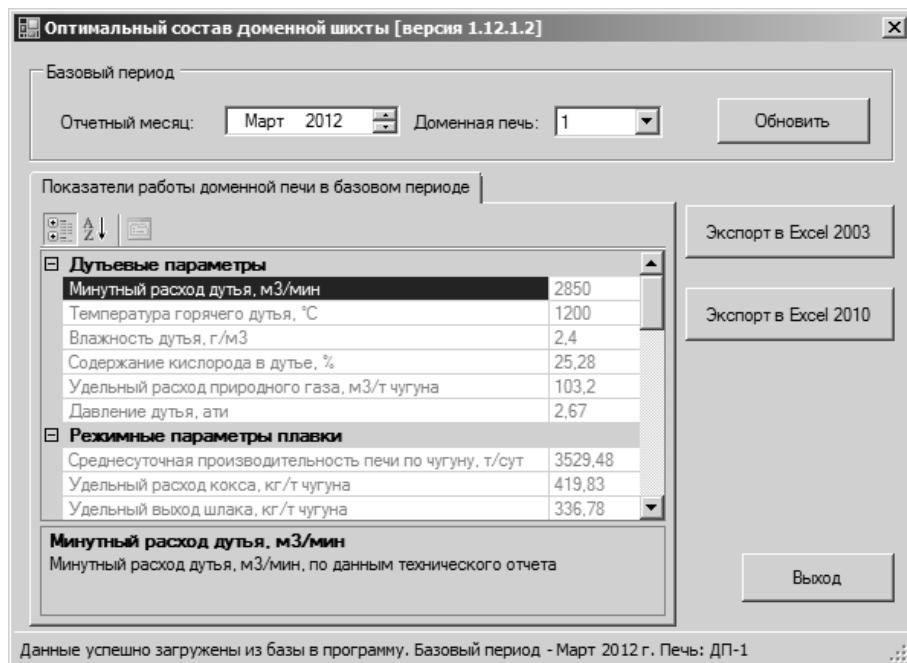


Рис. 2. Главное окно программы выбора оптимального состава доменной шихты

Optimalnaya domennaia shikhta 2010_ [Только для чтения] [Режим совместимости] - Microsoft Excel									
Файл Главная Вставка Разметка страницы Формулы Данные Рецензирование Вид Надстройки Load Test Acrobat Team									
Шрифт Выравнивание Число Стили Ячейки									
B2	f4	1.3.2012 (ДП-1)							
A	В	С	D	E	F	G	H	I	
Рассматриваемые периоды			ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технологические показатели	1.3.2012 (ДП-1)	Проектный			Показатель	Периоды			
Среднесуточное производство, т/сут	3529,48	3530,6				Базовый	Проектный	Изменение	
Выход шлака, кг/т чугуна (факт.)	336,78	н/д			Основность шлака:				
Расчетный по вых. шлакобр. кг/т. чуг	11,5	11,5			CaO/SiO <sub>2</sub>	0,991	0,998	0,007	
Вынос пыли (уловленной), кг/т чугуна	29,6	29,6			(CaO+MgO)/SiO <sub>2</sub>	1,228	1,241	0,013	
Дутье:					(CaO+MgO)/(SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	0,953	0,935	-0,018	
давление, атм	2,67	2,67			Обобщенная (по Куликсову)	1,179	1,187	0,008	
температура, °C	1200	1200			Температура шлака, °C	1520,90	1520,90	0	
влажность, г/м <sup>3</sup>	2,4	2,40			Температура шлака (при 25 пуз.), °C	1321,69	1317,27	-4	
содержание кислорода, %	25,28	25,28			Вязкость шлака, пуз.:				
Расход природного газа, м <sup>3</sup> /т чугуна	103,2	103,2			при температуре шлака	2,780	2,98	0,20	
Состав чугуна, %					при 1400 °C	7,775	7,96	0,19	
	Si	0,697			при 1450 °C	4,655	4,91	0,25	
	S	0,019			при 1500 °C	3,169	3,39	0,22	
	Mn	0,347			при 1550 °C	2,375	2,55	0,17	
	C	4,67			Масса серы, вносимая в печь, кг/т чугуна	2,81	2,78	-0,03	
	P	0,066			Коэффициент активности серы в чугуне	5,286	5,29	0,00	
	Ti	0,065			Парциальное давление CO, атм.	1,282	1,28	0,00	
Состав шлака, %					Коэффициент распределения серы	40,000	41,245	1,2	
	CaO	37,51			Содержание серы в чугуне, %	0,0190	0,0184	-0,0006	
	SiO <sub>2</sub>	37,86			Температура шлака (при 7 пуз.), °C	1409	1412	3	
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	10,92			Градиент вязкости, пуз / °C	0,206	0,190	-0,016	
	MgO	8,99							
	S	0,76							
	TiO <sub>2</sub>	0,88							
	CaO/SiO <sub>2</sub>	0,991							

Рис. 3. Окно программы Microsoft Office Excel с моделью выбора оптимального состава доменной шихты

за предыдущий месяц (рис. 2). Отчётные данные в базе формируются специалистами инженерно-технологический группы доменного цеха ежемесячно с помощью программного модуля «Технический отчёт доменного цеха».

Пользователь может изменить данные отчёточного периода с помощью календаря, а также выбрать из списка необходимую доменную печь. Получение из базы обновлённых данных происходит при нажатии кнопки «Обновить».

Для решения описанных выше технологических задач пользователь должен экспортить отчёты данные по доменной печи в специальный шаблон формата Microsoft Office Excel, в котором содержится модель выбора оптимального состава доменной шихты, и в зависимости от установленной на компьютере версии Microsoft Office Excel необходимо воспользоваться одной из кнопок «Экспорт в Excel 2003» или «Экспорт в Excel 2010». На экране появится окно программы Microsoft Office Excel с загруженным в неё файлом на основе выбранного шаблона (рис. 3). Данные за отчётный период работы доменной печи будут автоматически экспортованы в соответствующие ячейки таблиц.

Файл с моделью выбора оптимального состава доменной шихты Microsoft Office Excel содержит несколько листов электронной книги.

*На листе «Соотношение расходов железорудных материалов (ЖРМ)» решается задача выбора оптимального соотношения долей агломерата ОАО «ММК» и одного из видов привозных окатышей (выбор из списка). Пользователь может выбирать из выпадающего списка цель решения задачи (целевую функцию), вид управляющего воздействия (вид окатышей для корректировки долей ЖРМ), а также устанавливать нужные ограничения с помощью флаажков.*

#### *Виды целевых доступных функций:*

заданная основность конечного шлака; минимум содержания серы в чугуне; минимум градиента вязкости конечного шлака; минимум расхода кокса; максимум производительности.

#### *Виды возможных управляющих воздействий:*

агломерат ММК и окатыши ССГОК; агломерат ММК и окатыши Лебединские; агломерат ММК и окатыши Качанарские; агломерат ММК и окатыши Михайловские.

#### *Виды ограничений:*

вязкость конечного шлака при температуре шлака, пуз; основность конечного шлака ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ); вязкость конечного шлака при  $1450^\circ\text{C}$ , пуз; градиент вязкости конечного шлака, пуз /  $^\circ\text{C}$ ; доля агломерата ММК.

Поиск решения осуществляется нажатием кнопки «Расчёт соотношения ЖРМ». Если установлены ограничения, отмеченные флаажками, то при поиске оптимального соотношения долей ЖРМ учитываются установленные «коридоры» соответствующих параметров. Если надо быстро вернуться и установить расходы всех окатышей в проектном режиме, равные базовым значениям, то необходимо нажать кнопку «Проект как база».

*На листе «Расход флюсов» решается задача выбора расхода одного из видов флюсующих материалов (выбор из списка). Пользователь может задавать разные цели (выбор из списка) и устанавливать ограничения с помощью флаажков. На*

указанном листе пользователь может выбирать из выпадающего списка цель решения задачи (целевую функцию), вид управляющего воздействия (вид флюсующего материала), а также устанавливать нужные ограничения с помощью флаажков.

#### *Виды целевых функций:*

заданная основность конечного шлака; минимум серы в чугуне; минимум градиента вязкости конечного шлака; минимум расхода кокса; максимум производительности.

#### *Виды управляющих воздействий:*

известняк; плавиковый шпат; кварцит; шлак фракционированный.

#### *Виды ограничений:*

вязкость конечного шлака в интервале  $1450\text{--}1550^\circ\text{C}$ , пуз; градиент вязкости конечного шлака, пуз /  $^\circ\text{C}$ ; основность конечного шлака ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ ); содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в шлаке, %; содержание  $\text{MgO}$  в шлаке, %.

Поиск решения осуществляется нажатием кнопки «Расчёт расхода флюсов». Если установлены ограничения, то при поиске оптимальной величины расхода флюса учитываются установленные «коридоры» соответствующих параметров. Если надо быстро вернуться и установить расходы всех флюсов в проектном режиме, равные базовым значениям, то необходимо нажать кнопку «Проект как база».

*На листе «Основность агломерата» решается задача определения расчётного состава агломерата ОАО «ММК» в доменную шихту для обеспечения заданной основности конечного шлака. Управляющим воздействием является содержание  $\text{CaO}$  в агломерате. В базовом периоде возможен один из двух вариантов ввода химического состава загружаемого агломерата: по фактическим отчётным данным прошедшего периода работы доменной печи (кнопка «Проект как база») или скорректированным вручную.*

На листе предусмотрен учёт следующих ограничений при поиске решения:

вязкость конечного шлака при температуре шлака, пуз;

основность конечного шлака ( $\text{CaO}/\text{SiO}_2$ );

вязкость конечного шлака при  $1450^\circ\text{C}$ , пуз;

градиент вязкости конечного шлака, пуз /  $^\circ\text{C}$ ;

содержание серы в чугуне, %.

Установка или снятие ограничений осуществляется пользователем с помощью флаажков. Поиск решения осуществляется нажатием кнопки «Расчёт основности агломерата». Если установлены ограничения, то при поиске химического состава агломерата учитываются установленные «коридоры» соответствующих параметров.

*Лист «Исходные данные и результаты» предназначен для отображения информации по исходным данным и результатам расчёта. Все показате-*

ли в базовом и проектном режимах работы доменной печи сгруппированы и представлены в виде таблиц.

На листе «*Ввод составов (база)*» представлены составы ЖРМ, флюсов и кокса, используемых в базовом периоде работы доменной печи. В процессе моделирования пользователь может вручную корректировать данные базового периода. Если надо быстро вернуться и установить составы ЖРМ, флюсов и кокса в проектном режиме, равные базовым значениям, то необходимо нажать кнопку «Проект как база».

На листе «*Ввод составов (проект)*» представлены составы ЖРМ, флюсов и кокса, используемых в проектном периоде работы доменной печи. В первоначальный момент все величины проектного периода равны базовым значениям. В процессе моделирования пользоваться может вручную корректировать величину содержания любого элемента ЖРМ, флюсов и кокса. В отдельных строках представлены расчётный и базовый составы агломерата, которые не подлежат корректировке и рассчитываются по данным с других листов.

Лист «*Диагностика*» используется как блок нормативно-справочной информации (НСИ). Здесь установлены «коридоры» (минимальные и максимальные) значения показателей и сообщения, которые автоматически выводятся при диагностике шлакового режима на листах «*Соотношение расходов ЖРМ*» и «*Расход флюсов*». Пользователь при необходимости может скорректировать эти данные.

Общая последовательность решения задачи выбора оптимального состава доменной шихты заключается в следующем:

на листе «*Соотношение расходов ЖРМ*» пользователь, задавая основность конечного шлака и выбрав при этом управляющее воздействие, т. е. вид окатышей, с помощью которого должна производиться корректировка шихты для получения заданной основности шлака, производит расчёт нового соотношения материалов нажатием на кнопку «*Расчёт соотношения ЖРМ*». При этом автоматически пересчитывается состав шлака и производится диагностика его свойств;

если изменением соотношения материалов добиться требуемых свойств шлака не получается

или требования к соотношению достаточно «жёсткие», существует возможность рассчитать необходимый расход флюса на листе «*Расход флюса*»;

если расход флюсов окажется большим, можно подобрать требуемую основность агломерата на листе «*Основность агломерата*», чтобы сократить расход флюса. При этом автоматически пересчитываются все зависимые от вносимых изменений показатели (производительность, удельный расход кокса, содержание серы, титана в чугуне и др.).

Таким образом, разработанная математическая модель и реализованное на её основе программное обеспечение информационно-моделирующей системы позволяет инженерно-технологическому персоналу доменного цеха производить расчёт оптимального состава доменной шихты с учётом технологических ограничений на шлаковый режим доменной плавки. Промышленная эксплуатация информационно-моделирующей системы в доменном цехе ОАО «ММК» позволила сократить трудозатраты на решение технологических задач и повысить эффективность принятия управлений решений инженерно-технологическим персоналом цеха.

#### **Библиографические ссылки**

1. **Модельные** системы поддержки принятия решений в АСУ ТП доменной плавки / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, В.Ю. Рыболовлев и др. [под ред. Н.А. Спирина]. Екатеринбург: УрФУ, 2011. 462 с.
2. **Компьютерные** методы моделирования доменного процесса / О.П. Онорин, Н.А. Спирин, В.Л. Терентьев и др. [под ред. Н.А. Спирина]. Екатеринбург, УГТУ–УПИ. 2005. 301 с.
3. **Информационные** системы в металлургии / Н.А. Спирин, Ю.В. Ипатов, В.И. Лобанов и др. [под ред. Н.А. Спирина]. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2001. 617 с.
4. **Оптимизация** и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спирин, В.В. Лавров, С.И. Паршаков и др. [под ред. Н.А. Спирина]. Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2006. 307 с.
5. **Леоненков А.В.** Решение задач оптимизации в среде MS Excel. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 704 с.
6. **Брауде Э.** Технология разработки программного обеспечения / пер. с англ. СПб.: Питер, 2004. 655 с.
7. **Макконнелл С.** Совершенный код. Мастер-класс / пер. с англ. СПб.: Питер, 2007. 896 с.

## Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыаемых для публикации,  
можно найти на сайте [www.mashin.ru](http://www.mashin.ru)

УДК 681.519.7

**Г.А. Рустамов, д-р техн. наук, проф., А.Т. Абдуллаева, Р.Г. Рустамов**  
 (Азербайджанский технический университет, Республика Азербайджан, г. Баку)  
 gazanfar.rustamov@gmail.ru

## ОПТИМИЗАЦИЯ ФУНКЦИИ ЛЯПУНОВА ПРИ РЕЛЕЙНОМ УПРАВЛЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

*Представлена методика синтеза релейного управления при стабилизации динамических объектов с неполной математической моделью. Стратегия управления заключается в поддержании отрицательности производной функции Ляпунова изменением знака двухпозиционного релейного управления. Качество переходной характеристики задано в виде некоторой области ограничений и достигнуто в результате оптимизации параметров функции Ляпунова.*

**Ключевые слова:** оптимизация, функция Ляпунова, релейное управление, скользящий режим.

*Relay control synthesis methodology for stabilization of the dynamic objects with incomplete mathematical model is introduced. The control strategy consists in the negativity maintenance of the Lyapunov function derivative by changing of the relay control two-position sign. The transfer characteristic quality is given as certain restriction field and is achieved because of the Lyapunov function parameters optimization.*

**Key words:** optimization, Lyapunov function, relay control, sliding conditions.

**Введение.** Многие задачи синтеза стабилизирующего управления успешно решаются на основе метода функции Ляпунова [1–3]. Идея метода довольно проста и заключается в выборе такого управления, которое обеспечивает отрицательность производной функции Ляпунова вдоль траектории системы. Данная задача имеет неоднозначное решение и поэтому допускает оптимизацию параметров системы для получения наилучших результатов. Известные задачи отличаются видом выбранного управления и критерием оптимальности.

В статье использовано двухпозиционное релейное управление, а требования к системе задаются в виде «коробочки» Солодовникова [4]. В результате оптимизации переходная характеристика системы управления должна подгоняться в эту «коробочку». Оптимизация выполнена с помощью интерактивного пакета Simulink Response Optimization/Signal Constraint [4–7].

