

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ, ТЕХНИКЕ, ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (21)

2017

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

Михальчевский Ю. Ю.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ
СООТВЕТСТВИЯ КОМПЕТЕНЦИЯМ АВИАЦИОННОГО
ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО
РАЗВИТИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА..... 4

Новосельцева Г. Б., Рассказова Н. В.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ГОСУДАРСТВА
И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИНТЕРЕСЫ СУБЪЕКТОВ
МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА..... 17

Свешникова О. Н., Кукаева А. О.

ПРАКТИКА УПРАВЛЕНИЯ КРЕДИТНЫМ РИСКОМ
КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА ЧЕРЕЗ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ
ВОЗМОЖНЫХ ПОТЕРЬ ПО ССУДАМ..... 32

Тугушева Р. Р.

ВОСПРОИЗВОДСТВО ИННОВАЦИЙ:
ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ 46

Шорникова Т. А. ПРОСТОЙ ТИП ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ С АЛЬТЕРНАТИВАМИ.....	63
Щетинина Н. Ю. ИНДУСТРИЯ 4.0: ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ В РОССИЙСКИХ УСЛОВИЯХ	75

РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, МЕХАНИЗМЫ В ТЕХНИКЕ

Брякин А. Л., Липов А. В., Кочкин С. В., Кожевников В. В., Ординарцев А. В. ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ.....	85
Грачев А. Ю., Карпанин О. В., Печерская Е. А. АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ БИОИМПЕДАНСА.....	96
Гришин Д. С., Пащенко Д. В., Синев М. П., Трокоз Д. А., Яровая М. В. ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСЕТЕЙ SMART GRID	109
Гришко А. К. АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ	117
Игнатъев А. А., Гаврилова А. В., Игнатъев С. А. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ	124
Игнатъев А. А., Казинский Н. А., Игнатъев С. А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ И ОЦЕНКА ЕЕ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ	134
Мартышкин А. И. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСИСТЕМЫ НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА	142

<i>Мартышкин А. И., Карасева Е. А.</i> РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩИМИ РЕСУРСАМИ В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ	150
<i>Мартяшин Г. В., Бальзанникова Е. А., Пащенко Д. В., Трокоз Д. А., Синев М. П.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ В ТЕНЗОРНОЙ МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ СП-СТРУКТУР	159
<i>Подшивалов С. Ф., Подшивалова К.С., Левецкая Л. В., Дунаев С. В.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА МЕТОДА ВЕТВЕЙ И ГРАНИЦ В ЗАДАЧЕ КОММИВОЯЖЕРА ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ГРАФА	169
<i>Чернышова Т. И., Кобелев А. В., Кочергин С. В., Зяблов Н. М.</i> ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	181

ОСОБОЕ МНЕНИЕ

<i>Мясников А. Г.</i> ОТ ИМПЕРСКОГО ТИТАНИЗМА К РАЗУМНОМУ ЭГОИЗМУ: РАЗМЫШЛЕНИЯ ПО ПОВОДУ 100-ЛЕТИЯ РУССКОЙ РЕВОЛЮЦИИ	191
---	-----

РАЗДЕЛ 1

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

УДК 338.2

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ УРОВНЯ СООТВЕТСТВИЯ КОМПЕТЕНЦИЯМ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА В УСЛОВИЯХ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА

Ю. Ю. Михальчевский

METHODS FOR ASSESSMENT OF AVIATION PERSONNEL COMPETENCY CONFORMITY LEVEL IN TERMS OF AIR TRANSPORT INNOVATIVE DEVELOPMENT

Yu. Yu. Mikhhalchevsky

Аннотация. *Актуальность и цели.* В условиях инновационного развития гражданской авиации важной характеристикой трудовых ресурсов является степень соответствия требуемым компетенциям в условиях подвижной внешней среды. Цель – создание метода расчета показателя оценки соответствия компетенциям авиационного персонала. *Материалы и методы.* На основе результатов факторного анализа движения межрыночного пространства автором сделан вывод о высокой значимости показателя уровня соответствия персонала требуемым компетенциям, способ расчета которого в современной теории управления на воздушном транспорте не определен. Автором разработана методика формирования и расчета данного показателя, которая включает идентификации организаций и категорий работников, результативные показатели работы персонала как МРП в целом, так и организаций сопряженных рынков в рамках МРП в частности. Разработаны матрицы сопоставления компетенций и результативных показателей персонала аэропортовых предприятий, позволяющие визуализировать взаимосвязь целевых отраслевых показателей и компетенций персонала. На основе экспертных оценок сформирован массив компетенций в пределах профессий и разработан способ расчета уровня значимости компетенций. *Результаты.* Таким образом, на основе сформированного массива значимых компетенций можно управлять движением МРП в нужном направлении развития. *Выводы.* Использование данного параметра позволит описать текущие и прогнозируемые значения и области развития как отдельных работников, так и предприятий в сфере АТС, а также отразить перспективную траекторию МРП.

Ключевые слова: воздушный транспорт, гражданская авиация, инновационное развитие, инновационная занятость, авиационный персонал, межрыночное пространство, рынок образовательных услуг, рынок труда, авиатранспортный сектор экономики.

Abstract. Background. In terms of civil aviation innovative development an important characteristic of the labor force is the conformity of the required competencies in a mobile environment. The purpose – creation of methods for conformity assessment calculating of aviation personnel competency. **Materials and methods.** Based on the results of factor analysis for intermarket space movement, we have concluded that the indicator of compliance with the required competencies of staff has high importance, but the method of calculation for this indicator in modern air transport management theory is not defined. We have developed a methodology for formation and calculation of this indicator, which includes the identification of organizations and categories of employees, performance staff indicators in the intermarket space as a whole and certain organizations in conjugated markets. We have developed a matrix of competencies comparing indicators of airport personnel companies that allow to visualize the relationship of target sectoral indicators and staff competencies. We have formed an competencies array within the profession, also we developed a method for calculating the importance of competencies on the basis of expert estimations. **Results.** Thus we formed a competencies array of significant, controlling that on the basis of monitoring and intermarket space management principles, will allow to control the sector movement in its development. **Conclusions.** This indicator allows to describe current and projected values and the development of individual employees and companies in civil aviation, as well as to reflect the promising trajectory of intermarket interactions.

Key words: air transport, civil aviation, innovative development, innovation employment, aviation personnel, intermarket space, market of educational services, labor market, air transport sector.

Долгосрочный горизонт развития, описанный существующими тенденциями и плановыми индикаторами развития авиатранспортного сектора экономики России (АТС) [1], необходимо исследовать на основе взаимодействия субъектов межрыночного пространства. В рамках данного исследования акценты межрыночного взаимодействия следует сместить на взаимодействие между рынком подотрасли гражданской авиации, рынком труда и рынком образования в части формирования ресурсов, продуктов, регулирования и контроля деятельности данных рынков (рис. 1).

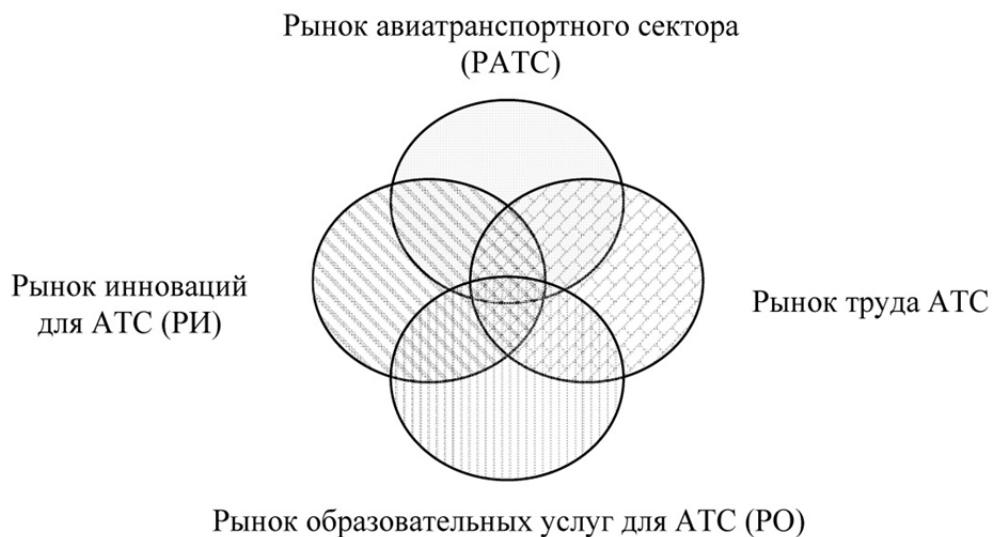


Рис. 1. Субъекты межрыночного взаимодействия в авиатранспортном секторе

Как отмечается рядом авторов [2], воздушный транспорт является достаточно сложной социально-экономической, технологической и технической системой, для которой характерны сложная схема и иерархия взаимоотношений внутри подотрасли, с рынками других отраслей экономики страны, государством. Рынок АТС определяется пространством, включающим в себя взаимодействующие субъекты и контрагенты, описывается как механизм их взаимодействия, в основе которого лежат принципы рыночного функционирования и государственного регулирования. Логика исследования межрыночного пространства (МРП) приведена на рис. 2. При этом понятно, что при взаимодействии сопряженных рынков РАТС, РИ, РО и РТ возникают зоны парного взаимодействия (ПВ) и формируется общее МРП, характеризующееся особенностями межрыночного взаимодействия (МРВ) в секторе АТС.

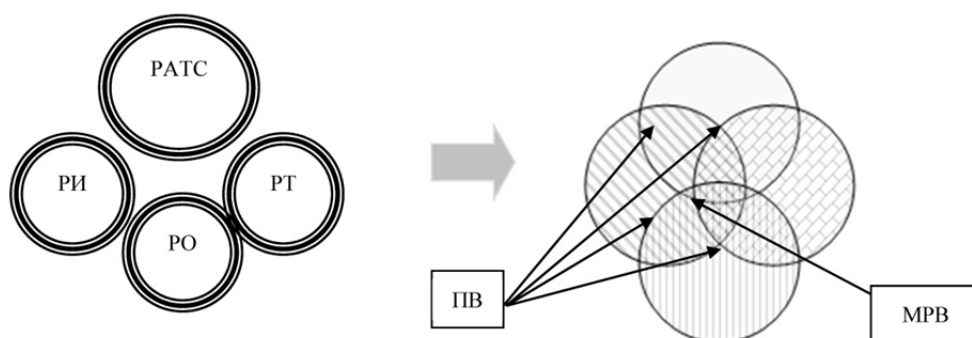


Рис. 2. Основы формирования межрыночного взаимодействия в авиатранспортном секторе

Модель взаимодействия рынков в АТС в настоящее время описывается следующими связями, приведенными на рис. 3 и в табл. 1.

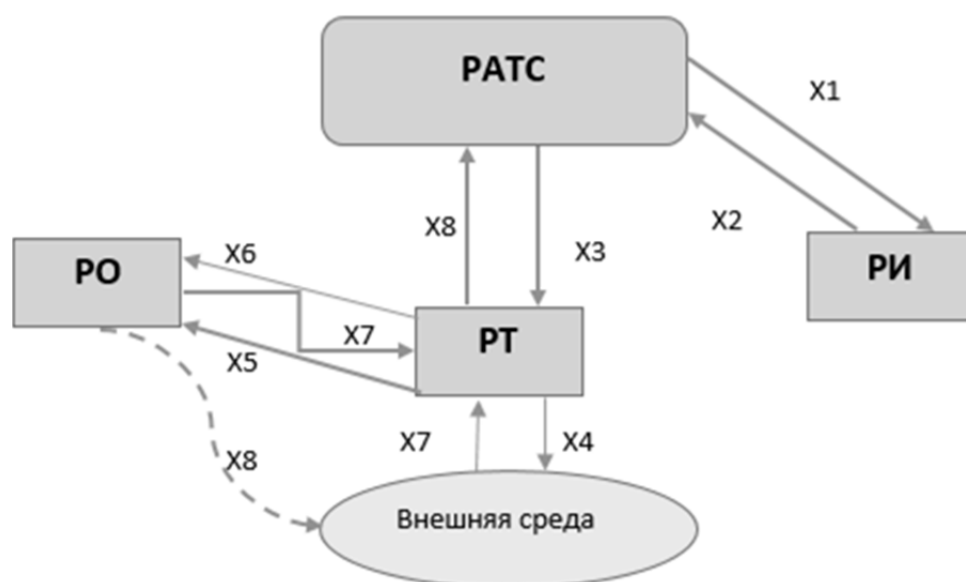


Рис. 3. Схема взаимодействия рынков в АТС в современных условиях

Таблица 1

Описание связей между субъектами межрыночного пространства

Связь	Характеристика взаимосвязи
x1	Потребность в инновационных продуктах на основе спроса на услуги воздушного транспорта и тенденций развития отрасли в мире
x2	Инновационная техника, технологии, программное обеспечение и пр.
x3	Потребность в трудовых ресурсах, обладающих нужными компетенциями
x4	Обеспечение баланса спроса и предложения ресурсов нужных компетенций
x5	Требования к структуре, численности и к компетенциям персонала с учетом потребностей работодателя (АТС)
x6	Потребность в повышении квалификации, переобучении персонала, информация о вакансиях, уровне оплаты труда в отрасли, условиях труда и пр.
x7	Персонал с учетом необходимых компетенций
x8	Персонал с требуемыми компетенциями
x3–1	Уточнение требований к компетенциям потенциальных работников
x3–2	Запрос на уточнение требований к обучению и переобучению с учетом инноваций
x3–3	Уточнение требований к компетенциям персонала с учетом инноваций
x9	Прогноз потребности в персонале для АТС
x10	Прогноз выпуска специалистов с заданным уровнем компетенций

Занятость инновационного типа характеризует новое качество труда, трансформирующееся благодаря продуктовым, технологическим, управленческим, организационным, социальным инновациям. Исследование взаимосвязей субъектов АТС, выполненное нами ранее [3], позволяет допустить, что взаимосвязь работодателя и рынка образования в условиях инновационного вектора развития отрасли является недостаточной, что делает негибким производимый данным рынком продукт – компетенции персонала отрасли. Кроме того, в этой части взаимодействия следует отметить разницу временных интервалов обнаружения потребности в нужных компетенциях с реальными возможностями ее обеспечения (длительность процесса обучения в учебных заведениях). В связи с этим необходимой потребностью во взаимодействии связанных рынков в рамках межрыночного пространства АТС является обеспечение взаимодействия работодателя с учебными заведениями, так же, как и уточнение требований к обучению и переобучению учебных заведений РО у поставщиков инноваций в отрасль. В этом случае данная схема взаимодействия субъектов АТС может иметь вид, представленный на рис. 4. Инновационной экономике требуются специалисты, обладающие гибкостью, мобильностью и высокой степенью адаптации к новым условиям, к постоянному обновлению, новому содержанию, видам и формам занятости. Подготовка работника с учетом требований инновационной занятости должна происходить при взаимосвязанном функционировании профессионального образования и рынка труда.

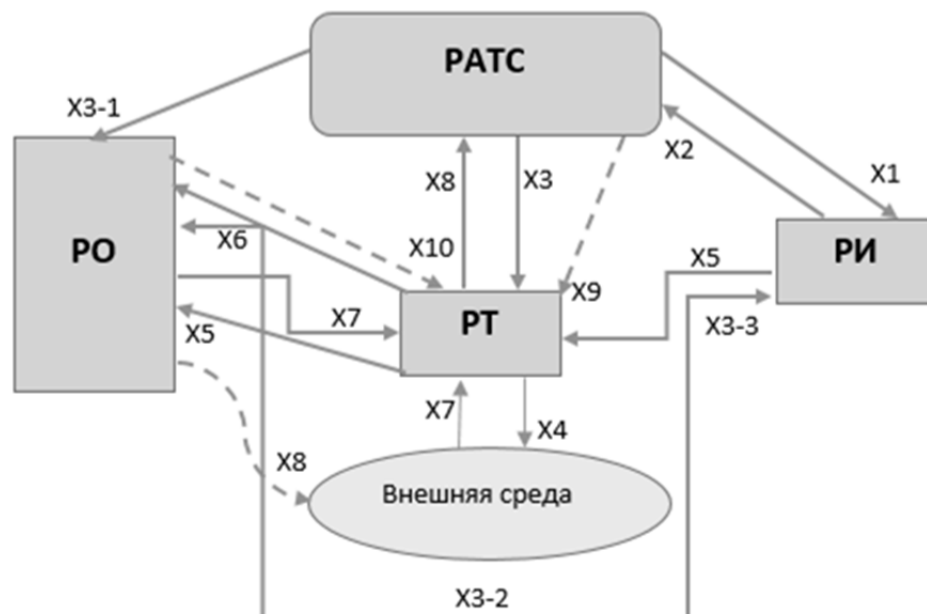


Рис. 4. Рекомендуемая схема взаимодействия рынков в АТС

Так, сбалансированное функционирование смежных рынков в АТС позволит удовлетворить потребности данной подотрасли экономики, а значит, достигнуть стабильности и эффективности и обеспечить достижение долгосрочных целей развития воздушного транспорта.

Исследование, выполненное ранее [3], основанное на результатах экспертной оценки показателей результативности из множества ($n = 1...41$), характеризующих выходы сопряженных рынков в рамках МРП в АТС, приведено на рис. 5, где отражены экспертные мнения, составляющие 70 %-ю значимость оценки результата.

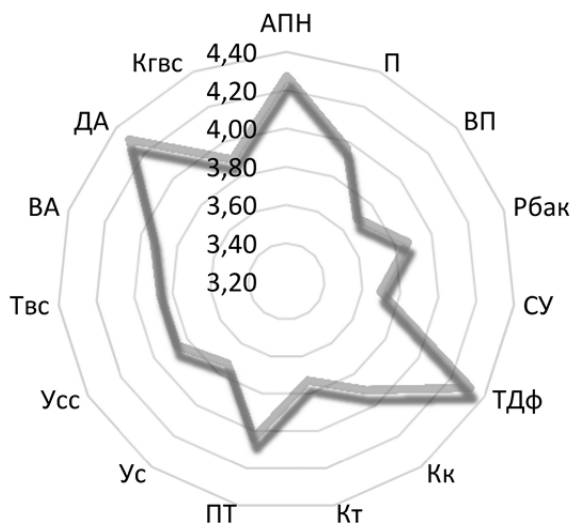


Рис. 5. Экспертные оценки показателей результативности МРП

В качестве экспертов при анкетировании были привлечены специалисты (административные работники, специалисты соответствующих подразделений) аэропортовых предприятий и специалисты авиакомпаний Москвы, Санкт-Петербурга, Пскова и другие, представители консалтинговых компаний рынка труда авиационного персонала, профессора и доценты СПбГУГА и прочих высших учебных заведений, а также представители бизнес-сообщества в данной сфере.

Также экспертные мнения были получены по вопросу значимости влияния параметров ($m = 1 \dots 60$), описывающих границы МРП, на траекторию движения и развитие общего пространства взаимодействия в АТС. Таким образом, к значимым результатам функционирования МРП следует отнести показатели авиационной подвижности населения АПН (4,3), величину добавленной стоимости в авиационной промышленности ДА (4,3), транспортную доступность ТДф (4,3), производительность труда ПТ (4,0), величину пассажиропотока П (4,0). Эксперты касательно показателей, которые могут описывать границы МРП (рис. 6), выделяют прежде всего такие из них, как количество гражданских воздушных судов, переданных ГА, Кгвс (2,9), производительность труда ПТ (2,9), уровень соответствия компетенций персонала Ус (2,7), коэффициент доступности авиаперевозок КДП (2,6), уровень соответствия образования современным стандартам Усс (2,6) и пр.

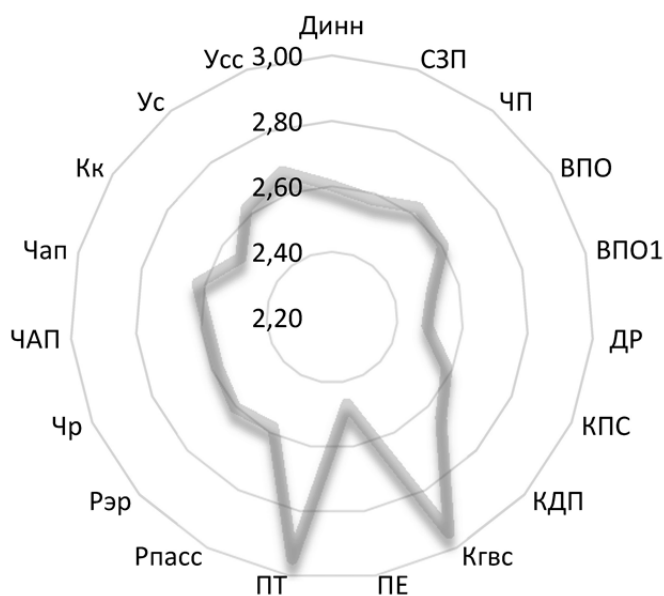


Рис. 6. Экспертные оценки показателей, характеризующих границы МРП и активно влияющих на результаты его функционирования

Анализ факторов, определяющих траекторию движения межрыночного пространства, позволил нам утверждать, что одним из наиболее существенных показателей является уровень соответствия персонала требуемым компетенциям Ус. Компетенции авиационного персонала на текущий момент времени установлены Приказом Минтранса РФ от 12 сентября 2008 г. № 147

«Об утверждении Федеральных авиационных правил «Требования к членам экипажа воздушных судов, специалистам по техническому обслуживанию воздушных судов и сотрудникам по обеспечению полетов (полетным диспетчерам) гражданской авиации» (с изменениями и дополнениями от 15.06.2011 ... 16.09.2015 Приказ Минтранса №276). Однако вопросам прогнозирования и формирования новых компетенций персонала, которые могут возникнуть при переходе на инновационные технологии в отрасли, в настоящее время не уделяется внимания.

Используемый нами при моделировании показатель был определен на основании экспертной оценки и выделен экспертами как один из наиболее важных в условиях инновационного вектора развития РАТС. Также экспертами были отмечены необходимость и высокая значимость мер, связанных с актуализацией профессиональных образовательных программ и их корректировкой с привлечением экспертов РАТС и РИ. Соответственно, данный параметр должен комплексно описывать результаты РАТС в векторе развития МРП в целом и пространства РИ в частности, а также отражать усилия, прилагаемые организациями РТ и РО для формирования требуемого уровня компетенции на основе соответствующего ресурсного обеспечения и грамотной организации взаимодействий по его достижению.

Как было выявлено ранее, новые формирующиеся профессии приводят к образованию новых актуализированных компетенций согласно требованию внешней среды АТС, а также связанных с нею рынков в рамках МРП.

Компетенцией называется совокупность опыта (стажа), знаний, умений и навыков работника, характеризующая его способность выполнить ту или иную задачу. Уровень соответствия персонала требуемым компетенциям отражает степень фактического соответствия оптимальному набору компетенций в рамках отдельной профессии (должности), в рамках отдельного субъекта МРП и в отрасли воздушного транспорта в целом. Выявление соответствия фактического уровня компетенций оптимальным характеристикам представлено нами на рис.7.

Методика формирования и расчета показателя $Ус$ включает следующие основные моменты. После выявления и идентификации организаций и категорий работников, входящих в инструментальный (ресурсный) сектор МРП, следует определить результативные показатели работы персонала и соотнести их с результативными показателями работы как МРП в целом, так и организаций сопряженных рынков в рамках МРП в частности.

На наш взгляд, удобным инструментом в анализе результативных показателей сотрудников будет являться матрица сопоставления (табл. 2) рекомендуемых показателей ИКАО для аэропортов и уровня ответственности персонала аэропортовых предприятий в пределах профессий и должностей.

Используя матрицу в качестве рабочего инструмента, можно описать параметры результативности каждого сотрудника согласно занимаемой им должности (профессии). Результативные показатели МРП описаны нами выше, так же, как и результативные показатели сопряженных рынков.



Рис. 7. Методика формирования и расчета показателя U_c

Аналогично матричным методом, на наш взгляд, можно определить компетенции каждого работника в пределах должности (профессии), которые будут способствовать достижению определенного результата работы (табл. 3).

Таблица 2

**Матрица сопоставления результативных показателей
и ответственности персонала аэропортовых предприятий**

Показатель ИКАО	Должности / профессии в АП			
	<i>j</i>	<i>j + 1</i>	<i>j + 2...</i>	<i>u</i>
Общая сумма расходов на одного пассажира				
Количество происшествий на ВПП на 1000 взлетно-посадочных операций				
Количество столкновений с птицами на 1000 взлетно-посадочных операций				
Средняя ежедневная пропускная способность аэропорта				
Количество обоснованных задержек рейсов				
Средняя продолжительность задержек на один рейс				
Степень удовлетворенности пассажиров				
Количество случаев несанкционированного занятия ВПП на 1000 взлетно-посадочных операций				
Количество взлетно-посадочных операций на один пункт выхода на посадку				
Количество пассажиров на одного сотрудника				
Общая сумма расходов на одну взлетно-посадочную операцию				
Количество взлетно-посадочных операций на одного служащего				
Общая сумма расходов на 1000 единиц измерения перевозок				
Процентная доля расходов на персонал от суммы оборота				

Таблица 3

**Матрица сопоставления компетенций и результативных показателей
персонала аэропортовых предприятий**

Показатель ИКАО	Компетенции сотрудников			
	<i>i</i>	<i>i + 1</i>	<i>i + 2...</i>	<i>n</i>
1	2	3	4	5
<i>Профессия / должность (j)</i>				
Количество происшествий на ВПП на 1000 взлетно-посадочных операций				
Средняя продолжительность задержек на один рейс				
Количество взлетно-посадочных операций на одного служащего				
<i>Профессия / должность (j + 1)</i>				
Количество столкновений с птицами на 1000 взлетно-посадочных операций				
Количество обоснованных задержек рейсов				
Степень удовлетворенности пассажиров				

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5
Общая сумма расходов на одну взлетно-посадочную операцию				
Общая сумма расходов на 1000 единиц измерения перевозок				
<i>Профессия / должность (j + 2)</i>				
Общая сумма расходов на одного пассажира				
Количество случаев несанкционированного занятия ВПП на 1000 взлетно-посадочных операций				
Количество пассажиров на одного сотрудника				
Процентная доля расходов на персонал от суммы оборота				
<i>Профессия / должность (j + n)</i>				
Средняя ежедневная пропускная способность аэропорта				
Количество взлетно-посадочных операций на один пункт выхода на посадку				

Формирование массива компетенций в пределах профессий с учетом их влияния на результативные показатели предприятия согласно нашему представлению производится следующим образом. Экспертным путем происходит определение значимости развития той или иной компетенции для достижения целевого уровня результативного показателя как в пределах каждой профессии (должности), так и предприятия в целом по схеме, приведенной в табл. 4.

Таблица 4

Формирование оценки значимости Z

Определяемый параметр компетенции ($i = 1 \dots n$)	Экспертные оценки						Сумма оценок	Медиана	Значимость
	1	2	3	4	...	k			
i-я компетенция в j-й профессии									
Значимость при достижении результативного показателя профессии / должности	$\mathcal{E}_{1ij}$	$\mathcal{E}_{2ij}$	$\mathcal{E}_{3ij}$	$\mathcal{E}_{4ij}$	$\mathcal{E}_{...ij}$	$\mathcal{E}_{kij}$	$\sum \mathcal{E}_{kij}$	$M_{ij} = \sum \mathcal{E}_{kij} / k$	$Z_{\mathcal{E}ij}$
Значимость при достижении результативного показателя предприятия сопряженного рынка в рамках МРП	$\mathcal{E}'_{1ij}$	$\mathcal{E}'_{2ij}$	$\mathcal{E}'_{3ij}$	$\mathcal{E}'_{4ij}$	$\mathcal{E}'_{..ij}$	$\mathcal{E}'_{kij}$	$\sum \mathcal{E}'_{kij}$	$M'_{ij} = \sum \mathcal{E}'_{kij} / k$	$Z_{\mathcal{E}'ij}$

Уровень значимости $Z\mathcal{E}_{ij}$ определится в пределах j -профессии путем деления медианных уровней значимости M_i на сумму медианных оценок i -компетенций в пределах j -профессии (должности). Уровень значимости $Z\mathcal{E}'_{ij}$ определится в пределах j -профессии путем деления M'_i на сумму медианных значений i -компетенций в пределах j -профессии (должности). Тогда уровень значимости i -компетенции j -профессии определится по формуле

$$Z_i = \frac{Z\mathcal{E}_i \cdot Z\mathcal{E}'_i}{\sum (Z\mathcal{E}_i \cdot Z\mathcal{E}'_i)}. \quad (1)$$

Данные (табл. 5) позволят определить интегральный уровень значимости каждой компетенции. Например, значимость 1-й компетенции работника (из семи взятых для оценки) демонстрирует следующий уровень интегрального показателя значимости:

$$Z_1 = 17,27 \cdot 15,47 / 1445,69 \cdot 100 = 18,49 \, \%.$$

Таким образом формируется массив значимых компетенций $\{Z_n\}$, контролируя которые на основе принципов управления МРП, можно управлять движением МРП в нужном направлении развития. Оценка уровня компетентности m -работника ($УК_m$) определяется по выявленным компетенциям методом балльной оценки путем сопоставления фактического уровня компетентности ($УК^\Phi$) с оптимальным уровнем ($УК^{opt}$), принятым за 100 % либо 100 баллов.

Состояние уровня компетентности каждого m -работника j -профессии определится по формуле

$$УК_m = \frac{УК^\Phi}{УК^{opt}} = \frac{\sum_i^n Б\Phi_i}{\sum_i^n Бi^{opt}}. \quad (2)$$

Фактическая сумма баллов определяется по наиболее значимым компетенциям, выявленным на предыдущем этапе. В качестве оптимального значения выбирается суммарное число компетенций, участвующих в расчете, умноженное на 100 % или баллов.

Показатель соответствия уровню требуемых компетенций ($Ус$) согласно методике, на наш взгляд, может быть определен как по отдельному работнику, что, однако, делает невозможным его использование при прогнозировании развития МРП в целом, так и в пределах отдельных организаций РАТС и в рамках МРП.

Уровень соответствия требуемым компетенциям отдельного работника практически совпадает с показателем его компетентности:

$$Ус_m = УК_m. \quad (3)$$

Уровень соответствия персонала требуемым компетенциям организации РАТС определится по формуле

$$Ус_{РАТС} = \frac{\sum_m^s \sum_j^u \sum_i^n Б\Phi_{ijm} \cdot Z_{ij}}{100 \cdot s \cdot n \cdot u}. \quad (4)$$

Уровень соответствия персонала требуемым компетенциям в рамках МРП определится по формуле

$$У_{\text{сМРП}} = \frac{\sum_m^t \sum_i^n \sum_j^u Z_{ij} \cdot Б\Phi_{ijm}}{100 \cdot s \cdot n \cdot u} = \frac{\sum_o^r У_{\text{сРАТС}}}{r}. \quad (5)$$

Так, использование данного параметра позволит описать текущие и прогнозируемые значения и области развития как отдельных работников, так и предприятий в сфере АТС, а также отразить перспективную траекторию МРП.

Таблица 5

Результаты экспертной оценки уровня значимости компетенций
при достижении целевых показателей

Параметр	Экспертные оценки						Сумма оценок	Медиана	Значимость
	1	2	3	4	5...	15			
1-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₁₁	10	9	9	10	10...	8	142	9,47	17,27
ZЭ' ₁₁	8	9	9	8	9...	10	132	8,80	15,47
Z ₁₁	—	—	—	—	—	—	—	—	18,49
2-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₂₁	5	4	3	2	4...	5	50	3,33	6,08
ZЭ' ₂₁	8	7	8	8	6...	7	116	7,73	13,60
Z ₂₁	—	—	—	—	—	—	—	—	5,72
3-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₃₁	9	8	8	7	8...	7	127	8,47	15,45
ZЭ' ₃₁	7	5	6	7	8...	7	111	7,40	13,01
Z ₃₁	—	—	—	—	—	—	—	—	13,91
4-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₄₁	9	9	9	10	9...	9	145	9,67	17,64
ZЭ' ₄₁	9	9	9	8	9...	9	132	8,80	15,47
Z ₄₁	—	—	—	—	—	—	—	—	18,88
5-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₅₁	6	5	6	6	7...	6	96	6,40	11,68
ZЭ' ₅₁	7	8	7	8	8...	7	114	7,60	13,36
Z ₅₁	—	—	—	—	—	—	—	—	10,80
6-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₆₁	9	9	10	10	9...	10	138	9,20	16,79
ZЭ' ₆₁	9	9	8	8	9...	9	135	9,00	15,83
Z ₆₁	—	—	—	—	—	—	—	—	18,38
7-я компетенция в 1-й профессии									
ZЭ ₇₁	8	7	7	8	9...	7	124	8,27	15,09
ZЭ' ₇₁	7	6	7	8	8...	7	113	7,53	13,25
Z ₇₁	—	—	—	—	—	—			13,82
сумма по ZЭ ₇₁	—	—	—	—	—	—	822	54,80	100,0
сумма по ZЭ' ₇₁	—	—	—	—	—	—	853	56,87	100,0
Z ₇₁	—	—	—	—	—	—	—	—	100,0
Σ(ZЭ _i · ZЭ' _i)	—	—	—	—	—	—	—	1445,69	—

Таким образом, радикальные преобразования, прогнозируемые в сфере воздушного транспорта, приводят к необходимости создания схем взаимной работы всех участников взаимодействия, учитывающих особенности и нестабильную динамику рынка воздушных перевозок, необходимость внедрения инноваций в различные сферы деятельности, механизмы модернизации авиатранспортной инфраструктуры и стимулирования инноваций в области образования летного персонала, а также осуществление соответствующего обучения и трудоустройства специалистов, обеспечивающих работу всех подразделений на современной организационной и технологической платформе формирования кадрового потенциала отрасли.

Библиографический список

1. О федеральной целевой программе «Развитие транспортной системы России (2010–2020 гг.)» : постановление Правительства РФ № 848 от 5 декабря 2001 г. : [с изм. и доп. от 28 апреля, 2, 18 июня, 6 октября 2015 г., 1 мая 2006 г., 9 июля 2007 г.]. – URL: <http://base.garant.ru> (дата обращения: 07.09.2016).
2. Экономика транспорта : учеб. и практикум / Е. В. Будрина, С. А. Бородулина, Н. А. Логинова, Л. И. Рогавичене, Е. В. Табачникова. – М. : Юрайт, 2017 – 366 с.
3. Михальчевский, Ю. Ю. Траектория движения межрыночного пространства в авиатранспортном секторе / Ю. Ю. Михальчевский, С. А. Бородулина // Научное обозрение. – 2016. – № 24. – С. 158–162.

Михальчевский Юрий Юрьевич
кандидат технических наук, доцент,
директор Авиационного учебного
центра,
Санкт-Петербургский государственный
университет гражданской авиации
E-mail: piter000000@ya.ru

Mikhailchevsky Yuri Yurievich
candidate of technical sciences,
associate professor,
director of Aviation Training Center,
Saint Petersburg State University
of Civil Aviation

УДК 338.2

Михальчевский, Ю. Ю.

Методика расчета показателя оценки уровня соответствия компетенциям авиационного персонала в условиях инновационного развития воздушного транспорта / Ю. Ю. Михальчевский // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 4–16.

**ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ГОСУДАРСТВА
И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ИНТЕРЕСЫ СУБЪЕКТОВ
МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА**

Г. Б. Новосельцева, Н. В. Рассказова

**FORMATION OF MAKROECONOMIC STRATEGY
OF THE STATE AND ECONOMIC INTERESTS
OF SUBJECTS SMALL BUSINESS**

G. B. Novoseltseva, N. V. Rasskazova

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время в России существует необходимость разработки макроэкономической стратегии страны, предполагающей преодоление стагнации экономики. Данная стратегия должна отвечать интересам различных участников экономики, включая субъекты малого предпринимательства, что способствует стабилизации социально-экономической ситуации в стране. Цель данного исследования – выявление необходимых мер проведения политики государства на основе учета экономических интересов субъектов малого предпринимательства. *Материалы и методы.* Реализация цели исследования была достигнута на основе анализа концептуальных положений, методических разработок, трудов отечественных и зарубежных ученых по проблемам развития малого предпринимательства, государственного регулирования экономики. *Результаты.* В работе проведен анализ реализуемой в России экономической политики государства в отношении субъектов малого предпринимательства, предложены необходимые меры по ее совершенствованию в условиях кризиса. *Выводы.* Стратегия социально-экономического развития России, предполагающая отказ от инерционно-сырьевой модели экономики и переход на траекторию устойчивого развития, должна учитывать экономические интересы субъектов малого предпринимательства, что возможно на основе формирования и развития социально-экономического партнерства государства, предпринимательства и общества, функционирующего на принципах взаимовыгодности и паритета, разделения полномочий, ответственности и рисков.

Ключевые слова: макроэкономическая стратегия, государственная экономическая политика, малое предпринимательство, экономические интересы.

Abstract. *Background.* In the present in Russia there is a need of development of macroeconomic strategy of the country assuming overcoming of the economy stagnation. This macroeconomic strategists has to answer the inquiries of various of subjects economy, including consider economic interests of subjects of small business as, carrying out various social and economic functions, these subjects promote the stabilization of a social and economic situation in the country. The objective of this research is the identification of necessary measures of carrying out the policy of the state on the basis of the accounting economic interests of subjects of small business. *Materials and methods.* The realization of the research's objective was reached on the basis of the analysis of conceptual provisions, methodical research, works of domestic and foreign scientists on the problems of development of small business, state regulation of economy. *Results.* In the work the analysis of the economic policy of the state concerning subjects of small business realized in Russia is carried

out, necessary measures for its improvement in the conditions of crisis are offered. *Conclusions.* The strategy of social and economic development of Russia assuming the refusal of inertial and raw model of economy and transition to a trajectory of a sustainable development has to consider economic interests of subjects small business that is possible on the basis of formation and development of social and economic partnership of the state, business and society functioning on the principles of mutual benefit and parity, division of powers, responsibility and risks.

Key words: macroeconomic strategy, state economic policy, small business, economic interests.

Введение

Современное социально-экономическое развитие общества, обозначенное усилением роли науки и инноваций, нелинейно, неоднозначно и существует в сложном взаимном переплетении интересов, целей и реальных перспектив. Определяющая роль в разрешении существующих противоречий социально-экономического и политического характера принадлежит государству даже в странах, для которых характерны либеральные экономические традиции.

Возможности развития современной экономики, подверженной рискам и угрозам XXI в., определяются не только эволюционными процессами, но и разработанной государственной макроэкономической стратегией. В настоящее время в России назрела необходимость пересмотра исчерпавших себя взглядов на модернизацию страны и разработки теоретических предпосылок для преодоления стагнации реформационного процесса. Поэтому с начала 2000-х гг. активизировалась деятельность по разработке стратегии социально-экономического развития России как в научных кругах [1–3], так и в государственных структурах. В итоге Правительством РФ было принято несколько вариантов «Программы социально-экономического развития РФ на среднесрочную перспективу» (на 2001–2004 гг., 2003–2005 гг., 2006–2008 гг.) и «Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года» (2008 г.) [4], которые являлись попыткой сформировать макроэкономическую стратегию развития.

Однако нарастающие кризисные явления 2014–2016 гг., сопровождающиеся снижением макроэкономических показателей развития российской экономики, свидетельствуют о нереализованных в предшествующий период декларируемых мероприятиях и существовании структурных проблем. Так, в 2015 г. произошло сокращение ВВП на 2,8 % (с 63038,4 млрд руб. в 2014 г. до 61249, 4 млрд руб. в 2015 г.), в 2016 г. – на 0,2 % (до 61097,5 млрд руб.), наблюдалось снижение производительности труда во всех отраслях экономики (индекс производительности труда в целом по экономике в 2014 г. составил 100,9 %, в 2015 г. – 96, 8 %) и т.д. [5, 6].

Государственная политика поддержки и развития малого предпринимательства

Залогом успеха формирования и реализации макроэкономической стратегии являются взаимодействия государства и бизнеса, основанные на согла-

совании их экономических интересов. Особая роль в данном процессе принадлежит согласованию экономических интересов государства и субъектов малого предпринимательства, поскольку именно последние, выполняя важные социально-экономические функции, способствуют социально-экономической стабилизации в стране [7]. В этой связи важна оценка состояния государственной политики, проводимой в отношении субъектов малого предпринимательства.

В теоретических работах исследователи выделяют разные подходы к проведению государственной политики в отношении субъектов малого предпринимательства. Первый подход основан на целенаправленном и последовательном развитии макросреды бизнеса и равном учете экономических интересов всех субъектов предпринимательства. В этом случае проводится реформирование налоговой системы и законодательства о конкуренции, расширяются масштабы приватизации, осуществляется процесс дерегулирования и либерализации деятельности предприятий. Например, во Франции отсутствуют масштабные программы развития малого предпринимательства, хотя существуют программы поддержки отдельных национальных ремесел.

Второй подход выражается в наличии программ поддержки предпринимательства, преимущественно субъектов малого предпринимательства. Для данного подхода характерна строгая классификация, определяющая принадлежность предприятий к крупному или мелкому предпринимательству. В этом случае, если предприятия отнесены к разряду малых, они могут рассчитывать на определенный вид государственной поддержки. По сути, государственная политика в области предпринимательства сводится к разработке целевых программ, эффективных механизмов финансирования посредством субсидий, дотационных займов или налоговых льгот.

В ряде стран, например в Великобритании, существует смешанный подход, предполагающий государственную поддержку предпринимательства, в том числе и малого, который на практике реализуется в виде разнообразных мероприятий, опирающихся на партнерство государства, бизнеса и общественного сектора. В данном случае государство пытается проводить такую макроэкономическую политику, которая учитывает интересы всех субъектов экономики.

Приведенные выше примеры взаимодействия государства и бизнеса свидетельствуют о том, что при решении проблем, носящих системный характер, лишь последовательные действия государства способны привести к положительным результатам. При этом необходимо отметить, что общей мировой тенденцией является уменьшение прямого патернализма и переход к формам непрямого стимулирования предприятий в наиболее высокотехнологичных конкурентных отраслях.

В России государственная политика в отношении субъектов малого предпринимательства, во-первых, строится на принципах патернализма, особенностью которого является наличие ограниченных возможностей сотрудничества бизнеса и государства, поскольку государство при низком уровне доверия в обществе вынуждено усиливать механизмы государственного распределения, что не соответствует общемировым тенденциям развития экономики. Во-вторых, основным продекларированным приоритетом данной госу-

дарственной политики является реализация системы мер по поддержке субъектов малого предпринимательства и учету их интересов с целью ускорения экономического развития, увеличения занятости и повышения конкурентоспособности национальной экономики. Однако, по мнению ряда экономистов [8, 9] и предпринимателей, в России существуют лишь отдельные разрозненные меры и мероприятия государственной поддержки малого предпринимательства, которые в условиях отсутствия базовых возможностей для развития приобретают подчас клановый, коррупционный характер. Так, некоторыми чиновниками применяется практика продвижения на рынке отдельных фирм, создание для них благоприятных условий для получения государственных заказов и контрактов.

Вместе с этим правительство предпринимает попытки по разработке и реализации сбалансированной программы, направленной на развитие малого предпринимательства. В частности, последним документом, направленным на развитие малого предпринимательства, является Распоряжение Правительства РФ от 02.06.2016 № 1083-р «Об утверждении Стратегии развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации на период до 2030 года» (вместе с «Планом мероприятий» («дорожной картой») по реализации Стратегии развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации до 2030 года). В качестве цели стратегии выдвигается идея развития «сферы малого и среднего предпринимательства как одного из факторов, с одной стороны, инновационного развития и улучшения отраслевой структуры экономики, а с другой – социального развития и обеспечения стабильно высокого уровня занятости». Достижение этой цели обозначается конкретными показателями развития малого предпринимательства, например, увеличение оборота малых предприятий в 2,5 раза (в реальном выражении); увеличение в 2 раза производительности труда (в реальном выражении); увеличение доли занятого населения в секторе малого и среднего предпринимательства в общей численности занятого населения до 35 % и др. Реализация Стратегии основывается на следующих принципах: легализация деятельности субъектов малого предпринимательства, разработка мероприятий на основе учета интересов субъектов малого предпринимательства, оказание поддержки быстроразвивающимся малым предприятиям, создание условий для развития малого предпринимательства, обеспечение предсказуемости и прозрачности фискальных и регулирующих условий.

Также в Стратегии в наиболее общем виде предложены основные мероприятия и даты их реализации, которые приведут к достижению поставленной цели. Например, в качестве одного из способов стимулирования спроса на товары и услуги субъектов малого предпринимательства предлагается расширить участие малых предприятий в закупках товаров, работ и услуг отдельными юридическими лицами, для чего необходимо определить конкретных заказчиков до конца 2016 г. [10]. Следует отметить, что ответственное за данное мероприятие АО «Корпорация "МСП"» обеспечило доступ к закупкам 35 «конкретных заказчиков», преимущественно предприятий с государственным участием [11].

Безусловно, Стратегия способствует формированию государственной экономической политики государства с учетом интересов субъектов малого предпринимательства. Вместе с этим рекомендательный характер Стратегии по поддержке малого предпринимательства для региональных органов власти может не привести к реализации поставленной цели. Кроме того, дифференциация развития регионов и наличие кризисных трендов в экономике также являются сдерживающими факторами развития субъектов малого предпринимательства.

В целом можно констатировать, что сложившаяся система государственной поддержки малого предпринимательства в России отражает состояние макросреды и ее институтов. Поэтому проводимые мероприятия государства в отношении субъектов малого предпринимательства не всегда учитывают их интересы и не приносят желаемого результата по превращению данных субъектов в один из ведущих факторов развития национальной экономики.

Разработка государственной экономической политики на основе учета экономических интересов субъектов малого предпринимательства

Среди проблем, требующих своего разрешения в ближайшее время, приоритет следует отдать мерам в области налогового законодательства и финансового регулирования. В сфере налогового регулирования можно предложить введение «налоговых каникул» для всех вновь созданных предприятий и производств или образованных в результате осуществления инвестиций в форме капитальных вложений. Например, «налоговые каникулы» могут включать временное освобождение от налогов на прибыль, имущество, земельного налога предприятий, работающих по общей системе налогообложения, временное освобождение от уплаты единого налога предприятий, работающих по специальным режимам налогообложения. Данные мероприятия особенно актуальны в кризисных условиях и могут послужить основой роста и увеличения производства, повышения выживаемости бизнеса.

В экономике России практика введения «налоговых каникул» используется только для индивидуальных предпринимателей, что предусмотрено Федеральным законом от 29.12.2014 № 477-ФЗ «О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации». Впервые зарегистрированные индивидуальные предприниматели вправе применять налог по ставке 0 % в течение двух налоговых периодов. Льготы предоставляются предпринимателям, которые выбрали упрощенную или патентную систему и реализуют свою деятельность в производственной, социальной и (или) научной сферах [12]. Перечисленные мероприятия дают дополнительные стимулы и возможности для открытия собственного дела, так как при использовании данных льгот предпринимателю необходимо оплатить лишь страховые взносы, которые идут в накопительную часть пенсии.

Вместе с этим прослеживаются ограничительные возможности использования налоговых льгот субъектами малого предпринимательства. По нашему мнению, в качестве стимулирующей меры необходимо ввести дифференциальную шкалу налогообложения для субъектов малого предпринимательства,

что позволит облегчить налоговый груз в условиях кризиса и направить средства на развитие бизнеса. Дифференциальная шкала налогообложения актуальна для предприятий, использующих общую систему налогообложения. Возможны различные варианты налогообложения в зависимости от выбранного критерия, например, прогрессивная шкала налогообложения прибыли в зависимости от размера прибыли (подобным образом осуществляется налогообложение малых предприятий в Великобритании) или использование дифференциальных ставок налогообложения предприятий различных отраслей, т.е. актуальные для экономики направления деятельности (например, инновационные производства) должны получать льготы.

Помимо налоговых изменений, влияющих на реализацию экономических интересов субъектов малого предпринимательства, необходимо принять ряд решений в области финансовой поддержки. В настоящее время деятельность по кредитованию субъектов малого предпринимательства находит поддержку в ряде кредитных институтов, таких как «Сбербанк», ВТБ, Россельхозбанк, Промсвязьбанк, Альфа-банк, Газпромбанк и др. Как учреждение, созданное для поддержки малого и среднего бизнеса, позиционируется ОАО «МСП Банк».

В 2015 г. в соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 5 июня 2015 г. № 287 «О мерах по дальнейшему развитию малого и среднего предпринимательства» и Федеральным законом от 29 июня 2015 г. № 156-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [13, 14] на базе акционерного общества «Небанковская депозитно-кредитная организация "Агентство кредитных гарантий"» создано акционерное общество «Федеральная корпорация по развитию малого и среднего предпринимательства» (далее – Корпорация), которое должно осуществлять деятельность в качестве государственного института развития малого и среднего предпринимательства. Одной из основных функций Корпорации является предоставление банковских гарантий по кредитам и иным долговым обязательствам.

Несмотря на предпринимаемые государством меры, за период 2014–2016 гг. по оценке ЦБ РФ объемы кредитования субъектов малого и среднего предпринимательства уменьшились: в 2013 г. предоставлено кредитов на сумму 8 064 759 млн руб., в 2014 г. – 7 610 594 млн руб., в 2015 г. – 5 462 073 млн руб., в 2016 г. – 5 302 114 млн руб. [15]. По данным «Индекса Опоры RSBI» (ежеквартального исследования настроений малого и среднего бизнеса), во втором квартале 2016 г. лишь 8 % малых и средних компаний брали кредиты [16].

Анализ проблемы кредитования субъектов малого предпринимательства позволяет выделить сдерживающие данный процесс факторы:

- снижение предпринимательской активности, являющейся следствием замедления темпов экономического роста российской экономики;
- высокие процентные ставки и жесткие условия получения кредитного финансирования;
- отсутствие отрегулированных механизмов кредитного обеспечения и банкротства (с последующим удовлетворением требований кредиторов);

- необходимость повышенных резервов по кредитам, выданным заемщикам малого предпринимательства вследствие непрозрачности и неполноты предоставленной отчетности;
- низкая финансовая грамотность представителей малого предпринимательства.

В качестве решения проблемы кредитования субъектов малого предпринимательства банками можно предложить следующие мероприятия:

- увеличение сроков и объемов финансирования субъектов малого предпринимательства;
- расширение перечня видов деятельности, подпадающих под льготное кредитование;
- обеспечение доступного механизма поручительства субъектов малого предпринимательства.

Другой действенной мерой в области финансирования субъектов малого предпринимательства является создание новых и расширение действующих гарантийных фондов (фондов поручительств) – специальных некоммерческих фондов, предоставляющих поручительства субъектам малого предпринимательства, у которых недостаточно собственного имущества для полноценного обеспечения обязательств по банковским кредитам. Формирование и использование гарантийных фондов значительно упрощает доступ субъектов малого предпринимательства к кредитным услугам. Положительным примером создания и функционирования гарантийных фондов являются Москва, Санкт-Петербург, Ленинградская, Воронежская области, Республика Удмуртия, Ханты-Мансийский АО и другие. По информации Минэкономразвития РФ в настоящее время осуществляют свою деятельность 80 гарантийных фондов [17]. В 2012 г. были обеспечены гарантиями кредиты предпринимателей на сумму 96,23 млрд руб., в 2013 г. – 113,93 млрд руб., в 2014 г. – 112,8 млрд руб. [18]. Поэтому необходимо и в дальнейшем создавать условия для развития действующих фондов.

В качестве одного из направлений развития государственной политики в отношении субъектов малого предпринимательства должны стать меры, направленные на стимулирование спроса на товары и услуги малых предприятий и замещение импорта. Решение данной проблемы является актуальным по ряду причин: во-первых, среди факторов, ограничивающих деловую активность субъектов малого предпринимательства, первостепенным, по мнению предпринимателей, является недостаточный платежеспособный спрос [19]. Снижение реальных доходов населения в 2014–2016 гг. привело к сокращению потребления продукции, изготовленной субъектами малого предпринимательства. Во-вторых, санкционные меры, введенные рядом стран в отношении Российской Федерации, стимулировали реализацию политики импортозамещения. По прогнозам аналитиков, в ближайший период времени наиболее перспективными отраслями для импортозамещения будут являться станкостроение (импорт составляет около 90 %), тяжелое машиностроение, текстильное производство, электронная промышленность, медицинское производство, фармацевтическое производство. Импортозамещение будет осуществляться при условии наличия предприятий с соответствующими произ-

водственными мощностями, способных выпускать качественный, конкурентоспособный продукт по соответствующим ценам. Кроме того, снижение импорта возможно при условии развития и стимуляции новых технологий и дополнительно созданного производства. В итоге, по оценке Минпромторга России, при реализации политики импортозамещения к 2020 г. произойдет снижение импорта в разных отраслях с 90 до 50 %. Основными отраслями импортозамещения для реализации экономических интересов субъектов малого предпринимательства являются сельское хозяйство, фармацевтика, производство медицинского оборудования и оборонно-промышленный комплекс. Необходимо отметить, что особое значение должно отводиться возможностям взаимодействия малых и крупных предприятий в обозначенных отраслях, а также привлечение к государственным закупкам и заказам.

В качестве мероприятий по стимулированию спроса на товары и услуги субъектов малого предпринимательства можно предложить:

- организацию местными органами власти постоянно действующих ярмарок и выставок, особенно для сельскохозяйственных производителей;
- обеспечение субъектов малого предпринимательства государственными заказами;
- государственные закупки продукции малых предприятий;
- формирование механизмов, способствующих выходу субъектов малого предпринимательства за пределы местного рынка.

Одним из важных направлений стимулирования субъектов малого предпринимательства является выделение федеральных, региональных, муниципальных заказов. В соответствии с законодательством о размещении государственных и муниципальных заказов государственный заказчик обязан размещать 10–20 % государственного заказа исключительно на торгах, проводимых для субъектов малого предпринимательства по отдельной номенклатуре товаров, работ, услуг, утвержденной Постановлением Правительства РФ. Это позволяет субъектам малого предпринимательства, работающим по государственным контрактам, получать доступ к дополнительным средствам, которые они могли бы использовать на поддержание и расширение своей деятельности.

Субъекты малого предпринимательства предъявляют устойчивый экономический интерес к получению государственных заказов и, следовательно, возможности гарантированного получения дохода. Однако реальность такова, что возможность реализовать свой экономический интерес в системе государственных закупок и контрактов ограничивается существующей структурой системы государственных закупок в России, которая вынуждает предпринимателей на начальном этапе оформления госзаказа становиться кредиторами государства. Минэкономразвития рекомендует заказчикам не платить аванс субъектам малого предпринимательства, чтобы избежать возможности мошенничества. Это означает, что субъекты малого предпринимательства вынуждены изымать из оборота существенные денежные средства, что тормозит развитие данных предприятий.

Другим негативным фактором получения государственного заказа субъектами малого предпринимательства является непрозрачность процедуры

предоставления контракта. Система «откатов», сговора участников контрактных отношений является распространенным явлением и снижает конкурентные основы проводимых мероприятий, что в конечном итоге приводит к монопольным эффектам деятельности субъектов малого предпринимательства и качественно снижает конкурентную рыночную среду.

К действенным мерам развития экономических интересов субъектов малого предпринимательства в рамках реализации государственной стратегии социально-экономического развития можно отнести стимулирование выхода субъектов малого предпринимательства на внешний рынок. В данном случае показательным является иностранный опыт участия государственных организаций в стимулировании экспорта. Например, в Ирландии реализуется «Национальная программа связей», предполагающая установление субподряда местных поставщиков с транснациональными компаниями, организующими производство в Ирландии. Ирландское Агентство по промышленному развитию возглавило консорциум агентств, функцией которого являлось выявление потенциальных возможностей осуществления поставок в некоторых секторах и создание группы местных производителей. Этим производителям были предложены услуги по поддержке при закупках и другая помощь в развитии их бизнеса. В программе приняли участие более 200 иностранных и 83 местных фирм. Итогом такого взаимодействия стал рост продаж поставщиков на 83 %, рост занятости – на 33 %. Кроме того, в период с 1985 по 1992 г. отделения иностранных компаний в 2 раза увеличили свои местные закупки сырья и на 1/3 – закупки услуг, а в 2001 г. сумма закупок, поддерживаемых Агентством, выросла до 10 млрд евро [20].

Однако все значительные изменения в области поддержки малого предпринимательства получают положительные результаты тогда, когда различные мероприятия будут проводиться властями не только в собственных интересах или интересах незначительной группы предпринимателей. Проводимые мероприятия должны осуществляться в условиях высокой степени информированности предпринимателей, быть прозрачными в правовом отношении.

Согласование экономических интересов государства и субъектов малого предпринимательства как основа устойчивого развития экономики

Стратегия социально-экономического развития России, предполагающая отказ от инерционно-сырьевой модели экономики и переход на траекторию устойчивого развития, должна учитывать экономические интересы субъектов малого предпринимательства, что возможно на основе формирования и развития социально-экономического партнерства государства и предпринимательства, функционирующего на принципах взаимовыгодности и паритета, разделения полномочий, ответственности (в том числе и социальной) и рисков.

В России формирование партнерских взаимодействий различных субъектов экономики можно отнести к началу 1990-х гг. Практика показывает, что развитие социально-экономического партнерства имеет определенную логику и зависит от сложившейся ситуации и задач, решаемых государством и предпринимательством в экономической среде.

В настоящее время актуальным является развитие социально-экономического партнерства государства и субъектов малого предпринимательства при осуществлении государственных проектов, программ. Возникающее при этом партнерство государства и бизнеса имеет различные преимущества. Прежде всего, выделяются взаимовыгодность и результативность социально-экономического партнерства как для государства, так и для бизнеса: государство получает дополнительные возможности для решения своих задач, связанных с рационализацией структуры общественного производства и с предотвращением социальной напряженности, бизнес – благоприятные условия хозяйствования и возможность получения прибыли. Взаимовыгодное партнерство государства и предпринимательства создает основу для благоприятного развития социально-экономической системы посредством реализации различных проектов. В конечном счете выигрывает общество как множество потребителей создаваемых более качественных материальных и нематериальных благ. Развитие социально-экономического партнерства в данном направлении в России позволяет активизировать субъекты малого предпринимательства, повысить уровень доверия к власти.

Условием развития социально-экономического партнерства является формирование правового пространства, которое способствует становлению гражданского общества. Совершенствование нормативной базы партнерства касается регулирования социально-трудовых отношений, определения сфер ответственности хозяйствующих субъектов, установления штрафных санкций, разрешения коллективно-трудовых споров, соблюдения коммерческой тайны, социальных стандартов. Улучшение нормативно-правовой базы должно осуществляться не только на федеральном, но и региональном уровне, повышая ее адекватность экономической действительности. Эффективно функционирующие законы служат одним из условий стабильного развития социально-экономической системы.

Основной формой реализации социально-экономического партнерства государства и субъектов малого предпринимательства является сорегулирование (co-regulation), под которым понимаем способ многостороннего управления экономическими процессами посредством совместных усилий различных субъектов экономики, организаций и государства. Организации и системы сорегулирования способствуют уменьшению противоречивости экономических интересов различных субъектов. Формы сорегулирования различны: долгосрочные публичные договоры о сотрудничестве; участие в целевых комплексных программах; выполнение заказов для государственных и муниципальных нужд; совместные проекты государства и бизнеса; государственная поддержка малого предпринимательства; саморегулирование, т.е. передача отдельных функций государственных органов негосударственным организациям.

Сорегулирование предполагает участие представителей субъектов малого предпринимательства в государственных регулирующих структурах при решении определенных вопросов. Особенно это актуально при решении экономических проблем на местном уровне. Однако прямое участие в системах сорегулирования для отдельных субъектов малого предпринимательства не

является привлекательным, поскольку участие в таких системах требует определенных затрат, но не приносит прямых выгод в виде конкурентных преимуществ. Поэтому экономические интересы субъектов малого предпринимательства могут представлять не отдельные предприниматели, а бизнес-структуры или общественные организации.

Примером делегированного саморегулирования может служить деятельность общественной организации «Опора России», отстаивающей интересы малого предпринимательства. По собственным оценкам данной организации, она объединяет более 110 некоммерческих организаций по всей стране и имеет 80 региональных отделений. «Опора России» действует в тесном взаимодействии с государственными органами законодательной и исполнительной власти, научными и исследовательскими учреждениями, другими бизнес-объединениями, средствами массовой информации. В частности, руководители и эксперты организации принимают активное участие в разработке нормативно-правовых актов, затрагивающих интересы субъектов малого предпринимательства, проводят общественную экспертизу принимаемых решений на всех уровнях государственного управления, участвуют в разработке способов устранения экономической основы коррупции [21].

Однако, несмотря на усилия, предпринимаемые «Опорой России», значительная часть бизнесменов неохотно участвует в различных объединениях предпринимателей. По некоторым данным, реально в нашей стране консолидировано около 5 % предпринимателей. Хотя в странах Запада в подобных организациях малого бизнеса задействовано около 60 % предпринимателей [22].

Перспективной формой согласования экономических интересов субъектов малого предпринимательства и государства является развитие саморегулирования (self-regulation), которое можно определить как регулирование различных рынков и сфер деятельности самими хозяйствующими субъектами, без прямого вмешательства государства, по установленным участниками формализованным нормам и правилам. При этом нормы саморегулирования могут дополнять, расширять или ужесточать нормы государственного регулирования. В некоторых случаях саморегулирование действует в тех сферах, где по каким-либо причинам отсутствует формальное законодательное регулирование. Кроме этого, если система саморегулирования сформировалась раньше, чем государственное регулирование, государство может не вмешиваться в данную сферу. По сути, саморегулирование является альтернативным способом регулирования и преодоления фиаско рынка государством.

Процесс саморегулирования осуществляется посредством организаций – объединений экономических субъектов, осуществляющих свою хозяйственную деятельность на основе установленных ими правил, и центрального агента. Субъекты экономики делегируют организации саморегулирования право на выполнение следующих функций:

- разработку системы правил и стандартов деловой практики;
- мониторинг за соблюдением этих стандартов и правил;
- выработку и применение системы санкций за нарушение правил (как минимум – к членам организации, как максимум – ко всем участникам рынка);

– формирование собственной процедуры внесудебного разрешения споров как между членами ассоциации, так и с потребителями [23].

В России деятельность организаций саморегулирования определяется Федеральным законом от 1.12.2007 № 315-ФЗ «О саморегулируемых организациях», в котором саморегулирование трактуется как самостоятельная и инициативная деятельность, осуществляемая субъектами предпринимательства. Саморегулирование направлено на установление стандартов и правил бизнеса, а также контроль соблюдения требований указанных стандартов. Реализация данной политики осуществляется через объединения предпринимателей – саморегулируемые (некоммерческие) организации [24].

Внедрение саморегулирования для субъектов малого предпринимательства является, с одной стороны, естественным результатом эволюционного развития экономики. Преимущества распространения саморегулирования должны привести к формированию той институциональной среды развития, в которой нуждается малое предпринимательство. Практика внедрения данного института в нотариальной, арбитражной, оценочной деятельности, в которых велико количество малых предприятий, показала преимущественно положительные результаты.

Вместе с тем активное насаждение организаций саморегулирования отраслевого типа «сверху» может привести к повышению издержек предпринимателей и потребителей, что сделает субъекты малого предпринимательства неконкурентоспособными, особенно в отраслях, где лидирующие позиции занимают крупные предприятия. Вопрос о формировании в таких отраслях собственных саморегулирующих организаций малого предпринимательства является достаточно проблематичным в современных условиях. Это связано, прежде всего, с низкой активностью предпринимателей в вопросах, которые не касаются ведения бизнеса. Преобладающая часть предпринимателей, выполняя разнообразные функции, занята решением тактических вопросов своего бизнеса, поставленного в условия выживания.

По своей экономической природе организации саморегулирования в первую очередь отвечают интересам собственных членов. Однако их функционирование взаимосвязано с экономическими интересами других субъектов экономики: потребителей и государства. Так, согласование экономических интересов потребителей и участников организаций саморегулирования предполагает формирование определенной процедуры рассмотрения жалоб потребителей и внесудебного разрешения споров. Этот механизм согласования экономических интересов в настоящее время недостаточно развит в России, но в будущем имеет перспективы. Требование к наличию механизмов разрешения споров с потребителями существует фактически во всех нормативных актах и других документах, определяющих характерные признаки организаций саморегулирования. Наличие таких механизмов является для общества сигналом того, что саморегулирование направлено на обеспечение интересов и его участников, и всего общества. В итоге можно констатировать, что развитие саморегулирования может обеспечивать более высокий уровень общественного благосостояния по сравнению с другими институциональными альтернативами.

Одной из важных функций организаций саморегулирования в России является защита коллективных интересов субъектов предпринимательства в процессе взаимодействия с государственными структурами. Идеальная модель саморегулирования предполагает обеспечение такой системы, при которой государство вмешивается только в случае невозможности разрешения проблемы другими способами, и выгоды от государственного вмешательства превышают связанные с ним издержки. Поэтому развитие саморегулирования предпринимательства может рассматриваться как важный составной элемент макроэкономической стратегии, направленный на дерегулирование экономики. На практике в соответствии с Федеральным законом от 08.08.2001 № 134-ФЗ «О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора)» [25] для членов организаций саморегулирования предусмотрен упрощенный порядок осуществления государственного контроля.

Заключение

Формирование стратегии социально-экономического развития России должно осуществляться с учетом экономических интересов субъектов малого предпринимательства. Такой подход является основой для перехода экономики на траекторию устойчивого инновационного развития. Установление диалога между государством и бизнесом, повышение конкурентоспособности субъектов малого предпринимательства, консолидация и повышение самосознания бизнес-ассоциаций, выступающих как более организованная сила, являются неотъемлемой частью согласования экономических интересов на основе формирования социально-экономического партнерства государства и малого предпринимательства. Формируя новый уровень взаимоотношений между обществом и бизнесом, социально-экономическое партнерство способствует повышению благосостояния, что в свою очередь способствует устойчивости социально-экономической системы.

Библиографический список

1. Винслав, Ю. Итоги и уроки российской экономики на рубеже столетий / Ю. Винслав // Российский экономический журнал. – 2003. – № 2. – С. 3–14.
2. Стратегический ответ России на вызовы нового века / под общ. ред. Л. И. Абалкина. – М. : Экзамен, 2004. – 608 с.
3. Ясин, Е. Г. Нерыночный сектор / Е. Г. Ясин // Структурные реформы и экономический рост. – М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2003. – URL: <http://www.liberal.ru/articles/1067>
4. О Концепции долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 г. : распоряжение Правительства Российской Федерации № 1662-р от 17 ноября 2008 г. – URL: <http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/strategicPlanning/concept/indexdocs>
5. Национальные счета. – М. : Росстат, 2015. – URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/
6. О производстве и использовании валового внутреннего продукта (ВВП) за 2016 год. – М. : Росстат, 2017. – URL: http://www.gks.ru/bgd/free/b04_03/Isswww.exe/Stg/d01/19.htm

7. Рассказова, Н. В. Экономические интересы малого предпринимательства и проблема устойчивого развития социально-экономической системы / Н. В. Рассказова // Экономические науки. – 2009. – № 3. – С. 226–230.
8. Виленский, А. В. Формирование институциональной макросреды малого бизнеса в России : дис. ... д-ра экон. наук / Виленский А. В. – М., 2006. – 364 с.
9. Колесникова, Л. А. Порядок для хаоса: государство и предпринимательство в переходной экономике / Л. А. Колесникова ; под ред. Б. К. Злобина. – М. : Эдиториал УРСС, 2001. – 276 с.
10. Об утверждении Стратегии развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации на период до 2030 года (вместе с «Планом мероприятий (“дорожной картой”) по реализации Стратегии развития малого и среднего предпринимательства в Российской Федерации до 2030 года») : распоряжение Правительства РФ № 1083-р от 02.06.2016 // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 24. – Ст. 3549. – URL: <http://www.pravo.gov.ru>
11. Корпорация МСП. Разделы МСП планов закупки. – URL: http://corpmssp.ru/malomu_i_srednemu_biznesu/obespechenie-dostupa-k-goszakupkam/informatsiya-dlya-subektov-msp-35/
12. О внесении изменений в часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации : федер. закон № 477-ФЗ от 29.12.2014 // Государственная система правовой информации (официальный интернет-портал правовой информации) – URL: <http://www.pravo.gov.ru>
13. О мерах по дальнейшему развитию малого и среднего предпринимательства : указ Президента Российской Федерации № 287 от 05.06.2015 // Официальный интернет-портал правовой информации. Государственная система правовой информации. – URL: <http://www.pravo.gov.ru>
14. О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : федер. закон № 156-ФЗ от 29.06.2015 // Официальный интернет-портал правовой информации. Государственная система правовой информации. – URL: <http://www.pravo.gov.ru>
15. Объем кредитов, предоставленных субъектам малого и среднего предпринимательства в рублях, иностранной валюте и драгоценных металлах // Центральный Банк РФ. – URL: <http://www.cbr.ru/statistics/>
16. Государство готово поддержать кредитование малого бизнеса опорным банком // ТАСС. Информационное агентство. – URL: <http://tass.ru/ekonomika/3528305>
17. О Гарантийных фондах России // Фонд содействия кредитования малого бизнеса Москвы. – URL: <http://mosgarantfund.ru/garantiynye-fondy/o-garantiynykh-fondakh-rossii/>
18. Малое и среднее предпринимательство в России : сб. ст. – М. : Росстат, 2015. – URL: <http://www.gks.ru>
19. Россия в цифрах. – М. : Росстат, 2016. – URL: <http://www.gks.ru>
20. Доклад о мировом развитии 2005. Как сделать инвестиционный климат благоприятным для всех : пер. с англ. – М. : Весь мир, 2005. – С. 75–76.
21. Опора России. – URL: <http://www.opora.ru>
22. Основными клиентами российских предприятий МСБ являются компании этого же сектора // Новости малого бизнеса. – 2004. – № 21 (264). – С. 5. – URL: <http://businesspress.ru>
23. Андрианов, В. Теория саморегуляции рыночной экономики: новая концепция устойчивого развития / В. Андрианов. – М. : РИО «ФАЦ», 2007. – 389 с.
24. О саморегулируемых организациях : федер. закон № 315-ФЗ от 01.12.2007 : [в ред. ФЗ от 22.07.2008 № 148-ФЗ, от 23.07.2008 № 160-ФЗ, от 28.04.2009 № 62-ФЗ] //

Официальный интернет-портал правовой информации. Государственная система правовой информации. – URL: <http://www.pravo.gov.ru>

25. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при проведении государственного контроля (надзора) : федер. закон № 134-ФЗ от 08.08.2001 // Официальный интернет-портал правовой информации. Государственная система правовой информации. – URL: <http://www.pravo.gov.ru>

Новосельцева Галина Борисовна

доктор экономических наук, профессор,
кафедра экономической теории
и международных отношений,
Пензенский государственный
университет
E-mail: galina-nvs@rambler.ru

Novoseltseva Galina Borisovna

doctor of economic sciences, professor,
sub-department of economic theory
and international relations,
Penza State University

Рассказова Наталья Валерьевна

кандидат исторических наук, доцент,
кафедра экономической теории
и международных отношений,
Пензенский государственный
университет
E-mail: ras-nat@mail.ru

Rasskazova Natalia Valeryevna

candidate of historical sciences,
associate professor,
sub-department of economic theory
and international relations,
Penza State University

УДК 338.222

Новосельцева, Г. Б.