**Постановка задачи.** Рассмотрим одномерный по входу и выходу (SISO) нелинейный нестационарный объект  $n$ -го порядка, описываемый дифференциальным уравнением

$$y^{(n)} = f(y, t) + bu, \quad (1)$$

где  $y = (y, \dot{y}, \dots, y^{(n-1)})^T = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T = x \in R^n$  – доступный измерению или оценке вектор состояния;  $y(t) \in R$  – регулируемый выход объекта;  $u \in R$  – скалярное управление;  $f(x, t)$  – нелинейная нестационарная функция, характеризующая собственную динамику объекта;  $b > 0$  – коэффициент усиления объекта.

Об объекте известна следующая информация: объект является полностью управляемым; в рабочей области  $S = \{x: \|x\| < h\}$  объект имеет единственное положение равновесия ( $x = 0$ ), т. е.  $f(0, t) = 0$  для  $\forall t \geq 0$ .

Рассматривается задача стабилизации, состоящая в построении такого управления  $u$ , которое после завершения переходной составляющей обеспечивает движение выхода объекта  $y(t)$  по эталонной траектории (задание)  $y_3(t)$ . Причём переходная составляющая должна удовлетворять некоторым качественным показателям (время регулирования, перерегулирование и др.), которые достигаются её подгонкой в заданную область ограничений  $\Omega$  (здесь «коробочка» Солодовникова).

При этом состояние системы отслеживает эталонную траекторию  $y_3 = (y_3, \dot{y}_3, \dots, y_3^{(n-1)})^T$ . Вектор ошибки слежения определяется выражением  $\varepsilon = y_3 - y = (\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \dots, \varepsilon^{(n-1)})^T = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n)^T$ .

**Решение задачи.** Зададим управление в виде двухпозиционного релейного управления:

$$u = k(2p-1), \quad (2)$$

где  $k > 0$  – настраиваемый коэффициент усиления (уровень релейного сигнала).

Здесь  $p = 0$  ( $p = 1$ ) – состояние Т-триггера, описываемого уравнением

$$p(m+1) = p(m)\bar{U} + \bar{p}(m)U, m = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

В свою очередь, при  $U = 0$  ( $U = 1$ ) командный сигнал на изменение (реверс) знака управления (2) запишется в виде

$$U = \begin{cases} 1 & \text{если } dV/dt > 0, \\ 0 & \text{если } dV/dt < 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $V(\epsilon)$  – функция Ляпунова.

При  $dV/dt > 0$  знак изменяется, а при  $dV/dt < 0$  – сохраняется.

Такая стратегия реверса осуществляется с помощью Т-триггера. Если начальное состояние триггера  $p(0) = 1$  ( $p(0) = 0$ ) установлено неправильно, то происходит удаление траектории от положения равновесия ( $\epsilon = 0$ ). При этом производная  $dV/dt > 0$  и согласно выражению (4)  $U = 1$ , что вызывает изменение знака управления (2).

В качестве функции Ляпунова принимаем квадратичную форму:

$$V(\epsilon) = \epsilon^T Q \epsilon = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_{ij} \epsilon_i \epsilon_j, \quad (5)$$

где  $Q$  – симметричная матрица с элементами (параметрами)  $q_{ij}$ ;  $q_{ij} = q_{ji}$ .

Число оптимизируемых параметров  $N = n(n+1)/2$ . Матрица  $Q$  и коэффициент усиления  $k$  определяются в результате решения задачи оптимизации.

На рис. 1 показана переходная характеристика системы  $y(t)$  и приведены качественные показатели, используемые в блоке Signal Constraint.

Показатели качества вводятся с окна параметров Desired Response.

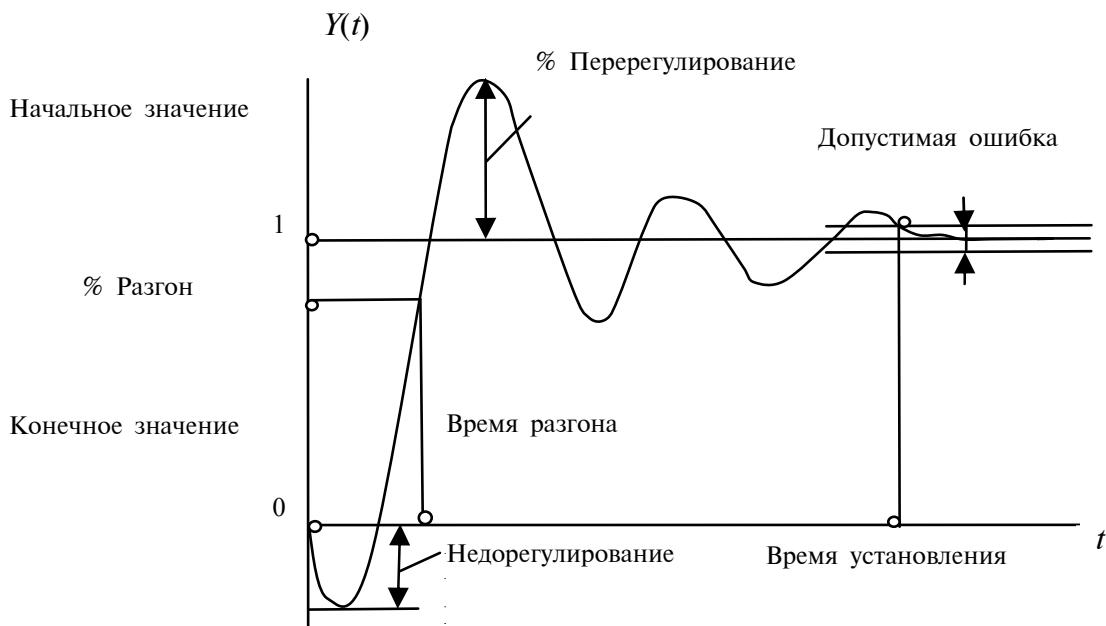


Рис. 1. Качественные показатели переходной характеристики

На рис. 2 представлено окно с показателями: начальное значение  $y(t_0) = 0$ ; конечное (установившееся значение)  $y(\infty) = 1$ ; начальное время  $t_0 = 0$ ; время разгона 2,5 с; разгон 0,9 ·  $y(\infty)$  100 %–90 %; время установления (регулирования) 7,5 с; допустимая ошибка 5 %; перерегулирование 2 %.

Значения в процентах означают проценты от установившегося значения  $y(\infty)$ .

На рис. 3 показана область  $\Omega$ , имеющая вид «коробочки» и соответствующая указанным выше качественным показателям и формирующаяся автоматически после нажатия кнопки OK.

На рис. 4 представлена схема релейного регулятора для объектов второго порядка ( $n = 2$ ), функционирующего согласно алгоритму выражений (2)–(5).

Предполагается, что составляющие математической модели объекта (1) неизвестны. Поэтому сигнал  $dV(\epsilon)/dt$  формируется не аналитически, а дифференцированием функции Ляпунова  $V(\epsilon)$ , которая формируется в реальном режиме времени на основе измеряемой ошибки  $\epsilon$ .

**Пример.** Особенности задачи управления рассмотрим на примере стабилизации нелинейного маятника с уравнением [8]

$$\ddot{y} = -\mu \sin(y) + bu, \mu = g/\ell, \quad (6)$$

где  $y$  – угол отклонения маятника от вертикали.

В соответствии с выражением (1) здесь  $n = 2$ ,  $f(y, t) = -\mu \sin(y)$ . Пусть  $\mu = 2c^{-1}$ ,  $b = 1$ .

При моделировании на пакете Simulink уравнение (6) было представлено в фазовых переменных  $x_1 = y$ ,  $x_2 = \dot{y}$ :

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= x_2; \\ \dot{x}_2 &= -2\sin(x_1) + u; \\ y &= x_1.\end{aligned}$$

Эталонную траекторию задаём в виде единичного скачка  $y_g = 1(t)$ .

На рис. 5 показаны конфигурация области  $\Omega$ , графики  $y(t)$ ,  $u(t)$  и численные результаты поиска оптимизируемых параметров.

Оптимальные значения параметров:  $k = 0,8183$ ,  $q_{11} = 1,3527$ ,  $q_{22} = 0,9793$ ,  $q_{12} = 0,6334$ . При начальных значениях параметров, равных единице, время поиска составило  $T = 12$  мин.

Графики  $y(t)$  и  $u(t)$  получены моделированием системы на пакете Simulink.

В последней итерации переходная характеристика  $y(t)$  полностью подогнана в заданную область  $\Omega$ . Если качественные показатели не могут быть выполнены одновременно, то принимается компромиссное решение.

Отметим, что получение монотонной переходной характеристики на последнем интервале управления привело к возникновению скользящего движения, при котором частота разрывов управляющего сигнала существенно возрастает [1]. Эта особенность заметна на графике  $u(t)$  и на фазовом портрете (рис. 6). Скользящий режим возникает на некоторой кривой  $L$  с уравнением  $V(\varepsilon) = 0$ .

Скользящий режим можно устраниТЬ изменением требований к качеству системы.

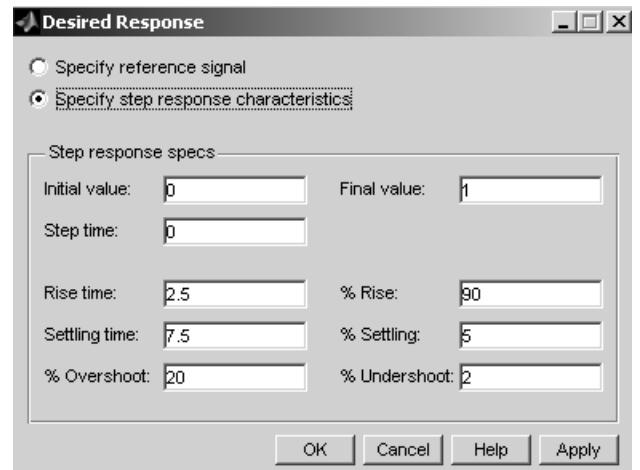


Рис. 2. Окно качественных показателей

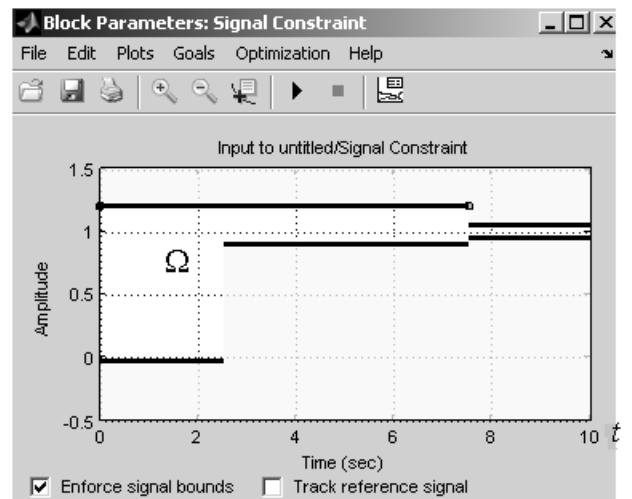


Рис. 3. «Коробочка» Солодовникова

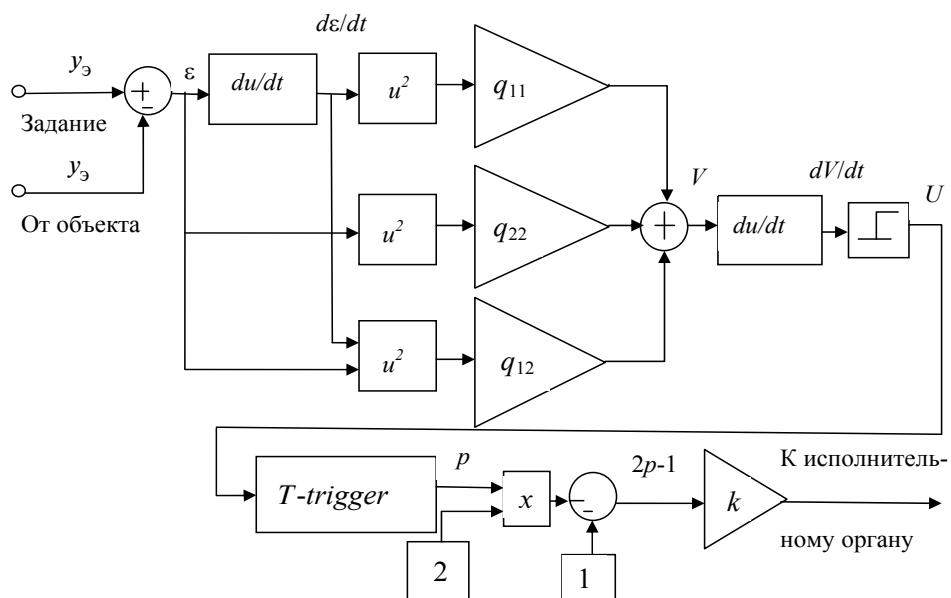


Рис. 4. Схема релейного регулятора

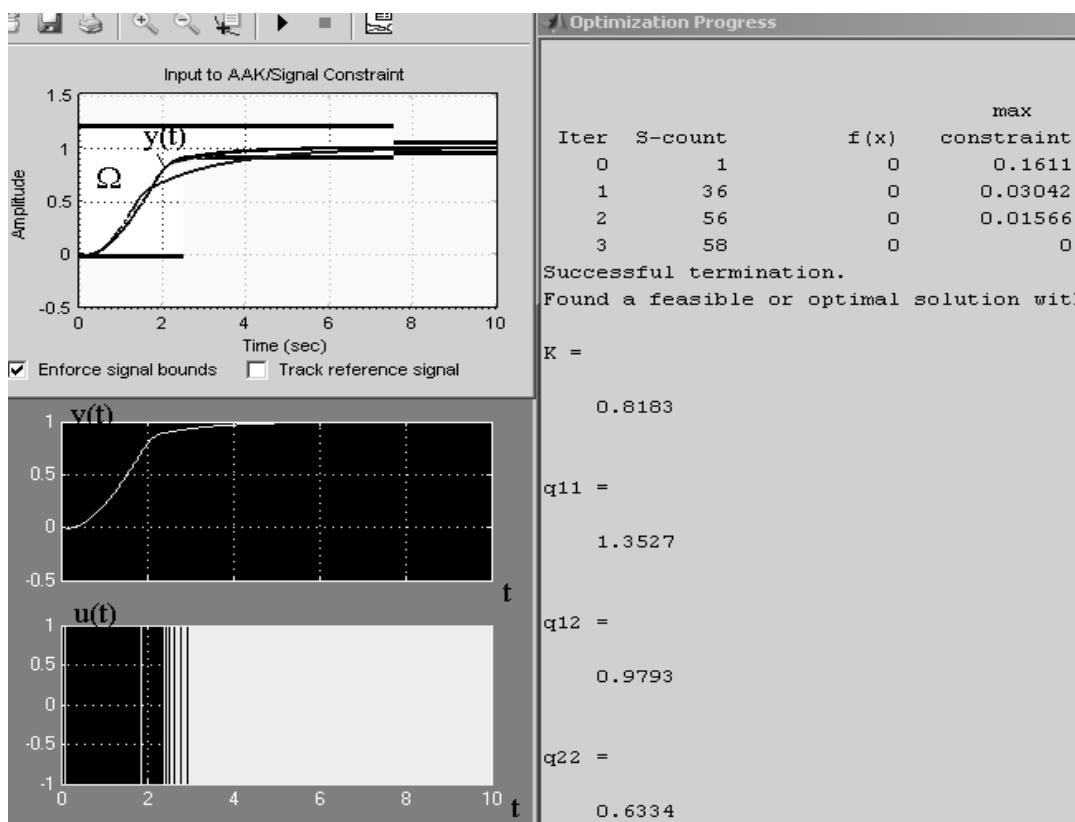


Рис. 5. Результаты решения задачи оптимизации

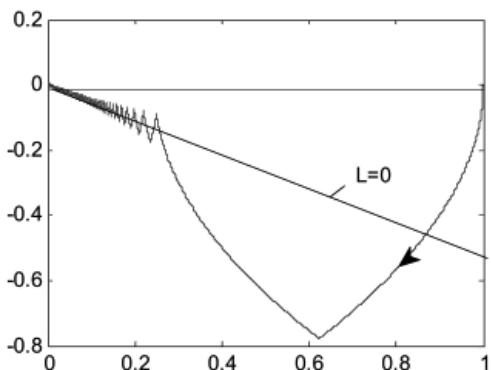


Рис. 6. Фазовый портрет системы стабилизации

**Заключение.** Показано, что при неопределённости в модели объекта можно построить простое релейное управление с оптимизацией параметров функции Ляпунова. Пакет Signal Constraint позволяет получить желаемые качественные показатели переходной характеристики заданием нужной конфигурации области ограничений для переходной характеристики. Стремление получить монотонную переходную характеристику приводит к возникновению скользящего режима, при котором частота разрывов управляющего сигнала существенно возрастает. Этот режим можно уст-

ранить изменением конфигурации области ограничений.

Предложенную методику можно использовать и для построения законов управления, отличающихся от релейного.

#### Библиографические ссылки

1. Utkin V.I. Sliding Modes in Optimization and Control Problems. Springer Verlag, New York: 1992. 368 c.
2. Декарло Р.А., Жак С.Х., Мэттьюз Г.П. Управление с переменной структурой нелинейными многомерными системами. Обзор // ТИИЭР. 1988. Т. 76. № 3, С. 4–27.
3. Lee H., Tomizuka M. Adaptive Traction Control. University of Colifornia, Berkeley/ Departament of Mechanical Engineering. California PATH Research Report. UCB – ITS-PRR-95-32, September, 1995. 66 c.
4. Лазарев Ю.Ф. Начало программирования в среде Matlab: учеб. пособие. Киев: НТУУ «КПИ», 2003. 424 с.
5. Дьяконов В.П. Справочник по применению системы РС Matlab. М.: Физматлит, 1993. 112 с.
6. Simulink® Response Optimization TM Getting Started Guide, 3 nd printing, Natick, The Mathworks Inc., 2008.
7. Veremey E.I., Pogojev S.B. Nonlinear Control Design Blockset [Online] Availabe:URL: <http://matlab.Exponenta.ru/nonlinecondes/book1/preface.php>.
8. Арнольд В.И. Обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1984. 272 с.

УДК 629.1.6.006.2

**О.А. Носов**, д-р техн. наук, проф., **М.А. Васечкин**, канд. техн. наук, доц.,  
**Е.А. Рыжкова** (Воронежская государственная технологическая академия)

vmax77@mail.ru

## НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕСКОНТАКТНЫХ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ СИСТЕМ

*Проведены исследования импульсного режима подачи газа в буферный слой. Даны рекомендации, позволяющие выбрать режим запитывания, при котором отсутствуют зоны пневмозахвата.*

**Ключевые слова:** буферный газовый слой, экспериментальные исследования, пневмозахват, импульсная подача газа.

*Research of the gas supply impulse mode to the buffer layer was carried out. Recommendations allowing to choose the supply mode with the absence of pneumatic grip areas are given.*

**Key words:** buffer gas layer, experimental researches, pneumatic grip, impulse gas supply.

В ряде отраслей промышленности возникает необходимость в исключении контакта обрабатываемых изделий с рабочими поверхностями технологического оборудования. Это вызвано особенностями реологии объекта воздействия: повышенной адгезионной способностью, агрессивным характером химических и физико-химических взаимодействий и т. д. Зачастую обрабатываемые изделия являются вязкопластичными или вязкоупругопластичными легкодеформируемыми массами.

В настоящее время единственным способом устранения контакта с изделием в процессе его производства является создание под его опорной поверхностью газового буферного слоя.

Для этого разработана система, называемая газовым, или струйным, буфером, состоящая из газового буферного слоя, образованного за счёт истечения сплошной среды сквозь отверстия распределительной решётки, собственно решётки и нагруженным извне объектом воздействия. При этом буферный слой служит для ослабления механического взаимодействия между обращёнными в его сторону рабочими поверхностями распределительной решётки и объекта струйного воздействия (рис. 1).

Буферный слой характеризуется распределением скоростей и давления среды в направлениях вдоль и поперёк слоя, его толщиной и механическими свойствами среды. В качестве среды, образующей буферный слой, чаще всего используются невязкие жидкости или газы, так как их нагнетание в буферный слой требует меньших затрат энергии. Объекты струйного воздействия могут быть газообразными, жидкими и твёрдыми.

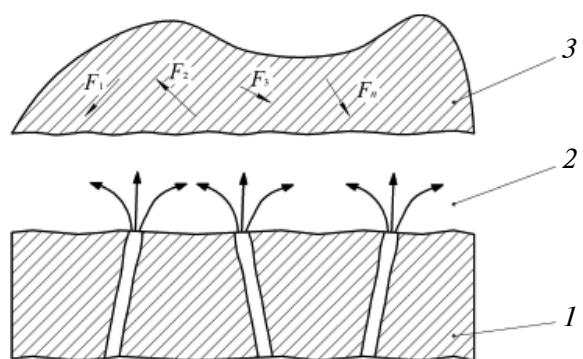
Устройства с газовым буферным слоем и похожие им применяют в химической, радиоэлектронной, пищевой и других отраслях промыш-

ленности. Такие устройства позволяют совмещать процессы охлаждения, сушки, нагрева и релаксации полуфабриката. Газовая среда играет роль смазки, может служить амортизирующим или демпфирующим элементом. Кроме того, возможно совмещение процесса транспортирования с какими-либо технологическими операциями.

К нарушению функционирования газового буферного слоя может привести эффект прошивания и пневмозахвата за счёт неоднородности поля давления в газовом буфере. В настоящее время для полного или частичного исключения таких эффектов используют следующие технические решения.

*Использование питающих карманов [1].* Недостаток данного решения – большой расход воздуха, трудная реализация в конструкциях для транспортирования.

*Подбор режима подачи газа*, позволяющего вывести зону пневмозахвата за пределы изделия [2].



**Рис. 1. Газовый буфер:**

1 – распределительная решётка; 2 – газовый буферный слой; 3 – объект воздействия ( $F_1, \dots, F_n$  – внешние нагрузки)

Недостаток – большой расход газа, увеличение вероятности прошивания.

*Использование ячеек с нечётко заданной геометрией газораспределительной решётки*, изготовленных из бронзового порошка (бронза ОФ-10-1) [3]. Недостаток – сложность изготовления и применение дорогостоящих цветных металлов.

*Применение дискретной подачи газа* [4]. Недостаток – наличие электромеханического привода и движущихся частей внутри пневмокамеры.

*Запитывание буфера в нестатическом режиме* [5]. Недостаток – сложность конструкции и контроля режимов запитывания.

Указанные недостатки можно исключить, используя способ импульсной подачи газа в буферный слой, для реализации которого разработана конструкция с кипящим слоем (рис. 2). Однако было установлено, что без рекомендаций трудно выбрать режим запитывания, при котором отсутствовали бы зоны пневмозахвата. Выявлено, что появление таких зон зависит от частоты перекрытия выпускных сопел газораспределительной решётки.

Экспериментальные исследования влияния частоты перекрытия цилиндрического питающего сопла на возникновение зон пневмозахвата проводились на установке, представленной на рис. 3.

При проведении эксперимента диск помещался на газовый буферный слой, созданный за счёт истечения сжатого газа под опорную поверхность диска через питающее отверстие газораспределительной решётки. Импульсная подача газа обеспечивалась за счёт циклического изменения площади проходного сечения с помощью сферической заслонки, закреплённой на валу двигателя.

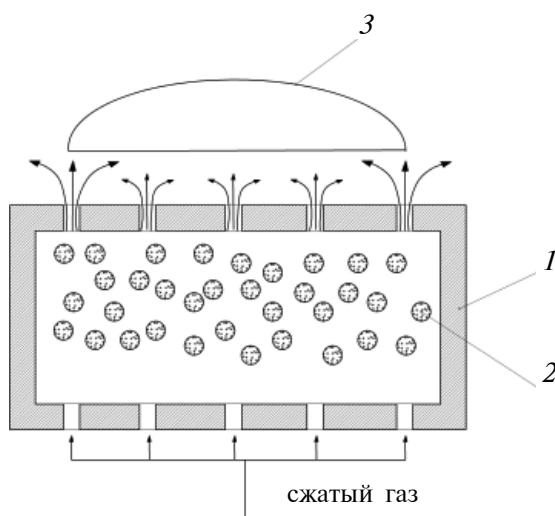


Рис. 2. Устройство с кипящим слоем:

1 – пневматическая камера; 2 – зернистый материал; 3 – полуфабрикат

Наличие зон пневмозахвата было выявлено при возникновении колебаний измерительного диска на газовом буферном слое, т. е. возникающие зоны притягивали диск к газораспределительной решётке, уменьшая тем самым толщину слоя. При этом происходило перераспределение давления под диском, что, в свою очередь, увеличивало толщину этого слоя.

Таким образом, диск начинал колебаться на буферном слое. Наличие колебаний можно было выявить с помощью несложной экспериментальной установки (рис. 4). Образованная система «газораспределительная решётка – газовый буферный слой – измерительный диск» в таком виде представляет собой конденсатор, ёмкость которого определяется по формуле

$$c = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{h},$$

где  $\epsilon_0$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей пространство между пластинами;  $\epsilon$  – безразмерная относительная диэлектрическая проницаемость среды, характеризующая её электрические свойства;  $S$  – площадь поверхности, м<sup>2</sup>;  $h$  – толщина газового буфера, м.

При отсутствии колебаний измеренная ёмкость была постоянна, а при их наличии на экране измерительной станции появлялось сообщение о быстром изменении ёмкости.

Анализ результатов показал, что при частоте  $\omega$ , превышающей  $\omega_{\min}$ , ёмкость конденсатора не изменялась. Это свидетельствует о том, что расстояние между газораспределительной решёткой и опорной поверхностью диска постоянно во времени.

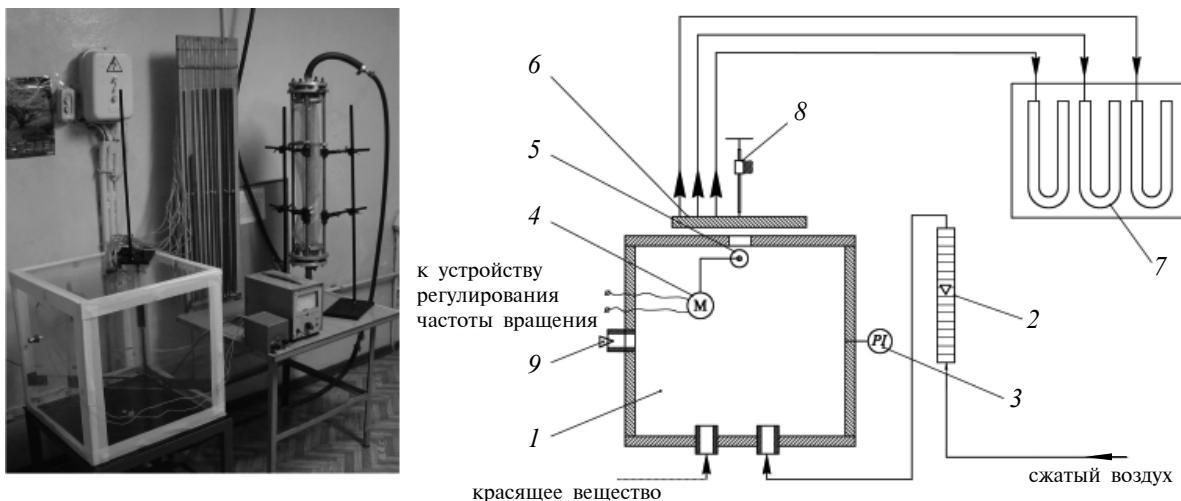
Минимальная рекомендуемая циклическая частота изменения площади проходного сечения определяется выражением

$$\omega_{\min} = \frac{\vartheta_{3B}}{R_{iz}},$$

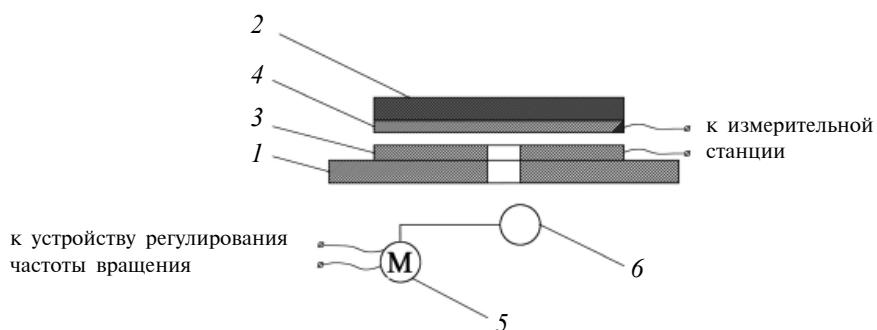
где  $\vartheta_{3B}$  – скорость звука в газообразных средах, м/с;  $R_{iz}$  – радиус изделия, м.

Для качественного выявления зон пневмозахвата в буферный слой совместно с газом подавалось красящее вещество, которое оседало на опорной поверхности измерительного диска. При наличии таких зон на поверхности диска выделялись светлые кольцевые участки (рис. 5), а при их отсутствии, наблюдавшейся при частоте перекрытия, поверхность диска была окрашена равномерно.

Возникновение зон пневмозахвата обусловлено большим влиянием инерции газа, что проявляется при установленном режиме подачи газа.

**Рис. 3. Экспериментальная установка:**

1 – пневмокамера; 2 – ротаметр; 3 – манометр; 4 – электродвигатель; 5 – водило со сферической заслонкой; 6 – измерительный диск; 7 – дифференциальные манометры; 8 – винтовой механизм; 9 – перепускной клапан; 10 – электронный тахометр; 11 – измерительная пластина

**Рис. 4. Фрагмент экспериментальной установки для исследования влияния частоты вращения заслонки на постоянство толщины газового буфера:**

1 – газораспределительная решётка; 2 – измерительный диск; 3, 4 – токопроводящий материал; 5 – электродвигатель; 6 – водило со сферической заслонкой

В случае импульсной подачи влияние инерции газа снижается, а при частоте запитывания, превышающей  $\omega_{\min}$ , полностью исключается.

Таким образом, при импульсной подаче газа, образованной за счёт циклического изменения площади проходного сечения с помощью сферической заслонки, определим поле давления газа в буферном слое:

$$p = p_{ct} + p_v,$$

где  $p_{ct}$  – избыточное давление, обусловленное истечением газа при стационарном режиме, Па;  $p_v$  – волновая составляющая давления при импульсной подаче газа, Па.

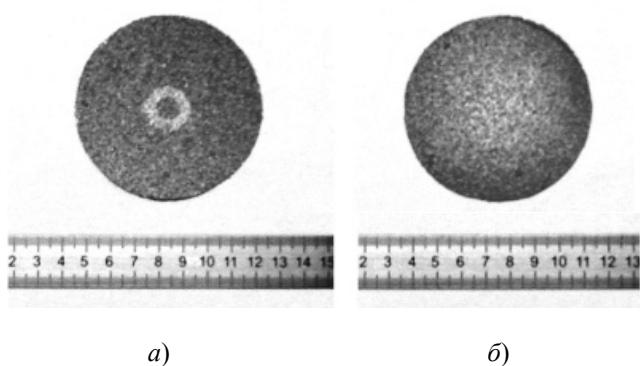
Выражение для определения избыточного давления, обусловленного истечением газа при статическом режиме, можно получить, используя систему

уравнений Навье–Стокса без учёта инерционных членов совместно с уравнением неразрывности:

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial r} = \mu \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \\ \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \\ \frac{\partial p}{\partial \phi} = 0 \end{cases};$$

$$\frac{\partial(rV_r)}{\partial r} = 0,$$

где  $r$  – текущий радиус, м;  $z$  – текущая толщина буферного слоя;  $\phi$  – угловая координата;  $\mu$  – динамическая вязкость газа, Па·с;  $V_r$  – составляющая скорости газа в радиальном направлении, м/с.