Формирование стратегии государства и экономические интересы субъектов малого предпринимательства / Г. Б. Новосельцева, Н. В. Рассказова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 17–31.

**ПРАКТИКА УПРАВЛЕНИЯ КРЕДИТНЫМ РИСКОМ
КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА ЧЕРЕЗ РЕЗЕРВИРОВАНИЕ
ВОЗМОЖНЫХ ПОТЕРЬ ПО ССУДАМ**

О. Н. Свешникова, А. О. Кукаева

**PRACTICE OF CREDIT RISK MANAGEMENT OF COMMERCIAL
BANK BY RESERVATION ON POSSIBLE LOAN LOSSES**

O. N. Sveshnikova, A. O. Kukaeva

Аннотация. *Актуальность и цели.* С учетом современных экономических условий ряд финансовых аналитиков и экспертов высказывает мнение о снижении платежеспособности физических и юридических лиц в нашей стране, подтвержденное данными статистических исследований. Коммерческие банки представляют собой субъекты экономики, непосредственно заинтересованные в гарантиях определенного уровня платежеспособности населения. В связи с этим их политика в области управления рисками требует детальной проработки вопросов, связанных со страхованием от различных видов риска, в том числе и кредитного – основного вида риска для большинства банков. Цель данного исследования – оценка подходов к анализу резервов на возможные потери по ссудам регионального банка Республики Мордовия, выработка рекомендаций по проведению данного вида анализа для совершенствования деятельности системы управления рисками банка в этой сфере. **Материалы и методы.** Реализация поставленной цели была достигнута путем использования методов вертикального и горизонтального анализа, сравнения и экспертной оценки. Базой для исследования послужила бухгалтерская (финансовая) отчетность АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО). **Результаты.** В статье подробно описаны данные по расчетам динамики, состава и структуры ссудной задолженности и сформированного резерва на возможные потери, а также их соотношения, исходя из которых были сделаны соответствующие выводы о тенденциях намерений менеджмента банка в области управления кредитным риском. Сформированный авторами методический подход позволит повысить эффективность управления кредитным риском на основе детального его изучения и соответствующего мониторинга. **Выводы.** По результатам расчетов было установлено, что, создавая резервы по ссудам, коммерческий банк формирует «подушку безопасности», обеспечивая стабильность своего финансового положения. С учетом ухудшения условий функционирования кредитных организаций для рассматриваемого банка была выявлена тенденция увеличения объема резервов при одновременном снижении объема ссудной задолженности. При этом структура резервов изменилась незначительно. Данная практика анализа позволяет определять тенденции в изменении риска, а также совершенствовать функционирование системы управления рисками в этой области.

Ключевые слова: кредитный риск, резервы коммерческого банка, потери по ссудам, управление рисками, политика управления, мониторинг, анализ.

Abstract. Background. Under the modern economic conditions a number of financial analysts and experts have suggested a decrease in the solvency of individuals and legal entities in our country, confirmed by the data of statistical research. Commercial banks are

economic entities, which are directly interested in guarantees of certain level of solvency of the population. In this regard, their policy in the field of risk management requires a detailed study of issues related to the insurance of various types of risk, including credit risk – the main type of risk for most banks. The purpose of this research is the evaluation of approaches to the analysis of reserves for possible losses on loans of regional bank of the Republic of Mordovia, the development of recommendations for this type of analysis for improvement of the activity of the bank's risk management system in this area. *Materials and methods.* Realization of set goal has been achieved by using of methods of horizontal and vertical analysis, comparison and evaluation. The basis for the research is the financial report of PJSC «AKTIV BANK». *Results.* In the article are circumstantially described data of dynamics, composition and structure of bad debt and reserves for possible losses, as well as their relations, on the basis of which have been made conclusions about the trends of bank management intentions in the area of credit risk management. Formed by the authors the method of analysis will increase the effectiveness of credit risk management based on its detailed study and appropriate monitoring. *Conclusions.* According to the results of calculations it has been revealed that by creating the reserves for possible loans, commercial bank forms a «safety cushion» to ensure the stability of their financial situation. Under the deterioration of conditions for the functioning of the credit organizations bank has a tendency to increase the level of reserves while reducing the volume of outstanding loans. At the same time the structure of reserves has changed insignificantly. This practice of the analysis allows to determine trends in risk and improve the functioning of the risk management system in this area.

Key words: credit risk, commercial bank reserves, loan losses, risk management, management policy, monitoring, analysis.

Введение

В контексте современных экономических реалий многие финансовые аналитики и эксперты высказывают обоснованные опасения о том, что платежеспособность как юридических, так и физических лиц в нашей стране неуклонно снижается. Так, темпы прироста задолженности по кредитам в России по состоянию на 2014 г. составляют 40 %, на 2015 г. (первое полугодие) – 33 %. По состоянию на конец ноября 2016 г. размер просроченной кредиторской задолженности в стране составил 2626,2 млрд руб., что составляет 109,6 % относительно аналогичного показателя прошлого года. Наибольший удельный вес в общем объеме задолженности занимают ссуды предприятиям обрабатывающих производств (40 %), которые также демонстрируют прирост по сравнению с 2015 г. на 6,1 % [1].

Таким образом, актуальность вопроса совершенствования комплекса мер по страхованию невозврата кредитов и, соответственно, обеспечения финансовой устойчивости банков не подлежит сомнению ввиду наличия тесной взаимосвязи между эффективностью кредитных операций и платежеспособностью банков.

Оценка определенных нормативными документами требований к формированию резервов на возможные потери по ссудам

Деятельность любого коммерческого банка предусматривает выполнение определенных процедур, обеспечивающих управление рисками. Необходи-

димось создания и совершенствования данной системы обусловлена неоднозначностью возможных результатов того или иного экономического процесса, а также наличием различных способов и вариантов реализации управленческих решений менеджмента банка [2, с. 10].

В 2016 г. Банком России принят документ «Политика управления рисками Банка России», в котором определяются цели, задачи, принципы, содержание системы управления рисками. Принятие данного документа подтверждает актуальность данного направления в деятельности не только Банка России, но и коммерческих банков, функционирующих в условиях неопределенности, осуществляющих свои финансовые операции, сопряженные с высоким уровнем различных типов и видов рисков.

Система управления рисками коммерческого банка включает в себя деятельность по управлению различными видами рисков (финансового – кредитного, ликвидности, рыночного – валютного, процентной ставки, и др.). Однако, безусловно, ввиду того что кредитные операции относятся к числу преобладающих для большинства банков, реализация комплекса мер по оценке и управлению кредитным риском является наиболее приоритетным направлением системы управления рисками коммерческого банка [3, с. 122].

В экономической теории управление рассматривается как с позиции процесса, т.е. выполнения определенных управленческих функций, так и с позиции структуры, т.е. субъектов, осуществляющих данный процесс. В большинстве банков система управления рисками рассредоточена по следующим подразделениям: отделу по управлению рисками, экономическому отделу и отделу финансового мониторинга. Отдел по управлению рисками отвечает за разработку методики по оценке рисков, отдел финансового мониторинга осуществляет сбор информации о происходящих финансовых процессах для осуществления финансового контроля [4, с. 75].

В Политике управления рисками Банка России (2016 г.) элементами системы управления рисками определены процессы управления, организационная структура, нормативные акты, регулирующие вопросы управления рисками, риск-культура, обеспечивающие ресурсы (рис. 1).

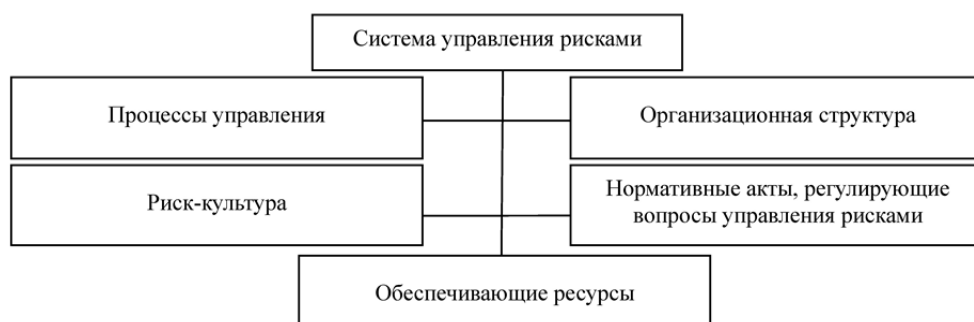


Рис. 1. Элементы системы управления рисками Банка России [5]

Кредитный риск – риск неисполнения должником финансовых обязательств или неблагоприятного изменения их стоимости вследствие ухудшения способности должника исполнять такие обязательства [5].

Ряд экспертов высказывает мнение о том, что значение кредитного риска в деятельности банков увеличивается также в достаточной степени в связи с тем, что предоставление кредитов тесно связано с вопросами их обеспечения [7].

Основополагающими нормативно-правовыми документами, регулирующими деятельность коммерческих банков по оценке рисков и формированию резервов на возможные потери по ссудам, являются Положение Банка России от 26.03.2004 № 254-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности» (в ред. от 01.09.15) и Положение от 20.03.2006 № 283-П «О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери» [8].

Рассмотрим практику создания резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности на примере акционерного коммерческого банка «АКТИВ БАНК» (ПАО). АКБ «АКТИВ БАНК» – региональный банк Республики Мордовия, специализирующийся на кредитовании регионального крупного и среднего бизнеса, расчетно-кассовом обслуживании корпоративных клиентов, кредитовании региональных исполнительных органов власти и являющийся лидером по размеру балансовой прибыли, рентабельности активов и капитала [9].

Учетная политика АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) предусматривает оценку кредитного риска по отдельным портфелям активов, подверженных кредитному риску, а также в разрезе индивидуальных кредитных рисков отдельных контрагентов и их групп. Оценка индивидуальных кредитных рисков контрагентов проводится на основании комплексного анализа деятельности контрагента с учетом его кредитоспособности, определенной на основе системы финансовых коэффициентов, анализа денежных потоков, менеджмента, сбора информации из внешних источников, изучения кредитной истории, а также всей имеющейся в распоряжении банка информации о любых рисках контрагента/заемщика.

Финансовое положение заемщика банка может быть оценено как хорошее, плохое или среднее по следующим критериям:

- категория «хорошее финансовое положение» присваивается заемщику в случае, если анализ его деятельности свидетельствует о стабильности производства, положительной величине чистых активов, рентабельности и платежеспособности и отсутствуют какие-либо негативные явления, способные повлиять на финансовую устойчивость заемщика в перспективе;

- категория «среднее финансовое положение» присваивается заемщику в случае, если анализ его деятельности свидетельствует об отсутствии прямых угроз его текущему финансовому положению;

- финансовое положение оценивается как плохое, если заемщик признан несостоятельным или если он является устойчиво неплатежеспособным, а также, если анализ производственной и финансово-хозяйственной деятельности заемщика свидетельствует об угрожающих негативных явлениях. К ним могут относиться убыточная деятельность, отрицательная величина или существенное сокращение чистых активов, существенное падение объе-

мов производства, существенный рост кредиторской или дебиторской задолженности и др.

На основе оценки кредитных рисков банк формирует резервы на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности.

Данный вид резервов является оценкой стоимости реализации кредитного риска и представляет собой расчет количественного значения потерь банка в случае неисполнения заемщиком условий кредитной сделки. Величина резерва основывается на представлениях банка о возможных потерях, анализе рисков по конкретным видам активов и рисков, присущих кредитному портфелю в целом, неблагоприятных ситуаций, которые могут повлиять на способность заемщика погасить задолженность оценочной стоимости имеющегося обеспечения и текущих экономических условий [10, с. 948].

Оценивая кредитный риск, банк осуществляет разграничение предоставленных ссуд в соответствии с присвоенной им степенью кредитного риска. Ссуды разграничиваются по 5 категориям качества, на основе которых банк определяет размер формируемого резерва. Расчет резерва производится в соответствии с требованиями Положения Банка России № 254-П (табл. 1).

Таблица 1

Описание категорий качества ссудной задолженности [11]

Категория качества	Содержание	Размер формируемого расчетного резерва
I (высшая) категория качества (стандартные ссуды)	Отсутствие кредитного риска (вероятность финансовых потерь вследствие неисполнения либо ненадлежащего исполнения заемщиком обязательств по ссуде равна нулю)	0 %
II категория качества (нестандартные ссуды)	Умеренный кредитный риск	от 1 до 20 %
III категория качества (сомнительные ссуды)	Значительный кредитный риск	от 21 до 50 %
IV категория качества (проблемные ссуды)	Высокий кредитный риск	от 51 до 100 %
V (низшая) категория качества (безнадежные ссуды)	Отсутствует вероятность возврата ссуды в силу неспособности или отказа заемщика выполнять обязательства по ссуде, что обуславливает полное обесценение ссуды	100 %

Первоначально банк классифицирует ссуды по категориям качества на основе оценки таких факторов, как финансовое положение заемщика и качество обслуживания им своего долга.

В дальнейшем присвоенные ссудам категории качества могут быть изменены, а ссуды, соответственно, реклассифицированы в зависимости от льготных условий предоставления ссуды заемщику, экономической взаимосвязи заемщиков, наличия информации о плохом финансовом положении учредителей заемщика, об использовании ссуды заемщиком не по целевому назначению, наличия сведений о неисполнении заемщиком обязательств по ссудам, предоставленным иными кредитными организациями – кредиторами [12, с. 596].

Анализ динамики, состава и структуры ссудной задолженности и резерва на возможные потери

Основным учетным регистром, используемым в банке для учета формирования и использования резерва на возможные потери, является оборотная ведомость по счетам. Она составляется по всем балансовым и внебалансовым счетам, применяемым в бухгалтерском учете кредитной организации. Ведомость составляется на 1-е число соответствующего периода за месяц, квартал и год нарастающими оборотами с начала года. Для осуществления оперативного учета также составляется ежедневная оборотная ведомость.

Для учета резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности используются пассивные счета 44115-45715 «Резервы на возможные потери».

Публичными источниками информации, позволяющими проводить аналитические процедуры при осуществлении мониторинга кредитного риска, являются Бухгалтерский баланс (ф. 0409806), Отчет об уровне достаточности капитала для покрытия рисков, величине резервов под возможные потери по ссудам и иным активам (ф. 0409808) – раздел 3 «Информация о величине резервов и возможные потери по ссудам и иным активам» и пояснительная информация.

Однако пояснительная информация к годовой (бухгалтерской) финансовой отчетности как составная часть данной отчетности предоставляет своим пользователям наиболее широкие возможности для проведения оценки формирования резерва на возможные потери, поскольку в соответствии с Указанием Банка России от 25 октября 2013 года № 3081-У «О раскрытии кредитными организациями информации о своей деятельности» в ней [пояснительной информации] подлежат обязательному раскрытию следующие данные:

- распределение кредитного риска по направлениям деятельности кредитной организации, видам экономической деятельности заемщиков (контрагентов), типам контрагентов (корпоративные клиенты, банки-корреспонденты, государственные органы, индивидуальные предприниматели, физические лица);

- совокупный объем кредитного риска в разрезе основных инструментов (ссудная задолженность, средства на корреспондентских счетах, вложения в ценные бумаги, условные обязательства кредитного характера, производственный финансовый инструмент (ПФИ) и др.) на отчетную дату и среднем значении за отчетный период;

- объемы и сроки просроченной и реструктурированной задолженностей в разрезе типов контрагентов и видов финансовых инструментов;
- размеры расчетного и фактически сформированного резервов на возможные потери с приведением информации о данных резервах;
- характер и стоимость полученного обеспечения, включая информацию об обеспечении первой и второй категории качества, принятого в уменьшение расчетного резерва на возможные потери.

Таким образом, пояснительная информация к бухгалтерской (финансовой) отчетности обеспечивает раскрытие существенной информации о кредитной организации, не представленной в составе форм годовой отчетности. Составленная в текстовом формате и формате аналитических таблиц, она позволяет использовать различные методы анализа для формирования соответствующих выводов и заключений.

Проведем горизонтальный, вертикальный и трендовый анализ концентрации кредитного риска по категориям качества на основе пояснительной информации к годовой бухгалтерской отчетности АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) за 2012–2015 гг.

В ходе проведения горизонтального анализа осуществляется сравнение каждой позиции аналитической таблицы за отчетный период с предшествующим периодом, производится расчет абсолютных отклонений и темпов роста или прироста. Вертикальный (структурный) анализ позволяет определить структуру представленных в аналитических таблицах показателей с выявлением влияния каждого показателя на результат в целом. На данном этапе анализа производится расчет процентного соотношения различных структурных составляющих и итогового значения комплексного показателя. С помощью вертикального анализа можно сопоставить показатели деятельности различных коммерческих банков для выявления оптимального варианта развития кредитной организации. Анализ тенденций, или трендовый анализ, проводится путем сравнения каждой позиции отчетности с рядом предшествующих периодов и определения тренда – основной тенденции динамики показателя. На основе данного вида анализа менеджментом банка осуществляется прогнозирование дальнейшего его развития.

Оценку практики управления кредитным риском в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) целесообразно начать с определения структуры кредитного риска по категориям качества (табл. 2).

Таблица 2

Структура кредитного риска по категориям качества
в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) в 2012–2015 гг., тыс. руб.

Категория качества	2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.	
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%
I	677 919	18,60	628 046	14,80	357 184	8,70	875 973	21,20
II	2 332 689	63,90	2 799 704	66,00	3 126 666	76,00	2 352 649	56,80
III	608 712	16,70	758 903	17,90	554 149	13,50	668 832	16,10
IV	4304	0,10	47 342	1,10	10 529	0,30	52 678	1,30
V	25 749	0,70	10 780	0,20	63 977	1,50	192 019	4,60
Всего	3 649 373	100,00	4 244 775	100,00	4 112 505	100,00	4 142 151	100,00

Таким образом, из анализа данных табл. 2 можно сделать вывод о том, что на протяжении анализируемого периода наблюдается рост кредитного риска, за исключением 2014 г. Наибольшим удельным весом в 2012 г. обладал риск II категории качества (63,90 %), наименьшим – кредитный риск IV категории качества (0,10 %). Аналогичная ситуация характерна и для 2014 г., и для 2015 г. Что касается 2013 г., то в данном периоде наименьший удельный вес принадлежит безнадежным ссудам (0,20 %).

Рассмотрим динамику кредитного риска в разрезе категорий качества с помощью рисунка (рис. 2).

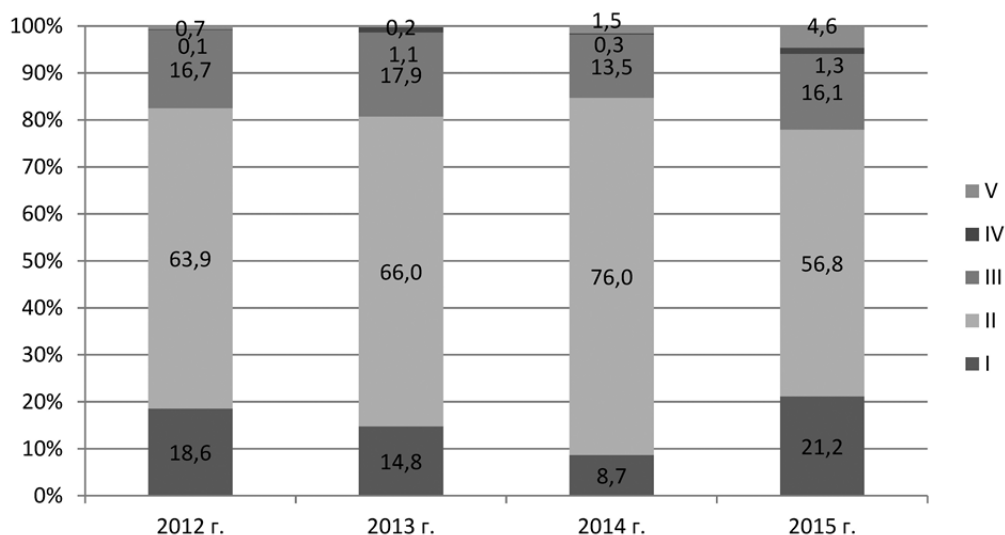


Рис. 2. Динамика кредитного риска по категориям качества в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) в 2012–2015 гг., %

Из рис. 2 также следует, что наибольшей долей в структуре кредитных рисков обладают кредитные риски II категории качества. Однако в течение 2012–2015 гг. происходит снижение его доли на 7,1 % и рост долей проблемных (на 1,2 %), безнадежных (на 3,9 %) и стандартных (на 2,6 %) ссуд. Значительный прирост безнадежных ссуд явственно свидетельствует о снижении платежеспособности клиентов банка.

Такую же тенденцию подтверждают и показатели динамики. Данные табл. 3 показывают, что как в последний год, так и в целом за период в банке наблюдается существенный рост проблемных и безнадежных ссуд. Так, за период 2012–2015 гг. проблемные ссуды выросли на 1123,93 %, а безнадежные – на 645,73 %. Что касается стандартных ссуд, то значительный рост они продемонстрировали за период 2014–2015 гг. Нестандартные ссуды отличаются крайне незначительным ростом (0,86 %) в 2012–2015 гг., а за период 2014–2015 гг. даже продемонстрировали значительное снижение (на 24,76 %). Сомнительные ссуды также отличаются незначительным ростом: на 20,7 % в 2014–2015 гг. и на 9,88 % в 2012–2015 гг.

Таблица 3

Динамика ссудной задолженности по категориям качества
в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) в 2012–2015 гг., тыс. руб.

Категория качества	Темп роста, %	
	2015 г. к 2014 г.	2015 г. к 2012 г.
I	245,24	129,21
II	75,24	100,86
III	120,70	109,88
IV	500,31	1223,93
V	300,14	745,73
Всего	100,72	113,50

Проанализируем соблюдение нормативного требования резервирования на возможные потери по ссудам по однородным портфелям ссуд в разрезе юридических лиц в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) (табл. 4). Концентрация внимания на категории юридических лиц обусловлена ее преобладающей долей в общей структуре выданных кредитов (на 01.01.2016 доля юридических лиц и ИП в общем объеме совокупного кредитного портфеля составляла 62,40 %).

Данные табл. 4 показывают, что банк соблюдает законодательно установленное процентное соотношение между суммой требований и размером сформированного резерва по каждой категории риска. Так, например, в 2015 г. процент резервирования по стандартным ссудам составил 3,91 % (норматив – от 1 до 20 %), по сомнительным ссудам – 21,14 % (норматив – от 21 до 50 %), по проблемным ссудам – 51 % (норматив – от 51 до 100 %), по безнадежным ссудам – 100 % (норматив – 100 %). Более того, наблюдается значительный рост процента резервирования по рассматриваемым портфелям ссуд (с 7,27 % в 2012 г. до 14,34 % в 2015 г.). Это обусловлено увеличением удельного веса сомнительных, проблемных и безнадежных ссуд.

Динамика сумм требований и сформированных по ним резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности отличается положительной тенденцией. Исключение составляет 2015 г., для которого характерно снижение объема выданных кредитов на 11,71 % по сравнению с 2014 г. Что касается размера сформированного резерва, то для него характерен рост на протяжении всего рассматриваемого периода. Так, в 2012–2015 гг. прирост данного показателя составил 122,61 %, в 2014–2015 гг. – 42,9 %.

Наглядно динамика соотношений резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности и выданных ссуд представлена на рис. 3.

Постоянное увеличение величины резервов за рассматриваемый период связано с реализацией банком более консервативной политики при осуществлении оценки финансового положения заемщиков и поручителей и определении размера резервов на возможные потери по ссудам.

Таблица 4

Динамика задолженности по ссудам юридических лиц и сформированных под них резервов
АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) в 2012–2015 гг., тыс. руб.

Показатели	Сумма требований					Сформированный резерв на возможные потери				
	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.		2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	
Задолженность по ссудам, сгруппированная в портфели однородных ссуд, всего, в том числе:	2 683 259	3 301 543	3 431 574	3 029 769		195 115	235 035	303 958	434 355	
портфели ссуд II категории качества	2 046 785	2 488 946	2 813 877	2 127 579		41 370	44 078	126 987	83 277	
портфели ссуд III категории качества	608 630	758 044	552 269	666 931		127 812	159 189	115 977	140 984	
портфели ссуд IV категории качества	3900	46 500	9050	51 357		1989	23 715	4616	26 192	
портфели ссуд V категории качества	23 944	8053	56 378	183 902		23 944	8053	56 378	183 902	
Итого	5 366 518	6 603 086	6 863 148	6 059 538		390 230	470 070	607 916	868 710	

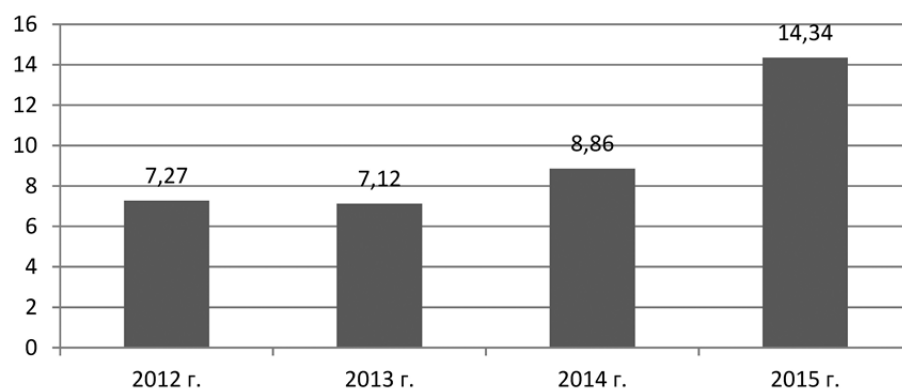


Рис. 3. Динамика соотношений резервов на возможные потери по ссудам и выданных ссуд в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) в 2012–2015 гг., %

Динамика среднего процента резервирования по банку в целом подтверждает выводы о проведении более консервативной политики банком в отношении оценки кредитных рисков и формирования резервов по ним: так, средний процент резервирования на 01.01.2016 составил 10,9 %, на 01.01.2015 – 7,8 %, на 01.01.2014 – 5,8 %, на 01.01.2013 – 5,5 % (рис. 4).

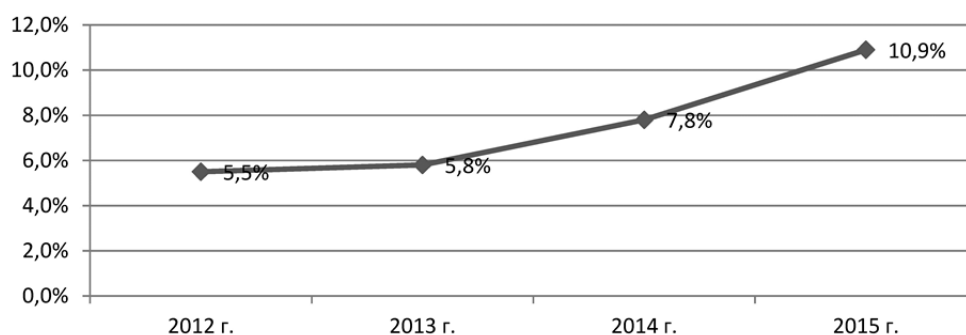


Рис. 4. Средний процент резервирования в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) в 2012–2015 гг., %

Что касается суммы просроченной задолженности и ее отношения к объему ссудной и приравненной к ней задолженности, то на 01.01.2016 она составила 32 409 тыс. руб. (0,8 % от общего объема ссудной и приравненной к ней задолженности), на 01.01.2015 – 34 723 тыс. руб. (0,8 % от общего объема ссудной и приравненной к ней задолженности), на 01.01.2014 – 10 195 тыс. руб. (0,2 % от общего объема ссудной и приравненной к ней задолженности) и на 01.01.2013 – 4542 тыс. руб. (0,1 % от общего объема ссудной и приравненной к ней задолженности). Таким образом, заметна положительная динамика отношения просроченной задолженности к общему объему ссудной задолженности, что в некоторой степени объясняет рост среднего процента резервирования в АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО).

Для понимания значимости рассматриваемого вопроса проиллюстрируем исследуемый вид резервов в общей величине обязательных резервов, фор-

мируемых коммерческим банком (резервы по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности; резервы по иным балансовым активам, по которым существует риск понесения потерь, и прочим потерям; резервы по условным обязательствам кредитного характера и ценным бумагам, отраженным на внебалансовых счетах (рис. 5)).



Рис. 5. Динамика обязательных резервов АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) за 2012–2015 гг., тыс. руб.

Рис. 5 показывает, что в структуре резервов банка резервы по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности обладают наибольшей долей и отличаются постоянным ростом за исследуемый период. Резервы по иным балансовым активам и прочим потерям занимают в общей структуре резервов вторую позицию и отличаются непостоянной динамикой, как и резервы по кредитным обязательствам. Преобладающая доля резервов по ссудам (94,92 % от общей суммы резервов) свидетельствует о значимости данного вида резервов в обеспечении финансовой устойчивости кредитной организации.

Конечно, менеджмент банка учитывает рост затрат, связанных с формированием резерва на возможные потери по ссудам. По оценкам аналитиков АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО) он может возрасти до 11–12 % к концу первого полугодия 2017 г. в связи с воздействием негативных факторов на финансовую деятельность клиентов банка. Несмотря на это, прогнозные расчеты менеджмента банка показывают, что в 2017–2020 гг. влияние роста затрат на формирование резерва по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности на совокупный финансовый результат будет практически полностью компенсировано за счет эквивалентного увеличения доходности активных операций.

Заключение

Таким образом, создавая резервы по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности коммерческие банки формируют себе «подушку безопасности», обеспечивая стабильность своего финансового положения. Однако это не означает наличие автоматической безопасности банка и требует мониторинга формирования, использования данного вида резервов, основываясь на информации учетных регистров, форм внутренней и внешней отчетности.

Мониторинг формирования резервов на основе предложенного авторами методического подхода по проведению аналитических процедур в рамках мониторинга системы управления кредитным риском, включающего определенную совокупность аналитических таблиц и расчет ряда показателей, позволит менеджменту банка более эффективно отслеживать изменения кредитного риска и выявлять тенденции в его развитии, определяя более обоснованно, соответственно, величину резервов на возможные потери по ссудам, ссудной и приравненной к ней задолженности.

Библиографический список

1. Федеральная служба государственной статистики . – URL: <http://www.gks.ru/>
2. Юсупова, О. А. Состояние и развитие просроченной задолженности в условиях замедления темпов экономического роста / О. А. Юсупова // Финансы и кредит. – 2015. – № 1. – С. 40–49.
3. Никулина, О. В. Управление кредитными рисками коммерческих банков в условиях нестабильности финансовой системы / О. В. Никулина, А. И. Коваленко // Финансы и кредит. – 2015. – № 30. – С. 10–15.
4. Зобова, Е. В. Управление кредитным риском в коммерческих банках / Е. В. Зобова, С. С. Самойлова // Социально-экономические явления и процессы. – 2012. – № 12. – С. 74–81.
5. Политика управления рисками Банка России : [утв. 23.03.2016]. – URL: <https://www.cbr.ru/today/risk/policy.pdf>
6. Gavalas, D. Bank credit risk management and rating migration analysis on the business cycle / D. Gavalas, T. Syriopoulos // International Journal of Financial Studies. – 2014. – № 2. – P. 122–143.
7. Saeed, M. S. The impact of credit risk on profitability of the commercial banks / M. S. Saeed, N. Zahid // Journal of Business & Financial Affairs. – 2016. – № 5 (192). DOI:10.4172/2167-0234.1000192
8. О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери : положение Банка России № 283-П от 20 марта 2006 г. – URL: <http://base.garant.ru/586260/>
9. Бухгалтерская финансовая отчетность АКБ «АКТИВ БАНК» (ПАО). – URL: <http://www.aktivbank.ru/>
10. Приступ, Н. П. Оценка банковского кредитного риска / Н. П. Приступ, А. С. Сенчукова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 8. – С. 947–950.
11. О порядке формирования кредитными организациями резервов на возможные потери по ссудам, по ссудной и приравненной к ней задолженности : положение Банка России № 254-П от 26.03.2004. – URL: <http://base.garant.ru/584458/>
12. Герасименко, К. В. Современные тенденции и оценки кредитных рисков российских банков / К. В. Герасименко, Т. Г. Туманова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 5. – С. 593–597.

Свешникова Ольга Николаевна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра бухгалтерского учета, анализа и
аудита,

Мордовский государственный
университет

E-mail: svesholga@yandex.ru

Sveshnikova Olga Nikolaevna

candidate of economic sciences, associate
professor, sub-department of accounting,
analysis and audit,

Mordovian State University

Кукаева Александра Олеговна

студентка,

Мордовский государственный
университет

E-mail: alex.kukaeva@yandex.ru

Kukaeva Alexandra Olegovna

student,

Mordovian State University

УДК 336.77

Свешникова, О. Н.

Практика управления кредитным риском коммерческого банка через резервирование возможных потерь по ссудам / О. Н. Свешникова, А. О. Кукаева //
Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). –
С. 32–45.

ВОСПРОИЗВОДСТВО ИННОВАЦИЙ: ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ

Р. Р. Тугушева

REPRODUCTION OF INNOVATIONS: OPPORTUNITIES AND CONSTRAINTS

R. R. Tugusheva

Аннотация. *Актуальность и цели.* В современной экономике – экономике, основанной на знаниях, интеллектуальный труд становится основой производства, а результаты интеллектуального труда превращаются в определяющий фактор экономического развития. Одним из результатов интеллектуальной деятельности являются инновации. От уровня инновационного развития зависит эффективность промышленного производства, а, следовательно, в целом и эффективность функционирования экономической системы, поэтому важно провести анализ процессов производства и потребления инноваций и установить факторы, влияющие на данные процессы. *Материалы и методы.* При помощи эмпирических данных проведен анализ процесса воспроизводства инноваций, а также построена многофакторная модель, описывающая систему показателей, влияющих на производство инноваций. *Результаты.* В статье подробно описываются показатели, характеризующие развитие рынка инноваций, и с помощью них строится модель, описывающая влияние данных показателей на количество разрабатываемых производственных технологий в регионах России. Анализ данных и их причинно-следственной зависимости позволил выявить два мультипликативных эффекта – «мультипликатор инновационных расходов» и «мультипликатор деиндустриализации». *Выводы.* Анализ статистических данных позволил оценить влияние установленных факторов на развитие рынка инноваций и определить показатели, отражающие уровень эффективности функционирования данного рынка.

Ключевые слова: инновации, технологические инновации, научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), основные фонды, производительность труда, региональная инновационная система, рынок инноваций.

Abstract. *Background.* In the modern economy which is based on knowledge, an intellectual work becomes the basis of production, and the results of intellectual work turn into defining factor of economic development. Innovation is one of the results of intellectual activity. The efficiency of industrial production depends on the level of innovative development and therefore, so does the effectiveness of the functioning of the economic system as well, so it is important to analyze the processes of production and consumption of innovation, and identify the factors that influence on these processes. *Materials and methods.* With the help of empirical data was analyzed the process of reproduction of innovations and built a multi-factor model that describes the system of parameters which affects at the production of innovation. *Results.* The article describes detailed indicators that characterize development of the innovation market and using them we construct a model which describes the influence of these parameters on the amount of developed production technologies in the regions of Russia. The analysis of data and its causal dependencies helped reveal two multiplier effects – «the multiplier of innovation expenditures» and multiplier of «de-

industrialization». *Conclusions.* The analysis of statistical data helped evaluate the influence of established factors for development of the market of innovations, and identify the indicators that reflect the level of efficiency of functioning of the market.

Key words: innovation, technological innovation, R & d, fixed assets, labour productivity, regional innovation system, innovation market.

Введение

Хозяйственная деятельность общества сопровождается постоянным появлением новых видов товаров, обновлением техники, новыми организационными процессами. Данные виды новшеств являются инновациями. В основе их создания лежат научные знания. Создать инновацию могут только люди, обладающие творческими способностями, интеллектом. Знания и интеллект – основные ресурсы создания инноваций. Данные категории взаимозависимы. Интеллект характеризует способность человека воспринимать знания, накапливать их и распространять. Производство инноваций основано на интеллектуальном труде. Это позволяет утверждать, что инновации являются интеллектуальным товаром, составляют особый сегмент рынка интеллектуальных товаров – рынок инноваций.

Рынок инноваций – это рынок, где реализуются усовершенствованные или абсолютно новые продукты, технологии производства и управления. Как и любой другой рынок, рынок инноваций характеризуется спросом и предложением. Однако появление инноваций не обусловлено спросом на инновационный товар, потребитель не имеет информации о существовании новой разработки до момента появления ее на рынке, не имеет представления о ее потребительских свойствах, о ее полезности. Формирование спроса на инновационный товар отличается от его формирования на рынках традиционных товаров.

Объект купли-продажи на данных рынках – нематериальный – исключительные права использования инновационной разработки, право реализации идеи создания нового товара или изменения качеств существующего товара, совершенствования процесса производства. Вывод инновации на рынок предполагает институционализацию интеллектуальной разработки, персонификацию прав владения, пользования, распоряжения, извлечения дохода, закрепления исключительных прав за определенным экономическим фактором. На сегодняшний день на рынке продается объект интеллектуальной собственности, то есть продается не само новшество, а право его использования. Идея реализуется на рынке в виде патента, лицензии, опытного образца и т.д. Автор продает право использования своей идеи. Пользователь, приобретающий право ее использования, реализует разработку автора, улучшая процесс производства, либо придает данной идее материальную форму, воплощая ее в новом продукте (оборудовании, которое повышает производительность труда либо улучшает качество товара).

Процесс воспроизводства инновационного продукта состоит из следующих фаз. Производство – появление идеи, ее обсуждение и экспертиза. Если идея нашла свое применение на практике и ее производство профинансировано, то осуществляется переход в следующую фазу – фазу обмена.

Обмен включает в себя процесс движения идеи от одного субъекта к другому. Данный обмен осуществляется с согласия участников обмена и основан на закреплении прав на использование идеи.

Потребление – это процесс применения данной идеи для производства традиционных товаров. То есть в данном случае удовлетворяются потребности промышленного, а не потребительского сектора.

Распределение инновационного товара специфично, так как его производство имеет как индивидуальную, так и общественную полезность: индивидуальную – для предпринимателей, так как улучшение процесса производства приводит к увеличению прибыли. Общественная же полезность заключается в том, что повышение производительности труда ведет к удешевлению товара, росту его доступности, а также к повышению общего благосостояния нации. Рост благосостояния является следствием появления новых видов товаров, которые повышают качество жизни.

Производство инноваций определяется уровнем развития материального производства, производного от него. Это объясняется тем, что материальное производство выступает основой инновационного процесса. При неразвитой сфере материального производства отсутствуют возможности развития нематериального производства – идей, улучшающих производственный процесс, знаний, воплощенных в новых товарах. Вот почему в российской экономике, ориентированной на добычу сырья, сохраняется низкая инновационная активность. Россия в настоящее время отстает от многих развитых стран по уровню развития как материального, так и нематериального производства. Введение экономических ограничений западными странами в отношении России актуализирует процесс импортозамещения, меры, регулирующие использование зарубежных технологий, и создание условий для разработки и применения инновационных технологий собственного производства [1].

Для развития рынка инноваций необходима научная рациональность индивида, то есть должна быть внутренняя мотивация человека к производству инноваций. Поскольку инновационное развитие экономики предполагает преобладание в сфере производства интеллектуального труда и уровень развития зависит от интеллектуальных и творческих способностей нации, то преимущество получает такая сфера жизнедеятельности человека как наука. Как было отмечено, основой производства инновационных товаров являются идеи, которые связаны с интеллектом и научными знаниями, а именно наука является деятельностью по получению новых знаний.

Эмпирический анализ

Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации», принятый в декабре 2014 г., нацелен на «формирование высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, обеспечивающей переход экономики государства от экспортно-сырьевого типа развития к инновационному типу развития» [2].

Выделяют следующие типы инноваций: технологические, организационные, маркетинговые, экологические.

Технологические инновации – деятельность организации, связанная с разработкой и внедрением:

- технологически новых продуктов и процессов, а также значительных технологических усовершенствований в продуктах и процессах;
- технологически новых или значительно усовершенствованных услуг;
- новых или значительно усовершенствованных способов производства (передачи) услуг.

Организационные инновации (с 2000 г.) – реализация нового метода в ведении бизнеса, организации рабочих мест или организации внешних связей.

Маркетинговые инновации (с 2006 г.) – реализация новых или значительно улучшенных изменений в дизайне и упаковке товаров, работ, услуг; использование новых методов продаж и презентации товаров, работ, услуг, их представления и продвижения на рынки сбыта; формирование новых ценовых стратегий.

Экологические инновации (с 2009 г.) – новые и значительно усовершенствованные товары, работы, услуги, производственные процессы, организационные или маркетинговые методы, способствующие повышению экологической безопасности, улучшению или предотвращению негативного воздействия на окружающую среду.

Динамику удельного веса организаций, осуществляющих инновации, можно увидеть на следующей диаграмме (рис. 1).

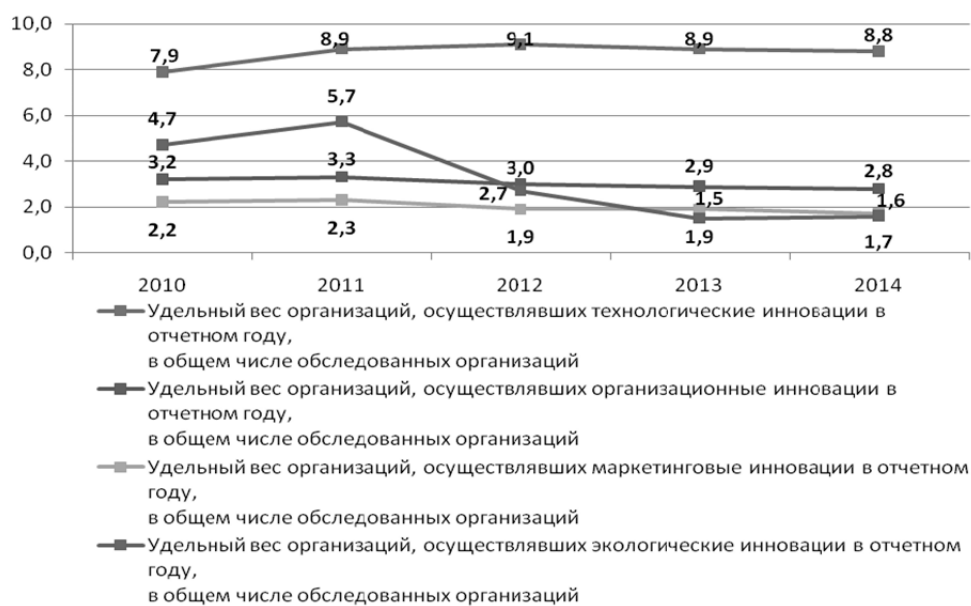


Рис. 1. Динамика удельного веса организаций, осуществлявших различные типы инноваций в отчетном году, в общем числе обследованных организаций, % [3]

Доля организаций в производстве тех или иных инноваций мала. Данные диаграммы показывают, что наибольший удельный вес организаций осуществляют технологические инновации – с 2010 по 2012 г. наблюдается положительная динамика, но с 2013 г. данный показатель, пусть на 0,2 п.п.,

все же убывает. В 2010 и 2011 гг. наблюдался положительный тренд удельного веса предприятий, осуществлявших экологические инновации (4,7 и 5,7 % соответственно), но к 2012 г. показатель понизился на 3 %, а к 2014 г. составил 1,6 %. Что касается организационных и маркетинговых инноваций, то доля предприятий, осуществлявших первые, немного выше, чем доля вторых. Их динамика так же отрицательна (осуществлявших организационные: 2010 г. – 3,2 % и 2014 г. – 2,8 %; осуществлявших маркетинговые: 2010 г. – 2,2 % и 2014 г. – 1,7 %). Если же сравнить с другими развитыми странами, то доля организаций, осуществляющих технологические инновации, в Германии составляет 61,5 %, в Бельгии – 52,8 %, в Ирландии – 51,4 %.

М. В. Волынкина в своей монографии приводит следующую классификацию субъектов по производству инноваций. В первую группу входят инновационные предприятия (академическая и вузовская наука, отраслевые научно-исследовательские институты и центры, конструкторские бюро, государственные научные центры). Вторая группа включает специализированные инновационные организации (бизнес-инкубаторы, технопарки, техноцентры, малые инновационные предприятия, информационные центры, консалтинговые фирмы и т.д.). Третья группа рассматривается в лице государства, которое регулирует инновационную деятельность, реализует инновационную политику и в случаях, предусмотренных законом, выступает в роли правообладателя на результаты работ по государственным контрактам [4].

Таблица 1

Динамика численности организаций, выполнявших научные исследования и разработки, по типам организаций по Российской Федерации в 2000–2014 гг. [3] (единиц)

Типы организаций	Число организаций									
	2000	2005	2006	2007	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Научно-исследовательские организации	2686	2115	2049	2036	1878	1840	1782	1744	1719	1689
Конструкторские бюро	318	489	482	497	377	362	364	338	331	317
Проектные и проектно-исследовательские организации	85	61	58	49	36	36	38	33	33	32
Опытные заводы	33	30	49	60	57	47	49	60	53	53
Образовательные учреждения высшего образования	390	406	417	500	506	517	581	560	671	702
Организации промышленности, имевшие научно-исследовательские, проектно-конструкторские подразделения	284	231	255	265	228	238	280	274	266	275
Прочие	303	234	312	550	454	452	588	557	532	536

Анализ статистических данных показывает, что при сокращении числа научно-исследовательских организаций за период с 2000 по 2014 г. число образовательных учреждений высшего образования выросло. Данный факт характеризует изменения в институциональной структуре инновационной системы и частично объясняет динамику конъюнктуры рынка инноваций в России.

Процесс создания и распространения инноваций находится в непосредственной зависимости от уровня развития материально-технической базы экономики. Состояние основных фондов промышленности также определяет конкурентоспособность экономики региона, и, следовательно, всей национальной экономики. Конкурентное превосходство региона обеспечивается за счет использования передовых технологических разработок, производства инновационной продукции. Российскую экономику отличает значительная протяженность в пространстве. 85 российских регионов расположены в разных географических зонах, отличаются природно-ресурсным потенциалом и этнографо-историческим развитием. Экономика регионов России дифференцируется по степени индустриализации и уровню технико-технологического базиса. Все перечисленные факторы объясняют неравномерность развития российских регионов, характеризуют их дифференциацию инновационного потенциала.

Как отмечалось выше, инновационное развитие зависит от состояния основных фондов. Степень износа основных фондов различается по регионам и видам экономической деятельности (рис. 2).

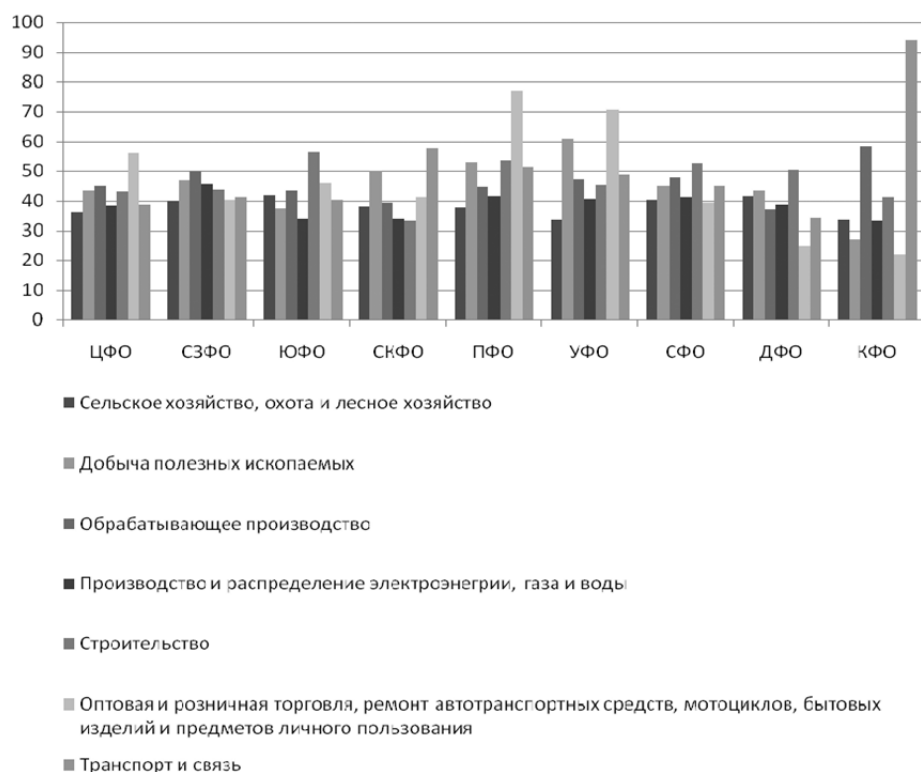


Рис. 2. Степень износа основных фондов по видам экономической деятельности на конец 2015 г. (в процентах) [5]

Диаграмма показывает, что состояние основных фондов в целом по всем федеральным округам характеризуется высокой степенью износа. Самые высокие показатели степени износа наблюдаются на предприятиях, занимающихся добычей полезных ископаемых и обрабатывающим производством, сельским хозяйством, оптовой и розничной торговлей. В связи с этим сфера материального производства отличается неэффективностью. Немодернизированная промышленность является основным фактором, сдерживающим инновационное развитие. В настоящее время доля изношенных технологических мощностей очень высока. Несмотря на тот факт, что отдельные компании заняты инновационной деятельностью, введение технологических стандартов промышленно развитых стран приведет к значительным затруднениям в работе большинства российских компаний, большая часть предприятий столкнется с трудностями, преодоление которых потребует средств и времени. Изношенность оборудования объясняет отставание России от промышленно развитых стран по уровню производительности труда. Первое место по производительности труда занимает Люксембург (£45,71), второе – Норвегия (£36,36) и третье место занимает Австралия (£29,81). Германия занимает шестое место (£25,95), а Ирландия девятое (£23,12).

Для роста производительности труда необходимо создавать новые высокопроизводительные рабочие места, в то же время низкопроизводительные необходимо снижать. Всему этому может способствовать внедрение новшеств в процесс производства, распространение технических инноваций, использование инноваций. Данные виды инноваций влияют на эффективность труда, которая растет благодаря следующему процессу: освоение новой продукции – повышение производительности труда – рост выручки от продаж – возможность финансирования НИОКР. В данном случае мы наблюдаем мультипликационный эффект расходов на инновации. То есть, инвестируя в инновации, предприятие увеличивает производительность труда. Вследствие этого издержки производства сокращаются, а доход предприятия увеличивается. Все это ведет к расширенному воспроизводству, у предприятия появляются средства для улучшения организации производства, то есть снова появляются возможности для инвестирования в инновации.

Вместе с тем анализ динамики прибыли российских предприятий позволяет предположить, что в экономике наблюдается инерционность в поведении хозяйствующих субъектов, следствием которой является недоинвестирование инноваций. Высокие положительные значения прибыли предприятий (рис. 3) сопровождаются высоким значением показателя износа основных фондов.

Имея ресурсы для переоснащения деятельности, хозяйствующие субъекты демонстрируют низкую инновационную активность и, как следствие, сохраняют низкую производительность труда. Данный процесс следует называть «мультипликатором деиндустриализации». Данный мультипликатор и мультипликатор расходов на инновации являются взаимоисключающими явлениями, так как в первом случае происходит недоинвестирование основного капитала и деградация материально-технической базы экономики, а во втором активизируется инновационная деятельность, включается модернизационный механизм.

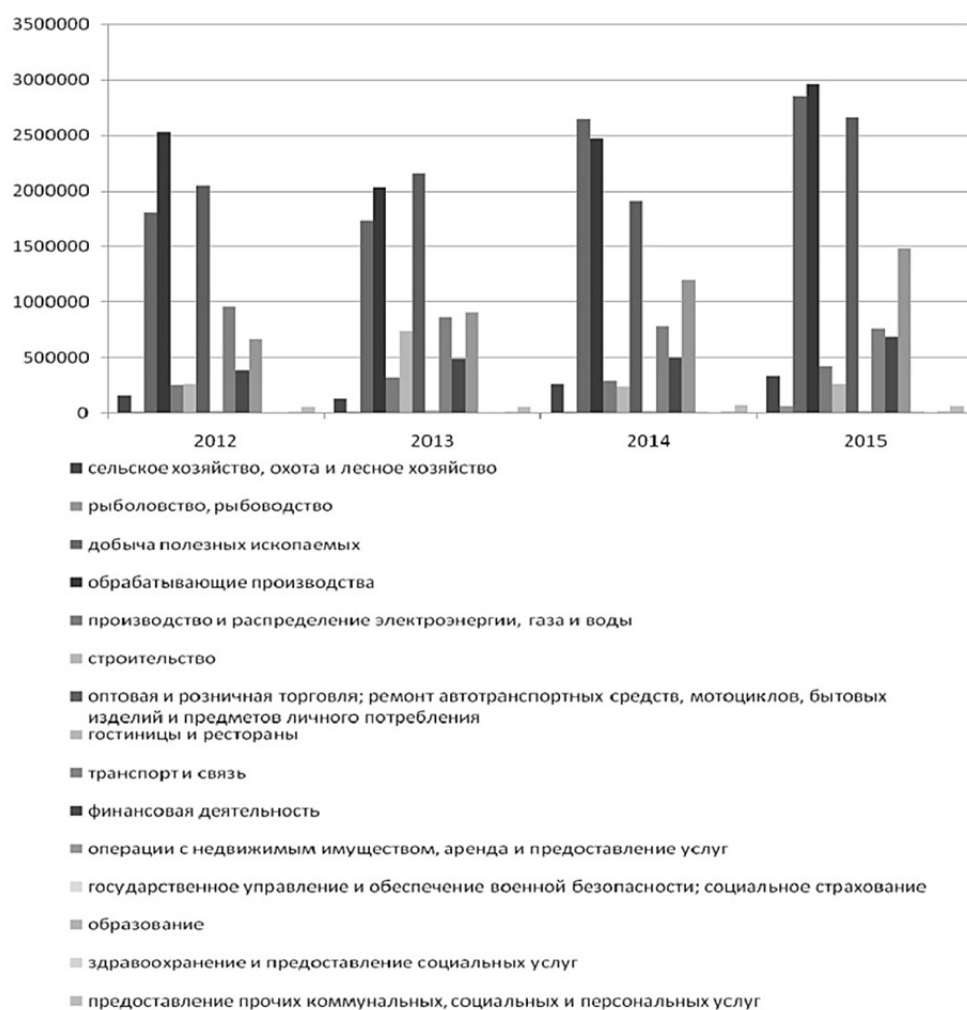


Рис. 3. Динамика сумм прибыли организаций по видам экономической деятельности (млн руб.) [6]

Если рис. 3 сопоставить с рис. 2, то можно заметить, что в Центральном федеральном округе сфера оптовой и розничной торговли, ремонта автотранспортных средств, мотоциклов, бытовых изделий и предметов личного потребления характеризуется высоким износом основных фондов, в то же время предприятия данной сферы имеют высокую прибыль. Например, инновацией в сфере розничной торговли является разработка умного зеркала MemoMyMirror. Это зеркало жестовым управлением фотографирует покупателя в примеряемой одежде. Покупатель имеет возможность просмотреть все фотографии и определиться с выбором. Следовательно, предприятия не используют свои финансовые возможности для улучшения своего капитала. Согласно рис. 2 и рис. 3, если при имеющихся ресурсах у предприятий степень износа оборудования высока, то, следовательно, инвестиции в них не осуществляются. Расходы на инновационную деятельность в промышленно развитых странах в 2–4 раза превышают аналогичные расходы в российской

экономике. Данный факт объясняет существующие различия в уровнях и темпах экономического развития стран.

Необходимо отметить и тот факт, что инновации, являясь, по сути, воплощением новой идеи, связаны с большим риском, который служит еще одним сдерживающим фактором. Поэтому с целью модернизации промышленности необходимо стимулировать бизнес к инновациям, создавая для этого соответствующие условия, используя такие методы, как политическое влияние, изменения в законодательстве.

Рассмотрим статистические данные, характеризующие инновационную активность регионов РФ (табл. 2).

Высокий удельный вес инновационно активных организаций наблюдается в Приволжском федеральном округе. Регион сохраняет высокие значения данного показателя, несмотря на отрицательную динамику показателя. В субъектах ПФО в 2010 г. данный показатель составлял от 6,4 % в Саратовской области до 21,3 % в Пермском крае. В 2015 г. ситуация изменилась: инновационная активность большинства субъектов снизилась в 2 раза, например, в том же Пермском крае в 2015 г. данный показатель снизился до 10,5 %, в Самарской области в 2010 и 2015 гг. он составлял 12,1 и 5 % соответственно. В некоторых субъектах наблюдается обратная ситуация, например, в Республике Татарстан уровень инновационной активности организаций изменился с 14,9 до 20,5 %, в Чувашской Республике от 15,7 до 24 %. Несмотря на малое количество субъектов в Уральском федеральном округе, удельный вес инновационных предприятий в округе превышает аналогичный показатель по другим федеральным округам. В субъектах УФО в 2010 г. данный показатель составлял от 9,8 % в Тюменской области до 15 % в Свердловской области; в 2015 г. от 4,2 % в Курганской области (в 2010 г. он составлял 12,4 %, то есть данный показатель сократился в 3 раза) до 9,2 % в Челябинской области (2010 г. – 9,9 %). Самый низкий удельный вес наблюдался в регионах Северо-Кавказского федерального округа: в 2010 г. показатель варьировался от 0,8 % в Чеченской Республике до 8,3 % в Кабардино-Балкарской Республике (к 2015 г. он понизился до 2,5 %); в 2015 г. от 1,6 % в Чеченской Республике до 7,3 % в Республике Дагестан. В целом по России удельный вес инновационных организаций в 2010 г. составлял 9,5 %, в 2011 г. – 10,3 % и к 2015 г. сократился до 9,3 %. Согласно принятой инновационной политике удельный вес организаций, осуществляющих технологические инновации, должен составлять 44,25 %. Но на данный момент реальный показатель даже не приблизился к установленному значению.

Определяющим фактором инновационной активности организации являются ее затраты на технологические инновации. По всем федеральным округам затраты на технологические инновации увеличиваются как в суммарном объеме, так и в доле общих затрат организаций. Большая сумма затрат приходится на Центральный, Приволжский, Уральский федеральные округа. По сумме затрат лидируют такие регионы данных федеральных округов, как Липецкая область, г. Москва, Республика Татарстан, Нижегородская область, Тюменская область и Челябинская область.

Таблица 2

Динамика технологических затрат и состояние инновационного развития субъектов РФ [5]

	Годы	ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДФО	КФО
Удельный вес инновационно активных предприятий, %	2010	8,6	9,4	7,5	6,2	12,3	11,5	8,2	8,6	–
	2013	10,7	10,7	7,2	5,9	11,7	9,6	9,1	9,5	–
	2015	10,9	9,6	7,8	4,7	10,6	7,9	8	7,2	4,5
Затраты на технологические инновации, млн руб.	2010	103 963,0	35 966,5	10 066,7	6 504,8	79 303,3	92 205,6	48 626,7	24 167,3	–
	2013	305199,2	164 167,9	45 169,9	5 596,8	284 845,9	130 916,9	132 576,7	43 955,9	–
	2015	411465,9	87 877,6	70 070,1	5 909,1	300 124,5	120 131,4	140 231,8	67 231,0	596,8
Удельный вес затрат на технологические инновации, %	2010	1,5	1,2	0,8	2,0	1,5	1,8	1,6	2,2	–
	2013	3	3,7	2,2	1,5	3,6	1,8	2,9	2,8	–
	2015	3,5	1,5	2,8	1,3	3,2	1,5	2,5	3,3	0,8
Объем инновационных товаров, работ, услуг, млн руб.	2010	290 757,6	120 105,5	86 558,4	27 682,6	545 954,9	109 584,6	46 890,0	16 178,9	–
	2013	1 164 102,4	409 750,4	70 281,9	23 889,8	1 128 642,7	189 234,1	151 362,7	370 602,1	–
	2015	1 491 536,1	375 614,4	148 403,7	41 437,3	1 198 881,4	216 378,0	229 866,4	140 539,4	772,0
Удельный вес объема инновационной отгруженной продукции, %	2010	4,3	4,1	6,5	8,5	10,2	2,2	1,5	1,5	–
	2013	11,4	9,3	3,4	6,4	14,2	2,6	3,3	23,5	–
	2015	12,8	6,3	6,0	8,9	13,0	2,7	4,1	6,9	1,0

Также важным показателем инновационной активности региона является объем выпуска инновационных товаров, работ и услуг. Как и по предыдущим показателям, лидером является Приволжский федеральный округ, второе место занимает Центральный федеральный округ. Лидирующее положение ПФО занимает за счет двух его субъектов: Республики Татарстан (2010 г. – 160 890,1 млн руб., 2015 г. – 365 965,3 млн руб.) и Самарской области (2010 г. – 92 191,1 млн руб., 2015 г. – 217 788,9 млн руб.). Данные субъекты оставались лидерами на протяжении пяти лет. Лидерами ЦФО являются г. Москва (от 35 414,1 млн руб. в 2010 г. до 703 190,3 млн руб. в 2015 г.) и Московская область (от 88 900,3 млн руб. в 2010 г. до 147 421,3 млн руб. в 2015 г.). Самые низкие показатели у СКФО: показатели субъектов данного округа варьируются от 0,7 млн руб. в Республике Ингушетия до 19 894,6 млн руб. в Ставропольском крае в 2010 г. К 2015 г. ситуация не изменилась: от 5,4 млн руб. в Республике Ингушетия до 39 776,8 млн руб. в Ставропольском крае. В ряде регионов СКФО в 2013 г. вовсе не наблюдается выпуск инновационных товаров. К таким регионам относятся Республика Ингушетия и Чеченская Республика. Что касается инновационных товаров промышленного производства, то количество таких регионов увеличивается. К вышеперечисленным регионам присоединяются Карачаево-Черкесская Республика (2014 и 2015 гг.) и Республика Северная Осетия-Алания (2013, 2014 и 2015 гг.). В целом по России таких регионов больше нет.

Согласно протоколу Межведомственной комиссии по научно-инновационной политике удельный вес продукции в общем объеме произведенной должен составлять 18 %. Данный показатель достигнут большинством регионов ПФО (Республиками Татарстан и Мордовия, а также Нижегородской, Самарской и Ульяновской областями) и Сахалинской областью, относящейся к ДФО (табл. 3).

Таблица 3

Удельный вес объема инновационной отгруженной продукции регионов, достигших заданный показатель (18 %) [5] (проценты)

Субъект РФ	Удельный вес объема инновационной отгруженной продукции					
	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Республика Мордовия	23,1	22,0	22,9	23,9	26,9	27,0
Республика Татарстан	15,6	14,9	18,4	21,1	20,5	20,4
Нижегородская область	10,2	17,1	17,0	18,1	21,3	15,8
Самарская область	14,2	21,5	24,5	22,9	21,1	19,1
Ульяновская область	17,6	19,8	8,5	15,1	12,0	13,2
Сахалинская область	0,0	53,9	57,4	57,8	60,1	13,9

Такая большая доля отгруженной инновационной продукции в Сахалинской области связана с тем, что существует серьезный научно-технический и инновационный потенциалы в нефтегазовом секторе на предприятиях – операторах проектов «Сахалин-1», «Сахалин-2». Именно данные проекты имеют высокую научную составляющую, их целью является строи-

тельство «интеллектуальных», или smart-скважин. В 2015 г. затраты на технологические инновации в Сахалинской области из общей суммы, которая составляет 51 041 276,4 млн руб. (это является высоким показателем относительно других регионов), 50 577 704,6 млн руб. приходится на приобретение машин и оборудования. Именно регионы, обозначенные в табл. 4, осуществляют большие суммы затрат на технологические инновации. Об этом свидетельствуют данные рис. 4. Диаграмма демонстрирует эффективность технологических инноваций в анализируемых регионах.

Таблица 4

Динамика количества поданных патентных заявок и выданных патентов по федеральным округам РФ [5] (единиц)

		ЦФО	СЗФО	ЮФО	СКФО	ПФО	УФО	СФО	ДФО	КФО
Подано патентных заявок на изобретения	2010 г.	14628	2259	1661	1900	4138	1157	2414	561	–
	2013 г.	14626	2145	1615	1666	4427	1262	2376	646	–
	2015 г.	16886	2258	1648	477	3947	1148	2216	581	107
Выдано патентов на изобретения	2010 г.	10984	1656	1352	600	3334	1190	2090	421	–
	2013 г.	11074	1680	1154	581	3463	1006	1962	454	–
	2015 г.	10554	1922	1422	621	4014	1097	2195	627	108
Подано патентных заявок на полезные модели	2010 г.	4943	1220	667	122	2496	963	1146	199	–
	2013 г.	5734	1516	788	209	2941	1042	1110	245	–
	2015 г.	4556	1410	717	157	2243	878	1055	286	101
Выдано патентов на полезные модели	2010 г.	4312	1027	565	122	2240	805	967	149	–
	2013 г.	5197	1327	692	179	2553	986	975	245	–
	2015 г.	3227	1058	510	121	1666	647	803	181	177
Подано патентных заявок на промышленные образцы	2010 г.	948	217	70	30	467	103	126	20	–
	2013 г.	880	199	86	28	424	134	129	22	–
	2015 г.	1040	182	118	41	295	124	160	46	9
Выдано патентов на промышленные образцы	2010 г.	803	188	45	99	348	110	136	12	–
	2013 г.	645	121	50	25	254	73	92	18	–
	2015 г.	959	201	80	32	442	157	133	25	2

Индикаторами, отражающими масштаб использования новых технологий в производственном процессе, являются такие показатели, как выданные патенты на изобретение. Рассмотрим, как обстоит дело в субъектах РФ (табл. 4).

За период 2010–2015 гг. лидирующую позицию по патентным заявкам занимал ЦФО как по изобретениям, так и по полезным моделям и промышленным образцам. Лидерская позиция была за счет Москвы, так как 80–90 % патентов принадлежало именно ей. В целом по федеральным округам процент выданных патентов из общего числа заявок превышает 50 %.

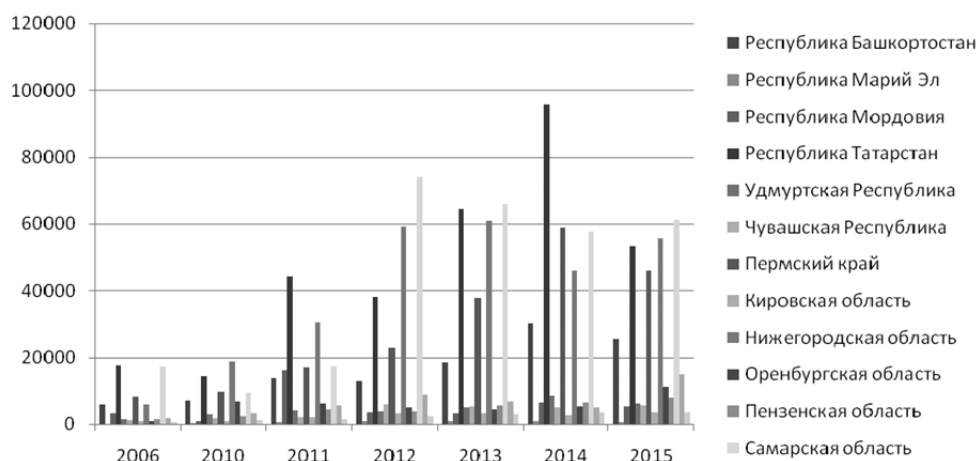


Рис. 4. Динамика затрат на технологические инновации регионов с высоким удельным весом инновационной отгруженной продукции [5]

Проведем международный сравнительный анализ данных показателей. Данные других стран показаны в табл. 5.

Таблица 5

Патентование изобретений в отдельных зарубежных странах [7] (единиц)

Страна	2005		2012	
	Поступило заявок	Выдано патентов	Поступило заявок	Выдано патентов
Германия	60 222	17 063	61 340	11 332
Китай	173 327	79 842	652 777	217 105
Япония	427 078	122 944	342 796	274 791
США	390 733	143 806	542 815	253 155

Количество поступивших заявок в данных странах в разы превышает поступившие заявки в России. Так же обстоят дела и с количеством выданных патентов. Но если посмотреть количество выданных патентов относительно поданных заявок, то их доля выше, нежели в зарубежных странах.

Построение и анализ модели, показывающей зависимость количества разработанных передовых технологий от других величин, характеризующих инновационную деятельность

Разработка стратегии инновационного развития регионов требует определения ключевых факторов, влияющих на количество разработанных передовых технологий. Для решения данной задачи построим многофакторную модель множественной регрессии в программе MS Office Excel. В качестве примера проанализируем один из инновационно развитых регионов ПФО – Республику Татарстан. В качестве зависимой переменной будет выступать такой показатель, как «Количество разработанных передовых технологий» (Y). Независимые переменные:

X_1 – число организаций, выполняющих НИОКР;

X_2 – внутренние затраты на НИОКР;

X_3 – инновационная активность организаций;

X_4 – затраты на технологические инновации.

В табл. 6 представлена модель множественной регрессии

Таблица 6

Модель множественной регрессии

Регрессионная статистика					
Множественный R				0,98584495	
R-квадрат				0,971890265	
Нормированный R-квадрат				0,915670794	
Стандартная ошибка				5,381921058	
Наблюдения				7	
Дисперсионный анализ					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	4	2002,926994	500,7317486	17,28743189	0,034293132
Остаток	2	57,93014854	28,96507427		
Итого	6	2060,857143			
	<i>Коэффициенты</i>		<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-значение</i>
У-пересечение	164,7492971		47,47541944	3,470202035	0,073947511
Переменная X1	2,553416612		0,812695838	3,1419093	0,088116988
Переменная X2	0,023566124		0,004436004	5,312466361	0,033654463
Переменная X3	−34,74946687		9,050457661	−3,83952593	0,061629247
Переменная X4	7,84418E-05		0,000173957	0,450927858	0,696214733

Достоверность модели по уровню значимости критерия Фишера: $p = 0,034293132$, который должен быть меньше, чем 0,05 (значимость F), следовательно, данная модель значима. Степень точности описания моделью процесса: $R^2 = 0,97$, что говорит о том, что модель хорошо описывает процесс. P -значение для коэффициентов X_1 , X_3 , X_4 больше 0,05, значит, этот коэффициент может считаться нулевым, а P -значение для коэффициента $X_2 < 0,05$, значит, этот коэффициент может считаться не нулевым. Следовательно, в данной модели существенной оказалась переменная, отражающая внутренние затраты на НИОКР, млн руб. Отсюда уравнение множественной регрессии имеет вид: $y = 0,023566124X_2 + 164,7492971$ с достоверностью $R^2 = 97\%$.

Таким образом, необходимо провести региональный анализ внутренних затрат на НИОКР, а также доказать, что данная модель характерна и для других регионов РФ.

Рассмотрим динамику внутренних затрат на НИОКР (рис. 5).