**Рис. 5. Опорная поверхность измерительного диска при подаче красящего вещества в газовый буфер при частоте перекрытия цилиндрического сопла сферической заслонкой:**

*a* –  $\omega < \omega_{\min}$ ; *b* –  $\omega \geq \omega_{\min}$

Волновую составляющую давления определим, используя волновое уравнение [6]:

$$\frac{\partial^2(p_B r)}{\partial t^2} = \vartheta_{3B}^2 \frac{\partial^2(p_B r)}{\partial r^2},$$

где  $t$  – текущее время.

После ряда преобразований получено выражение для определения поля давления в газовом буфере:

$$p = \frac{6\mu Q_{\min}}{\pi h^3} \ln \frac{R_{\text{из}}}{r} + p_0 \sqrt{\frac{r_0}{r}} \exp \left[ i \frac{\xi}{R_{\text{из}}} (\vartheta_{3B} t - r) \right], \quad (1)$$

где  $R_{\text{из}}$  – радиус изделия, м;  $h$  – толщина прослойки, м;  $r_0$  – радиус отверстия, м;  $\xi \leq 1$  – масштабный коэффициент;  $Q_{\min}$  – минимальный расход газа, когда площадь проходного сечения наименьшая,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $p_0$  – давление звуковой волны на расстоянии  $r_0$  от центра отверстия, Па.

В свою очередь,

$$p_0 = \frac{\rho(Q_{\max} - Q_{\min})^2}{4\pi r_0 h};$$

$$Q_{\min} = \left\{ -\frac{3\mu}{h^3} \left( R_{\text{из}}^2 - r_0^2 + 2r_0^2 \ln \frac{r_0}{R_{\text{из}}} \right) + \right.$$

$$\left. + \left[ \frac{9\mu^2}{h^6} \left( R_{\text{из}}^2 - r_0^2 + 2r_0^2 \ln \frac{r_0}{R_{\text{из}}} \right)^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{4\rho mg \left( \frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right)^2}{h} \left( R_{\text{из}} \sqrt{\frac{R_{\text{из}}}{r_0}} - r_0 \right) \right]^{1/2} \right\} / \\ \left/ \left[ \frac{2\rho \left( \frac{S_{\max}}{S_{\min}} - 1 \right)^2}{3h} \left( R_{\text{из}} \sqrt{\frac{R_{\text{из}}}{r_0}} - r_0 \right) \right] \right\},$$

где  $\rho$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $Q_{\max}$  – максимальный расход газа при полностью открытом отверстии,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $m$  – масса изделия, кг;  $S_{\max}$ ,  $S_{\min}$  – площадь проходного сечения при максимальном и минимальном расходе газа, соответственно,  $\text{м}^3$ .

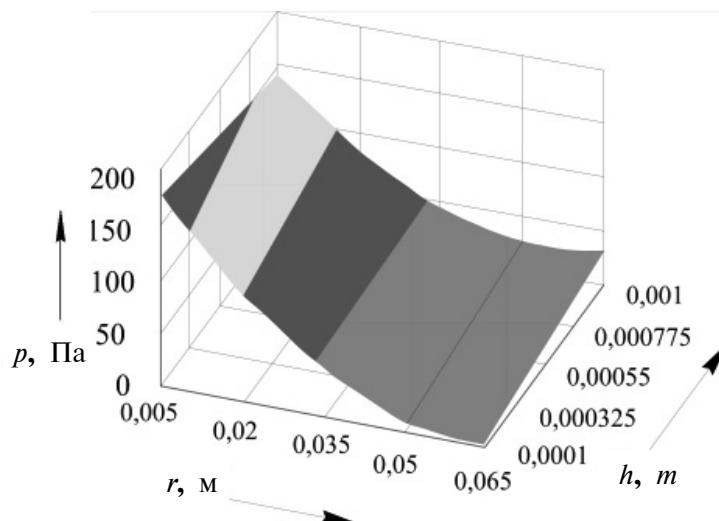
Для подтверждения адекватности модели проведены исследования поля давления в газовом буфере при импульсной подаче газа. Исследования проводились на лабораторной установке (см. рис. 3). Газ истекал из отверстия газораспределительной решётки под опорную поверхность диска. Величина зазора между распределительной решёткой и диском выставлялась с помощью винтового механизма 8. В диске выполнены измерительные отверстия, связанные с дифференциальными манометрами, которые позволяют фиксировать как избыточное давление, так и разряжение. Расположение измерительных отверстий позволяет измерять давление под диском при различных значениях радиуса.

При проведении исследований применялся ротатабельный метод планирования эксперимента, позволяющий получить наиболее точное математическое описание процессов.

В результате получено регрессионное уравнение, связывающее давление воздуха под диском с толщиной газового буфера и текущим радиусом:

$$p = 214,0591 - 45425,7081h - 6537,179r + \\ + 1297911,169hr + 48104,5063r^2.$$

На рис. 6 представлена зависимость величины давления воздуха  $p$  под диском с толщиной  $h$  газового буфера и текущим радиусом  $r$ . Анализ зависимости показал, что при импульсной подаче газа и выбранных пределах варьирования значений  $h$  и  $r$  на поле давления в наибольшей степени влияет текущий радиус. Давление под диском мо-



**Рис. 6. Зависимость давления воздуха под диском от текущего радиуса  $r$  и толщины прослойки  $h$**

нотонно убывает с увеличением  $r$  и возрастает с увеличением  $h$ .

Характер данной зависимости можно объяснить тем, что при большем значении  $h$  под диском в газовом буферном слое находится большее количество газа. Убывание давления с увеличением значения  $r$  вызвано перераспределением, обусловленным оттоком сжатого воздуха в атмосферу на радиусе изделия  $R_{из}$ .

Сходимость экспериментальных данных с рассчитанными по формуле (1) величинами оценивалась в соответствии с ГОСТ 11006–74 [7]. Выражение для определения критерия согласия имеет вид:

$$\chi^2_{\text{наб}} = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i^{\text{р}} - y_i^{\text{эксп}})^2}{y_i^{\text{эксп}}} \leq \chi^2_{\text{кр}},$$

где  $N$  – объём выборки;  $y_i^{\text{эксп}}$  – экспериментальное значение функции отклика;  $y_i^{\text{р}}$  – рассчитанное значение функции отклика.

Число степеней свободы

$$k = N - n,$$

где  $n$  – число факторов эксперимента.

При импульсной подаче газа под изделие наблюдался критерий согласия  $\chi_{\text{наб}} = 0,0033$ , число степеней свободы  $k = 11$ .

По уровню значимости  $\alpha = 0,05$  и числу степеней свободы, используя таблицы критических точек распределения  $\chi$ , определим  $\chi^2_{\text{кр}} = 4,57$  [8]. Так как  $\chi^2_{\text{наб}} < \chi^2_{\text{кр}}$ , нет оснований отвергать нулевую гипотезу, т. е. расхождение экспериментальных и теоретических частот незначительное.

Таким образом, результаты исследований могут быть использованы при разработке устройств с газовым буферным слоем, содержащих кипящий слой и позволяющих исключить пневмозахват и прошивание.

#### Библиографические ссылки

- Сырицын Л.М. Расчёт расходнoperепадных характеристик пневмоячейки с цилиндрическим питающим карманом // Теоретические основы проектирования аэродинамических систем оборудования автоматизированных производств: сб. науч. тр. Воронеж: ВТИ, 1993. С. 101–108.
- Носов О.А. Разработка и исследование устройств с тонкой воздушной прослойкой для транспортирования и сортировки нетвёрдого пищевого полупроизводства: автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж: 1998. 17 с.
- Щербаков Д.С., Чертов Е.Д., Носов О.А., Носова Е.В. Устройство для бесконтактного формования и охлаждения помадных конфетных масс // Патент России № 2232512. 2004. Бюл. № 20.
- Чертов Е.Д., Щербаков Д.С., Носов О.А., Климонова С.О. Устройство для удержания и транспортирования легкодеформируемых тел на несущей газовой прослойке // Патент России № 2268221. 2006. Бюл. № 2.
- Носов О.А., Васечкин М.А., Носова Е.В., Щербаков Д.С. Устройство для бесконтактного формования и охлаждения молочных конфетных масс // Патент России № 2195835. 2003. Бюл. № 1.
- Горелик Г.С. Колебания и волны. М.: Физматлит, 1959. 572 с.
- Плехотин А.П., Михалкина Л.Г. Методы организации эксперимента и обработки результатов. Л.: ЛЛТА им. С.М. Кирова, 1983. 58 с.
- Федоров В.Г., Плесконос А.К. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1980. 240 с.

УДК 629.4.014.22

А.П. Буйносов, д-р техн. наук

(Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург)

byinosov@mail.ru

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОГО И ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА БАНДАЖЕЙ КОЛЁСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

*Приведена методика определения полного и остаточного ресурса бандажей колёсных пар локомотивов на железнодорожном транспорте необщего пользования, основанная на полиномиальной зависимости контролируемых параметров от наработки.*

**Ключевые слова:** локомотив, колёсная пара, бандаж, ресурс, методика, полиномиальная регрессия.

*The definition methodology of a full and residual resource for locomotives tyre wheel pairs at uncommon using railway transport using based on polynomial dependence of the controllable parameters from the operating time.*

**Key words:** locomotive, wheel pair, tyre, resource, methodology, polynomial regression.

Техническое состояние локомотива оценивается по предельным значениям одного или нескольких определяющих параметров (например, по предельной толщине гребня бандажа колёсной пары). Отказ или предельное состояние можно представить как выход определяющих параметров за пределы допустимых значений. Поэтому характер изменения определяющих параметров в процессе эксплуатации позволяет вычислить технический ресурс (например, бандажей колёсных пар), а также прогнозировать процесс их изнашивания [1].

Интенсивность изнашивания пары колесо–рельс на ряде промышленных предприятий всё еще большая. Имеет место высокий процент обточек бандажей колёсных пар по тонкому гребню и подрезу гребней, а также сменяемость рельсов по боковому износу головки. Существуют две области износа колёс и рельсов. Первая – поверхность катания рельса и обода колеса; вторая – боковая поверхность головки рельса и гребень колеса. В обоих случаях возможность повреждения контактирующей поверхности и интенсивность их изнашивания определяется силовой нагрузженностью зоны контакта (нормальные и касательные напряжения), скоростью относительного скольжения (продольного, поперечного и верчения), температурой в зоне контакта (температурной вспышкой), профилем колеса и рельса, свойствами основного материала и поверхностных слоёв [2].

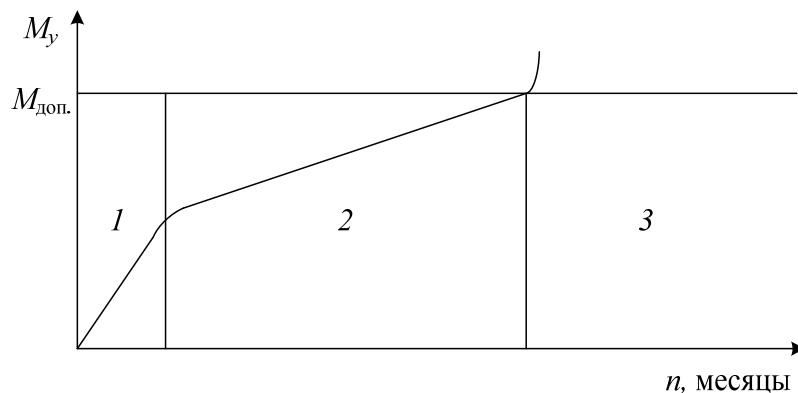
В условиях качения с проскальзыванием в зависимости от величин относительного проскальзывания и максимального давления на площадке контакта могут наблюдаться три основных вида изнашивания: нормальный, интенсивный и ката-

строфический. К нормальному виду отнесены упругопластические деформации металла контактирующих тел. При катастрофическом типе изнашивания обе поверхности трения становятся очень грубыми, со следами схватывания. В эксплуатации схватывание может приводить к вырывам металла с одной из контактирующих поверхностей, образованию острых наростов, самогенерируемому процессу микрорезания. При промежуточном, интенсивном, типе изнашивания максимальная и минимальная интенсивности изнашивания могут различаться на порядок. При этом контактные давления зависят от вертикальных и боковых сил, определяемых во многом осевой нагрузкой подвижного состава, устанавливаемой исходя из требуемых технико-экономических показателей [3].

Для того чтобы прогнозировать процесс изнашивания колёсных пар и определить их ресурс, необходимо построить аналитические зависимости числовых характеристик среднего значения  $M_X$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_X$  от наработки  $n$  (количество месяцев работы локомотива) [4].

Согласно представлениям теории изнашивания, кривая износа имеет вид, показанный на рис. 1 [5].

При проведении исследований в железнодорожном цехе ОАО «Ураласбест» было выявлено, что износ элементов пары колесо–рельс отражает приработочный период, нормальную работу и старение (интенсивный износ). С помощью стратегии ремонтов (переточек) бандажей попадание их в третий этап – старение, как правило, не допускается. Однако специфика работы колёсной пары такова, что при одном фиксированном элементе пары второй – всегда переменный [6].



**Рис. 1. Зависимость величины износа узлов локомотива от наработки:**

1 – приработочный период; 2 – период нормальной эксплуатации; 3 – период усиленного износа

Без учёта изменений, происходящих в поверхностном слое элементов колёсной пары (наклёт, раскат и др.), это должно приводить к регулярной смене этапов (приработка – нормальная работа) до тех пор, пока на некотором интервале времени поверхности пар не станут эквидистантными. В этом случае интенсивность износа рабочих поверхностей значительно уменьшается и для этого интервала становится практически постоянной. При этом происходят благоприятные изменения в поверхностном слое элементов пары: раскат, наклёт, шлифовка, что в некоторый момент времени заметно уменьшает интенсивность износа, которая достаточно долго остаётся без изменений [7].

На практике значения контролируемых параметров изнашиваемых бандажей колёсных пар локомотивов замеряют не чаще, чем при проведении технического обслуживания (ТО-3). Однако период приработки после восстановления бандажей на среднем ремонте (СР) заканчивается уже к первому текущему ремонту (ТР-1). Кроме того, допуски на значения контролируемых параметров  $M_{\text{доп}}$  устанавливаются с таким расчётом, чтобы предупредить наступление периода усиленного изнашивания (см. рис. 1). Поэтому значения контролируемых параметров представляют только второй участок функции – период нормальной эксплуатации, где зависимость контролируемых параметров от наработки близка к линейной. Об этом свидетельствует анализ полей корреляции числовых характеристик контролируемых параметров бандажей колёсных пар [8].

В железнодорожных цехах промышленных предприятий для определения ресурса бандажей колёсных пар используется методика (9–11), основанная на линейной аппроксимации зависимости изменений значений числовых характеристи-

стик определяющего параметра  $X$  от наработки (рис. 2, а):

$$X(n) = X_0 + \gamma n, \quad (1)$$

где  $X_0$  – начальное значение определяющего параметра;  $\gamma$  – скорость изменения параметра;  $n$  – наработка (время работы локомотива).

Зная скорость изменения параметра  $\gamma$ , можно оценить полный ( $T$ ) и остаточный ( $\tau$ ) ресурс бандажа:

$$T = \frac{X_{\text{пр.}} - X_0}{\gamma},$$

$$\tau = \frac{X_{\text{пр.}} - X_k}{\gamma} = \frac{X_{\text{пр.}} - (X_0 + \gamma n_k)}{\gamma}. \quad (2)$$

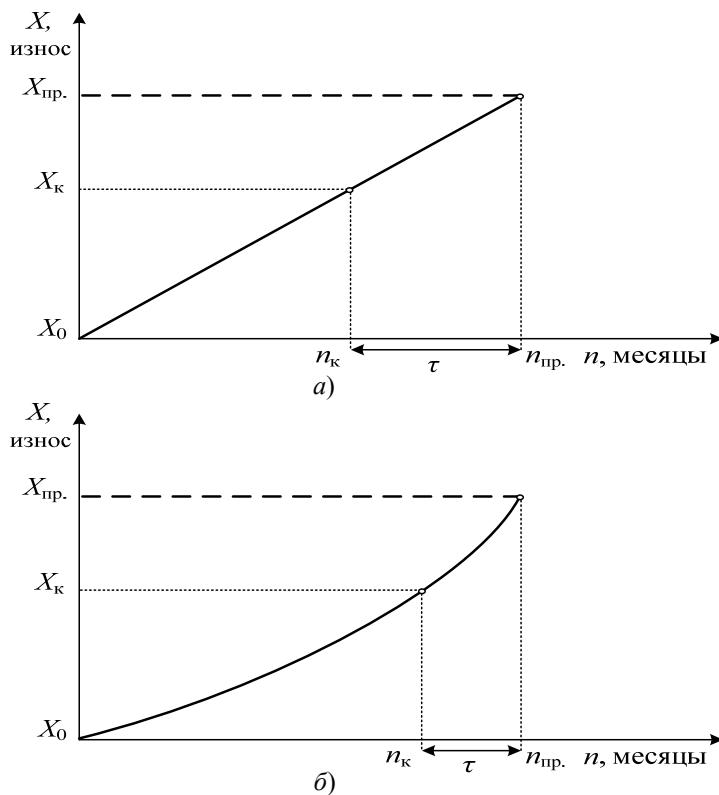
Величина предельного износа  $X_{\text{пр.}}$  определяется из условий эксплуатации локомотива, которые на путях необщего пользования, безусловно, отличаются от эксплуатации на железнодорожном транспорте общего пользования [12].