Данная диаграмма показывает, что наибольшие затраты на НИОКР несут регионы Центрального федерального округа. В частности, Москва потратила на НИОКР в 2005 г. 21 225,8 млн руб. К 2015 г. данный показатель вырос в 8 раз и составил 190 334,7 млн руб. То есть 46 % затрат ЦФО приходится на г. Москва. В ПФО можно выделить три региона-лидера по затратам

на НИОКР: Республика Татарстан, Нижегородская и Самарская области. Данные 3 региона из 14 тратят на НИОКР 57 % всех затрат ПФО. Лидерами по затратам на НИОКР в других федеральных округах являются: СЗФО – г. Санкт-Петербург; ЮФО – Волгоградская и Ростовская области; СКФО – Ставропольский край; УФО – Тюменская область; СФО – Красноярский край; ДФО – Сахалинская область.

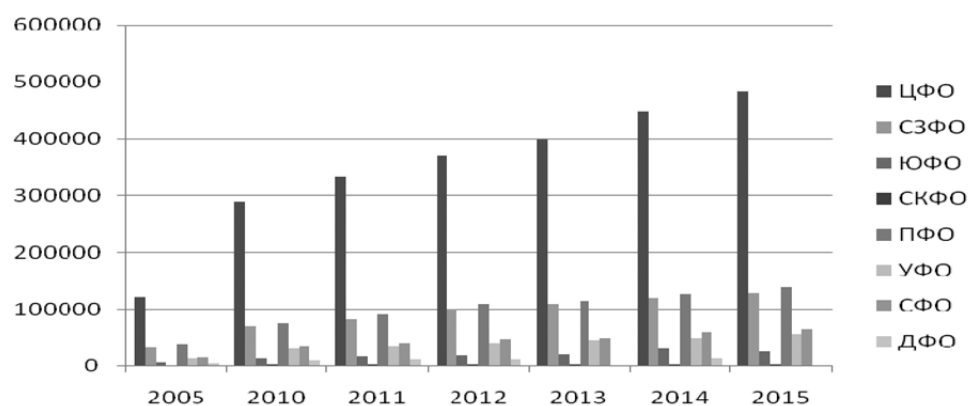


Рис. 5. Динамика внутренних затрат на НИОКР по федеральным округам, млн руб. [4]

Динамика количества разработанных передовых производственных технологий показана на рис. 6.

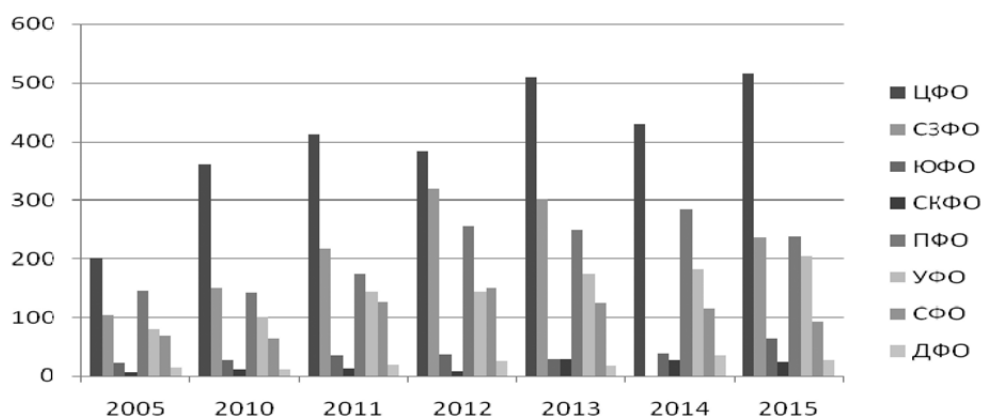


Рис. 6. Динамика количества разработанных передовых производственных технологий по федеральным округам, единиц [4]

Данные диаграммы доказывают зависимость числа разработанных технологий от внутренних затрат на НИОКР.

Заключение

На основе анализа статистических данных можно выделить возможности и ограничения воспроизводства инноваций. Высокая прибыль организаций указывает на наличие инвестиционных возможностей у предприятий.

Хозяйствующие субъекты имеют собственные финансовые ресурсы для инвестирования в инновации, и данный факт можно считать неиспользуемой возможностью для развития рынка инноваций. Среди ограничений воспроизводства инноваций можно выделить следующие: немодернизированная промышленность, слаборазвитая материально-техническая база экономики регионов, сырьевая модель экономики, низкие затраты на НИОКР, риск. Все эти ограничения являются причиной низких объемов инвестиционных вложений в инновации. Для разрешения этой проблемы необходимо активизировать государственную политику стимулирования инноваций, что предполагает изучение опыта развитых стран, где инновации составляют большую долю всего промышленного производства. Результаты полученной модели позволяют формировать региональные программы социально-экономического развития с учетом значимости затрат на НИОКР, осуществляемых хозяйствующими субъектами. Чем выше финансовые затраты на НИОКР, тем больше научный задел – накопленный запас знаний, формирующий инновационный потенциал экономики. Однако результативность осуществляемых затрат зависит и от институциональной среды. Речь идет не столько об институтах, коммерциализирующих научные разработки, сколько о системе научно-технических регламентов производства и технологических стандартах, формируя которые государство побуждает предприятия инвестировать в инновации, создает условия реализации имеющегося у них инновационного потенциала.

Библиографический список

1. Дорофеев, С. Коммерциализация инноваций и лицензии / С. Дорофеев // Промышленный еженедельник. – URL: <http://www.promweekly.ru/interv-173.php> (дата обращения: 28.02.2017).
2. О промышленной политике в Российской Федерации : федер. закон Российской Федерации № 488-ФЗ от 31 декабря 2014 г. (с изменениями и дополнениями) // Гарант: информационно-правовое обеспечение. – URL: <http://ivo.garant.ru/#/document/70833138/paragraph/1:4> (дата обращения: 28.02.2017).
3. Российский статистический ежегодник : статистич. сб. – М. : Росстат, 2015. – 728 с.
4. Волынкина, М. В. Правовое регулирование инновационной деятельности. Проблемы теории / М. В. Волынкина. – М. : Аспект Пресс, 2007. – 192 с.
5. Регионы России. Социально-экономические показатели : статистич. сб. – М. : Росстат, 2016. – 1328 с.
6. Финансы России : статистич. сб. – М. : Росстат, 2016. – 343 с.
7. Россия и страны мира : статистич. сб. – М. : Росстат, 2016. – 379 с.

Тугусева Рясимья Ригаятьевна
аспирантка,
Саратовский государственный
университет
E-mail: ryasimya.tugusheva@mail.ru

Tugusheva Ryasimya Rigayatyevna
postgraduate student,
Saratov State University

УДК 330.1

Тугушева, Р. Р.

Воспроизводство инноваций: возможности и ограничения / Р. Р. Тугушева // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 46–62.

ПРОСТОЙ ТИП ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ С АЛЬТЕРНАТИВАМИ***Т. А. Шорникова*****SIMPLE TYPE OF PROCESS OF THE DECISION WITH ALTERNATIVES*****T. A. Shornikova***

Аннотация. *Актуальность и цели.* Фундаментальная научная проблема, решение которой рассматривается в статье, – построение стохастических моделей с использованием случайных процессов на основе выбора с помощью производящей функции различных альтернатив. Существующие научные исследования в этой области не обеспечивают детальное решение этой проблемы из-за ее сложности и трудоемкости и поэтому явно не достаточны, значит, актуальность результатов не вызывает сомнений. В нашем случае проблему позволяет решить необходимость учета различных факторов, а также то, что все условия здесь имеют вероятностный характер. По характеру отражения причинно-следственных связей случайность и неопределенность процесса моделирования систем как нельзя лучше учитывает стохастическое моделирование в виде случайных процессов с использованием производящей функции. *Материалы и методы.* При решении задачи использовалось стохастическое моделирование экономических процессов. Применялись методы классической теории случайных процессов, теории вероятностей. *Результаты.* Рассмотрены реальные возможности применения стохастических моделей при изучении экономических явлений. С помощью относительных асимптотических величин среднего дохода последовательно оценены альтернативы в регулярных и нерегулярных процессах. *Выводы.* Решение задачи с помощью данного подхода дает оптимальное решение в случае регулярных и нерегулярных процессов.

Ключевые слова: вероятности перехода, общий ожидаемый доход, производящая функция, оценка альтернатив.

Abstract. *Background.* Fundamental scientific problem which solution is considered in article, – creation of stochastic models with use of accidental processes on the basis of the choice by means of the making function of various alternatives. Existent scientific researches in this area do not provide the detailed decision of this problem from her complication and labour intensiveness, and obviously not suffice, so, actuality of results does not cause doubts. In our case a problem the necessity of account of different factors allows to decide, and also that all terms have probabilistic character here. On nature of reflection of causes and effect relationships accident and uncertainty of process of modeling of systems as well as possible considers stochastic modeling in the form of accidental processes with use of the making function. *Materials and methods.* In case of the solution of a task stochastic modeling of economic processes was used. Methods of the classical theory of accidental processes, probability theory were applied. *Results.* The real possibilities of application of stochastic models when studying economic events are considered. By means of relative asymptotic sizes of middle acuests alternatives are consistently appraised in regular and irregular processes. *Conclusions.* The decision of task by means of this approach gives an optimal solution in case of regular and irregular processes.

Key words: probabilities of transition, the total expected income, generating function, estimation of alternatives.

Введение

Оценивание вероятностей перехода особенно важно для сравнения различных решений, между которыми можно выбирать оптимальное для достаточно длительного процесса. В большинстве случаев будем иметь большее число состояний и альтернатив [1].

Оценка альтернатив

Рассмотрим на расширенном примере выпуска годного и бракованного изделия возможность альтернативного выбора. Систему переходных вероятностей и их оценки расширим за счет учета возможностей различных альтернатив таким образом, что состояния годного и бракованного изделий комбинируются с некоторым мероприятием, например рекламой и научным поиском. Обзор возможных альтернативных решений при различных состояниях процесса и их оценки дает табл. 1.

Таблица 1

Состояние i	Альтернатива k	Переходные вероятности		Оценки		Ожидаемая моментная оценка
		p_{i1}^k	p_{i2}^k	r_{i1}^k	r_{i2}^k	
1. Годное изделие	1) без рекламы	0,5	0,5	9	3	6
	2) с рекламой	0,8	0,2	4	4	4
2. Бракованное изделие	1) без исследования	0,4	0,6	3	-7	-3
	2) с исследованием	0,7	0,3	1	-19	-5

Если учет всех возможных альтернатив может потребовать большего количества расчетов, то в примере легко определить общий ожидаемый доход для всех возможных альтернатив.

При последовательном анализе альтернатив обнаруживается, что оптимальное поведение на $(n+1)$ -м шаге возможно (оно будет, понятно, самым выгодным), если n -й шаг был оптимальным. Это можно выразить формулой

$$v_i(n+1) = \max_k \sum_{j=1}^N p_{ij}^k [r_{ij}^k + v_j(n)], \quad n = 0, 1, 2, \dots, \quad (1)$$

где величины $v_i(n+1)$ или $v_j(n)$ показывают общий ожидаемый доход для выбранного оптимального поведения (оптимального правила) [2]. Эту формулу можно представить в виде

$$v_i(n+1) = \max_k \left[q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k v_j(n) \right]. \quad (1')$$

При ее расчете определяется как вектор выбранного решения $d(n)$, так и общий ожидаемый доход для оптимальной траектории. Последовательное вычисление ожидаемого дохода заканчивается определением вектора реше-

ний, который в дальнейшем не изменяется и ведет к наибольшему ожидаемому доходу.

В нашем случае получим на первом шаге [$v(0)=0$]:

$$v_1(1) = \max[q_1^1 + \sum p_{1j}^1 \cdot 0; q_1^2 + \sum p_{1j}^2 \cdot 0] = \max[6; 4] = 6;$$

$$v_2(1) = \max[q_2^1 + \sum p_{2j}^1 \cdot 0; q_2^2 + \sum p_{2j}^2 \cdot 0] = \max[-3; -5] = -3$$

при выбранной альтернативе $d = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$. Следовательно, вначале каждое усилие

требует больших затрат.

Для второго шага получим:

$$v_1(2) = \max[q_1^1 + \sum p_{1j}^1 v_j(1); q_1^2 + \sum p_{1j}^2 v_j(1)] = \max\{6 + [0,5 \cdot 6 + 0,5(-3)]; \\ 4 + [0,8 \cdot 6 + 0,2 \cdot (-3)]\} = \max(7,5; 8,2) = 8,2;$$

$$v_2(2) = \max[q_2^1 + \sum p_{2j}^1 v_j(1); q_2^2 + \sum p_{2j}^2 v_j(1)] = \max\{-3 + [0,4 \cdot 6 + 0,6 \cdot (-3)]; \\ -5 + [0,7 \cdot 6 + 0,3 \cdot (-3)]\} = \max(-2,4; -1,7) = -1,7.$$

Поэтому оптимальным решением будет $d = \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \end{bmatrix}$. Следующий шаг пока-

зывает, что реклама и исследование окупаются, если процесс протекает в течение хотя бы некоторого времени [3]. Результаты следующих шагов показаны в табл. 2, данные которой характеризуют как величины общего ожидаемого дохода $v_1(n)$ или $v_2(n)$, так и оптимальные решения для отдельных стадий.

Таблица 2

N	0	1	2	3	4
$v_1(n)$	0	6	8,2	10,22	12,22
$v_2(n)$	0	-3	-1,2	0,23	2,23
$d_1(n)$	—	1	2	2	2
$d_2(n)$	—	1	2	2	2

С третьего года процесс протекает так, что на обеих стадиях применяется вторая альтернатива, рост дохода на каждом шаге равен двум единицам и разница между общим ожидаемым доходом первого и второго состояний составляет 10 единиц. Недостатком рассмотренного подхода является то, что при определенном количестве стадий нет точного критерия для определения того, достигнуто ли оптимальное решение. Пример, в котором опять фигурируют типичные величины $v_1(n) - v_2(n) = 10$, $g = 2$, показывает направления поиска для решения вопроса выбора оптимальной альтернативы — на основе асимптотических значений общего ожидаемого дохода. При применении такого критерия необходимо, чтобы процесс продолжался достаточно долго.

Поскольку регулярный процесс устанавливается довольно быстро (переходным процессом можно пренебречь), решение зависит от асимптотических свойств, приемлемых с практической точки зрения [2].

Последовательная оценка альтернатив с помощью относительных асимптотических величин среднего дохода

Если процесс продолжается достаточно долго, то можно для определения общего ожидаемого дохода применить некоторые системы уравнения. Вместо нахождения величин $v_i(n)$ путем последовательной оценки альтернатив на каждом шаге можно сформулировать асимптотическую формулу для $v_i(n)$ и с помощью вычисленных на ее основе величин рассматривать (последовательно выбирать наиболее выгодные) альтернативы [4].

Рассмотрим предложенный подход для дискретных изменений с постоянной оценкой состояний. Другие случаи потребуют лишь незначительных модификаций.

Сформулируем сначала асимптотическое соотношение между $v_i(n)$ и $v_i(n-1)$. Поскольку

$$v_i(n) = q_i + \sum_j^N p_{ij} \cdot [(n-1)g + v_j]$$

и далее

$$v_i(n) = ng + v_i,$$

то можно записать

$$ng + v_i = q_i + \sum_j^N p_{ij} \cdot [(n-1)g + v_j],$$

что после преобразования $\left(\sum_j p_{ij} = 1 \right)$ даст

$$g + v_i = q_i + \sum_j^N p_{ij} v_j. \quad (2)$$

Получили N уравнений для $N+1$ неизвестных $g, v_1, \dots, v_N$.

Для принятия решения достаточно знать соотношения между v_i , т.е. относительные значения общего ожидаемого дохода [4]. Эти соотношения можно определить просто, потребовав лишь постоянства значений разности $v_i - v_r$. Тогда система уравнений расширяется за счет уравнения $v_N = 0$. Вычисленные v_i будут отличаться от исходных на одну и ту же постоянную величину. Это означает, что разница между ними будет такая же, как и между исходными v_i . Поскольку при выборе альтернатив речь идет о различии их

оценок, то можно воспользоваться этими «относительными» v_i . Разницу $v_1 - v_2$ можно интерпретировать, например, как разницу между ожидаемым доходом процесса, вышедшим из состояний 1 и 2.

Если уравнение

$$g + v_i = q_i + \sum_j^N p_{ij} v_j$$

умножить на вероятности состояний после достижения равновесия (π_i) и сложить, то получим

$$g \sum_i \pi_i + \sum_i \pi_i v_i = \sum_i \pi_i q_i + \sum_i \sum_j p_{ij} \pi_i v_j, \quad (3)$$

а так как $\sum_i \pi_i p_{ij} = \pi_j$, то для g получим

$$g = \sum_i \pi_i q_i. \quad (3')$$

Это то же соотношение, что и полученное при изучении асимптотических величин оцениваемого процесса. Хотя g можно определить и иначе, не прибегая к системе уравнений для относительных величин v_i , мы не получили бы в этом случае формулу для выбора альтернатив с помощью асимптотических величин и должны были бы снова обратиться к оценке отдельных стадий [5].

Определив $g, v_i \dots n_N$, выразим относительные асимптотические величины $v_i(n)$.

Перейдем ко второму шагу решения поставленных задач. С помощью величин $g, v_i \dots v_N$ можно более просто и однозначно выбирать оптимальную альтернативу. Критерием выбора альтернативы была формула

$$q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k v_j(n).$$

При достаточно большом n ее можно заменить формулой

$$q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k (ng + v_j).$$

Поскольку максимум этой величины отыскивается для некоторой из k возможных альтернатив, то можно не учитывать не зависящую от k константу $ng \sum_j^N p_{ij}^k$. Та же альтернатива k максимизирует это выражение как с константой, так и без нее [4]. По этой же причине для определения оптимума достаточно рассмотреть относительные величины v_i , отличающиеся на некоторую постоянную от абсолютных величин v_i .

Таким образом, выбор альтернатив осуществляется на основе формулы

$$q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k v_j.$$

Весь процесс решения можно резюмировать следующим образом:

1) с помощью величин p_{ij}, q_i по формуле

$$g + v_i = q_i + \sum p_{ij} v_j$$

определяются величины v_i, g ($v_N = 0$);

2) для каждого состояния отыскивается альтернатива, максимизирующая

$$q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k v_j,$$

где v_j было определено в п.1;

3) найденная альтернатива даст величины $q_i^{k'}, p_{ij}^{k'}$ для повторения шага 1 или 2.

Необходимо еще доказать:

а) что каждая последующая альтернатива имеет более высокий доход g ;

б) что итеративный процесс заканчивается определением альтернативы с максимальным доходом g .

Обратимся сначала к пункту а). Для определения разницы между величинами, на основе которых мы судим об альтернативах (например, A и B), запишем

$$\gamma_i = q_i^B + \sum_j p_{ij}^B v_j^A - q_i^A - \sum_j p_{ij}^A v_j^A \geq 0; \quad (4)$$

разность между общими оценками $g^B - g^A$ можно выразить следующим образом:

$$g^B - g^A + v_i^B - v_i^A = q_i^B - q_i^A + \sum_j p_{ij}^B v_j^B - \sum_j p_{ij}^A v_j^A,$$

а подставив γ_i в уравнение, получим:

$$\begin{aligned} & (g^B - g^A = \Delta g; \quad v_i^B - v_i^A = \Delta v_i); \\ & \Delta g + \Delta v_i = \gamma_i - \sum_j p_{ij}^B v_j^A + \sum_j p_{ij}^A v_j^A + \\ & + \sum_j p_{ij}^B v_j^B - \sum_j p_{ij}^A v_j^A = \gamma_i + \sum_j p_{ij}^B (v_j^B - v_j^A). \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнение (5) аналогично уравнению (2); вместо абсолютных величин оно включает разности [6]. Точно так же, как для g , было получено

$$g = \sum \pi_i q_i,$$

в результате использования свойств предельного вектора π и стохастической матрицы P , в соответствии с которыми $\pi = \pi P$, можно путем умножения на предельный вектор π^B получить аналогичную формулу

$$\Delta g = \sum \pi_i^B \gamma_i. \quad (6)$$

Поскольку $\pi_i^B \geq 0$, $\gamma_i \geq 0$, то $\Delta g \geq 0$. Если хотя бы в одном из состояний произойдет улучшение, то g увеличится при выборе новой альтернативы.

Утверждение б) о том, что процесс закончится на альтернативе с максимальным g , докажем следующим образом. Предположим, что $g^B > g^A$, но итеративный процесс выбора альтернатив закончился на альтернативе A . Тогда для всех состояний в соответствии с (5) должно быть $\gamma_i \leq 0$. Поскольку $\pi_i^B \geq 0$, то и $\Delta g \leq 0$. Это, однако, противоречит предположению $g^B > g^A$. Следовательно, процесс не может закончиться альтернативой с меньшим общим доходом g по сравнению с максимальным [2].

Так же можно преобразовать формулу

$$v_i(n) = q_i + \sum_j^N p_{ij} v_j(n-1)$$

с помощью уравнений (2).

Например, при дисконтировании и дискретных изменениях величины v_i определяются из уравнений

$$v_i = q_i + \beta \sum p_{ij} v_j.$$

Оптимальное решение отыскивается с помощью формулы

$$\max_k \left[q_i^k + \beta \sum p_{ij}^k v_j^k \right].$$

В этом случае не нужно предполагать, что $v_N = 0$, поскольку имеем N уравнений и N неизвестных; величина g здесь не присутствует [3].

Для переходов в непрерывном времени, когда располагаем матрицей интенсивностей вероятностей перехода, величины v_i определяются с помощью формул

$$g = g_i + \sum_j^N a_{ij} v_j,$$

а выбор альтернатив осуществляется на основе выражения

$$\max_k \left[q_i^k + \sum_j^N a_{ij}^k v_j \right].$$

Для переходов в непрерывном времени с меняющейся оценкой (с дисконтным фактором) получим для определения величины v_i (g снова не требуется) уравнение

$$\alpha v_i = q_i + \sum_j^N a_{ij} v_j,$$

а для выбора альтернатив будем иметь выражение

$$\max_k \left[q_i^k + \sum_j^N a_{ij}^k v_j \right].$$

Следовательно, нет нужды вдаваться в теорию рассмотренных примеров; доказательства оптимальности имеют тот же характер.

Последовательная оценка альтернатив в нерегулярных процессах

При разложении вероятности перехода более высокой ступени на стационарную и транзитивную части основной член производящей функции имеет вид

$$(I - zP)^{-1} = \frac{1}{1-z} S + F_z(T).$$

Производящую функцию всего ожидаемого дохода можно представить следующим образом:

$$F_z(v) = \frac{z}{(1-z)^2} Sq + \frac{z}{1-z} F_z(T)q + \frac{1}{1-z} Sv(0) + F_z(T)v(0),$$

а общий ожидаемый доход составит

$$v(n) = nSq + F_1(T)q + Sv(0),$$

где

$$Sq = g = \sum_{j=1}^N s_{ij} q_j.$$

Если S является матрицей регулярного процесса (все строки одинаковы и представляют собой вектор предельных вероятностей), то g определяется единственным значением g . Если матрица нерегулярная, получим вектор g , определяемый приведенной выше формулой, и вектор общего ожидаемого дохода в этом случае будет иметь вид:

$$v(n) = ng + v.$$

Если это выражение подставить в основную формулу ожидаемого дохода

$$v_1(n+1) = q_i + \sum_j^N p_{ij} v_j(n),$$

то получим

$$(n+1)g_i + v_i = q_i + \sum_j^N (ng_j + v_j), \quad (7)$$

или

$$ng_i + g_i + v_i = q_i + n \sum_j^N p_{ij} g_j + p_{ij} v_j. \quad (7')$$

Для большего n справедливо

$$g_i = \sum_j^N p_{ij} g_j \quad (8)$$

и одновременно

$$g_i + v_i = q_i + \sum_j^N p_{ij} v_j. \quad (8')$$

Системе уравнений (8') соответствует сингулярная матрица $(I - P)$, поэтому решение для g_i будет включать произвольные константы [6]. Их число будет равно числу рекуррентных цепей (процессов, описывающих всю систему). Если их число равно L , то на основе (8) нужно определить не только N величин v_i , но и L независимых величин g_i для рекуррентной цепи. Поэтому имеем дополнительно L неизвестных. Поскольку величины v_i потребуются снова для определения отношения между альтернативами, можно в L независимых цепях предполагать всегда $v_i = 0$. Итак, из (8) можно найти L независимых g_i и $(N - L)$ величин v_i .

Приведем пример такого решения для матрицы переходных вероятностей [7]:

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{bmatrix}$$

с текущей оценкой, определяемой вектором $[q_i] = [\sum p_{ij} r_{ij}]$,

$$q = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}.$$

Так как

$$\mathbf{P}^n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 0 \end{bmatrix} + \frac{1}{3^n} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 \end{bmatrix} = \mathbf{S} + \mathbf{T},$$

g будет равно

$$\mathbf{g} = \mathbf{S}\mathbf{q} = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 1/5 \end{bmatrix}.$$

С учетом (8) и (8') получим

$$g_1 = g_1;$$

$$g_2 = g_2;$$

$$g_3 = \frac{1}{3}g_1 + \frac{1}{3}g_2 + \frac{1}{3}g_3,$$

а выразив g_3 через g_1 и g_2 , будем иметь:

$$g_3 = \frac{1}{2}g_1 + \frac{1}{2}g_2.$$

Из (8') следует, что

$$g_1 + v_1 = 1 + v_1;$$

$$g_2 + v_2 = 2 + v_2;$$

$$g_3 + v_3 = 3 + \frac{1}{3}v_1 + \frac{1}{3}v_2 + \frac{1}{3}v_3.$$

Так как g_3 можно выразить через g_1 и g_2 , а два из всех значений v_i можно положить равными нулю (число таких значений равно числу вычисленных переменных g), получим

$$g_1 = 1;$$

$$g_2 = 2;$$

$$\frac{\frac{1}{2}g_1 + \frac{1}{2}g_2 + v_3 = 3 + \frac{1}{3}v_3}{g_1 = 1, \quad g_2 = 2, \quad g_3 = 1,5,}$$

$$v_1 = 0, \quad v_2 = 0, \quad v_3 = 2,25.$$

Полученный результат соответствует подходу с применением матрицы $\mathbf{S}$ [8]. Если мы, таким образом, нашли величины g_i , v_i , то можно перейти к определению оптимального решения. Если применить для этого выражение

$$\max_k \left[q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k v_j(n) \right],$$

то, подставив $v_j(n) = ng_j + v_j$, получим:

$$\max_k \left[q_i^k + \sum_j^N p_{ij}^k (ng_j + v_j) \right] = \max_k \left[q_i^k + n \sum_j^N p_{ij}^k g_j + \sum_j p_{ij} v_j \right].$$

Если n достаточно велико, то максимум приведенного выражения зависит от его части

$$\max_k \sum_j p_{ij}^k g_j.$$

Только в случае, когда эта часть не позволяет выбрать альтернативу, используется выражение

$$\max_k (q_i^k + \sum_j p_{ij}^k v_j).$$

При непрерывных изменениях во времени для определения g_i , v_i применяются выражения

$$\sum_j a_{ij} g_j = 0;$$

$$g_i = q_i + \sum_j a_{ij} v_j.$$

Для выбора альтернатив получим на первой стадии

$$\max_k \sum_j^N a_{ij}^k g_j,$$

а если первый критерий «не дает решения», то можно воспользоваться другим критерием

$$\max_q (q_i^k + \sum_j a_{ij}^k v_j).$$

Вместо переходных вероятностей здесь фигурируют лишь интенсивности вероятностей перехода a_{ij} .

При учете дисконта величины g_i не определяются, так что нет нужды применять рассмотренный подход [5].

Заключение

Доказательство того, что этот подход дает оптимальное решение, аналогично случаю регулярного процесса с той разницей, что нужно учитывать свойства нерегулярного процесса.

В статье рассмотрены реальные возможности применения стохастических моделей при изучении экономических явлений. С помощью относительных асимптотических величин среднего дохода последовательно оценены альтернативы в регулярных и нерегулярных процессах. Рассчитан общий ожидаемый доход.

Библиографический список

1. Шорникова, Т. А. Стохастическое моделирование процессов с помощью производящей функции / Т. А. Шорникова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 3 (19). – С. 88–98.
2. Shornikova, T. A. Diffusive Markovskiye of transformation in the many-sided corner $(q + r)$ -measured space / T. A. Shornikova, E. Y. Kalashnikova, G. I. Halitova // European Researcher. – 2012. – Vol. 20, № 5-1. – P. 529–531.
3. Шорникова, Т. А. Стохастический подход при исследовании экономических явлений / Т. А. Шорникова, А. В. Аленина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 10 (14). – С. 222–227.
4. Шорникова, Т. А. Асимптотическая формула для описания стохастического процесса / Т. А. Шорникова // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2005. – Т. 12, № 4. – С. 887–888.
5. Шорникова, Т. А. Управление и планирование диффузионными марковскими потоками внутри многогранного угла $(q + r)$ -мерного пространства / Т. А. Шорникова // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т. 15, № 4. – С. 650–651.
6. Шорникова, Т. А. Расчет дохода при стохастическом моделировании / Т. А. Шорникова // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2009. – Т. 16, № 5. – С. 951–952.
7. Гусынина, Ю. С. Математико-статистическое моделирование производственной системы / Ю. С. Гусынина // Человек, общество и государство в современном мире : сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. – Пенза, 2016. – С. 241–244.
8. Алехина, М. А. Оценка значимости воздействия в математическом моделировании экологического состояния объекта / М. А. Алехина, О. А. Логвина // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 2 (30). – С. 217–221.

Шорникова Татьяна Александровна
кандидат технических наук, доцент,
кафедра математики,
Пензенский государственный
технологический университет
E-mail: shornikovat@mail.ru

Shornikova Tatyana Alexandrovna
candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of mathematics,
Penza State Technological University

УДК 330.45

Шорникова, Т. А.

Простой тип процесса решения с альтернативами / Т. А. Шорникова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 63–74.

ИНДУСТРИЯ 4.0: ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ В РОССИЙСКИХ УСЛОВИЯХ

Н. Ю. Щетинина

INDUSTRY 4.0: PRACTICAL ASPECTS OF INTRODUCTION IN THE RUSSIAN CONDITIONS

N. Yu. Shchetinina

Аннотация. *Актуальность и цели.* Одна из наиболее обсуждаемых тем в области промышленного развития и сферы современных технологий – это четвертая промышленная революция – Индустрия 4.0. Весь мир активно готовится к переходу на современные цифровые технологии и готовит производство к внедрению концепции «умных фабрик». Учитывая не самое благополучное наследие российской промышленности, актуален до сих пор вопрос о технической модернизации многих производств. При этом встает закономерный вопрос о степени готовности отечественной промышленной базы к цифровой революции и возможностях реализации современных цифровых производственных технологий на отечественных предприятиях. Основной целью исследования является обзор информации относительно опыта перехода международных промышленных предприятий на концепцию Индустрии 4.0, анализ аналогичных проблем отечественных промышленных предприятий и поиск направлений их решения. *Материалы и методы.* Изучение международного опыта внедрения технологий «умного производства», технических основ реализации концепции Индустрии 4.0 и изменений в модели управления в свете перехода к «сетевому производству». *Результаты.* В статье представлена информация относительно особенностей реализации концепции четвертой промышленной революции. Рассмотрен перспективный опыт цифровизации бизнеса и производственной среды международными компаниями, а также примеры отечественного опыта внедрения данной концепции. Выделены основные проблемы внедрения концепции на базе отечественных предприятий, и намечены направления их решения, в том числе на основе реализации коллективных инноваций путем создания региональных кластеров. Рассмотрена роль опорных вузов в рамках регионального кластера. *Выводы.* Реализация концепции Индустрии 4.0 на базе российских предприятий сталкивается с рядом системных проблем. Основной из них является неподготовленность производственной и информационной среды для перехода на современные сетевые технологии взаимодействия и работу на основе открытых платформ. Показано, что сложности в переоснащении производства и внедрении современных информационных технологий могут быть решены совместными усилиями за счет интеграции отраслевых предприятий в кластер с переходом на концепцию « сетевого завода ».

Ключевые слова: Индустрия 4.0, цифровизация, «умное производство», «сетевой завод», кастомизация, «интернет вещей», Национальная Технологическая Инициатива, кластер, Университет 3.0.

Abstract. *Background.* One of the most discussed subjects in the field of industrial development and the sphere of modern technologies is the fourth industrial revolution – the Industry 4.0. The whole world actively prepares for transition to modern digital technologies and prepares production for introduction of the concept of «smart factories». Consider-

ing not the most safe heritage of the Russian industry, a question actual still of technical modernization of many productions, there is a question of degree of domestic industrial base readiness for digital revolution and opportunities of modern digital production technologies introduction at the domestic enterprises. A main *objective of research* is the review of information concerning experience of the international industrial enterprises transition to the concept of the Industry 4.0, the analysis of possible problems of the domestic industrial enterprises and search of their decision directions. *Materials and methods.* Studying of the international experience of introduction of technologies of «smart production», technical bases of implementation of the concept of the Industry 4.0 and changes in model of management in the light of transition to «network production». *Results.* Information concerning features of the concept of the fourth industrial revolution implementation is provided in article. Perspective experience of digitalization of business and the production environment by the international companies, and also examples of domestic experience of introduction of this concept is considered. The main problems of introduction of the concept on the basis of the domestic enterprises are allocated and the directions of their decision, including on the basis of realization of collective innovations on the basis of creation of regional clusters are planned. The role of basic higher education institutions within a regional cluster is considered. *Conclusions.* Implementation of the concept of the Industry 4.0 on the basis of the Russian enterprises faces a number of system problems. Is basic of which unavailability of the production and information environment for transition to modern network technologies of interaction and work on the basis of open platforms. However, difficulties in re-equipment of production and introduction of modern information technologies can be solved by joint efforts due to integration of the branch enterprises into a cluster from transition to the concept of «network plant».

Key words: Industry 4.0, digitalization, «smart production», «network plant», customization, «Internet of things», National Technology Initiative, cluster, University 3.0.

Введение

К основным трендам промышленной революции относят: роботизацию производства, усовершенствованные человеко-машинные интерфейсы, моделирование и прогнозирование на основе продвинутой аналитики и технологий big data, интеллектуальные датчики и «интернет вещей», облачные вычисления и хранение данных, кибербезопасность, горизонтальную и вертикальную интеграцию рынков, дополненную реальность и 3D печать.

Переход мировых производителей к роботизированным производствам и концепции «умных фабрик» даст радикальный толчок к снижению себестоимости изделий. Современные технологии направлены преимущественно на ресурсосбережение, оптимизацию процессов и кастомизацию производства. Отставание в этой гонке чревато не просто потерями в конкурентоспособности, а значительным технологическим отставанием страны на мировых потребительских и промышленных рынках.

Практическая реализация концепции Индустрии 4.0 в России

Ведущие мировые промышленные предприятия активно переходят на принципы современной работы в соответствии с концепцией Индустрии 4.0. Однако реализация этой концепции на российских предприятиях все еще под большим вопросом. Много говорится о преимуществах и необходимости перехода на современные цифровые технологии. И руководители отечествен-

ных предприятий, несомненно, понимают ключевые преимущества цифровой организации производства. Однако реальная производственная и информационная база многих промышленных предприятий в России далека от возможностей внедрения современных корпоративных информационных систем (КИС) для автоматизации производственных процессов, не говоря о технологиях big data, цифровых моделях и прототипах – основах реализации концепции Индустрии 4.0.

Предыдущая промышленная революция – Индустрия 3.0 – была основана на автоматизации отдельных производственных процессов, в то время как Индустрия 4.0 основана на сквозной цифровизации всех физических активов предприятия и их интеграции в цифровую экосистему. Цифровая среда, или цифровая экосистема, включает в себя совместную ее организацию вместе с бизнес-партнерами, участвующими в цепочке создания стоимости. При этом результаты реализации концепции Индустрии 4.0 будут зависеть от уровня взаимодействия участников цифровой экосистемы, от уровня согласования процессов получения, обмена и анализа данных всех контрагентов общей экосреды бизнеса.

Концепция Индустрии 4.0 предусматривает цифровизацию и интеграцию всех процессов жизненного цикла изделий, начиная от процесса разработки и заканчивая процессами логистики и сервиса. Данные обо всех протекающих процессах, этапах производства, деталях, сборочных узлах и изделиях должны быть доступны авторизованным пользователям в режиме реального времени в рамках единой цифровой сети.

Интеграция бизнеса проходит не только в вертикальном, но и в горизонтальном направлении, охватывая всех бизнес-партнеров предприятия в рамках цепочки создания ценности. Потребители также включаются в единую интегрированную экосистему производства ценностей.

По данным консалтингового агентства PWC производители промышленных товаров из различных стран мира планируют до 2020 г. вкладывать в реализацию концепции Индустрии 4.0 около 907 млрд долл. США в год [1]. Главным образом инвестиции будут направлены на цифровые технологии, такие как датчики и устройства связи, а также на программы и приложения, такие как системы управления производством. Компании планируют выделять деньги на обучение своих сотрудников и реализацию организационных преобразований. Более половины респондентов, опрошенных PWC, считают, что их инвестиции в концепцию Индустрии 4.0 начнут приносить доход через два года или даже раньше с учетом того, что объем инвестиций в этих компаниях составляет 5 % от их годовой выручки.

По оценкам экспертов BCG доля цифровой экономики в России составляет 2,1 % – это в 1,3 раза больше, чем пять лет назад, но в 3–4 раза меньше, чем у лидеров рынка [2].

Новая промышленная революция дает возможность реализовать идею ухода от массового производства (кастомизацию) с одновременным радикальным снижением производственных затрат за счет роста эффективности организации производственных процессов и процессов обслуживания производства.

По словам Алексея Боровкова, проректора по перспективным проектам Санкт-Петербургского политехнического университета им. Петра Великого, это можно реализовать с помощью «роевых» технологий, когда роботы могут передавать о себе большие данные (Big Data) через сенсоры в «облако» и «договариваться» между собой [3].

В рамках темы четвертой промышленной революции много говорится о создании основ и развитии интернета вещей и интернета нановещей. Это касается промышленного внедрения технологий Индустрии 4.0, и речь будет идти о промышленном интернете. В рамках данного пространства датчики и сенсоры можно помещать на разные предметы и заставлять их «общаться» друг с другом. Например, через LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) – беспроводную сеть, которая работает на низких частотах и позволяет отправлять небольшие по объему данные на значительные расстояния (до 10 км). Работают они от батарей, которые надо менять лишь раз в десять лет. Подобная система датчиков может применяться в сфере оперативного управления процессами производства и диспетчирования деталей, сборочных узлов и изделий.

Основу реализации концепции Индустрии 4.0 в производстве составляют цифровые модели деталей, узлов и изделий.

В Германии еще с 2011 г. действует правительственная программа «Industrie 4.0». В центре Германии вокруг городов Билефельд и Падерборн создан кластер под названием it's OWL (Intelligent Technical Systems OstWestfalenLippe), который объединяет 173 компании, отрабатывающие на практике концепцию «умных фабрик». На заводе компании Siemens в Амберге осталось работать около 300 человек. Их заменила система SAP Manufacturing & Intelligence (SAP MI), консолидировавшая данные департаментов финансов, маркетинга, продаж, закупок, контроля качества и др. Beiersdorf также занялась вертикальной интеграцией потоков данных, формирующихся в производственных и коммерческих подразделениях. Процесс был реализован на базе B2MML (язык разметки связи между бизнесом и производством), по сути они сделали шаг в промышленный Интернет вещей. Компания Trumpf, которая производит станки для обработки металла, стала предлагать клиентам IT-платформу под названием Ахоот для объединения станков с датчиками в единую «экосистему», что создаст платформу для реализации технологий «умной фабрики».

Новая концепция основана на межмашинном взаимодействии (M2M). Индустрия 4.0 предполагает обмен данными между всеми участниками, которые задействованы в производственной цепочке: специалистами предприятия, оборудованием, ERP-системами, роботами, продуктами и т.д.

В соответствии с концепцией Индустрии 4.0 каждый выпускаемый продукт должен иметь свой «цифровой образ», т.е. вся информация о нем – чертежи и технология производства, правила эксплуатации, техобслуживания и утилизации – должна быть оцифрована и доступна для считывания устройствами и людьми. Применительно к производству это может выглядеть следующим образом: каждая деталь имеет метку (сделанную по RFID-

технологии и содержащую информацию обо всех операциях, которые необходимо с ней произвести). На каждом этапе технологической обработки, подходя к станку, деталь через RFID-метку «сообщает», что с ней делать, а после обработки автоматически перемещается на следующий производственный участок. При таком подходе операции могут быть максимально роботизированы.

«Цифровой образ» продукта можно рассматривать и как электронный паспорт изделия, в котором фиксируются все данные о материалах, испытаниях, произведенных операциях. Это позволяет отслеживать и гарантировать качество продукции. Крупные международные компании уже выпустили на рынок чипы для двусторонней коммуникации и другое оборудование для создания «умного производства». В данном направлении работают Eaton, Honeywell, Bosh и др. [4].

Благодаря интегрированным в продукцию чипам производитель сможет поддерживать связь с оборудованием, которое стоит у заказчика, и удаленно контролировать его работу. В дальнейшем прогнозируют создание систем удаленного технического обслуживания, которые будут позволять заблаговременно определить, что может выйти из строя. Производитель сможет заранее подготовить для заказчика комплект замены и провести ее.

Есть и некоторые положительные примеры перехода отечественных предприятий к технологиям Индустрии 4.0. Так, в прошлом году Металлоинвест и SAP запустили программу бизнес-трансформации, в ходе которой создается интегрированная корпоративная система управления. Она автоматизирует бизнес-процессы базовых производственных предприятий и управляющей компании, охватывая все уровни – от финансового, бухгалтерского и управленческого учета до управления производством, транспортной логистикой, ремонтами и закупками с учетом специфики отрасли. Всего планируется использовать 55 программных продуктов SAP [2].

Так есть ли возможности для массового применения в России технологий «умных фабрик» и положительной практики Индустрии 4.0? В настоящее время полномасштабное внедрение современных цифровых технологий под силу только ведущим мировым промышленным лидерам. Однако немецкие фабрики, объединяясь в кластер, дали возможность внедрить современные технологии не только таким гигантам, как Siemens, но и более мелким предприятиям.

По мнению Дмитрия Иванова, директора по инновационному развитию ОАО «НПО «Сатурн», российские компании столкнулись со сложностями при переходе на концепцию Индустрии 4.0, поскольку многие продукты пока не оцифрованы (полная информация об изделии не переведена в электронный вид, доступный PDM-системам). За рубежом этот этап, наиболее трудоемкий, уже пройден, что позволяет перейти от отдельных объектов к процессам и системам [2].

Коллективные инновации дают возможность малому и среднему бизнесу использовать преимущества цифровых технологий и комплексных решений, ранее доступных только промышленным гигантам.

Кооперация как возможность для внедрения технологий Индустрии 4.0

Кластеризация – вот реальная возможность отечественных предприятий для внедрения передового опыта мирового промышленного производства. Майкл Портер справедливо называл кластеризацию одним из путей для повышения конкурентных преимуществ не только отдельных компаний, но и целых стран. Если обратиться к ромбу (алмазу) М.Портера, видно, что в его основе лежит взаимосвязь между спросом и факторами производства, условия стратегического развития компаний и конкуренции, а также родственные и поддерживающие отрасли, включающие в себя кластеры предприятий.

В качестве основных преимуществ кооперации предприятий в рамках кластера можно отметить следующие:

- снижение издержек на техническое перевооружение, развитие инфраструктуры, подготовку кадров, НИОКР, сертификацию, вывод продукции на рынок и взаимодействие с потребителями;
- создание общего брэнда кластера, совместное участие в мероприятиях, конкурсах и закупках;
- совместное решение проблем загрузки производственных мощностей;
- объединение сил при решении задач быстрого освоения новой продукции, прототипирования и разработки цифровых моделей;
- получение государственной и целевой поддержки инновационных проектов кластера;
- совместное внедрение современных цифровых технологий, в том числе технологий «умного» производства для Индустрии 4.0.

Не все отечественные промышленные предприятия в состоянии позволить себе внедрение комплексных информационных систем типа ERP. Однако совместная реализация перехода на цифровое управление производством с широкой интеграцией бизнес-партнеров в рамках цепочки создания ценностей выглядит более реальной. Совместный переход на открытые платформы (Open Platform for Smart Manufacturing) дает возможность оптимизировать производственные цепочки с целью радикального повышения производительности и эффективности производства, качества и кастомизации продукции. Подобная совместная акция ведет к созданию единой интегрированной бизнес-модели кооперации предприятий – созданию технологического кластера.

При этом создается вертикальная сетевая структура бизнес-сотрудничества – единая сеть логистики, производства, маркетинга, сервисов, ориентированная под заказчиков. Осуществляется горизонтальная интеграция посредством создания сети бизнес-партнеров. Выполняется сквозное проектирование производственных цепочек в рамках жизненного цикла продукции. Высокая степень автоматизации процессов и качественные инструменты аналитики позволяют поддерживать высокий уровень децентрализации управления и распределения принятия решений, что позволяет всему кластеру опера-

тивно и гибко реагировать на рыночную динамику. Интероперабельность кластерной системы – это возможность взаимодействия человеко-машинных систем друг с другом на принципах «интернета вещей» и «интернета сервисов». Постоянная доступность сервиса и актуальной информации по прохождению заказа для потребителей посредством технологий промышленного «интернета вещей» реализуется на основе датчиков, информирующих о состоянии и движении заказа.

К совместным элементам кластера можно отнести:

- производственные мощности организаций;
- информационные технологии;
- кадровые ресурсы;
- объекты интеллектуальной собственности и компетенции;
- технологии;
- институты содействия бизнесу.

Кластерная работа дает возможность реализации инновационных проектов, проектов импортозамещения, ориентации на комплексное обслуживание потребителей и поддержания полного жизненного цикла продукции. Становится возможной реализация совместных проектов модернизации производства, в том числе на базе цифровых технологий четвертой промышленной революции.

Представляет практический интерес предложенная Удмуртским машиностроительным кластером концепция «Сетевой завод». Она предполагает, что участники производственной сети (кластера), имея средства автоматизированного планирования и контроля загрузки производственных мощностей, подают во внешнюю среду информацию о резервах загрузки производственной мощности. При наличии внешних потребностей эти мощности могут быть дозагружены за счет «сетевого» заказа. Для координации используется центр управления заказами «сетевого завода». В основе концепции лежит использование цифровой технологической платформы – совокупности программно-аппаратных средств обеспечения взаимодействия на основе облачных технологий, открытых данных, соответствующих приложений и сервисов. Вся информация о «сетевом заводе» хранится на облачных серверах и интегрирована с информационными системами участников «сетевого завода» [5].

Известен международный положительный опыт использования концепции гибкого производства (agile manufacturing) на основе кроссфункциональных производственных команд (производство вилок для коробок передач FAVI). Команды могут перемещаться между организациями кластера по мере необходимости, в зависимости от загруженности производственной системы [6].

В качестве мер господдержки работы регионального кластера обычно рассматривают создание образовательной инфраструктуры, деятельность по продвижению и участию в выставках, форумах и т.д., а также помощь в создании инновационной инфраструктуры и структуры стратегического управления кластером, содействие в привлечении инвестиций и закреплении прав собственности на разработки.

Роль университетов в создании экосреды для внедрения технологий Индустрии 4.0

Российская венчурная компания (РВК) и Агентство стратегических инициатив (АСИ) предложили Национальную Технологическую Инициативу, рассчитанную на формирование принципиально новых рынков и создание условий для глобального технологического лидерства России к 2035 г. Значительные задачи в соответствии с проектом НТИ были возложены на российские вузы. Для обозначения ключевых изменений в функционировании вузов в НТИ предложен термин Университет 3.0.

В соответствии с предложенной классификацией Университет 1.0 отвечает за трансляцию знаний, подготовку кадров, социальный лифт, реализацию образовательных стандартов, разработку методик и методических материалов. В число функций Университета 2.0 входят, кроме вышеперечисленного, генерация новых знаний, консалтинг и выполнение НИР для бизнеса, создание технологий «на заказ».

Университет 3.0 должен реализовать коммерциализацию технологий, предпринимательскую деятельность, создание компаний (spin-out), управлять правами интеллектуальной собственности, развивать предпринимательскую экосистему и городскую среду.

В программе «Университеты 3.0 в НТИ» университеты рассматриваются как центр экосистем бизнеса. В основе их деятельности лежит по-прежнему образование, в качестве новых видов деятельности добавлены отраслевая кооперация, развитие партнерства и организация двухстороннего диалога рынка и талантов, синхронизация запросов бизнеса и возможностей академического сообщества.

Предлагается концепция университетов-хабов по выстраиванию цепочки роста стоимости интеллектуальной собственности от исследований до продукта, компаний и лицензий через развитие кооперации с бизнесом. Ориентировочная структура регионального промышленного кластера показана на рис. 1.

Опорный вуз в структуре регионального кластера может выполнять следующие функции:

- обучение и переобучение персонала;
- разработка перспективных видов продукции;
- НИОКР по заказам кластера;
- решение вопросов стандартизации и сертификации;
- консалтинг и разработки в области информационных технологий;
- интеграция и взаимодействие с зарубежными вузами и деловыми партнерами за рубежом, организация стажировок и деловых поездок;
- стратегическое планирование деятельности кластера;
- перспективные научные исследования и разработки.

При переходе промышленных предприятий кластера на концепцию Индустрии 4.0 вуз может выступать в качестве системного интегратора перехода промышленных предприятий на единую открытую информационную платформу, организовать обучение специалистов и оказывать помощь по созданию «цифровых образов» деталей и продукции предприятия.

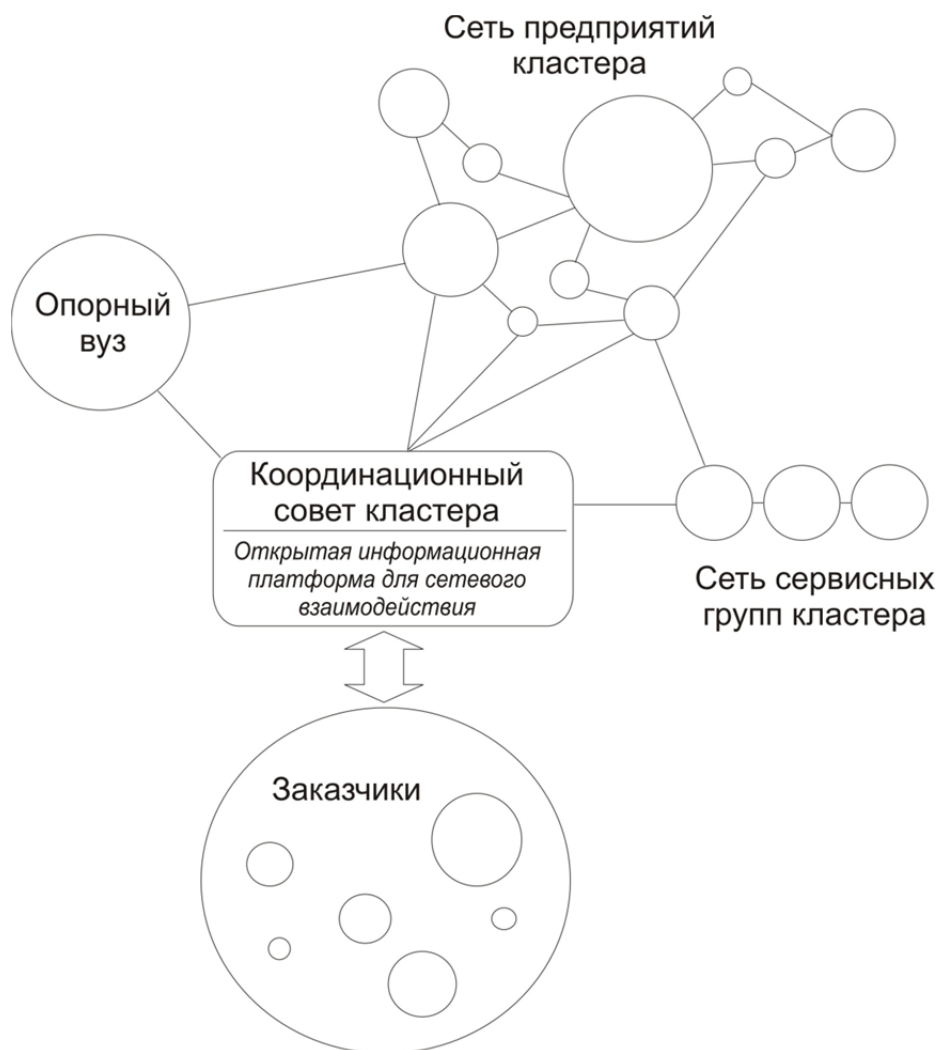


Рис. 1. Структура регионального промышленного кластера

Таким образом, в рамках регионального кластера опорный вуз играет роль проводника инноваций и связующего звена между наукой, бизнесом и потребителями.

Заключение

Рассмотренные примеры реализации концепции Индустрии 4.0 зарубежными компаниями демонстрируют международный опыт заблаговременного планирования и ответственного отношения к вопросам оптимизации производства и конкурентоспособности предприятий и отраслей. Они показывают путь постепенного поиска возможностей для проведения инноваций и внедрения современных подходов, опыт сетевой работы с заказчиками и кастомизации продуктов. Отечественная промышленность постепенно подходит к применению лучших практик зарубежного промышленного производства, сетевого взаимодействия, организации научной и образовательной

деятельности и необходимости их адаптации к современным отечественным условиям.

Библиографический список

1. Всемирный обзор реализации концепции «Индустрия 4.0» за 2016 год. – URL: http://www.pwc.ru/ru/technology/assets/global_industry-2016_rus.pdf
2. Революция в действии: переход к «Индустрии 4.0» // Iron Magazine. – 2016. – № 2. – URL: <http://www.up-pro.ru/library/strategy/management/dejstvie-industriya.html> (дата обращения: 29.01.2017).
3. Новая промышленная революция «Индустрия 4.0». – URL: http://b3-g.ru/174_novaya-promishlennaya-revolutsiya-industriya-4.0.html
4. Зубкова, Е. «Индустрия 4.0»: эра машин приближается / Е. Зубкова // Интернет-портал сообщества ТЭК. – URL: <http://www.energyland.info/analitic-show-141739> (дата обращения: 28.01.2017).
5. Информация Удмуртского машиностроительного кластера. – URL: <http://clusters.monocore.ru/cluster/299>
6. Лалу, Ф. Открывая организации будущего / Ф. Лалу ; пер. с англ. В. Кулябиной. – М. : Манн, Иванов и Фербер, 2016. – 432 с.

Щетинина Наталья Юрьевна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра менеджмента
и экономической безопасности,
Пензенский государственный
университет
E-mail: nataly_sh@bk.ru

Shchetinina Natalia Yurievna

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of management
and economic security,
Penza State University

УДК 330.34

Щетинина, Н. Ю.

Индустрия 4.0: практические аспекты реализации в российских условиях /
Н. Ю. Щетинина // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. –
2017. – № 1 (21). – С. 75–84.

РАЗДЕЛ 2

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, МЕХАНИЗМЫ В ТЕХНИКЕ

УДК 543.08

ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЖИДКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

*А. Л. Брякин, А. В. Липов, С. В. Кочкин,
В. В. Кожевников, А. В. Ординарцев*

EQUIPMENT AND METHODS OF MEASUREMENT DENSITY OF LIQUID PETROLEUM PRODUCTS

*A. L. Brjakin, A. V. Lipov, S. V. Kochkin,
V. V. Kozhevnikov, A. V. Ordinartsev*

Аннотация. *Актуальность и цели.* Для учета количества жидких нефтепродуктов при производстве, транспортировании, хранении и продаже одним из контролируемых параметров является их плотность. Основными требованиями, предъявляемыми к оборудованию и методикам определения плотности, являются высокая точность в измеряемом диапазоне и оперативность проведения измерений при относительно невысокой стоимости. В связи с этим разработка конструкции экспериментального образца датчика и методики определения плотности, позволяющих более точно и оперативно проводить измерения в реальных условиях и при невысокой стоимости, является актуальной задачей. *Материалы и методы.* Поставленная задача была реализована путем анализа существующих способов и оборудования для измерения плотности жидкостей, использования инженерных методов проектирования технологического оборудования и разработки электронных схем измерений и управления. *Результаты.* Разработаны конструкции экспериментального образца датчика и стенда для определения плотности светлых нефтепродуктов, а также методика проведения измерений. Приведены направления совершенствования конструкции датчика и оборудования для повышения качества измерений. Проведены экспериментальные исследования, подтверждающие работоспособность оборудования. *Выводы.* Полученные результаты позволяют разрабатывать конструкции промышленных датчиков, оборудования и соответствующих методик проведения измерений плотности светлых нефтепродуктов, находящихся в реальных условиях.

Ключевые слова: нефтепродукты, датчик, плотность, измерения.

Abstract. *Background.* To track the number of liquid petroleum products during transportation, storage and sale of one of the controlled parameters is density. The basic requirements to the equipment and methods for determining density are the high accuracy in the measured range and speed measurements at relatively low cost. In this regard, the design of the prototype sensor (densimeter) and methods for determining density, to more ac-

curately and quickly carry out the measurement, compared to existing equipment, for the same cost, is an urgent task. *Materials and methods.* Task implementation was carried out by literature analysis and patent search of existing methods and equipment for measuring the density of liquids, the use of engineering methods of designing of technological equipment and development of electronic circuits for measurement and control. *Results.* The developed structure of the sensor (densimeter) and stand to determine density of liquid petroleum products consisting of measuring and electrical parts, and methods of measurement. Given the direction of improving sensor design, electrical and measuring parts of the stand to improve the quality of measurements. Experimental studies demonstrate the efficiency of the equipment. *Conclusions.* The obtained results allow to develop the design of industrial sensors, test benches and relevant methods of measurement of density of liquid petroleum products in the real world.

Key words: petroleum products, sensor, density, measurement.

Введение

Для учета массы жидких нефтепродуктов при их производстве, транспортировании, хранении и продаже существует несколько методов ее измерения [1]. При этом основными требованиями, предъявляемыми к оборудованию и методикам проведения таких измерений, являются высокая точность, универсальность и оперативность при невысокой стоимости по сравнению с существующими аналогами. Одним из методов, обеспечивающих оперативность проведения измерений в реальных условиях в любых емкостях с достаточной точностью, является косвенный метод, основанный на определении плотности и объема нефтепродуктов. Масса определяется как произведение объема на плотность. Значительное влияние на погрешность определения массы оказывает точность измерения плотности.

В настоящее время из способов определения плотности в реальных условиях наибольшее распространение получили способы на основе полностью погруженного поплавка [2–4]. Основным элементом оборудования (плотномер), реализующего этот способ, является датчик. При этом различают компенсационные плотномеры и плотномеры с перемещающимся поплавком. В первом случае на поплавок, кроме сил тяжести и Архимеда, действует усилие от компенсирующего элемента, например, пружины, пневматического преобразователя и др. При этом поплавок при измерениях практически не перемещается, а плотность жидкости определяют по величине усилия от компенсирующего элемента. Относительно невысокую точность измерений такими плотномерами можно объяснить необратимым воздействием компенсирующих элементов (трением, деформацией и т.д.).

В плотномерах с перемещающимся поплавком, на который при измерениях, кроме сил тяжести и Архимеда, действуют и другие усилия (например, от нескольких симметрично прикрепленных к нему цепочек, другие концы которых прикреплены к неподвижному элементу), удастся несколько избежать необратимых воздействий, что повышает точность измерений [5].

Предложено для исключения указанного недостатка воздействовать на поплавок, кроме сил тяжести и Архимеда, электромагнитной силой, приложенной бесконтактно.

Разработка конструкции датчика

Разработка конструкции датчика проводилась исходя из следующих соображений. Датчик должен быть цилиндрической формы (форма и размер датчика должны обеспечивать возможность его установки в технологические отверстия стандартных резервуаров для хранения и транспортирования нефтепродуктов) и состоять из верхней и нижней частей. Верхняя часть должна быть герметичной, а нижняя – представлять негерметичный контейнер с расположенным в нем поплавком. В верхней части следует располагать электромагнит и разъем для подключения к электронной схеме, которые для электробезопасности должны быть залиты компаундом.

Параметры поплавка необходимо подбирать таким образом, чтобы он оставался затопленным в жидкости с минимальной плотностью. Центр масс поплавка не должен совпадать с его геометрическим центром, поскольку он должен быть ориентирован определенной стороной вверх. На этой стороне поплавка следует закреплять якорь из магнитомягкого материала с несколькими выступами для фиксации величины магнитного зазора между поплавком и сердечником электромагнита. При проведении измерений затопленный поплавок будет притягиваться электромагнитом вверх. Для автоматического центрирования поплавка относительно вертикальной оси электромагнита его якорь должен иметь поверхность, взаимнообратную по форме ответной части сердечника электромагнита. При плавном увеличении напряжения в электромагните после погружения датчика в жидкость следует добиваться начала перемещения поплавка. В этот момент величина силы тяжести $F_{\text{тяж}}$, действующая на поплавок, равна сумме величин сил Архимеда $F_{\text{арх}}$ и притяжения электромагнита $F_{\text{эм}}$, т.е. $F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} + F_{\text{эм}}$.

Из этого соотношения определяется величина плотности исследуемого нефтепродукта:

$$\rho = \frac{m}{V} - \frac{BIS}{2\mu Vg},$$

где m , V – масса и объем поплавка; g – ускорение свободного падения; B – индуктивность электромагнита; S – площадь сердечника электромагнита; μ – магнитная проницаемость нефтепродукта; I – сила тока, соответствующая поданному на электромагнит напряжению.

Из приведенной зависимости видно, что определяемая плотность пропорциональна силе тока.

В конструкции датчика необходимо предусмотреть ограничитель перемещения поплавка, обеспечивающий такую ее максимальную величину, которая позволяла бы притягивать поплавок электромагнитом при измерении плотности требуемых нефтепродуктов. В верхней части датчика должно быть предусмотрено устройство для его крепления.

Разработка конструкции экспериментального образца датчика проводилась для определения плотности светлых нефтепродуктов, к которым относятся бензин и дизельное топливо различных марок.

На рис. 1 приведена разработанная конструкция датчика, состоящего из элементов корпуса 2, 5, и 9, соединенных между собой посредством шпилек 3 и гаек 10. На поплавке 8 через опорную пластину 7 закреплен якорь 6. Между элементами корпуса 2 и 5 установлен электромагнит 4. Крепление датчика к тросу обеспечивается крюком 1.

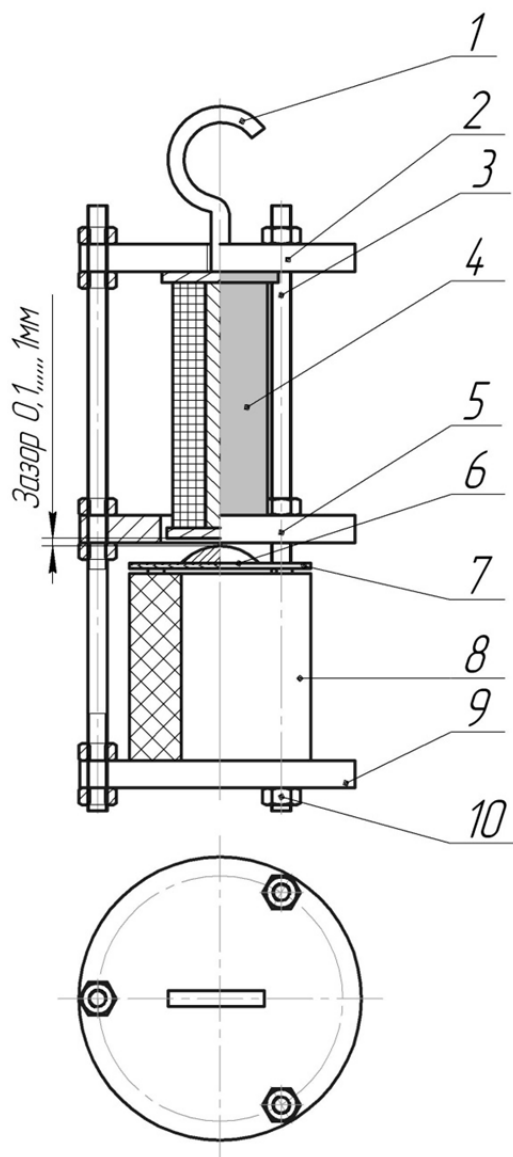


Рис. 1. Конструкция экспериментального образца датчика

Для определения плотности светлых нефтепродуктов в вышеуказанном диапазоне поплавков был выполнен из пенополиуретана. Для возможности изменения веса поплавок без смещения центра тяжести от его вертикальной оси он был выполнен полым с возможностью установки в нем на оси стальных шайб.

Внешний вид датчика приведен на рис. 2; его диаметр – 50 мм, длина – 250 мм. Для контроля положения поплавка в момент начала его движения в конструкции экспериментального образца предусмотрено использование оптического датчика.



Рис. 2. Внешний вид экспериментального образца датчика

Внешний вид стенда для измерения плотности нефтепродуктов на основе экспериментального образца датчика приведен на рис. 3. Он состоит из датчика, электронной части, компьютера ASUS EeePC и вспомогательных приспособлений. При измерениях плотности проводится видеосъемка поведения поплавка в жидкости.

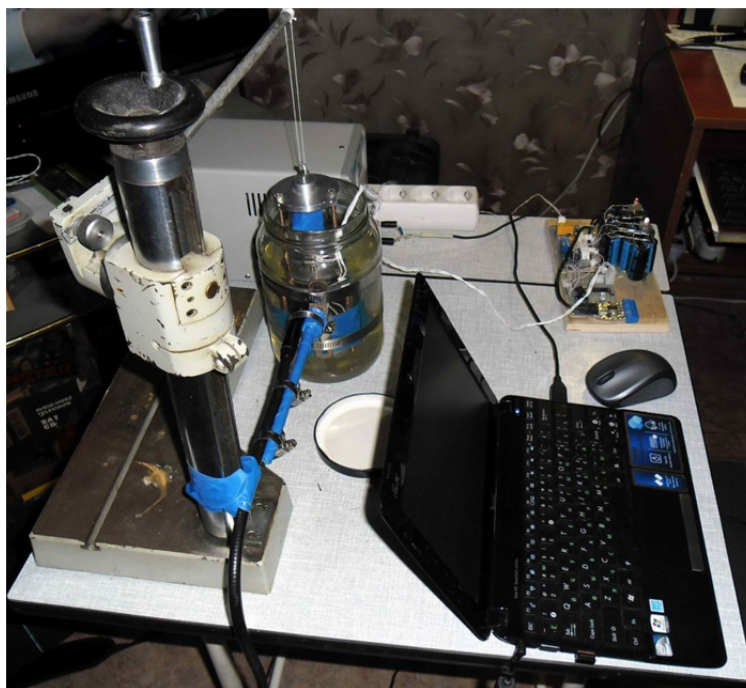


Рис. 3. Общий вид стенда для определения плотности нефтепродуктов

Стенд, методика проведения и результаты экспериментальных исследований

Поскольку плотность нефтепродукта пропорциональна силе тока в катушке, то при увеличении напряжения, подаваемого на электромагнит, фиксировали соответствующую величину силы тока. При этом по сигналу с оптического датчика определяли момент начала движения поплавка.

На рис. 4. приведен сигнал с оптического датчика, позволяющий определять величину силы тока в катушке в момент начала движения поплавка. По оси Y откладывается шкала расстояний между якорем и сердечником в условных единицах, по оси X – шкала отсчетов. По номеру отсчета уточняется значение силы тока в момент начала движения поплавка, которое определяет плотность измеряемого нефтепродукта.

Управление процессами измерений и обработкой полученной информации в стенде производится электронной схемой, основой которой является контроллер.

Для подключения измерительной платы к компьютеру используется специальный преобразователь, подключенный к USB-порту компьютера. Питание платы осуществляется от внешнего блока питания постоянным напряжением 25 В. Информация в контроллер поступает по двум каналам: от оптического датчика положения поплавка и измеренного значения силы тока на катушке электромагнита. Измерительная система стенда позволяет настраивать задержку по времени между подачами тока на катушку, а также смену полярности электромагнита (для минимизации остаточной намагниченности сердечника катушки).

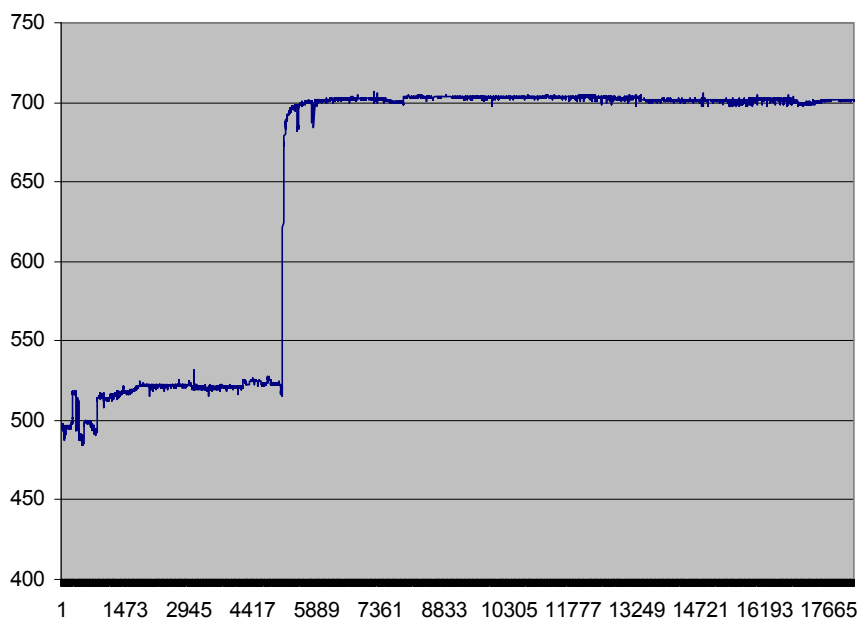


Рис. 4. Вид сигнала с оптического датчика

Для определения абсолютной погрешности измерений с учетом масштабного коэффициента необходимо узнать плотность двух нефтепродуктов. В связи с этим экспериментальные исследования проводились с использованием бензина марки А92 (ГОСТ 31072–2002) и дизельного топлива (ГОСТ Р 52368–2005) с соответствующими значениями плотности 724,37 и 822,5 кг/м³, определенными отборными способами [6].

Для проведения исследований использовался датчик со стальным якорем сферической формы с величиной зазора от 0,1 до 1 мм. Температура исследуемых жидкостей составляла 20 °С. На катушку электромагнита первоначально подавалось рабочее напряжение 15 В. Время между выдачей предыдущих результатов и началом нового измерения составляло 300 с. Исследования проводились парами при прямой и обратной полярности подключения электромагнита сериями по 20 измерений в каждой.

Расчет абсолютной погрешности измерений проводился в следующей последовательности:

1. Определялось математическое ожидание значения силы тока в момент начала перемещения поплавка:

$$I_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n},$$

где I_i – величина силы тока при i -ом измерении; $n = 20$ – количество измерений.