Однако в данном случае линейную аппроксимацию (см. рис. 2, а) можно считать грубым приближением к описанию реальных процессов, так как в более общей форме износ в каждый момент времени  $n_k$  описывается зависимостью нелинейного вида (рис. 2, б):

$$X(n) = X_0 + c_1 n + c_2 n^2 + \dots + c_t n^t, \quad (3)$$

где  $c_1, c_2, \dots, c_t$  – коэффициенты полинома;  $t$  – порядок полинома.

В этом случае оценка полного и остаточного ресурса при известных значениях коэффициентов  $c_1, c_2, \dots, c_t$  и  $t$  производится решением уравнения (3) при  $X = X_{\text{пр.}}$  (см. рис. 2, б).



**Рис. 2. Изменение определяющего параметра:**

$X_0$  – начальное значение определяющего параметра;  $X_k$  – значение параметра на момент контроля;  $X_{\text{пр.}}$  – предельное значение определяющего параметра;  $\tau$  – остаточный ресурс (после замера контролируемого параметра)

Несмотря на широкое использование аппроксимационных зависимостей (1) и (3), в большинстве реальных случаев монотонная зависимость определяющего параметра  $X$  от наработки  $n$  не наблюдается. Во-первых, из-за разброса свойств конструкционных материалов, примесные и легирующие элементы, участвуя в процессах, интенсивно протекающих в поверхностных слоях системы колесо – рельс, под влиянием повышенных температур (до 450 °C и более) влияют на увеличение силы трения между колесом и рельсом без заметного роста интенсивности изнашивания. При температуре в зоне трения более 500 °C дисперсный слой упрочняется, металл колеса и рельса теряет свои механические свойства, это, в свою очередь, приводит к разрушению поверхности катания колеса [13].

Во-вторых, разнообразие эксплуатационных условий: повышенные осевые и погонные нагрузки, доходящие до 500–600 кН и 300–380 кН/м, соответственно; малые диаметры колёс, повышенная жёсткость рессорных комплектов; большое различие массы, длины, габаритов, температур перевозимых грузов; высокая степень загрязнённости, запылённости путей; специфические режимы дви-

жения поездов; значительное количество стрелочных переводов (в чёрной металлургии – в среднем до 4 на 1 км); наличие большого количества криволинейных участков, в том числе малых радиусов (100 м и менее); большие уклоны пути (до 25 %) на заводах и до 40–60 % – на открытых горных разработках. Так же характерно применение специальных конструкций путей в цехах и на эстакадах, значительная протяжённость путей с заглублённым балластным слоем [14].

Всё это приводит к случайному характеру скорости изменения определяющего параметра  $\gamma$  в уравнении (1) или коэффициентов  $c_1, c_2, \dots, c_t$  и показателя степени полинома  $t$  в уравнении (3), для которых изменение определяющего параметра бандажей  $X_k$  в каждый момент времени  $n_k$  с высокой точностью описывается нормальным законом распределения [5].

Тогда параметрическая модель износа гребней бандажей колёсных пар локомотивов в простейшем случае может быть описана дифференциальным уравнением

$$\frac{dX(n)}{dt} = \gamma(n) + h(n), \quad (4)$$

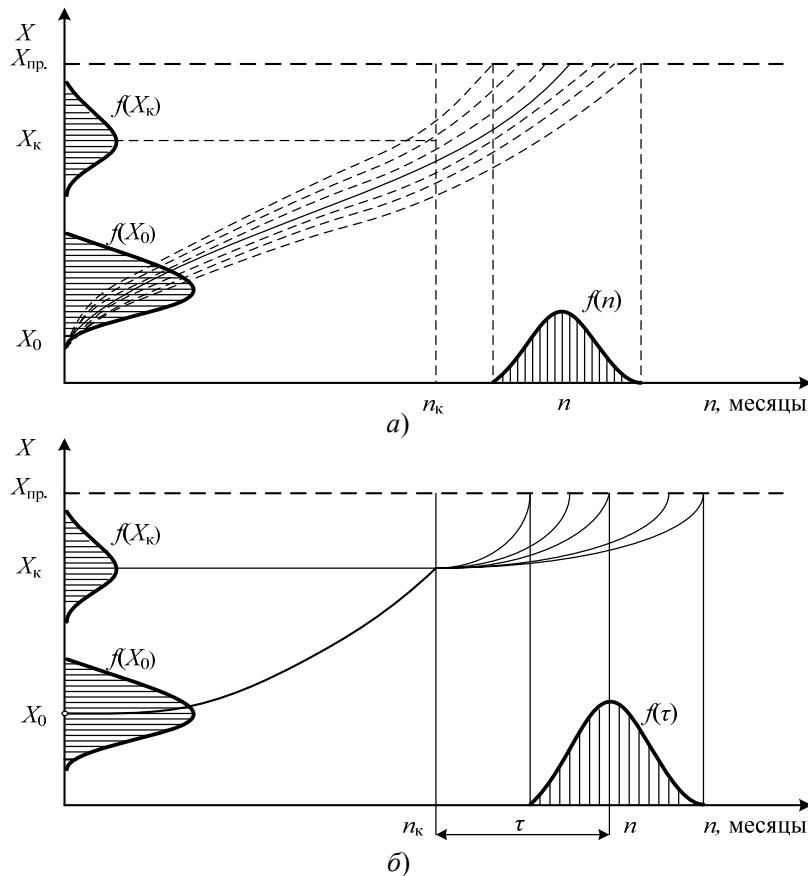


Рис. 3. Схемы формирования полного (а) и остаточного (б) ресурса

где  $\gamma(n)$  – нормальная случайная величина, в общем случае зависящая от наработки локомотива;  $h(n)$  – нормальный эргодический стационарный случайный процесс с математическим ожиданием  $\mu_h = 0$ .

Из полученного уравнения (4) вытекает случайный процесс вида

$$X(n) = X_0 + \int_0^n \gamma(n) dt + \int_0^n h(n) dt. \quad (5)$$

Схема формирования закона распределения износа бандажа  $f(n)$ , при котором в результате каких-либо процессов происходит постепенное изменение определяющего параметра  $X$  бандажей [10] показана на рис. 3.

Разброс начального значения определяющего параметра  $f(X_0)$  следует учитывать при оценке ресурса некоторой совокупности элементов. Для одного и того же конкретного элемента значение  $X_0$  является конкретной неслучайной величиной.

При рассмотрении оценки остаточного ресурса наблюдается примерно такая же картина (рис. 3, б). Случайный характер условий эксплуатации и нагрузок локомотива приводит к формированию распределения величины остаточного ресурса  $f(t)$

от момента контроля  $n_K$  до перехода в предельное состояние  $X_{\text{пр}}$ .

Расчёт полного или остаточного ресурса бандажей колёсных пар на промышленном железнодорожном транспорте по формулам (1–3) при использовании средних значений (или математических ожиданий) величин  $X_0$ ,  $\gamma$ ,  $c$ ,  $c_p$  и  $X_K$  проводится только по средним значениям  $n$  и  $\tau$ . Однако согласно схеме формирования полного ресурса (см. рис. 3, а) становится очевидным, что к моменту наработки  $n$  (среднему значению ресурса, полученного детерминированным расчётом) половина всей совокупности наработки достигнет предельного состояния с вероятностью 50%. Поэтому такая детерминированная оценка ресурса может считаться приемлемой только в тех случаях, когда выход из строя колёсной пары не приводит к серьёзным последствиям (например, ползун на поверхности катания бандажа). Отказы, которые могут привести к существенным технико-экономическим потерям или возникновению аварийной ситуации, требуют использования вероятностно-статистического подхода, при этом ресурс бандажей необходимо оценить исходя из вероятности отказа  $q$  или вероятности безотказной работы  $p$  [15].

Решение таких аналитических задач может осуществляться только в некоторых простейших случаях путём определения функции плотности распределения определяющего параметра для нормального закона распределения [2]:

$$f(X) = \frac{1}{\sigma_X(n)\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{[X(n)-\mu(n)]^2}{2\sigma_X^2(n)}\right\}. \quad (6)$$

При этом при линейном изменении математического ожидания  $\mu_X$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma_X$  износа бандажей от наработки  $n$  уравнение (1) для  $\mu_X(n)$  и  $\sigma_X(n)$  имеет вид:

$$\mu_X(n) = X_0 + cn, \sigma_X(n) = \sigma_0 + bn. \quad (7)$$

С учётом уравнений (7) при линейной аппроксимации зависимости изменений значений числовых характеристик определяющего параметра от наработки функция плотности распределения ресурса  $f(n)$  может быть определена как

$$\begin{aligned} f(n) &= -\frac{c\sigma_X(n)+b[X_{\text{пр.}}-\mu_X(n)]}{\sigma_X(n)\sqrt{2\pi}} \times \\ &\times \exp\left\{-\frac{[X_{\text{пр.}}-\mu_X(n)]^2}{2\sigma_X^2(n)}\right\} = \\ &= -\frac{c(\sigma_0+bn)+b(X_{\text{пр.}}-X_0-cn)}{(\sigma_0+bn)\sqrt{2\pi}} \times \\ &\times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X_{\text{пр.}}-X_0-cn}{\sigma_0+bn}\right)^2\right]. \end{aligned} \quad (8)$$

При нормальном распределении определяющего параметра (6) и полиномиальных зависимостей  $\mu_X(n)$  и  $\sigma_X(n)$  выражение (3) принимает вид:

$$\mu_X(n) = X_0 + cn^t, \sigma_X(n) = \sigma_0 + bn^m. \quad (9)$$

Тогда функция плотности распределения ресурса  $f(n)$  может быть представлена в виде

$$\begin{aligned} f(n) &= -\frac{ctn^{t-1}\sigma_X(n)+bmn^{m-1}[X_{\text{пр.}}-\mu_X(n)]}{[\sigma_0+b\exp(mn)]^2\sqrt{2\pi}} \times \\ &\times \exp\left\{-\frac{[X_{\text{пр.}}-\mu_X(n)]^2}{2\sigma_X^2(n)}\right\} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= -\frac{ctn^{t-1}(\sigma_0+bn^m)+bmn^{m-1}(X_{\text{пр.}}-X_0-cn^t)}{[\sigma_0+b\exp(mn)]^2\sqrt{2\pi}} \times \\ &\times \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X_{\text{пр.}}-X_0-cn^t}{\sigma_0+bn^m}\right)^2\right]. \end{aligned} \quad (10)$$

Вероятность перехода бандажа колёсной пары в предельное состояние в течение наработки  $n$  может быть получена исходя из соотношения:

$$q(n) = \int_0^n f(n) dt. \quad (11)$$

Преобразовывая для нормального закона распределения при  $F(0) = 0$ , имеем

$$\begin{aligned} q(n) &= F\left[\frac{X_{\text{пр.}}-\mu_X(n)}{\sigma_X(n)}\right] = \\ &= \frac{1}{\sigma_X(n)\sqrt{2\pi}} \int_0^n \exp\left\{-\frac{[t-\mu_X(n)]^2}{2\sigma_X^2(n)}\right\} dt = \\ &= \frac{1}{2} + \Phi(z), \end{aligned} \quad (12)$$

где  $\Phi(z)$  – нормированная функция Лапласа.

Оценка остаточного ресурса бандажей колёсных пар на промышленном железнодорожном транспорте производится решением уравнения (11) относительно наработки локомотива при заданном (предельном) значении вероятности перехода (например, толщины бандажа колесной пары) в предельное состояние  $q$ .

Вид и параметры распределения определяющего параметра  $X(n)$ , а также характер их изменения во времени устанавливаются экспериментально путём сбора статистических данных об изменениях значений параметров бандажей, которые позволяют создать вероятностные прогнозные модели оценки степени износа гребней бандажей колёсных пар локомотивов, а применение метода статистического имитационного моделирования выделяет из приемлемых прогнозных моделей наиболее устойчивые к возможным случайным колебаниям переменных [16].

#### Библиографические ссылки

1. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса колёсных пар тягового подвижного состава. М.: изд-во «УМЦ образования на ж.д. транспорте», 2010. 244 с.
2. Буйносов А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колёсных пар подвижного состава и

методы их устранения. Екатеринбург: изд-во УрГУПС, 2009. 224 с.

3. Горский А.В., Буйносов А.П., Наговицын В.С., Клинский В.С. Экономичная обточка // Локомотив. 1992. № 4. С. 26–27.

4. Буйносов А.П., Пышный И.М. Выбор профиля бандажей колесных пар тепловозов, исходя из критерия максимального ресурса колесных пар до обточки // Тяжёлое машиностроение. 2011. № 4. С. 5–11.

5. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар локомотивов: монография. Саарбрюккен: изд-во «LAP LAMBERT Academic Publishing», 2011. 284 с.

6. Буйносов А.П., Худояров Д.Л., Пышный И.М. Выбор профиля поверхности катания бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Транспорт Урала. 2011. № 1 (28). С. 64–69.

7. Медведев Н.Ф., Буйносов А.П. Срок службы бандажей продлить можно // Локомотив. 1989. № 6. С. 38.

8. Горский А.В., Буйносов А.П. Повысить ресурс бандажей (Опыт Свердловской дороги) // Локомотив. 1989. № 11. С. 10–11.

9. Буйносов А.П. Прибор для измерения параметров бандажей колесных пар тягового подвижного состава // Тяжёлое машиностроение. 2011. № 3. С. 17–19.

10. Буйносов А.П., Худояров Д.Л. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов ВЛ11 // Железнодорожный транспорт. 2010. № 9. С. 47–48.

11. Буйносов А.П. Еще раз об износе колеса и рельса // Путь и путевое хозяйство. 2010. № 9. С. 23–26.

12. Горский А.В., Буйносов А.П., Боярских Г.С., Лавров В.А. Бандажи и рельсы (опыт Свердловской дороги) // Локомотив. 1992. № 4. С. 25–26.

13. Буйносов А.П., Пышный И.М. Увеличение срока службы бандажей колесных пар промышленных тепловозов // Омский научный вестник. Серия Приборы, машины и технологии. 2011. № 3 (103). С. 152–156.

14. Буйносов А.П., Пышный И.М., Тихонов В.А. Определение натяга бандажа на ободе колесного центра локомотива // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 3 (31). С. 62–68.

15. Буйносов А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов в результате изменения технологии их обточки // Автоматизация и современные технологии. 1992. № 8. С. 23–25.

16. Буйносов А.П. Методы повышения ресурса бандажей колесных пар тягового подвижного состава: автореф. дис. д-ра. техн. наук. Екатеринбург: 2011. 44 с.



**ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ**

## ПРИПУСКИ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ОБРАБОТКУ

Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов

2013 г.

Объем 256 с.

Формат 60x88 1/16

ISBN 978-5-94275-607-9

Цена 800 р.



Приведены нормативные материалы, необходимые технологу-машиностроителю для расчета и выбора припусков на механическую обработку, даны рекомендации по выбору вида заготовок, составлению маршрута обработки, нормы точности, а также операционные припуски на обработку различных поверхностей деталей.