2. Определялось стандартное отклонение (на основе несмещенной оценки дисперсии) значений силы тока для каждой серии

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (I_{\text{ср}} - I_i)^2}.$$

3. Проводился расчет масштабного коэффициента:

$$K = \frac{\rho_{\text{бенз}} - \rho_{\text{дт}}}{I_{\text{ср. бенз}} - I_{\text{ср. дт}}},$$

где $\rho_{\text{бенз}}$ и $\rho_{\text{дт}}$ – соответственно плотности бензина и дизельного топлива; $I_{\text{ср. бенз}}$ и $I_{\text{ср. дт}}$ – соответственно математическое ожидание значений силы тока для бензина и дизельного топлива.

4. Определялась абсолютная погрешность при условии, что ошибки распределяются по нормальному закону

$$\Delta = 3sK.$$

Расчеты абсолютной погрешности измерений плотности бензина марки А92 и дизельного топлива показали, что ее величина не превышает $\pm 0,83$ %. Эти исследования подтвердили работоспособность предлагаемой конструкции датчика. Однако известно, что в некоторых случаях для более точного расчета массы нефтепродукта в резервуаре необходимо определение значения средней плотности нефтепродукта с погрешностью не более $\pm 0,25 \dots \pm 0,35$ % [1]. В связи с этим необходимо проанализировать методику измерения плотности, конструкцию датчика и определить направления их совершенствования.

Анализ конструкции датчика и направления его совершенствования

В некоторых случаях при определении плотности нефтепродукта необходимо изменять диапазон или точность измерений. Для реализации определенных требований к проведению измерений необходимо рассматривать конкретные ситуации. При этом следует учитывать некоторые рассуждения.

Диапазон измерения зависит от параметров поплавка и усилия, создаваемого электромагнитом. При этом нижнее его значение задается усилием электромагнита и, соответственно, полностью определяется конструкцией датчика. Верхнее значение диапазона определяется массой и объемом поплавка, по которым можно рассчитать такую его плотность, которая будет определять максимальную плотность измеряемой жидкости. При большей ее величине поплавки всплывет и проведение измерений будет невозможным.

На погрешность измерения плотности нефтепродуктов в реальных условиях значительное влияние оказывает их температура. Для исключения температурных погрешностей необходимо пользоваться таблицами, приведенными в [6].

Для более точного определения плотности нефтепродуктов в емкостях необходимо знать неравномерность распределения температуры по их высоте. Это происходит при изменении температуры окружающей среды, наступлении дня или ночи, сливе в резервуар железнодорожных цистерн и т.д. Например, во втором случае температура нефтепродукта в верхней и нижней

части емкости может отличаться на 3–8 °С, в третьем – на 10–15 °С. По рекомендациям [1] в таком случае следует измерять плотность и объем слоев нефтепродукта с одинаковой температурой и вычислять его массу как сумму масс всех слоев.

Значительное влияние на погрешность измерения плотности нефтепродукта оказывает термостабильность плотномера.

В предложенной схеме измерения возникающая погрешность определяется тремя ее составляющими: магнитной, механической и электронной.

Величина магнитной составляющей определяется изменением намагниченности и магнитной проницаемости материалов сердечника катушки и якоря в зависимости от температуры. При этом изменение габаритных размеров сердечника и якоря незначительно влияет на точность измерений и им можно пренебречь. Анализ возможных и доступных материалов для изготовления сердечника катушки показал, что наиболее подходящим материалом является феррит. Однако при этом необходимо контролировать уменьшение величины усилия, действующего на якорь.

Величина механической составляющей определяется изменением величины зазора между якорем и сердечником от температуры и погрешностью их позиционирования относительно друг друга, что приводит к изменению усилия притягивания. Оценку изменения размеров якоря и сердечника от температуры ΔL следует проводить по известной зависимости

$$\Delta L = L \Delta t \alpha,$$

где L – соответствующий линейный размер якоря или сердечника; Δt – диапазон изменения температуры; α – температурный коэффициент расширения их материалов.

Погрешность позиционирования якоря и сердечника относительно друг друга зависит от величины зазора между ними. При этом также, как и изменение его величины от температуры, она определяется конструкцией датчика и видом крепления якоря и сердечника.

Величина электронной составляющей определяется точностью преобразования силы тока в напряжение в электромагнитной катушке и точностью преобразования этого напряжения в цифровую форму. Установлено, что величина этой составляющей в основном определяется температурной погрешностью токоизмерительного сопротивления и может быть уменьшена применением индивидуальной термокалибровки измерительной части стенда или использованием сопротивления с более высокими термостабильными характеристиками.

Для оценки погрешности определения плотности предлагаемым оборудованием и методикой измерений с изменением температуры нефтепродуктов необходимо проведение дальнейших исследований. Кроме того, предлагаемая конструкция датчика с некоторыми доработками, связанными с обеспечением взрывозащиты, может быть использована для более точного определения плотности сжиженных углеводородных газов (СУГ). С учетом относительно невысокой стоимости предлагаемых датчиков они могут быть стационарно установлены в различных местах емкости для размещения СУГ,

а разъемы должны быть доступны для подключения оборудования и проведения измерений.

Заключение

Разработаны конструкции экспериментального образца датчика, стенда и методики определения плотности светлых нефтепродуктов, которые могут более точно и оперативно проводить измерения.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили работоспособность предлагаемого оборудования.

Приведены направления совершенствования конструкции датчика и электронной части стенда для повышения качества проводимых измерений.

Полученные результаты с проведением дополнительных экспериментальных исследований позволят разрабатывать конструкции промышленных датчиков, оборудования и соответствующих методик проведения измерений плотности нефтепродуктов, находящихся в реальных условиях.

Библиографический список

1. Терешин, В. И. Сравнительный анализ существующих методов измерений массы светлых нефтепродуктов в резервуарах / В. И. Терешин, А. С. Совлуков // Актуальные вопросы метрологического обеспечения измерений расхода и количества жидкостей и газов : тр. IV Междунар. метрологич. конф. – Казань : Мир без границ, 2016. – С. 70–75.
2. Гаузнер, С. И. Измерение массы, объема и плотности / С. И. Гаузнер, С. С. Кивилис, А. П. Осокина, А. Н. Павловский. – М. : Издат. стандартов, 1982. – 528 с.
3. Кивилис, С. С. Плотномер / С. С. Кивилис. – М. : Энергия, 1980. – 279 с.
4. Трохан, А. М. Гидроаэрофизические измерения / А. М. Трохан. – М. : Издат. стандартов, 1981.
5. Хансуваров, К. И. Техника измерения давления, расхода, количества и уровня жидкости, газа и пара / К. И. Хансуваров, В. Г. Цейтлин. – М. : Издат. стандартов, 1990.
6. ГОСТ 3900–85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. – URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4294824/4294824357.pdf>

Брякин Алексей Леонидович

кандидат технических наук, ведущий
научный сотрудник,
ООО НПП «Сенсор»
E-mail: alexalb@crowd.ru

Brjakin Aleksey Leonidovich

candidate of technical sciences,
leading researcher,
Scientific and Production Enterprise
«Sensor»

Липов Александр Викторович

кандидат технических наук, профессор,
заведующий кафедрой компьютерного
проектирования технологического
оборудования,
Пензенский государственный
университет
E-mail: mrs@pnzgu.ru

Lipov Alexander Viktorovich

candidate of technical sciences, professor,
head of sub-department of computer aided
design of technological equipment,
Penza State University

Кочкин Сергей Вячеславович

кандидат технических наук

E-mail: ksvp@rambler.ru

Kochkin Sergey Vyacheslavovich

candidate of technical sciences

Кожевников Вячеслав Владимирович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра компьютерного проектирования
технологического оборудования,
Пензенский государственный
университет

E-mail: redans@yandex.ru

Kozhevnikov Vyacheslav Vladimirovich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computer aided design
of technological equipment,
Penza State University

Ординарцев Александр Владимирович

студент,

Пензенский государственный
университет

E-mail: 19_alex_94@list.ru

Ordinartsev Alexander Vladimirovich

student,

Penza State University

УДК 543.08

Оборудование и методика определения плотности жидких нефтепродук-
тов / А. Л. Брякин, А. В. Липов, С. В. Кочкин, В. В. Кожевников, А. В. Ординарцев // **Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе.** – 2017. – № 1 (21). – С. 85–95.

**АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
БИОИМПЕДАНСА**

А. Ю. Грачев, О. В. Карпанин, Е. А. Печерская

**HARDWARE – SOFTWARE COMPLEX FOR AUTOMATED
BIOIMPEDANCE MEASUREMENTS**

A. Yu. Grachev, O. V. Karpanin, E. A. Pecherskaya

Аннотация. *Актуальность и цели.* Биоимпедансный анализ является одним из способов диагностики состава тела. Однако возможность его широкого практического применения ограничена методами измерений и метрологическими характеристиками средств измерений. В данной статье предложены способы минимизации инструментальных, методических и субъективных составляющих погрешности измерений биоимпеданса с помощью разработанного автоматизированного аппаратно-программного комплекса. *Материалы и методы.* В статье детально изложена структура аппаратной части автоматизированного комплекса, схемотехническое решение источника зондового тока, от реализации которого зависят методические и инструментальные погрешности результатов измерений. *Результаты.* На основе предложенной электрической эквивалентной модели исследуемого объекта в виде RC-цепей и моделирования процесса измерений в среде ElectronicsWorkbench достигнута минимизация методической погрешности измерения импеданса, обусловленной влиянием паразитной емкости исследуемого объекта. *Выводы.* Аппаратно-программный комплекс позволяет измерять биоимпеданс в автоматизированном режиме на частотах от 300 Гц до 2 МГц с основной относительной погрешностью, не превышающей $\pm 0,1$ %. Снижение случайной погрешности достигается многократными измерениями с последующей обработкой результатов измерений; субъективные погрешности исключены благодаря автоматизации измерений.

Ключевые слова: биоимпеданс, аппаратно-программный комплекс, метрологический анализ, источник тока, снижение погрешности.

Abstract. *Background.* Bioimpedance analysis is one of ways of diagnosing body composition. However, the possibility of its wide practical application is limited by metrological characteristics of measuring instruments. Ways to minimize tool, methodical and subjective components of bioimpedance measurement error using the developed automated hardware and software system are described. *Materials and methods.* The structure of the hardware of the computer-aided complex and circuit solution of the probe current source are offered in the article. Methodological and instrumental errors of the measurement results depend from the implementation of its. *Results.* The methodological errors of impedance measurement are minimized due to the proposed electrical equivalent model of the object in the form of RC – circuit simulation and model of measurement process in the Electronics Workbench. *Conclusions.* Hardware-software complex allows to measure bioimpedance in automatic mode at frequencies from 300 Hz to 2 MHz with the basic relative error not exceeding $\pm 0,1$ %. Except for the occasional error is achieved by multiple measurements with subsequent processing of measurement results; subjective errors are excluded due to automation of measurements.

Key words: bioimpedance, hardware-software complex, metrological analysis, current source, reducing errors.

Введение

Разработка современных методов диагностики и лечения – это задача, находящаяся на стыке различных научных направлений, таких как физика, медицина, химия, информатика, системный анализ, электроника. Биоимпедансный анализ (БИА) является одним из наиболее доступных в настоящее время методов клинического и амбулаторного анализа состава тела, в том числе объема жидкости (внеклеточной, внутриклеточной и жидких веществ, находящихся в связанном состоянии). По технико-экономическим показателям БИА сравним с такими распространенными методами исследований, как электрокардиография, дыхательная и реографическая диагностика. Благодаря возможностям анализа большого спектра физиологических параметров БИА способен дополнить клинические характеристики методов функциональной диагностики, а также заменить ряд сложных и дорогостоящих методов, основанных на разведении индикаторов, рентгеновской денситометрии и др. [1].

На современном этапе развития аппаратных и программных средств значительно расширились возможности применения биоимпедансного анализа, увеличился перечень как уже реализованных, так и перспективных применений. Однако до сих пор актуальными являются метрологические проблемы, связанные с точностью измерений. На это указывает и то, что существующая аппаратура не удовлетворяет современным требованиям по широкополосности представления амплитудно- и фазочастотной характеристик и быстродействию. Проведение измерений в реальных условиях сопряжено с наличием широкополосного помехового фона, значения которого на частотах, близких к частотам измерения, могут вносить погрешность, обусловленную влиянием непосредственно на кабели и элементы самой измерительной системы [2]. Таким образом, могут возникать погрешности определения биоимпеданса. Помимо этого, на пропуск неоднородностей в составе тела влияет количество измерительных частот (в существующей аппаратуре используется от трех до пяти значений частот, в единичных случаях больше), что недостаточно для выявления в исследуемом объекте слабо выраженных неоднородностей или анализа более сложных объектов [3].

Разработка методов локального анализа состава биотканей является наиболее перспективной. Биоимпедансные анализаторы с возможностью программирования набора измерений являются необходимой технической основой для реализации этого направления. Проблема локализации электродов и выбора схемы измерений биоимпеданса для заданного сегмента тела зачастую указывает на необходимость:

- осуществления математического анализа [4], включающего моделирование протекания токов в трехмерных объектах с неоднородной проводимостью и выполнения большого объема экспериментальных исследований;
- разработки специальных электродов, исключающих субъективную погрешность специалиста при их наложении [5].

В данной статье предложена структура аппаратной части комплекса, позволяющего проводить автоматизированные измерения биоимпеданса; детально рассмотрено устройство источника зондирующего тока и предложены способы стабилизации тока, втекающего в исследуемый объект; описано аппаратное решение минимизации методической погрешности измерений биоимпеданса, обусловленной влиянием паразитной емкости исследуемого объекта.

Структура аппаратно-программного комплекса автоматизированных измерений биоимпеданса

Предлагаемый аппаратно-программный комплекс автоматизированных измерений биоимпеданса дает возможность реализовать широкий комплекс методик для различных медицинских направлений. Одной из особенностей данного прибора является подключение к ЭВМ при проведении измерений, так как полноценное выполнение необходимых для профессиональной аппаратуры функций, таких как автоматические измерения и сохранение результатов в базе данных, отображение и вывод на печать информативных протоколов и графиков, невозможно без использования компьютера.

Метрологический анализ макета аппаратно-программного комплекса автоматизированных измерений биоимпеданса, рассмотренного в [6], позволил достичь снижения инструментальных, методических и субъективных погрешностей измерений. С целью автоматизации измерений разработано программное обеспечение, позволяющее управлять работой спектрометра, обрабатывать экспериментальные данные.

Рассмотрим детально структуру аппаратной части комплекса, представленную на рис. 1. Прибор конструктивно реализован в виде измерительного блока с подключаемой к нему системой электродов. Интерфейсный модуль обеспечивает взаимосвязь с персональным компьютером (ПК) по интерфейсу *USB*. Измерительный блок питается от сети переменного тока. Согласно требованиям по электробезопасности медицинских изделий в линиях обмена информацией и цепях питания реализована гальваническая развязка, что также позволяет заметно снизить влияние помех. Измерение происходит по тетраполярной схеме, поэтому к прибору подключаются два токовых и два потенциальных электрода. Подобная схема обеспечивает наиболее точное измерение тока и напряжения на объекте.

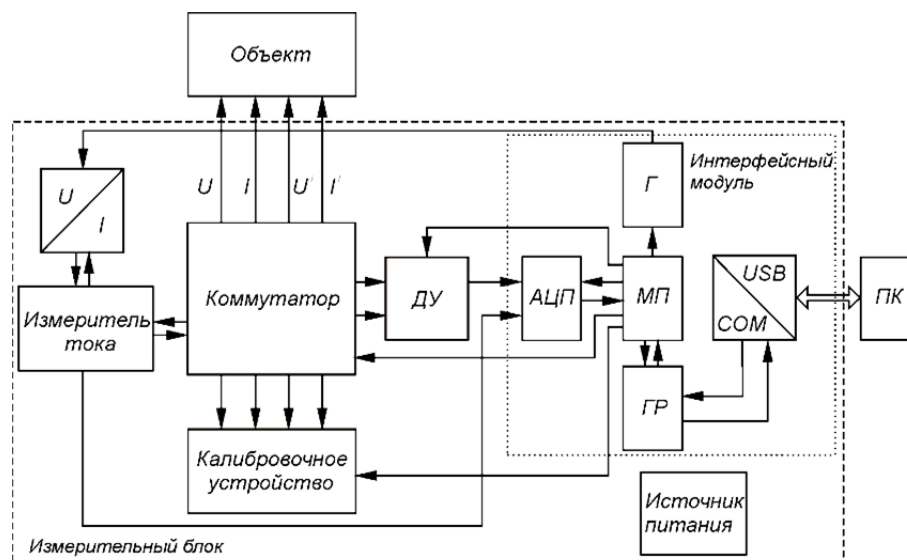


Рис. 1. Структурная схема биоимпедансного спектрометра:
ГР – гальваническая развязка; ДУ – дифференциальный усилитель;
Г – генератор; МП – микропроцессор

В отличие от многих стандартных измерителей импеданса, использование независимых источника тока и дифференциального усилителя позволяет работать с объектом, обладающим большим сопротивлением между токовыми и потенциальными электродами. Кожный покров тела создает именно такую специфику измерения импеданса. С целью расширения частотного диапазона и снижения погрешности применяются современные интегральные микросхемы фирмы *AnalogDevices*: микроконтроллер ADUC841, быстродействующие операционные усилители AD8156, дифференциальные усилители AD8130. Зондирующий ток синусоидальной формы задается цифровым синтезатором AD9834. В схеме используется метод прямого цифрового синтеза, обеспечивающий высокую точность задания и стабильность частоты, амплитуды и формы зондирующего тока. Для повышения точности на высоких частотах измеряется полусумма втекающего и вытекающего тока, что позволяет снизить влияние тока утечки через паразитную емкость тела относительно окружающего пространства. Перед каждым измерением производится автоматическая калибровка прибора по модели тела, составленной из прецизионных элементов. Значения комплексного коэффициента передачи измерительного канала, полученные в результате калибровки, используются для частотной коррекции результатов измерений импеданса, тем самым устраняя частотную нелинейность схемы. Прибор позволяет устанавливать и варьировать количество многократных измерений на каждой частоте от 1 до 16 раз, что позволяет снизить случайные погрешности измерений, в том числе методические, связанные с влиянием кровообращения и дыхания исследуемого организма. По результатам измерения импеданса рассчитываются параметры многоэлементной электрической модели объекта исследования, а также определяются параметры его математической модели.

По результатам измерений проводится косвенное определение импеданса $\bar{Z}$ на основе аппроксимации экспериментальных данных по модели Коула в соответствии с выражением

$$\bar{Z} = R_{\infty} + \frac{R_0 - R_{\infty}}{1 + (j\omega\tau_z)^{\alpha}},$$

где R_{∞} – сопротивление на бесконечно большой частоте; R_0 – сопротивление на нулевой частоте; α – безразмерный параметр; τ_z – постоянная времени; ω – круговая частота.

Результаты измерений зависимости модуля импеданса от частоты наглядно показаны на рис. 2 в виде сплошных линий; пунктирными линиями показаны частотные зависимости угла сдвига фаз $\text{tg}\phi$. Для минимизации случайной погрешности проведены многократные измерения. На рис. 2 показан случай троекратных измерений, при этом имеет место высокая сходимость результатов измерений.

Разработанный биоимпедансный спектрометр обладает следующими техническими характеристиками:

- частотный диапазон: от 300 Гц до 2 МГц;
- амплитуда зондирующего тока: 1 мА;

- пределы измерения: 100 Ом, 1000 Ом;
- основная относительная погрешность измерений: $\pm 0,1 \%$;
- метод оценки состава тела – многочастотный.

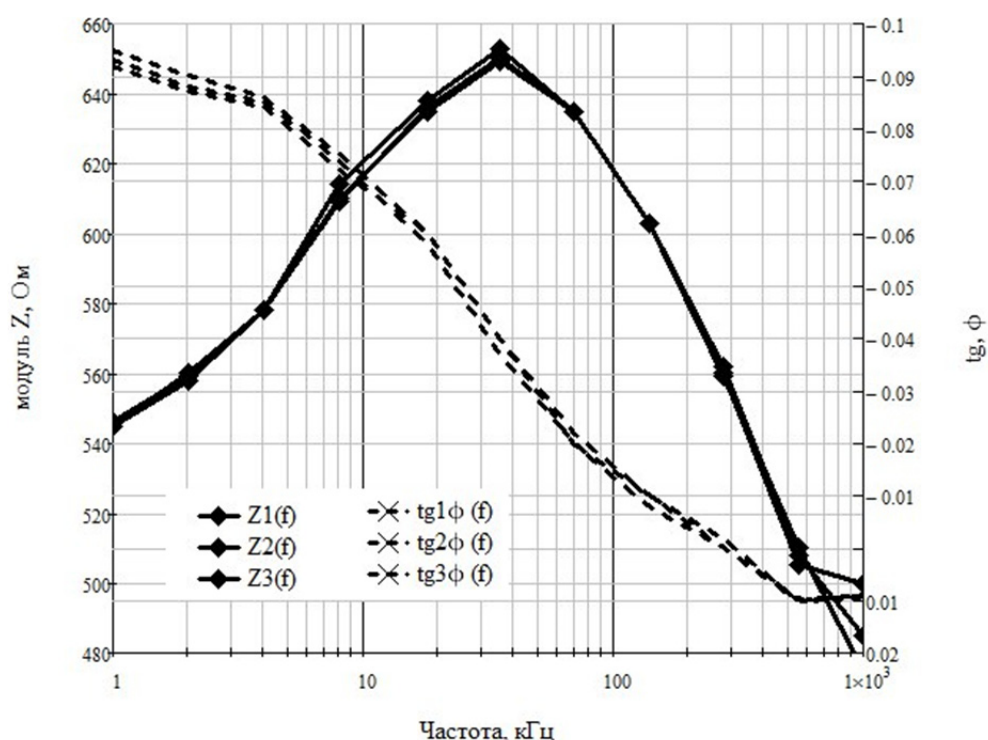


Рис. 2. Спектральные характеристики сегмента тела человека: зависимости модуля импеданса от частоты $Z(f)$ и зависимости угла сдвига фаз от частоты $\text{tg}\phi(f)$

Программное обеспечение позволяет:

- управлять аппаратной частью комплекса и выполнять автоматические измерения частотных характеристик биоимпеданса;
- отображать результаты текущих измерений характеристик биоимпеданса в графическом и табличном виде на экране монитора;
- сохранять результаты в базе данных для дальнейшего анализа и сопоставления;
- обрабатывать измеренные характеристики биоимпеданса по разработанным методикам;
- автоматически формировать отчет по результатам измерений и обработки экспериментальных данных.

Источник зондирующего тока для измерения биоимпеданса

Источник зондирующего тока является важнейшим компонентом биоимпедансного спектрометра – от его характеристик зависит точность, стабильность, воспроизводимость результатов измерений, частотный и динамический диапазон всего устройства.

В качестве зондирующего тока используют слабый переменный электрический ток, подводимый через наложенные электроды. При помощи других или тех же самых электродов регистрируется напряжение, появляющееся в результате прохождения тока через объект. По результатам набора таких измерений при различных комбинациях инжектирующих и измерительных электродов проводят реконструкцию распределения импеданса. В медицине биоимпеданс вызывает большой интерес отсутствием повреждающего воздействия зондирующего тока на биологические ткани при обследовании человека. Это снимает ограничение на частоту и длительность проведения обследований [7].

При проведении измерений нельзя применять постоянный ток и ток низкой частоты, поскольку в месте контакта электрода с кожей начинаются электрохимические реакции, и проводить измерения становится невозможно. Более того, постоянный ток силой более 100 мкА может вызвать серьезные повреждения, в то время как переменный ток частотой 10...100 кГц и силой до 5 мА не вызывает никаких биологических эффектов.

Известные схемотехнические решения, применяемые для технических измерений импеданса, не дают удовлетворительных результатов при измерении биоимпеданса, так как измерение сопротивления биологических тканей имеет свою специфику и требует применения ряда мер для повышения точности.

Первая причина, которая порождает ошибки формирования выходного тока – нелинейность характеристики преобразования «напряжение – ток». Величина этой нелинейности определяется выбранной схемой и качеством используемых компонентов. Если используются схемы с обратной связью на основе операционных усилителей (ОУ), то нелинейность будет зависеть от коэффициента усиления ОУ без обратной связи и коэффициента подавления синфазной составляющей. Так как эти параметры резко ухудшаются с ростом частоты, то источник, имеющий малую нелинейность преобразования на постоянном токе, на частоте 50...100 кГц будет вносить значительные нелинейные искажения. Выход из этой ситуации – обеспечить работу ОУ в преобразователе с нулевым или близким к нему напряжением между входами и в режиме максимально глубокой отрицательной обратной связи. Второй существенный фактор, ухудшающий качество источника тока – конечное выходное сопротивление $R_{\text{вых}}$. В идеале при изменении сопротивления нагрузки ток, создаваемый источником, должен оставаться неизменным, но на самом деле существует зависимость между током, проходящим через нагрузку, и напряжением на этой нагрузке. Отношение изменения напряжения на нагрузке $\Delta U_{\text{н}}$ к изменению тока $\Delta I_{\text{н}}$ и есть величина эквивалентного выходного сопротивления источника тока $R_{\text{вых}}$, определяемого выражением

$$R_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{н}}}.$$

Таким образом, был смоделирован управляемый напряжением источник тока, реализованный по схеме инвертирующего усилителя. Он выполнен на высокоскоростном операционном усилителе типа AD8056.

На рис. 3 изображена схема источника тока, управляемого переменным напряжением $U_{\text{вх}}$. Ток на выходе усилителя не зависит от сопротивления нагрузки. На вход схемы подается переменное напряжение амплитудой $U_{\text{вх}m} = 0,2 \text{ В}$ и частотой в диапазоне от 300 Гц до 2 МГц. Допущение, что входное сопротивление идеального операционного усилителя стремится к бесконечности, позволяет получить следующую формулу для определения тока I_2 через резистор R_2 :

$$I_2 = \frac{U_{\text{вх}} - U_1}{R_2}.$$

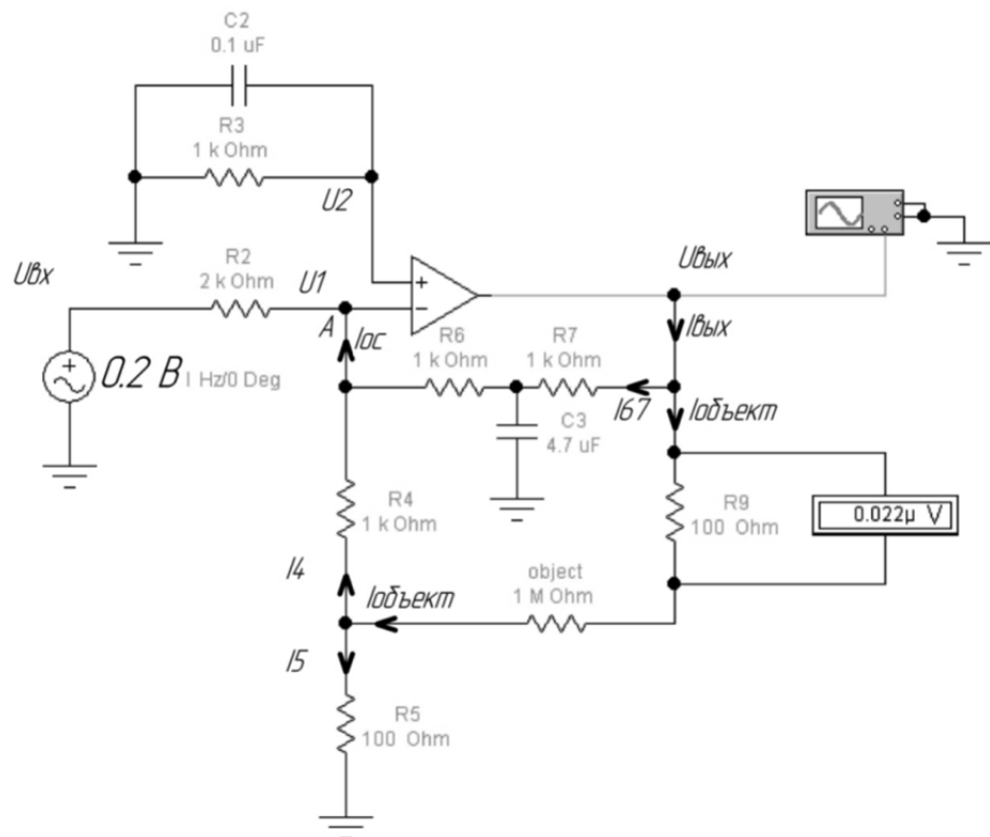


Рис. 3. Электрическая схема источника тока

Рассмотрим частные случаи работы источника тока в зависимости от сопротивления исследуемого объекта. В случае, если сопротивление объекта стремится к бесконечности, то цепь отрицательной обратной связи будет включать в себя последовательно соединенные сопротивления R_6 и R_7 . Та-

ким образом, ток отрицательной обратной связи становится равным току I_2 . При этом напряжение на выходе $U_{\text{вых}}$ определится по формуле:

$$U_{\text{вых}} = (R_6 + R_7)I_2.$$

Если сопротивление исследуемого объекта является конечным и соизмеримо с суммой сопротивлений $R_6 + R_7$, то сопротивление отрицательной обратной связи будет определяться сопротивлениями резисторов R_4 , R_5 , R_6 , R_7 , R_9 и сопротивлением исследуемого объекта.

На низкой частоте источник формирует переменный ток амплитудой 0,5 мА, а с повышением частоты амплитуда увеличивается до 1 мА. Это сделано для уменьшения перегрузки микросхемы AD8056 на низкой частоте, когда сопротивление образца велико, а значит, для поддержания нужной силы тока требовалось бы большое напряжение на образце. В противном случае микросхеме не хватило бы динамического диапазона для поддержания нужной силы тока. При прохождении тока частотой, большей частоты среза RC фильтра, образованного конденсатором C3 и сопротивлением R6, равной $f_{\text{ср}} = 1/(2\pi RC) = 33$ кГц, часть тока начинает уходить на землю, не доходя до инвертирующего выхода. Таким образом, увеличивается коэффициент усиления операционного усилителя и возрастает напряжение на выходе, тем самым увеличивая ток через объект.

В цепи обратной связи также включены низкоомные резисторы R_5 и R_9 , которые, по сути, являются датчиками вытекающего и втекающего тока соответственно. Разность потенциалов на этих резисторах в дальнейшем подается на входы суммирующего дифференциального усилителя и через АЦП подается на микроконтроллер для дальнейшей обработки.

Моделирование схемы в программе *ElectronicsWorkbench* позволило добиться стабильного значения тока на выходе, меняющегося только от частоты входного напряжения.

Анализ влияния паразитной емкости тела пациента при измерении биоимпеданса

Погрешность измерения – это отличие измеренного значения физической величины от истинного. Истинное значение импеданса биообъекта неизвестно, поэтому погрешности биоимпедансных анализаторов приходится оценивать по измерениям эквивалентов биообъектов, а также сравнивая результаты измерений одного и того же биообъекта, полученные с помощью приборов разных типов. Еще один возможный источник информации о погрешностях – отличие измеренных частотных характеристик биоимпедансных параметров от предсказываемых на основе проверенных теоретических моделей.

Известно, что погрешности измерения по источникам возникновения подразделяются на методические, инструментальные, внешние и субъективные. Субъективные погрешности являются следствием ошибок оператора. Высокая степень автоматизации биоимпедансных анализаторов практически исключает ошибки при считывании результатов и выполнении промежуточ-

ных расчетов. Однако причиной возможных субъективных ошибок является неправильная установка электродов. Инструментальные погрешности обусловлены характеристиками применяемых средств измерений. Эти погрешности возникают по следующим причинам: погрешности образцовых импедансов, используемых при калибровке, температурная и временная нестабильность значений тока генератора и параметров измерительного тракта, погрешности детекторов, связанных с их нелинейностью и инерционностью, погрешности аналого-цифрового преобразования и вычисления. Влияние большинства этих факторов в современной электроизмерительной аппаратуре может быть сведено до пренебрежимо малого уровня. Внешние погрешности являются следствием действия внешних по отношению к измерительному прибору причин. Методические погрешности возникают вследствие неполного учета параметров эквивалентной схемы измерительной цепи при проведении измерения. Методология использования функционального и метрологического анализа применительно к автоматизированным измерительным системам изложена в работах [8–10].

Одним из наиболее значимых факторов при измерении биоимпеданса на высоких частотах является паразитная емкость, создаваемая телом пациента и окружающей средой, что приводит к методической погрешности. Для ее анализа целесообразно представление объекта биоимпедансных исследований в виде эквивалентной электрической модели, которая представляет собой сложную систему соединенных параллельно-последовательным способом цепей из сопротивлений и емкостей. Так как подключение измерительных электродов производится к крайним точкам всей системы, то вследствие паразитных утечек тока на землю, протекающий ток и напряжение могут регистрироваться некорректно. На точность измерения оказывает влияние положение объекта исследований в пространстве относительно других объектов.

Так же токи утечки могут протекать через силовой трансформатор блока питания на нулевой провод электросети. Любой трансформатор имеет емкостную связь между первичной и вторичной обмотками. Типовое значение паразитной емкости – около десятков пикофарад. На низких частотах сопротивление такого конденсатора велико, и погрешность, вносимая им, пренебрежимо мала. Но на частотах выше 1 МГц сопротивление становится довольно низким согласно известной формуле $X_c = \frac{1}{2\pi fC}$, следовательно, ток,

протекающий через емкость, будет значительным по отношению к измеряемому току.

На рис. 4 приведены результаты моделирования работы источника тока в среде *ElectronicsWorkbench*. Фазочастотная характеристика (ФЧХ), полученная по этой схеме измерения, представлена на рис. 5, откуда следует, что на частотах более 150 кГц происходит сильная утечка тока через паразитную емкость.