Для инженеров-технологов заводов, проектно-конструкторских организаций, а также может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

**Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:**

по почте: 107076, г. Москва, Строгий пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru)  
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте [WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)

УДК 65.011.56

С.М. Домнин («МАТИ» – Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, г. Москва)

Domnin@matfmc.ru

## ИНТЕГРАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ НАЧАЛЬНЫХ ЭТАПОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

*Определены проблемы и потребности предприятий машиностроения в области интеграции и информационной совместимости программных средств автоматизации начальных этапов проектирования изделий. Рассмотрены варианты решения этих проблем с помощью создания единого международного стандарта на основе действующего стандарта обмена данными о модели изделия.*

**Ключевые слова:** автоматизация, информатизация, интеграция, методы информационной совместимости, STEP, САПР, PDM.

*Machine building enterprise problems and requirements in the area of the automation software integration and information compatibility for product design initial stages are indicated. These problems decision version by means of the single international standard creation based on the operating standard for data exchange about the product model are considered.*

**Key words:** automation, informatization, integration, information compatibility methods, STEP, CAD, PDM.

**Введение.** В настоящее время большинство машиностроительных предприятий не имеет чёткого описания подготовительного процесса разработки нового изделия на начальных этапах его проектирования, а именно процесса взаимосвязи различных отделов предприятия, что не только ухудшает поиск эффективных решений, но и затрудняет выбор оптимального варианта при проектировании.

Хотя все стадии проектирования регламентированы стандартами ГОСТ 2.103–68 [1] и ГОСТ Р 15.201–2000 [2], а также стандартами для групп изделий, информационная совместимость программных средств, используемых при проектировании изделий, практически не описана и не реализована. Данная проблема весьма актуальна, так как при использовании программных средств различных разработчиков возникает вопрос о дальнейшем использовании моделей и расчётов другими отделами.

**Основная часть.** Основными составляющими информационной среды машиностроительного предприятия при выполнении начальных этапов проектирования изделий являются:

система автоматизированного проектирования (САПР), включающая в себя средства автоматизированного проектирования, автоматизации инженерных расчётов и планирования технологических процессов, технологической подготовки производства изделий;

система планирования ресурсов предприятия (ERP).

Автоматизация каждого конкретного предприятия является специфичной – на различных предприятиях практически не могут применяться схожие программные продукты. Российскую промышленность на 80 % составляют предприятия машиностроения. При наличии отраслевых особенностей и недостаточно высокой рентабельности предприятия сначала автоматизировали бухгалтерский и налоговый учёт, а затем – проектирование изделий. Но данная автоматизация проводилась разрозненно, поэтому, как правило, в рамках одного предприятия в цехах было установлено различное программное обеспечение.

Большинство предприятий, прошедших первые этапы информатизации, начинают заменять учётное программное обеспечение на полноценные ERP-системы, а к инженерным системам добавлять продукты управления данными об изделии в PDM-системах.

Интеграция систем САПР и PDM является дорогостоящим проектом, так как для её выполнения требуется наличие всех систем одного производителя. Немного проще происходит интеграция различных инженерных систем при условии, что они основываются на единых интерфейсах.

К необходимости интеграции различных решений приходит большинство предприятий машиностроения, специфика которых заключается в том, что используемые ими системы традиционно разрабатываются различными специалистами, причём одни разработчики строго придерживаются требований ГОСТа, а другие ориентированы на процесс

проектирования. В результате предприятие получает несколько абсолютно не связанных систем, интеграция которых является серьёзной проблемой.

Потребность в переносе данных между различными системами неоспорима, так как перенос осуществляется в основном вручную, что вызывает лишние трудозатраты и порождает дополнительные источники ошибок. По исследованиям компании «АСКОН» [4], ручное внесение данных об изделии приводит к ошибочному вводу до 30 % информации. Кроме того, процесс переноса информации значительно затрудняется из-за низкой исполнительской дисциплины сотрудников предприятий.

Всё это говорит о необходимости создавать механизмы автоматизированного взаимодействия различных систем. В настоящее время уже имеются успешные примеры интеграции, однако большинство из них нацелено только на устранение ручного ввода данных, что фактически представляет собой модуль, обеспечивающий преобразование информации.

Такой подход снимает необходимость ручного переноса информации, но его нельзя назвать

полноценной интеграцией, так как модули обычно разрабатываются под конкретные программные продукты, не используя единый стандарт обмена информацией между различными программными продуктами.

Недостатком создания единой платформы на предприятии является необходимость модернизации всех его аппаратных средств, что может быть намного дороже программного обеспечения.

Возможным выходом из сложившейся ситуации является создание нового стандарта информационной совместимости программных средств автоматизации как начальных этапов, так и всего процесса проектирования нового изделия. Существующий стандарт обмена данными модели изделия (STEP) не может быть реализован в полной мере, потому что изначально был создан для интеграции САПР со станками с числовым программным управлением (ЧПУ) [4].

**Действующие протоколы стандарта STEP.** Наиболее распространённым протоколом STEP среди машиностроительных систем проектирования является протокол AP 203 (см. таблицу).

#### Список действующих протоколов STEP

№ протокола	Наименование	Примечание
AP 201	Явное черчение	
AP 202	Ассоциативное черчение	
AP 203	Конструкция, управляемая документацией	Протокол является самым распространённым и поддерживается большинством CAD или совместимых со STEP систем и обеспечивает передачу конструкторской документации
AP 204	Механическая конструкция, заданная гравийным представлением	
AP 207	Планирование штамповки и конструирование изделий из металлических листов	
AP 209	Анализ и конструкция композитных и металлических конструкций	Протокол содержит средства, позволяющие описывать модели для инженерных расчётов и полученные в результате данные
AP 210	Конструкция электронных сборок, соединений и упаковки	
AP 212	Конструкция и монтаж электротехнических изделий	
AP 214	Основные данные для процесса конструирования механических частей автомобиля	
AP 224	Определение механических изделий для планирования процесса с применением конструктивно-технологических элементов, ориентированных на механическую обработку	Протокол является подмножеством протокола 214, ориентированным на работу с конструктивно-технологическими элементами
AP 225	Строительные элементы с применением явного представления формы	Существует также параллельный STEP (подобный формат IFC)
AP 227	Конфигурация завода в пространстве	Протокол предназначен для моделирования перерабатывающих заводов (описание ёмкостей и системы трубопроводов) и описания системы трубопроводов корабля
AP 232	Упаковка основной информации и обмен техническими данными	

В соответствии с принятым в корпорации PDES новым подходом к разработке стандарта STEP, из мини-протоколов будут компоноваться большие прикладные протоколы, как это уже сделано для последней версии AP 203. Однако часть протоколов стандарта STEP в последнее время начинают разрабатывать не как международные стандарты, а как модули крупных автоматизированных систем, например CATIA и Unigraphics, что не соответствует международному стандарту ISO.

**Заключение.** Для решения проблем интеграции программных средств автоматизации начальных этапов проектирования изделий необходимы: интеграция программных средств в единое информационное пространство (большинство предприятий машиностроения уже начали решать эту проблему); учёт потребностей не только заказчиков, но и персонала предприятия, чтобы обеспечить возможность специалистам заниматься только процессом проектирования. Предложен один из наиболее простых спо-

собов интеграции и информационной совместимости программных средств с помощью создания единого международного стандарта информационной совместимости на основе существующего стандарта STEP.

#### **Библиографические ссылки**

1. ГОСТ 2.103–68. Единая система конструкторской документации. Стадии разработки. Введ. 1971-01-01. М.: Стандартинформ, 2007. 5 с.
2. ГОСТ Р 15.201–2000. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и поставки продукции на производство. Введ. 2001-01-01. М.: Стандартинформ, 2008. 15 с.
3. Исследование компании «АСКОН». URL: <http://ascon.ru/press/articles/> (дата обращения: 15.01.2012).
4. ГОСТ Р ИСО 10303-1-99. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Ч. 1. Общие представления и основополагающие принципы. Введ. 2000-30-06. М.: Изд-во стандартов, 2007. 16 с.



**ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ**

## **ВВЕДЕНИЕ В УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

**Е.И. Тавер**

2012 г.      Объем 368 с.      Формат 60x88 1/16      ISBN 978-5-94275-666-6      Цена 600 р.



Качество товаров рассмотрено, с одной стороны, как важнейший результат производственной деятельности, а с другой — как особый объект управления. При этом состав, нормативные и физические значения показателей качества товара и факторов, от которых оно зависит, являются конечным объектом управления. Даны субъекты управления качеством, универсальные подходы к нему, измерения, оценки, подтверждение соответствия и контроль качества, правовые основы, стандарты и модели управления качеством. Исходя из этого, проведен анализ задач и методов управления качеством при маркетинге, проектировании, производстве и использовании товара, а также затрат на качество.

Допущено УМО по образованию в области прикладной математики и управления качеством в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 220501 – Управление качеством и направлению 221400 – Управление качеством.

**Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:**

по почте: 107076, г. Москва, Строгий пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: [realiz@mashin.ru](mailto:realiz@mashin.ru)  
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте [WWW.MASHIN.RU](http://WWW.MASHIN.RU)



УДК 658.512:681.31

С.А. Кузнецов, канд. техн. наук

(Институт автоматики и электрометрии СО РАН, г. Новосибирск)

S.A.KUZ@mail.ru

## К ВОПРОСУ О МОНОПОЛИИ ЗАРУБЕЖНЫХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ САПР НА МИРОВОМ РЫНКЕ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ

*На основе анализа мирового рынка программных продуктов показана явная монополия зарубежных специализированных САПР. Обоснована необходимость активизации деятельности российских softовых компаний в области разработки отечественных специализированных САПР для различных отраслей промышленности.*

**Ключевые слова:** программный продукт, рынок программных продуктов, САПР, специализированная САПР, специализированное приложение, softовая компания, предметная область, профессионал, сфера деятельности, архитектура, строительство, судостроение, электроника.

*The foreign specialized SAPR obvious monopoly is shown on the basis of the software world market analysis. Activization necessity of the Russian software companies activity in the field of domestic specialized SAPR development for various industrial fields is substantiated.*

**Key words:** software product, software products market, SAPR, specialized SAPR, specialized appendix, software company, object area, professional, sphere of activity, architecture, construction, shipbuilding, electronics.

В Российской Федерации автоматизация проектно-конструкторских работ в различных отраслях промышленности началась с перехода от механического кульмана к «электронному кульману», в качестве которого стал использоваться графический редактор AutoCAD (программный продукт американской компании AutoDesl). Появившиеся позже и являющиеся альтернативами программному продукту AutoCAD система SolidWorks (продукт американской корпорации «SolidWorks Corp.») и различные версии российского программного продукта КОМПАС (разработка отечественной компании АСКОН) наряду с системой AutoCAD в настоящее время применяются отечественными специалистами-профессионалами. Однако указанные выше программные продукты являются не чем иным, как универсальными графическими системами, т. е. «электронными кульманами», предназначенными для выполнения чертёжных работ, и поэтому они серьёзно не влияют на повышение эффективности проектно-конструкторских работ в какой-либо определённой отрасли промышленности.

Сегодня российские профессионалы различных сфер деятельности испытывают необходимость не в универсальных чертёжно-графических инструментах общего назначения, а в специали-

зованных системах автоматизированного проектирования (САПР), использование которых, как показано в работе [1], существенно повышает эффективность и качество проектно-конструкторских работ специалистов-профессионалов разных предметных областей. Поэтому в работе [1] обоснована необходимость в разработке отечественных специализированных программных продуктов, предназначенных для решения конкретных и узкоспециализированных задач в различных сферах деятельности.

Анализ показывает, что многочисленные специализированные САПР для ведущих отраслей промышленности, которые максимально ориентированы на решение специфических задач соответствующей отрасли, создаются главным образом за рубежом. Поэтому отечественные специалисты-профессионалы вынуждены в работе применять иностранные специализированные САПР. Это объясняется, во-первых, тем, что рынок САПР обильно насыщен программными продуктами зарубежного происхождения, продвижением и продажей которых в России активно занимаются многие отечественные softовые компании, количество которых постоянно растёт. Во-вторых, приобретению отечественными организациями соответствующих САПР способствует,

как правило, красочная и настойчивая реклама зарубежных САПР различного назначения, которая широко распространяется в печатных и электронных источниках информации. Если ознакомиться с сайтами иностранных софтовых компаний, то можно найти сведения о множестве разнообразных по назначению специализированных САПР, ориентированных на решение конкретных и зачастую узкоотраслевых задач профессионалами различных специализаций.

Рассмотрим, насколько широко на мировом рынке программных продуктов представлены именно зарубежные специализированные САПР. Ввиду того, что невозможно охватить и описать огромное количество разнообразных по назначению специализированных САПР, которые применяются профессионалами в разных странах, ограничимся рассмотрением САПР только в некоторых ведущих отраслях промышленности.

Так, в области архитектуры и строительства наиболее известными и распространёнными являются следующие САПР: ArchiCAD – программа для архитектурно-строительного проектирования (фирма Graphisoft, Венгрия); Allplan – комплексная система строительного проектирования, которая предлагает комплексный подход к строительному проектированию в целом (компания Nemetschek AG, Германия); ArCon – программа для архитектурного проектирования, профессионального дизайна и трёхмерной визуализации проектов (компания ELECO Software GmbH, Германия); SCIA – программа для интегрированного проектирования в области строительства зданий, мостов и других сложных строительных объектов (компания SCIA International, Бельгия); Vectorworks – профессиональная система для автоматизации работ в области архитектурно-строительного проектирования (компания Diehl Graphisoft, США); SoftCAD – САПР для двумерного и трёхмерного проектирования в архитектуре и строительстве (компания SoftCAD International, США); Design WorkShop – система фотореалистичного трёхмерного моделирования и проектирования в архитектуре (компания Artifice, Inc., США); REBIS – серия продуктов автоматизированного 2D/3D проектирования промышленных предприятий (компания Rebis, Inc., США); CADVANCE – профессиональная CAD-система для архитекторов, инженеров, проектировщиков в строительстве и архитектуре (компания Fit, Inc., США); Planit – система автоматизированного двумерного и трёхмерного проектирования для профессиональных дизайнеров (компания Planit Millennium, США); DataCAD – программа профессионального уровня для архитектурных работ и создания фотореалистических изображений проектов (компания DATACAD LLC, США);

StruCAD – программный комплекс для моделирования и проектирования зданий и сооружений из металлоконструкций (компания AceCad Software Ltd, Англия); ЛИРА – программный комплекс, предназначенный для автоматизированного проектирования и расчёта стальных и железобетонных строительных конструкций различного назначения (компания ООО «ЛИРА Софт», Украина); МОНOMAX – программный комплекс, предназначенный для автоматизированного проектирования железобетонных конструкций многоэтажных каркасных зданий (компания ООО «ЛИРА Софт», Украина); САПФИР – программный комплекс для архитектурного проектирования, формообразования и расчётов (компания ООО «ЛИРА Софт», Украина).

Из перечисленных выше программных продуктов среди профессиональных архитекторов наиболее популярны системы ArchiCAD и Allplan, получившие признание тысяч пользователей по всему миру.

Программный продукт ArchiCAD создан фирмой Graphisoft (Венгрия) – одним из крупнейших мировых разработчиков и поставщиков программного обеспечения для рынка архитектурно-строительного проектирования. Программа ArchiCAD – это постоянно совершенствующийся продукт компании Graphisoft, который создавался только для архитектуры и является одной из лучших программ для архитектурного проектирования. Профессиональные архитекторы при использовании этого программного продукта концентрируются не на черчении, а на проектировании и создают полную и корректную проектную документацию.

На сегодняшний день система ArchiCAD является самым распространённым программным продуктом архитектурного профиля, отличающимся простотой, удобством и функциональностью. Этот продукт распространяется на 25 языках в более чем 102 странах. С системой ArchiCAD ежедневно работает более 100 000 архитекторов, этот программный продукт стал стандартом в России, Европе, Австралии, Японии и Северной Америке. Система ArchiCAD используется многими отечественными компаниями, а поставкой продуктов фирмы Graphisoft российским организациям активно занимаются компании, среди которых наиболее известны «CSoft Development», «АрхСтиль», «Архитект Дизайн», «Премьер Партнёр» и ЗАО «Нанософт».

Программный продукт Allplan создан компанией Nemetschek AG (Германия), которая основана в 1963 г. (на базе конструкторского бюро для строительной индустрии) и с тех пор целенаправленно занимается разработкой и реализацией программных решений в области планирования, строительства и эксплуатации архитектурных со-

оружений. После поглощения американской компании Diehl Graphsoft (разработчика программного продукта Vectorworks) и приобретения в 2006 г. компаний венгерской Graphisoft и бельгийской SCIA International компания Nemetschek AG стала крупнейшим и ведущим мировым производителем, а также одним из главных поставщиков программного обеспечения для архитектурно-строительной отрасли в Европе. Система Allplan – фундаментальное программное обеспечение для архитекторов и инженеров-строителей, разработанное компанией специально для профессионалов в области строительного проектирования. Этот программный продукт значительно увеличивает эффективность проектирования благодаря интеллектуальной автоматизации проектных работ. Allplan – это программное решение для всех фаз жизненного цикла строительного проекта: от раннего наброска до проектной документации. Система изначально ориентирована на специфику архитектурного проектирования и в отличие от других систем автоматизированного проектирования обеспечивает комплексное проектирование, охватывающее архитектуру, внутренний дизайн, городское и ландшафтное планирование, гражданское строительство, проектирование дорог, производство сборного железобетона. Использование системы Allplan профессиональными пользователями значительно увеличивает эффективность проектирования интеллектуальной автоматизацией проектных работ.

Система Allplan – наиболее продаваемая в Германии архитектурно-строительная система автоматизированного проектирования зданий. Начиная с 1995 г. система Allplan пользуется популярностью среди проектных, строительных и учебных организаций России и стран СНГ. Самые активные пользователи системы Allplan в России, Беларусь, Украине и Казахстане – ведущие проектные организации, различные архитектурно-проектные фирмы и ведущие учебные заведения по подготовке специалистов для архитектурно-строительной отрасли.

Программные продукты, разработанные компаний Nemetschek AG, в России представляет компания Allbau Software GmbH (Германия), которая является официальным партнёром компании Nemetschek AG и в странах СНГ, а дистрибутором программного продукта Allplan в России и странах СНГ выступает ООО «Немечек». Компания Allbau Software GmbH, кроме сотрудничества со строительно-конструкторскими организациями, интенсивно развивает контакты и с ведущими архитектурно-строительными вузами России и стран СНГ для внедрения в учебный процесс современных технологий компьютерного строительного проектирования.

Теперь рассмотрим наиболее известные и популярные САПР в области судостроения:

FORAN – интегрированная система, предназначенная для проектирования и строительства судов и кораблей любых типов (компания SENER, Испания); TRIBON – САПР для судостроителей, охватывающая все фазы проектирования судна, начиная от эскизных проработок до выдачи рабочих чертежей и технологической оснастки на верфь (компания TRIBON SOLUTIONS, Швеция); AVEVA Marine – набор уникальных программных продуктов для проектирования и постройки судов различного назначения в сочетании с открытыми и гибкими решениями по управлению жизненным циклом объекта в целом (компания AVEVA, Швеция–Великобритания); NAPA – специализированная судостроительная система, предназначенная для решения полного комплекса задач эскизного и технического этапов разработки проектов судов различных типов (компания NAPA Oy, Финляндия); DEFCAR – судостроительная САПР, предназначенная для проектирования и подготовки производства различных судов (компания DEFCAR INGENIEROS, S.L., Испания); AUTOSHIP – специализированный программный комплекс для судостроения, обеспечивающий полный цикл проектирования судов и плавучих сооружений (компания AUTOSHIP SYSTEMS CORPORATION, Канада); NUPAS-CADMATIC – судостроительная система нового поколения, которая эффективно охватывает все этапы судостроения: от технического проектирования до получения производственной информации (компании NUMERICK CENTRUM GRONINGEN B.V. из Голландии и ELOMATIC/CADMATIC Ltd. из Финляндии); SeaSolution – программный судостроительный комплекс, предназначенный для создания или сглаживания судовой поверхности и выполнения работ с листовыми конструкциями (предприятие ООО «Группа компаний «Си Тех», Россия–Норвегия); «Ритм–Судно» – автоматизированная система судостроительного применения – приложение к графическому редактору AutoCAD (компания ОАО «ЦТСС», Россия); Ship Model – судостроительный программный комплекс – приложение к графическому редактору AutoCAD (компания «CSoft–Бюро ESG», Россия).

Наибольшей популярностью в мире среди профессиональных судостроителей пользуются программные продукты FORAN, TRIBON, AVEVA Marine и NAPA, что и подтверждается представленном ниже материалом об их использовании в судостроительной отрасли.

Программный продукт FORAN – это главный программный продукт компании SENER (Испания), имеющей 45-летний опыт проектирования

судов и являющейся мировым лидером в сфере разработки программного обеспечения для судостроителей. Компания SENER создавалась в 1956 г. как специализированное проектное бюро, которое и по сей день продолжает успешно выполнять проектирование судов всех типов, применяя систему FORAN. Сегодня FORAN – это мощная единая система, охватывающая все стадии проектирования и технологической подготовки производства различных типов судов и плавучих платформ и представляющая собой семейство связанных модулей, использующих единую базу данных.

Система FORAN хорошо известна судостроителям, она эксплуатируется более чем на 121 судостроительной верфи и используется в специализированных конструкторских бюро и проектных организациях во многих странах мира. В России и Украине систему FORAN применяют компании ПКБ «Северная верфь», ОАО «ЦТСС», ОАО «Балтийский завод», АО «Квернер Выборг», ОАО «Невское ПКБ», ЦКБ «Коралл» (Севастополь), Черноморский судостроительный завод (Николаев). На рынках России и Украины систему FORAN представляет компания Sterling Group.

Программный продукт TRIBON разработан компанией TRIBON SOLUTIONS (Швеция) – лидером мирового рынка программного обеспечения для проектирования судов и плавучих сооружений. В 2004 г. компания TRIBON SOLUTIONS вошла в состав компании AVEVA (Великобритания), формируя новое поколение решений TRIBON под названием AVEVA Marine. Уникальные программные продукты, входящие в состав системы AVEVA Marine, построены на новой современной технологической платформе, более функциональны и постоянно совершенствуются (добавляются всё новые возможности). Эти продукты обеспечивают быстрое и продуктивное проектирование без рисков, постройку и эксплуатацию судов и средств освоения шельфа любых размеров и сложности.

Более 80 % крупнейших судостроительных компаний мира используют в работе программный продукт AVEVA Marine. В Китае и Корее с этим продуктом работают практически все крупные верфи. Среди клиентов компании AVEVA и известные российские компании: ОАО «Адмиралтейские верфи», ОАО КБ «Айсберг», ОАО Морской завод «Алмаз», ЦКБ «Балтсудпроект», ООО ПКБ «Петробалт», ОАО «Судостроительный завод «Вымпел», ОАО «Зеленодольское проектно-конструкторское бюро» (ОАО «ЗПКБ»), ОАО ЦКБ «Коралл», ОАО «Средне-Невский судостроительный завод». Поставкой и внедрением технологий компаний AVEVA в России занимается дочерняя компания ООО «АВЕВА».

На примере деятельности ОАО «ЗПКБ», которое присутствует на рынке судостроения уже более 55 лет, просматривается необходимость перехода профессиональных судостроителей к использованию в работе современного программного продукта, а именно специализированной САПР. Вплоть до 2009 г. проектная деятельность ОАО «ЗПКБ» базировалась на использовании универсальной системы Unigraphics (США) и российского программного продукта «Ритм–Судно» (приложение к AutoCAD). Однако с июля 2009 г. специалисты бюро начали осваивать новую судостроительную систему AVEVA Marine (Швеция–Великобритания). На этапе её внедрения организовано большое количество рабочих мест и обучено более 150 специалистов.

Программный продукт NAPA – это известная во всём мире специализированная судостроительная система, предназначенная для решения полного комплекса задач эскизного и технического этапов разработки проектов судов различных типов. Разработчиком системы NAPA является один из лидеров в области разработки программного обеспечения для судостроения – компания NAPA Oy (Финляндия). Система NAPA была создана и начала функционировать на верфи Wartsila, от которой ведёт своё начало компания NAPA Oy. Система включает в себя такие возможности, как определение формы корпуса, разделение на водонепроницаемые отсеки, вычисление и анализ гидростатических характеристик судна, создание модели конструкции судна и многое другое. Система NAPA имеет модульную структуру, и все приложения собраны в отдельные подсистемы, что позволяет верфям приобретать только необходимые для своих нужд подсистемы. В настоящее время система NAPA является мощным инструментом по проектированию судов и способна конкурировать на рынке аналогичных систем для судостроения.

Система NAPA широко применяется в судостроении, её пользователями являются более 260 компаний, среди которых ведущие мировые общества проектировщиков и производителей судов, а так же учебные и научные заведения. Среди российских пользователей системы NAPA являются ООО ПКБ «Петробалт» и Волго-Каспийское ПКБ (г. Нижний Новгород), а в Санкт-Петербургском морском техническом университете ведётся подготовка специалистов по системе NAPA.

И, наконец, посмотрим, насколько широко на рынке программных продуктов представлены САПР в области электроники:

P-CAD – профессиональная система для сквозного проектирования аналого-цифровых электронных устройств широкого профиля и в частности для проектирования многослойных печат-

ных плат вычислительных и радиоэлектронных устройств (компания Altium Limited, Австралия); Altium Designer – интегрированная система автоматизированного проектирования электронных устройств на базе печатных плат и ПЛИС, позволяющая разработчикам вести проект, начиная с создания принципиальной схемы до подготовки проектов к производству (компания Altium Limited, Австралия); OrCAD – пакет компьютерных программ, предназначенный для автоматизации проектных работ в электронике и моделирования аналоговых, аналого-цифровых и цифровых электронных устройств (компания Cadence Design Systems, США); PADS – пакет программ для полного цикла проектирования печатных плат от схемы до производства, обеспечивающий сквозной маршрут проектирования печатных плат (компания Mentor Graphics, США); Cadence Allegro – программное обеспечение для проектирования печатных плат (компания Cadence Design Systems, США); Specctra – системы автоматизированного проектирования печатных плат (компания Cadence Design Systems, США); Electric VLSI Design System – это САПР, используемая для разработки электрических схем и проектирования топологии печатных плат и интегральных схем (компания Electric Editor Incorporated, США); CADSTAR – комплекс средств для автоматизированного проектирования и изготовления электронных схем и печатных плат среднего уровня сложности. Это одно из самых оптимальных решений в мире САПР на платформе персональных компьютеров (компания Zuken, Япония); VUTRAX – программный пакет для автоматизированного проектирования электронных схем и трассировки печатных плат (компания Computation Systems Limited, Великобритания); Protel PCB CAD – развитая система автоматизированного проектирования электронных схем и печатных плат (компания Protel Technology Inc., США); UNICAM – система автоматизированного проектирования и изготовления электронных схем и печатных плат (компания Unicam Software, Inc., США); KiCAD – программный комплекс для разработки электрических схем и печатных плат, который по своей структуре напоминает P-CAD, известную программную систему аналогичного назначения (разработчик Jean-Pierre Charras, Франция); Pulsonix – система для сквозного проектирования печатных плат, являющаяся альтернативой программному продукту P-CAD (компания WesDev Ltd, Великобритания); Easy-PC – программа, представляющая собой специализированный продукт для разработки печатных плат (компания WesDev Ltd, Великобритания); Cadsoft EAGLE – комплексное средство для разработки печатных плат, начиная с создания принципи-

альной электрической схемы и заканчивая созданием печатной платы и её трассировкой (компания CadSoft Computer GmbH, Германия); Proteus – это пакет программ для автоматизированного проектирования радиоэлектронных схем и интегрированная среда для проектирования и отладки электронных устройств, в том числе выполненных на основе микроконтроллеров различных семейств (компания Labcenter Electronics, Германия); ElectriCS – программный продукт, являющийся приложением к графическому редактору AutoCAD. Он предназначен для разработки электротехнического оборудования различной степени сложности. ElectriCS автоматизирует построение принципиальных схем, схем соединений, схем подключений, перечень элементов и таблицы соединений (компания CSoft Development, Россия); AutoCAD Electrical – специализированное решение на основе AutoCAD, которое обеспечивает возможность быстро создавать электрические схемы и легко получать доступ к обширным каталогам необходимых элементов (компания CSoft Development, Россия).

Большое распространение в среде специалистов в области электроники получили программные продукты P-CAD, Altium Designer и OrCAD, являющиеся в России популярными среди профессиональных разработчиков электронных устройств.

Программный продукт P-CAD разработан компанией Altium Limited (Австралия) – одним из ведущих разработчиков программного обеспечения для проектирования электронных устройств. Основанная в 1985 г. компания Altium Limited является одним из лидеров на рынке систем автоматизированного проектирования электронных устройств, она имеет сеть представительств в Европе, США, Японии и Китае и партнёров во всех регионах мира. Система P-CAD обеспечивает сквозной цикл проектирования: от ввода принципиальной схемы до получения технологических управляющих файлов и позволяет вести все этапы проектирования печатных плат. P-CAD – самая известная в России система проектирования печатных плат.

В 2006 г. компания Altium Limited официально заявила о прекращении разработки системы P-CAD, а в июне 2008 г. была прекращена и поддержка этого программного продукта. Компания Altium Limited рекомендует всем пользователям программы P-CAD переходить на другой более популярный и совершенный продукт компании – Altium Designer, который появился в 2000 г. и изначально имел название Protel. Altium Designer – это интегрированная система разработки электронных устройств и проектирования печатных плат, являющаяся единственной русифицированной средой разработки печатных плат. В ка-

чество альтернативы программе P-CAD компания Altium Limited предлагает также продукты Pulsonix и CADSTAR.

Программные продукты P-CAD и Altium Designer компании Altium Limited широко известны в мире и зарекомендовали себя как удобные и надёжные инструменты для разработчиков электроники. В настоящее время клиентами компании Altium Limited являются 20 000 пользователей, включая крупные компании. Компания Altium Limited является лидером на рынке САПР по соотношению стоимость/эффективность, так как программные пакеты САПР электроники от мировых лидеров в этой области, таких как Mentor Graphics и Cadence Design Systems, – более дорогостоящие, более сложные в освоении и применении и не так известны среди российских пользователей САПР.

Продвижением и поставкой программных продуктов компании Altium Limited для пользователей России и СНГ занимается российская группа компаний CSoft Development, в составе которой насчитывается 20 региональных отделений, а также компании ЗАО «НПП “РОДНИК”», ЗАО «Нанософт», «РПК» (Русская Промышленная Компания) и др.

Система OrCAD – это набор автономных программных модулей, функциональные возможности которых отвечают потребностям широкого круга пользователей. Каждый из этих модулей может использоваться отдельно для решения частных задач в цепочке проектирования электронных схем. Система OrCAD используется в основном для создания электронных версий печатных плат и их производства, а также для производства электронных схем и их моделирования. Разработчик системы OrCAD – компания Cadence Design Systems (США), являющаяся лидером в области разработки САПР электроники и микроэлектроники.

Компания Cadence Design Systems – признанный мировой лидер в области создания САПР для разработок интегральных схем, систем-на-кристалле, печатных плат и систем-в-корпусе. Основанная в 1988 г., компания Cadence Design Systems занимается разработкой программного обеспечения для автоматизации проектирования электронных приборов и предоставлением инженерных услуг. Основными направлениями деятельности Cadence Design Systems являются исследования и разработки в области САПР, внедрение и техническая поддержка программного обеспечения, подготовка специалистов для работы с программными продуктами Cadence, создание собственных дизайн-центров, предоставляющих услуги по проектированию для компаний-клиентов, а также реализация научных и образовательных программ в разных странах.

Сегодня именно компания Cadence Design Systems готова предложить наиболее интегрированные средства проектирования в электронике, которые охватывают все стадии разработки – от проектирования на системном уровне до формирования документации для передачи в производство. Широкое распространение получили разработанные компанией Cadence Design Systems и такие программные продукты, как Cadence Allegro и Specctra, которые являются наиболее продвинутыми и удобными пакетами, предназначенными для проектирования сверхплотных и многослойных печатных плат.

Клиентами Cadence Design Systems являются различные компании в Китае, Индии, Европе, России, Японии, Израиле, Корее, Северной Америке и других странах. В России программные продукты этой компании OrCAD и Allegro являются самыми популярными. Так, например, специалистами МИЭТ (сейчас Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград) при поддержке компании Cadence Design Systems разработан специализированный учебный план обучения студентов современным средствам проектирования в микроэлектронике, который направлен на подготовку квалифицированных специалистов для российской электронной индустрии. Образовательная программа в МИЭТ – один из многих глобальных вкладов компании Cadence Design Systems в образование и развитие науки.

Продвижением на рынках России и СНГ продуктов компании Cadence Design Systems занимается отечественная компания ЗАО «СКАН», а официальным и единственным дистрибутором компании Cadence Design Systems в России и СНГ является российская компания ООО «Оркада».

Как видно из представленного выше перечня программных продуктов в области электроники, отечественные софтовые компании ограничиваются только разработкой различных приложений к универсальным графическим системам, в частности к графическому редактору AutoCAD, и практически не уделяют должного внимания созданию подлинных специализированных САПР для электронщиков.

О том, в каком незавидном положении находятся отечественные компании, занимающиеся проблемами специализированных САПР в области электроники, можно судить, например, по состоянию тематики САПР в Институте проблем проектирования в микроэлектронике РАН (ИТПМ РАН) [2].

Изложенные выше сведения о некоторых программных продуктах, представленных на мировом рынке и предназначенных исключительно для профессионалов, свидетельствуют о том, на-

сколько, с одной стороны, иностранные софтверные компании, заботясь прежде всего о высокой эффективности своих программных продуктов, основательно и целенаправленно подходят к созданию и совершенствованию своих специализированных САПР. А с другой стороны, как крайне мало внимания уделяется созданию специализированных САПР российскими компаниями, специалисты которых ограничиваются разработкой главным образом специализированных приложений к универсальным графическим системам, а также занимаются рекламой и продажей в России специализированных САПР ведущих зарубежных компаний.

На примере известных и популярных в России компаний «CSoft Development» и «Русская промышленная компания» («РПК»), которые являются главными игроками на российском рынке САПР, рассмотрим основную направленность деятельности софтовых отечественных компаний.

Эти компании практически с начала своего существования (основаны в 1989 г.) стали официальными дистрибутерами известной в мире американской компании Autodesk. Для популяризации среди отечественных специалистов системы AutoCAD (главного программного продукта Autodesk) компании «CSoft Development» и «РПК» в первую очередь сосредоточили деятельность в области разработки к этому программному продукту специализированных приложений различного назначения. Среди этих программных продуктов присутствуют разнородные специализированные приложения, ориентированные на машиностроителей, архитекторов и строителей, судостроителей, инженеров-электриков и электронщиков, землеустроителей и ГИС, изыскателей и т. д. Однако специализированные приложения к базовым универсальным САПР, как показано в работе [1], имеют ряд существенных недостатков. Они не отвечают на сущностным потребностям пользователей – профессионалов определённой предметной области – и являются, как правило, малоэффективными программными продуктами. Специалисты компаний «CSoft Development» и «РПК» понимают, что отечественные профессионалы испытывают в первую очередь потребность не в малоэффективных приложениях к AutoCAD, а в подлинных специализированных САПР. Поэтому в настоящее время они ведут активную деятельность, базирующуюся на рекламе и поставках на российский рынок именно специализированных САПР, как зарубежного, так и отечественного происхождения.

В общей сложности компании «CSoft Development» и «РПК» занимаются продвижением и про-

дажей в России программных продуктов более 40 ведущих зарубежных компаний, являющихся на протяжении десятков лет широко известными в мире производителями специализированных САПР. Среди них такие очень популярные в среде российских профессионалов компаний, как Altium Limited (Австралия), AceCad Software (Англия), CG Tech (США), Flow Science (США), Flite Software (Северная Ирландия), Graphisoft (Венгрия), Moldflow Corporation (США), Nemetschek AG (Германия), Pathtrace Technology (Англия).

В России отсутствуют компании, аналогичные фундаментальным зарубежным фирмам, а существующие отечественные компании, занимающиеся разработкой специализированных САПР, находятся в процессе становления. К таким российским компаниям, программные продукты которых также представляют на рынке компании «CSoft Development» и «РПК», можно отнести: НТЦ АПМ – разработчик программного обеспечения для расчёта, анализа и проектирования машиностроительных и строительных конструкций различного назначения (г. Королёв, Московская обл.); ООО ЦРСАП «САПРОТОН» – разработчик программ для инженерных расчётов в строительстве и машиностроении (г. Реутов, Московская обл.); ООО ПСП «Стройэкспертиза» – разработчик расчётных программ для различных областей строительной практики (г. Тула); ЗАО «НПО МКМ» – разработчик программного обеспечения в области моделирования литьевых процессов (г. Ижевск, Удмуртия); НТП «Трубопровод» – разработчик программного обеспечения для расчёта и проектирования трубопроводов и резервуаров (г. Москва); ООО «Индор Софт» – разработчик программного обеспечения для проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и электрических сетей (г. Томск); фирма «Базис-Центр» – разработчик программного обеспечения для комплексной автоматизации проектирования и технологической подготовки производства и реализации корпусной мебели (г. Коломна, Московская обл.).

Судя по разнице между количеством компаний за рубежом и в России, занимающихся разработкой специализированных программных продуктов, просматривается явная монополия на мировом рынке специализированных САПР зарубежных компаний. В России практически нет компаний, основательно занимающихся разработкой полноценных специализированных САПР, и как следствие на рынке программных продуктов широко и красочно представлены главным образом зарубежные специализированные САПР, продвижением и поставкой которых в России активно занимаются как иностранные, так и российские

софтовые компании. Поэтому российские профессионалы вынуждены приобретать и использовать в своей деятельности наиболее приемлемые для них иностранные специализированные САПР. В работе [2] отмечено, что в результате преимущественного использования отечественными профессионалами иностранных специализированных САПР Россия оказалась в технологической зависимости от зарубежных САПР.

Однако для российских профессионалов более предпочтительны не зарубежные, а отечественные специализированные САПР, так как последние учитывают отечественную специфику проектирования в определённой отрасли промышленности, базируются на отечественных стандартах и справочниках, «разговаривают» с пользователем на русском языке, имеют понятный интерфейс и вполне доступны по стоимости.

На основании изложенного выше можно сделать следующий вывод.

В связи с явной монополией на рынке зарубежных специализированных САПР отечествен-

ным компаниям, занимающимся разработкой программных продуктов, следует обратить пристальное внимание и приложить максимум усилий к созданию различных специализированных САПР, ориентированных на решение профессионалами разных областей деятельности своих наущных и в том числе узкоспециализированных задач. При наличии на рынке программных продуктов большого количества отечественных специализированных САПР будущие их пользователи — российские специалисты-профессионалы — будут иметь реальную возможность выбора такой САПР, которая полностью отвечает их потребностям при решении конкретных задач.

#### **Библиографические ссылки**

1. Кузнецов С.А. Разработка специализированных САПР — главное направление при создании высокоэффективных программных продуктов // Автоматизация и современные технологии. 2011. № 10. С. 29–34.
2. Развитие отечественных САПР — задача национальной технологической безопасности // Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2008. Вып. № 8. С. 14–19.



**ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ**  
**СПРАВОЧНИК КУЗНЕЦА**

**А.С. Матвеев, В.А. Кочетков.** Под редакцией **В.Ф. Безъязычного**

2011 г. 360 с. ISBN 978-5-94275-579-9

**Цена 440 р.**

Представлены сведения о материалах, применяемых в авиационном двигателестроении, краткие данные о физической сущности пластической деформации, основном оборудовании цехов кузнечно-штамповочного производства, используемой оснастке, нагревательных устройствах и режимах ковки и штамповки, а также контроля температур при нагреве металла. Показана роль обработки материалов давлением в создании нанокристаллической структуры материалов.

Приведены сведения об основных кузнечных и штамповочных операциях и производственных методах контроля качества поковок и штамповок. Рассмотрены вопросы термической обработки поковок и штамповок.

Дано понятие «специальный процесс», изложены требования, предъявляемые к производственному персоналу и используемому оборудованию.

Справочник рекомендуется для подготовки рабочих на предприятиях, а также в качестве учебного пособия для обучения специалистов среднего профессионального образования.



## ОБЗОР ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПЕЧАТИ

УДК 621.002.51

### По страницам журналов

**Специализированные волоконно-оптические узлы для ФАР и АФАР.** *Наноинженерия*. 2011. № 5.

Рассмотрены методы построения аналоговых волоконно-оптических систем распределения СВЧ-сигналов и волоконно-оптических СВЧ-фазовращателей с управлением от ЭВМ радиолокационных систем. Предложена система сбора оцифрованных сигналов приёмных модулей для обработки радиолокационной информации в ЭВМ.

**Функционально-ориентированная технология лазерной обработки деталей машин.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2011. № 5.

Рассмотрены вопросы повышения эффективности лазерной обработки деталей из железоуглеродистых сплавов, которое основано на установленном механизме массопереноса легирующих элементов в зоне лазерного воздействия.

**Конструкция системы управления электроэррозионным профилированием алмазных шлифовальных кругов.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2011. № 5.

Рассматриваются пути повышения точности и производительности электроэррозионного профилирования алмазных шлифовальных кругов, а также автоматизация данного процесса. Приводится конструкция системы управления электроэррозионным профилированием.

**Современные научно-технические технологии в сварочном производстве.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2011. № 5.

Рассмотрены современные тенденции развития способов сварки. Отмечены основные направления в развитии как технологии, так и сварочного оборудования. Уделено внимание применению перспективных методов сварки (электроннолучевой, лазерной, сварки трением с перемешиванием) для создания неразъёмных соединений в конструкциях из прогрессивных материалов.

**Функционально-ориентированная технология лазерного легирования деталей машин и технологической оснастки.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2011. № 5.

Рассмотрены технологии получения высоко прочных борохромированных слоёв, формируемых методом лазерного легирования из обмазок. Рассмотрены подходы к разработке трёхкомпонентных обмазок, исходя из требуемых эксплуатационных свойств деталей машин и технологи-

ческой оснастки. Приведены свойства модифицированных поверхностей и результаты их натурных испытаний.

**Изучение механизма образования переходной зоны в поверхностном слое пьезокерамических изделий нанотехники.** *Наноинженерия*. 2011. № 6.

Рассмотрен механизм образования переходной зоны в поверхностном слое пьезокерамических изделий при комбинированной термовакуумной обработке. Показаны преимущества данного метода для получения электродов и формирования переходной зоны в пьезокерамике по сравнению с промышленным методом получения электродов путем вжигания серебросодержащей пасты. Сделан вывод о возможности реализации комбинированных интегральных пьезоэлектрических схем для изделий измерительной микро- и нанотехники на базе пьезокерамических элементов, полученных с применением технологии комбинированной термовакуумной обработки.

**Установка для изучения характеристик углеродных наноматериалов в режиме реального времени.** *Наноинженерия*. 2011. № 6.

Создан лазерный высокочувствительный оптический сканирующий микроскоп ближнего поля. В режиме реального времени проведена диагностика плазменных сред, в которых осуществляется термический синтез углеродных наноматериалов. Описан пример работы созданной малогабаритной системы цифровой регистрации спектров, совмещенной с ПК и разработанным для неё программным обеспечением. Создана действующая лабораторная установка для изучения особенностей взаимодействия лазерного света с углеродными наноматериалами.

**Перспективы использования ультразвукового эмульгирования в промышленности.** *Наукоёмкие технологии в машиностроении*. 2011. № 6.

Описаны перспективы применения ультразвука для получения различных эмульсий. Изложена технология, позволяющая значительно расширить возможности процесса эмульгирования по сравнению с существующими методами.

**Математическое моделирование процесса диффузии воздуха из шины.** *Грузовик*. 2011. № 11.

Приведена разработка математической модели изменения давления вшине в результате диффузии воздуха через материал камеры.

**Использование биогаза в качестве топлива для дизелей.** Грузовик. 2011. № 11.

Представлена технология получения биогаза из отходов сельскохозяйственного производства. Приведены физико-химические свойства биогаза. Проведены экспериментальные исследования дизеля типа 1Ч 8/11, работающего на нефтяном дизельном топливе и по газодизельному циклу с подачей в камеру сгорания запальной дозы дизельного топлива и биогаза с содержанием метана 60,0; 72,8; 77,8 и 84,8 %.

**О математическом моделировании прогрева разовой объёмной формы.** Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 11.

Рассмотрены известные математические модели прогрева разовой объёмной формы области их применения и неудовлетворительная адекватность реальному прогреву на конкретном примере, установлены причины этого. Показана линейная зависимость всех термофизических характеристик формы от температуры и сделан вывод о целесообразности создания инженерного математического описания прогрева формы с учётом раскрытых в статье его существенных особенностей.

**Моделирование микроструктуры при высокоскоростной штамповке компрессорных лопаток из титанового сплава** Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 11.

На основе предлагаемого представления известных в технике диаграмм динамической рекристаллизации в форме аналитических зависимостей приведена методика моделирования микроструктуры деформируемой среды с учётом текстуры по главным направлениям деформации. Проанализирована микроструктура в результате заготовки лопатки из титанового сплава ВТ9, полученной высокоскоростным объёмным деформированием. Достигнута хорошая сходимость с экспериментальными данными.

**Глобальная космическая низкоорбитальная информационная система «Космонет»: концепция построения и перспектива создания.** Полёт. 2011. № 11.

Исследуется возможность создания перспективной глобальной космической низкоорбитальной информационной системы, в основе построения которой лежат сетевые информационные технологии и кластерная структура космических аппаратов – космические информационные узлы.

**Упрочнение и повышение качества поверхности деталей из аустенитной нержавеющей стали алмазным выглаживанием на токарно-фрезерном центре.** Упрочняющие технологии и покрытия. 2011. № 11.

Рассмотрены возможности применения технологии алмазного выглаживания на токарно-

фрезерном центре для формирования высококачественной ( $R_a = 0,05\text{мкм}$ ), высокопрочной и теплостойкой (до  $600^\circ\text{C}$ ) поверхности детали из аустенитной хромоникелевой стали AISI304, а также пути дополнительного упрочнения выглаженной поверхности термическими обработками.

**Теоретические и экспериментальные исследования процессов обработки фасонных поверхностей деталей свободным абразивом. Упрочняющие технологии и покрытия.** 2011. № 11.

Исследованы процессы обработки поверхностей деталей в среде свободного абразива. Представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований. Получены теоретико-вероятностные модели процесса единичного взаимодействия абразивных гранул с поверхностью детали, съёма металла и формирования качества поверхностного слоя при обработке фасонных поверхностей свободными абразивами. Установлены закономерности формирования полей скоростей и напряжений гранулированных абразивных сред при прямом компьютерном моделировании. Разработана методика проектирования технологических процессов обработки фасонных деталей, позволяющая обеспечить минимальное время обработки за счёт рационального выбора характеристик рабочей среды и режимов обработки.

**Рациональный раскрой промышленных материалов и современные технологии.** Вестник машиностроения. 2011. № 12.

Представлены возможности современных технологий для оптимизации промышленного раскроя материала.

**Применение специализированных горячештамповочных прессов с вращающимся штамподержателем для производства осесимметричных поковок.** Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 12.

Рассмотрены прогрессивные технологии малоотходной штамповки осесимметричных поковок. Дано описание штамповки методом осадки с кручением и перечислены основные преимущества этого процесса. Представлена конструкция специализированного кривошипного горячештамповочного пресса с вращающимся штамподержателем и показаны технологические возможности пресса.

**Синтез системы управления импульсным электродинамическим клапаном для коммутации объёмов пневмоаммортизатора.** Полёт. 2011. № 12.

Рассмотрен и обоснован полуактивный способ управления двухобъёмным пневмоаммортизатором. Предложены техническое решение и структура системы управления, реализующая данный способ.