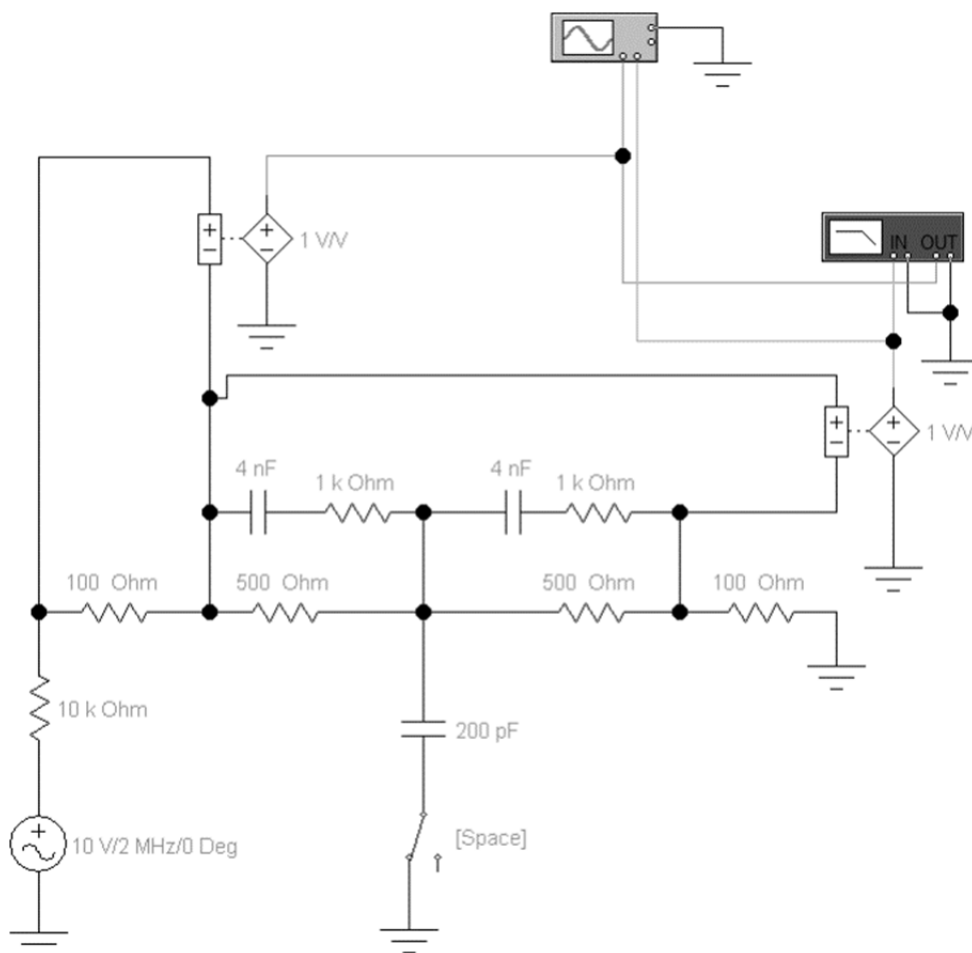


Рис. 4. Результаты моделирования работы источника тока
в среде *ElectronicsWorkbench*

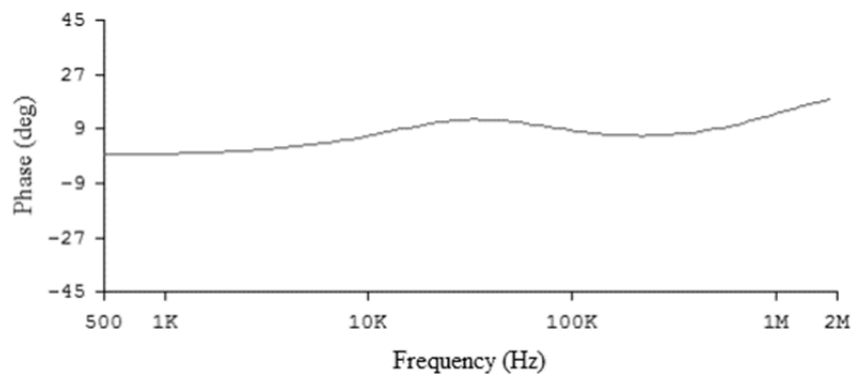


Рис. 5. ФЧХ в случае влияния паразитной емкости
при измерении втекающего в объект тока

Для уменьшения влияния токов утечки на точность измерений авторами предложено использовать схему, на которой, помимо регистрации только

Это позволит аппаратно минимизировать влияние токов утечки внутри измерительного блока на конечный результат. Симуляция режима измерений распределенного (состоящего из нескольких RC -цепей, соединенных последовательно и имеющих емкостную связь с точкой нулевого потенциала) объекта в программе *ElectronicsWorkbench* показала, что суммирование втекающего и вытекающего токов позволит компенсировать утечки тока на землю внутри объекта. На рис. 6 показана схема источника тока, в котором измеряется сумма входящего и выходящего токов, в результате чего происходит взаимная компенсация сдвига ФЧХ на высоких частотах. С помощью потенциометра, представляющего делитель напряжения с плавной регулировкой, можно регулировать пропорции токов. Так, в нижнем положении движка коэффициент передачи $K = 0$, а в верхнем положении движка $K = 1$. Результаты моделирования показали, что оптимальное соотношение является таким: 60 % – входящий ток и 40 % – выходящий, поскольку при этом ФЧХ (рис. 7) получается максимально схожей с ФЧХ, полученной при отключенных паразитных конденсаторах, что соответствует отсутствию паразитной емкости исследуемого объекта.

106

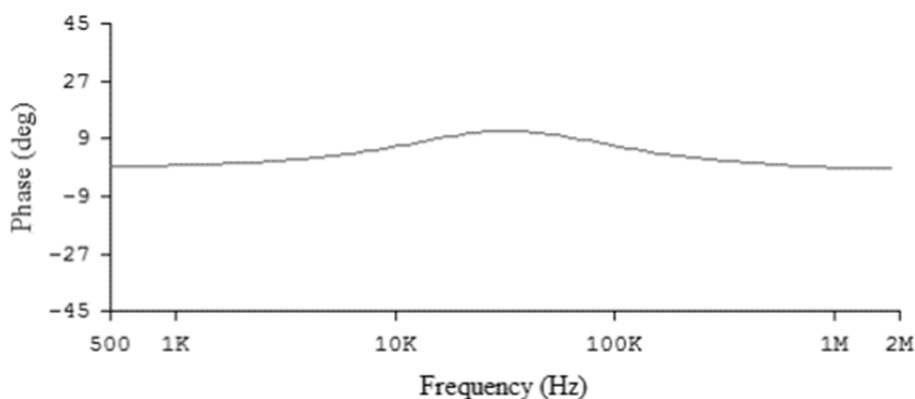


Рис. 7. ФЧХ при измерении суммы втекающего тока (60 %) и вытекающего (40 %) тока

Заключение

Предложена структура аппаратно-программного комплекса для автоматизированных измерений биоимпеданса с основной относительной погрешностью, не превышающей $\pm 0,1$ %. Функциональный и метрологический анализ аппаратной части позволил выявить и систематизировать причины возникновения методических и субъективных погрешностей результатов измерений. Минимизация субъективной погрешности достигнута посредством автоматизации измерительных процедур и обработки результатов измерений. Интерпретация объекта измерений в виде эквивалентной электрической модели и моделирование процесса измерений в среде *ElectronicsWorkbench* позволили усовершенствовать схемотехническую реализацию источника зондирующего тока с целью исключения методической погрешности, обусловленной влиянием паразитной емкости объекта исследований. Инструментальную погрешность предложено минимизировать посредством проведения автоматической калибровки. Аппаратно-программный комплекс может быть использован при проведении биоимпедансной диагностики состава тела.

Библиографический список

1. Геращенко, С. М. Оценка параметров линейных динамических моделей биологических тканей / С. М. Геращенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. – 2008. – № 3. – С. 63–70.
2. Биоимпедансный метод определения состава тела / Г. Г. Иванов, Э. П. Балуев, А. Б. Петухов, Д. В. Николаев, В. Е. Дворников, Л. В. Котлярова, Н. В. Этеева, И. Г. Байрак // Вестник РУДН. Сер.: Медицина. – 2000. – № 3. – С. 66–73.
3. Мосийчук, В. С. Широкополосный измеритель биоимпеданса с адаптивным выбором сетки частот / В. С. Мосийчук, Г. В. Тимошенко, О. В. Шарпан // Вестник Национального технического университета Украины. Сер.: Радиотехника и радиоаппаратура. – 2014. – № 57. – С. 143–148.
4. Печерская, Е. А. Математические модели предметной области при исследовании параметров материалов нано- и микроэлектроники / Е. А. Печерская // Университетское образование : сб. ст. XV Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 50-летию полета первого космонавта Ю. А. Гагарина. – 2011. – С. 436–438.

5. Николаев, Д. В. Биоимпедансный анализ состава тела человека / Д. В. Николаев, А. В. Смирнов, И. Г. Бобринская, С. Г. Руднев. – М. : Наука, 2009. – 392 с.
6. Соколовский, Ю. А. Автоматизированный учебный стенд «Измерение импеданса биологических объектов» / Ю. А. Соколовский, О. В. Карпанин // Университетское образование : сб. ст. XVII Междунар. науч.-метод. конф., посвящ. 70-летию образования университета. – 2013. – С. 411–412.
7. Эквивалентные электрические модели биологических объектов / А. Л. Зуев, В. Ю. Мишланов, А. И. Судаков, Н. В. Шакиров, А. В. Фролов // Российский журнал биомеханики. – 2012. – Т. 16, № 1 (55). – С. 110–120.
8. Печерская, Е. А. Методики принятия решений как составная часть интеллектуальной системы поддержки исследований материалов функциональной электроники / Е. А. Печерская, А. В. Бобошко, В. А. Соловьев // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий. – 2011. – № 1. – С. 229–231.
9. Печерская, Е. А. Применение методологии функционального и метрологического анализа к качеству исследования материалов микро- и нанoeлектроники / Е. А. Печерская // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 94–98.
10. Печерская, Е. А. Метрологический анализ установки для измерений электрофизических свойств сегнетоэлектрических образцов с линейными размерами микрометрового диапазона / Е. А. Печерская // Нано- и микросистемная техника. – 2007. – № 12. – С. 43–47.

Грачев Андрей Юрьевич
 студент,
 Пензенский государственный
 университет
 E-mail: nauka-fpите@mail.ru

Grachev Andrey Yurievich
 student,
 Penza State University

Карпанин Олег Валентинович
 доцент,
 кафедра нано- и микроэлектроники,
 Пензенский государственный
 университет
 E-mail: micro@pnzgu.ru

Karpanin Oleg Valentinovich
 associate professor,
 sub-department of nano-
 and microelectronics,
 Penza State University

Печерская Екатерина Анатольевна
 доктор технических наук,
 кафедра нано- и микроэлектроники,
 Пензенский государственный
 университет
 E-mail: pea1@list.ru

Pecherskaya Ekaterina Anatolyevna
 doctor of technical sciences,
 sub-department of nano-
 and microelectronics,
 Penza State University

УДК 621.37, 615.47.144

Грачев, А. Ю.

Аппаратно-программный комплекс для автоматизированных измерений биоимпеданса / А. Ю. Грачев, О. В. Карпанин, Е. А. Печерская // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 96–108.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭНЕРГОСЕТЕЙ SMART GRID

*Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко, М. П. Синева,
Д. А. Трокоз, М. В. Яровая*

IMPLEMENTATION FEATURES OF SMART GRIDS

*D. S. Grishin, D. V. Pashchenko, M. P. Sinev,
D. A. Trokoz, M. V. Yarovaya*

Аннотация. *Актуальность и цели.* Развитие интеллектуальных сетей является актуальной в настоящее время задачей. Проводящаяся сейчас модернизация энергосистемы невозможна без применения информационных и цифровых технологий. Использование принципиально новых методов реализации в энергетике и объединение ее в целостную, взаимосвязанную и самостоятельную инфраструктуру позволит решить многие назревшие на сегодняшний день вопросы. Целью данной работы является рассмотрение различных аспектов возможной реализации интеллектуальной энергосети Smart Grid. *Материалы и методы.* Поставленная задача была достигнута за счет использования следующих методов теоретического исследования: системный анализ и синтез. *Результаты.* В работе изложены преимущества интеллектуальной энергосети над традиционной энергосистемой. Приведены обоснованные доводы в пользу развития энергетики будущего. Описана основная архитектура Smart Grid. *Выводы.* Внедрение концепции Smart Grid в нашей стране реально уже сегодня без глобальных затрат на модернизацию существующей энергосети. Не прибегая к масштабным реновациям и имея огромный энергетический потенциал, Россия имеет все шансы в короткие сроки создать новую энергосистему.

Ключевые слова: энергетика, интеллектуальные сети Smart Grid.

Abstract. *Background.* The development of smart grids is an urgent task at present. The ongoing modernization of the energy system is now possible without the use of information and digital technologies. The use of innovative methods of implementation in the energy sector and the unification it in a coherent, interconnected and independent infrastructure will help to solve many of the pressing issues of today. The purpose of this paper is to examine the various aspects of the possible implementation of Smart Grid. *Materials and methods.* The object was achieved by using the following methods in theory research: systematic analysis and synthesis. *Results.* The paper describes the benefits of Smart Grid on the traditional power grid. Results-based arguments in the development of future energy crawl. It describes the basic architecture of Smart Grid. *Conclusions.* The introduction of Smart Grid concept in our country really today without major costs for upgrading the existing power grid. Without resorting to large-scale renovation and having a huge energy potential, Russia has every chance in the short term to create a new grid.

Key words: energy, smart grids.

Введение

Мировая энергосистема, существующая сейчас, строилась на принципах, сформированных еще в начале прошлого века, но за последние десятиле-

тия во всех странах мира значительно увеличились объемы потребления электроэнергии за счет развития техники, что заставляет поставщиков максимально нагружать электросети и генерирующие источники, а также искать иные способы решения сложившихся проблем. Использование радикально новых методов с применением инновационных технологий позволит вывести мировую энергетику на принципиально новый этап развития.

Сегодня на западе широкое распространение получила технология Smart Grid. По сути, Smart Grid представляет собой сложную энергосистему, объединяющую поставщиков электроэнергии, энергообъекты и потребителей в единую «интеллектуальную» энергосеть. Она предполагает использование новых цифровых технологий, многотарифных счетчиков и приборов распределения электроэнергии, обеспечивающих надежность и прозрачность процессов производства, передачи, распределения и потребления энергии.

Использование интеллектуальной сети даст возможность создания дискретной энергетической системы, позволяющей эффективнее устранять утечки электроэнергии и бороться с неплательщиками. Переход на работу по принципу технологии Smart Grid, основанной на усовершенствованной сетевой аналитике и использовании современных автоматизированных систем управления приборами сбора и обработки информации (SCADA), а также возможность удаленного мониторинга и контроля над оборудованием позволит энергокомпаниям продлить срок эксплуатации оборудования, снизить расходы на модернизацию сети и предотвратить сетевые сбои. В широком понимании технология Smart Grid должна решить ряд основных задач:

- уменьшить затраты на производство электроэнергии и обеспечить ее надежную передачу;
- обеспечить потребителя требуемым количеством доступной энергии;
- оперативно реагировать на нарушения работы сети;
- сделать систему экологичной, сократив выбросы CO₂ в атмосферу, применяя при этом современные технологии и возобновляемые источники энергии;
- обеспечить автоматизированный учет энергоресурсов;
- защитить сеть от физического и кибернетического вмешательства злоумышленников.

Предпосылки создания интеллектуальной сети в России

Единая энергетическая сеть России представлена в виде централизованной системы, в которой основная часть электроэнергии вырабатывается крупными электростанциями, после чего по электросети поставляется потребителям. Преимущество такой системы (рис. 1) заключается в том, что благодаря малому числу электростанций удастся поддерживать баланс между производством и потреблением электроэнергии. Однако при нарушении баланса происходят значительные колебания частоты электрического тока и сеть становится неустойчивой, что приводит к авариям.

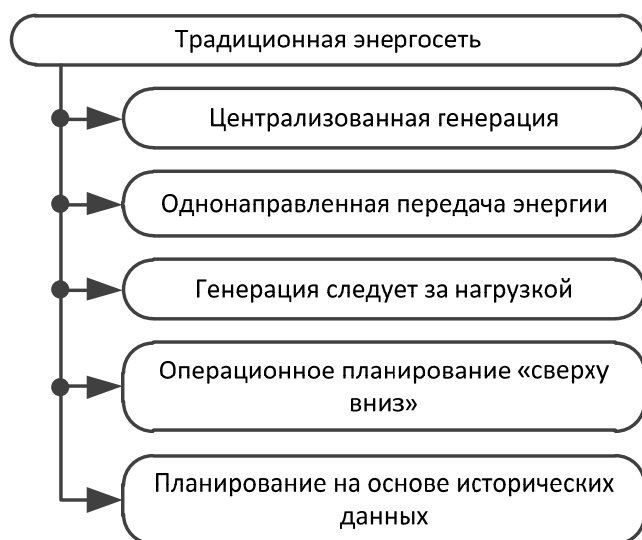


Рис. 1. Традиционная сеть

Снижение финансирования энергосистемы в 1990-е гг. привело к износу оборудования до 80 %. Согласно результатам исследования Федеральной сетевой компании (ОАО «ФСК ЕЭС») 15 % подстанций 6-10/0,4 кВ находятся в предаварийном состоянии [1]. В результате изношенности электросетей потери энергии достигают 20–30 % вместо обычных для Европы 6–8 %. Порядка 60 % электросетей нуждаются в полной перекладке, а поскольку регулирующие органы неохотно утверждают повышение тарифов, позволяющих осуществлять полномасштабную модернизацию системы, энергокомпании вынуждены продолжать работать с оборудованием, которое уже выработало свой срок эксплуатации, что представляет определенную угрозу безопасности сети.

Износ оборудования, растущие пиковые нагрузки, утечки и хищение остро ставят проблему создания интеллектуальных энергосетей в нашей стране. Однако решить вопрос энергетики изнутри нельзя, и наиболее оптимальным решением будет полная смена ее парадигмы. Только объединение энергетической и информационной инфраструктур в одну даст возможность приблизиться к решению возникшей задачи. С точки зрения экономики существующую в России энергосистему выгоднее будет не модернизировать, а полностью создать заново. Новая система позволит решить проблему ценообразования и рационально распределить мощности.

Такие структуры, как РДУ (региональное диспетчерское управление), МРСК (межрегиональная распределительная сетевая компания) перестанут функционировать, так как в интеллектуальной сети будет использована распределительная генерация пульсирующих режимов, управлять которыми современная система просто не в состоянии. Распределенная генерация в разы эффективней по КПД, так как произойдет приближение генерации к потребителю, будет возможен отбор тепла, что также повысит КПД генерации.

К 2020 г. в России планируется заменить устаревшие энергосети на интеллектуальные энергосистемы Smart Grid (рис. 2). «Умная» сеть должна обеспечить потребителям надежную и выгодную поставку энергии, а также предоставить поставщикам электроэнергии свободный от государственной монополизации рынок сбыта.

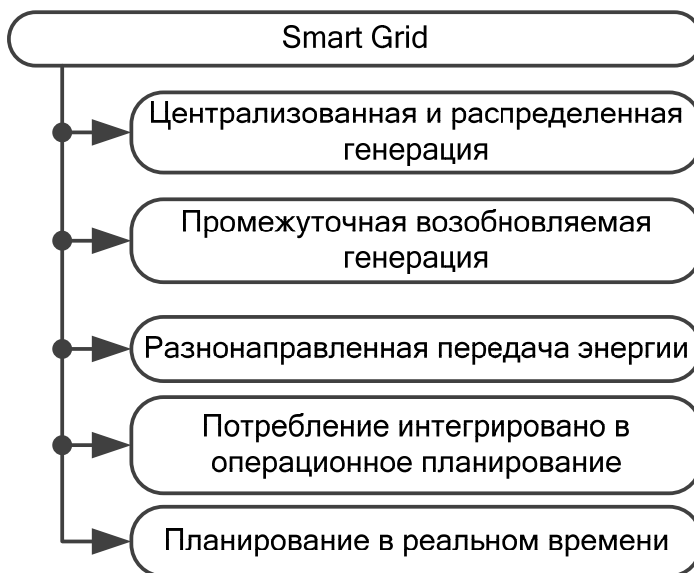


Рис. 2. Интеллектуальная энергосеть

Суть проекта заключается в установке на все узлы энергосистемы интеллектуальных устройств управления, которые будут интегрированы через коммуникационную магистраль с центрами обработки данных и автоматизированными системами управления (АСУ), объединяющими на технологическом уровне электрические сети, потребителей и поставщиков электроэнергии в целостную автоматизированную систему.

Система с активно-адаптивной сетью позволит в автоматическом режиме выявить обрывы сети и изменить ее работу с предотвращением возникших неисправностей и аварий [2]. Также «умная» энергосистема позволит интегрировать любые источники электроэнергии, в том числе и пульсирующие (газопоршневые установки, ветряные станции). Реализация проекта Smart Grid также должна создать комфортные условия для пользователей электроэнергии. Потребителю будут предоставлены новые возможности самому взаимодействовать с энергосистемой. Появится возможность выбора тарифа, возможность планировать свое энергопотребление за счет многотарифных счетчиков, но, кроме того, при выполнении некоторых условий потребитель сможет сам продавать энергию, которая будет вырабатываться его солнечной батареей или ветряком.

Также стоит отметить большой энергетический потенциал нашей страны в возможности использовать регенеративные источники энергии. Неоспо-

римое преимущество возобновляемой энергетики сегодня можно выразить с помощью коэффициента энергетической эффективности. Для любой электростанции следует соотносить общее количество энергии, выработанное за весь ее эксплуатационный период, с затратами, связанными с ее эксплуатацией, обслуживанием, а также топливом, потребляемым электростанцией. Отношение выработанной энергии к затраченной можно выразить с помощью коэффициента энергетической эффективности

$$K_{\text{энэф}} = \frac{(\Theta_{\text{г}} - \Theta_{\text{сн}}) \times T_{\text{сл}}}{\Theta_{\text{св}} + \Theta_{\text{тек}} + \Theta_{\text{топ}}}, \quad (1)$$

где $\Theta_{\text{г}}$ – годовая выработка электроэнергии установкой (электростанцией); $\Theta_{\text{сн}}$ – расходы на собственные нужды; $T_{\text{сл}}$ – срок службы установки; $\Theta_{\text{св}}$ – энергия, затраченная на производство оборудования и материалы; $\Theta_{\text{тек}}$ – энергия, затраченная на транспортировку, монтаж и утилизацию установки; $\Theta_{\text{топ}}$ – энергия, заключенная в топливе.

При таком подходе обнаруживается преимущество возобновляемой энергетики перед топливной: поскольку в формуле (1) $\Theta_{\text{топ}} = 0$, то существует принципиальная возможность, проверенная неоднократно расчетами, иметь $K_{\text{энэф}} > 1$. Тогда как для тепловых электростанций принципиально невозможно иметь $K_{\text{энэф}}$ больше, чем КПД или КПИ (КПИ – коэффициент полезного использования топлива) этой станции, т.е. заведомо меньше единицы. Поэтому для конденсационных и атомных электростанций на тепловых нейтронах $K_{\text{энэф}} < \text{КПД} < 1$, для теплоцентралей $K_{\text{энэф}} < \text{КПИ} < 1$ [3].

Структура интеллектуальной энергосети

Построение интеллектуальных сетей – весьма сложная задача, требующая определить фактические цели, основные требования к системе и возможности для их реализации. Это приводит к необходимости разработки основных концепций системы и созданию архитектуры сети [4]. В результате возникает потребность в детальной стратегии построения интеллектуальных электросетей, включая и ту их часть, которая относится к системе снабжения электроэнергией.

Рассмотрим условную архитектуру Smart Grid (рис. 3). Основным поставщиком электрической энергии интеллектуальной сети останутся электростанции, вырабатывающие более 100 МВт; к ним относятся АЭС, ГЭС, ТЭС (рис. 4). Вместе с ними появятся альтернативные источники энергии, работа которых будет иметь локальные колебания в зависимости от погодных и других условий. К ним можно отнести возобновляемые источники энергии с выработкой менее 100 МВт – это ветряные электростанции (ВЭС), солнечные батареи. Использование интеллектуальных сетей будет способствовать повышению эффективности производства и снижению энергозатрат. Заметно снизятся потери при передаче электроэнергии от производителя к потребителю, возрастет надежность электроснабжения, появится возможность снизить пиковые нагрузки.



Рис. 3. Архитектура Smart Grid

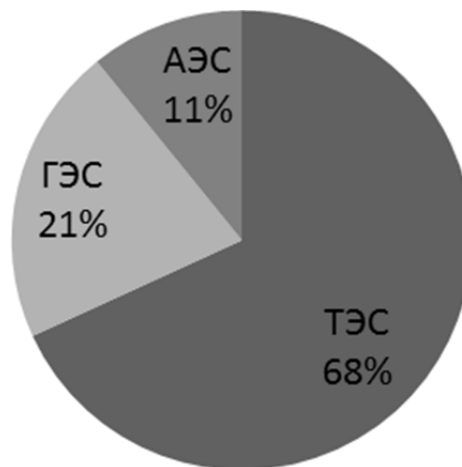


Рис. 4. Показатели работы энергетики России

Основное внимание операционного центра Smart Grid будет направлено на обеспечение надежности энергосети, на эффективное использование ресурсов и на снижение потерь во время передачи электроэнергии. Автоматизированная система управления должна обеспечить все это за счет анализа спроса системы передачи энергии, поставщиков и потребителей электроэнергии. Использование интеллектуальных систем обработки сигналов уменьшит

критическое время, требуемое для анализа отказа сети и выполнения соответствующих действий.

Анализ стабильности напряжения выполняется автоматически, и система самостоятельно предупреждает оператора до того, как возникнет предаварийная ситуация, способная нарушить стабильность статического напряжения сети. Увеличение надежности сети также обеспечивается с помощью средств автоматизации, которые непрерывно работают для удержания высокого уровня напряжения в системе и устранения сбоев напряжения.

Заключение

Не вызывает сомнения, что будущее энергетики принадлежит интеллектуальным энергосистемам Smart Grid, и что производство электроэнергии значительно изменится к тому времени, когда такие сети станут реальностью. Решение таких задач, как снижение нагрузки на энергосети, уменьшение энергетического дефицита за счет введения возобновляемых источников энергии, повышение качества и надежности работы энергосети, в конечном счете приведет к новой ступени развития как отечественной, так и мировой энергетики. Реализация основных положений данной концепции будет подразумевать развитие инновационных технологий, расширение масштабов производства высокоинтеллектуальной продукции, более интенсивное применение электрической энергии, развитие новых, альтернативных источников энергии. Крупные электростанции продолжают обеспечивать основную поставку электрической энергии, но наряду с ними станут использоваться и возобновляемые источники электроэнергии, вызывая колебания в сети. Эти устройства будут автоматически включаться и выключаться при помощи датчиков и интеллектуальных счетчиков потребления энергии, обеспечивая эффективное управление нагрузкой.

Библиографический список

1. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе. – М., 2006. – URL: http://www.cius-ees.ru/uploaded/document_files/25/Polozhenie_o_tekhnicheskoy_politike_v_raspredelitel_nom_setevom_komplekse.pdf
2. Умные сети и интеллектуальные энергетические системы. – URL: <http://venture-biz.ru/energetika-energoberezhenie/290-intellektualnye-seti> (дата обращения: 07.11.2016).
3. Портал по энергосбережению. – URL: <http://www.energosovet.ru/stat328.html> (дата обращения: 07.11.2016).
4. Умные сети и новая эпоха в энергетике. – URL: <http://forca.ru/stati/energetika/umnye-seti-i-novaya-epoha-v-energetike.html> (дата обращения: 07.11.2016).

Гришин Дмитрий Сергеевич
студент,
Пензенский государственный
университет
E-mail: gds_91@mail.ru

Grishin Dmitry Sergeyevich
student,
Penza State University

Пащенко Дмитрий Владимирович
доктор технических наук, профессор,
кафедра вычислительной техники,
Пензенский государственный
университет
E-mail: dmitry.pashchenko@gmail.com

Pashchenko Dmitry Vladimirovich
doctor of technical sciences, professor,
sub-department of computer science,
Penza State University

Синев Михаил Петрович
кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительной техники,
Пензенский государственный
университет
E-mail: mix.sinev@gmail.com

Sinev Mihail Petrovich
candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computer science,
Penza State University

Трокоз Дмитрий Анатольевич
кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительной техники,
Пензенский государственный
университет
E-mail: dmitriy.trokoz@gmail.com

Trokoz Dmitry Anatolyevich
candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computer science,
Penza State University

Яровая Мария Владимировна
аспирант,
Пензенский государственный
университет
E-mail: mariay@yandex.ru

Yarovaya Maria Vladimirovna
postgraduate student,
Penza State University

УДК 004.77

Особенности внедрения интеллектуальных энергосетей SMART GRID /

Д. С. Гришин, Д. В. Пащенко, М. П. Синев, Д. А. Трокоз, М. В. Яровая // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 109–116.

**АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
В СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ
С УЧЕТОМ ОГРАНИЧЕНИЙ**

А. К. Гришко

**THE ALGORITHM OF OPTIMAL CONTROL
IN COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS
TO THE RESTRICTIONS OF THE DESIGN**

A. K. Grishko

Аннотация. *Актуальность и цели.* Управление процессами проектирования сложных изделий часто рассматривается как многокритериальный синтез системы, когда одновременное улучшение всех показателей качества системы невозможно, а сами критерии проектирования, как правило, носят взаимоисключающий характер. Кроме того, все реальные проблемы управления подчинены различного типа ограничениям, которые являются неизбежной частью формулировки общей проблемы, потому что система работает вблизи них. Комплексные задачи анализа проектируемых конструкций на соответствие техническим требованиям, как правило, решаются на его завершающих этапах. Поэтому важно на ранних этапах проектирования для принятия оптимального конструкторского решения иметь возможность прогнозировать поведение сложной системы и одновременно учитывать возникающие в его процессе ограничения. Это позволит сократить финансовые и временные затраты на разработку сложных технических систем. Цель работы состоит в том, чтобы предложить способ оптимизации управления процессами проектирования сложных технических систем. *Материалы и методы.* Рассматривается алгоритм управления, основанный на применении теории оптимального управления с использованием подхода с расширяющимися условиями. *Результаты.* В работе описана процедура оптимизации управления, отличительной особенностью которой является то, что в результате ее применения будет формироваться закон управления, имеющий стационарную обратную связь, а также характеризующийся системным учетом всех ограничений на реализацию сложной системы. *Выводы.* Предложенный алгоритм прогнозирующего управления найдет широкое применение в системах управления, работающих на границах рабочих режимов. Основными достоинствами алгоритма являются возможность производить оценку состояния системы в масштабе реального времени и прогнозирование будущих состояний, а также возможность оптимизации в масштабе реального времени будущей траектории системы управления, подчиненной ограничениям.

Ключевые слова: сложная техническая система, прогнозирующее управление, ограничения проектирования.

Abstract. *Background.* Manage design processes of complex products is often regarded as a multicriteria synthesis system, when a simultaneous improvement in all quality indicators of the system impossible, and do the design criteria tend to be mutually exclusive. In addition, all of the real problems of management are subject to various types of constraints that are an inevitable part of the statement of the problem, because the system is

working near them. A comprehensive task analysis of the designed structures for compliance with technical requirements usually are resolved in its final stages. It is therefore important at the early stages of design to make better design decisions to be able to predict the behavior of a complex system and at the same time to respond in its process limitations. This will reduce the financial and time costs for the development of complex technical systems. The purpose of this paper is to provide a method for optimizing process control design of complex technical systems. *Materials and methods.* The article deals with the control algorithm based on the application of optimal control theory using the approach to expanding conditions. *Results.* The paper describes the optimization of the management procedure, the distinctive feature of which is that the result of its application will form the control law, having a fixed feedback and a system characterized by taking into account all the constraints on the implementation of a complex system. *Conclusions.* The proposed algorithm predictive control will be widely used in the control systems operating at the boundaries of the operating modes. The main advantages of the algorithm are able to produce an assessment of the system status in real time, and predict future conditions, and the ability to optimize in real time the future trajectory of the control system, the slave constraints.

Key words: complex technical system, predictive control, design constraints.

Введение

Необходимость в прогнозирующем управлении возникла в промышленной сфере как реакция на необходимость учитывать возникающие реальные ограничения. В большинстве задач проектирования эти ограничения можно игнорировать, по меньшей мере, на начальных стадиях проектирования [1–4]. Но существуют задачи, где эти ограничения будут неизбежной частью формализованного представления общей проблемы. Как правило, это достаточно широкий класс систем, которые функционируют вблизи этих ограничений.

Постановка задачи

Предположим, что имеется стационарная модель некоторой системы, цели и ограничения которой также стационарны, а все состояние системы измеряется. Тогда стратегия управления может быть выражена как определенное отображение статического состояния на управление:

$$u_x^0(k) = h(x(k)), \quad (1)$$

где $u_x^0(k)$ – оптимальное управляющее воздействие в момент времени k ; $h(x(k))$ – некоторое статическое отображение состояния системы.

Необходимо охарактеризовать это статическое отображение.

Существует множество альтернативных вариантов формализации моделей прогнозирующего управления, в том числе методы с использованием полиномов и описанием в пространстве состояний [5, 6]. В работе рассматривается метод, описывающий модель управления в пространстве состояний.

Прогнозирующим управлением мы называем алгоритм управления, который основан на решении задачи его оптимизации в масштабе реального времени [7, 8]. Для этого применяется подход, основанный на расширяющих-

ся условиях. Его реализация может быть получена в результате следующих этапов:

1. Для текущего состояния системы $x(k)$ и времени k необходимо найти решение в масштабе реального времени для разомкнутого контура задачи оптимального управления для некоторого будущего интервала. При этом учитываются *текущие* и *будущие* ограничения.

2. После этого применяется первый шаг для последовательности оптимального управления.

3. Повторяется процедура для момента времени $(k+1)$ с использованием текущего состояния $(k+1)$.

В итоге реализуется стратегия замкнутого контура, для чего используется измеренная величина $x(k)$ как текущее состояние. В тех случаях, когда непосредственное измерение $x(k)$ нельзя произвести, стратегию замкнутого контура получают $x(k)$ на восстановленную величину, которая получена как некоторая форма наблюдателя.

Моделирование прогнозирующего управления для общего нелинейного варианта

Будем предполагать, что величину $x(k)$ можно непосредственно измерить. Тогда для общего нелинейного варианта метод будет выглядеть следующим образом.

Дана некоторая модель

$$x(l+1) = f(x(l), u(l)), \quad x(k) = x, \quad (2)$$

где новое состояние модели $x(l+1)$ является некоторой функцией от предыдущего состояния $x(l)$ и результата управляющего воздействия $u(l)$ в момент времени l .

Модельное прогнозирующее управление для (x, k) находим решением задачи в виде ограниченного оптимального управления [6, 7, 9]:

$$P_N(x): V_N^0(x) = \min_{u \in U_N} V_N(x, U), \quad (3)$$

где

$$U = \{u(k), u(k+1), \dots, u(k+N-1)\}, \quad (4)$$

$$V_N(x, U) = \sum_{l=k}^{k+N-1} L(x(l), u(l)) + F(x(k+N)), \quad (5)$$

здесь слагаемое $F(x(k+N))$ характеризует зависимость от граничных условий; V_N – подмножество U , которое будет удовлетворять ограничениям на всем рассматриваемом интервале $[k, k+N-1]$:

$$u(l) \in U, \quad l = k, k+1, \dots, k+N-1, \quad (6)$$

$$x(l) \in U, \quad l = k, k+1, \dots, k+N \quad (7)$$

вместе с некоторым граничным условием в виде

$$x(k+N) \in W.$$

Как правило, множество $X \subset R^m$ имеет выпуклый и компактный характер, множество $X \subset R^n$ является выпуклым и замкнутым, W – множество, которое может быть соответствующим образом выбрано для достижения устойчивости системы управления.

Поскольку вышеупомянутая формулировка модели носит инвариантный характер во времени, то в результате будет получаться закон управления, имеющий стационарную обратную связь [4–6]. Без потери общности можно задать $k = 0$ в задаче управления, имеющей разомкнутый контур, для чего (x, k) решают:

$$P_N(x): \quad V_N^0(x) = \min_{u \in U_N} V_N(x, U), \quad (8)$$

где

$$U = \{u(0), u(1), \dots, u(k+N-1)\}, \quad (9)$$

$$V_N(x, U) = \sum_{l=0}^{N-1} L(x(l), u(l)) + F(x(N)), \quad (10)$$

при соответствующих ограничениях.

Формирование алгоритма оптимизации управления с учетом ограничений

С целью решения этой задачи можно использовать стандартные и типовые методы оптимизации.

Пусть некоторая управляющая последовательность, которую требуется минимизировать, имеет следующий вид:

$$U_x^0 = \{u_x^0(0), u_x^0(1), \dots, u_x^0(N-1)\}. \quad (11)$$

Фактическое управление, которое прикладывается в момент времени k , – первый элемент этой последовательности, т.е.

$$u = u_x^0(0). \quad (12)$$

После этого время смещаем вперед на единицу и вышеупомянутую процедуру повторяем для следующего диапазона оптимизации на N шагов вперед. Это значит, что первый вход новой последовательности из N шагов вперед будет использоваться в качестве управления. Вышеупомянутую про-

цедуру можно повторять неограниченное количество раз. Идея иллюстрируется в публикациях [7–10] и на рис. 1–3.

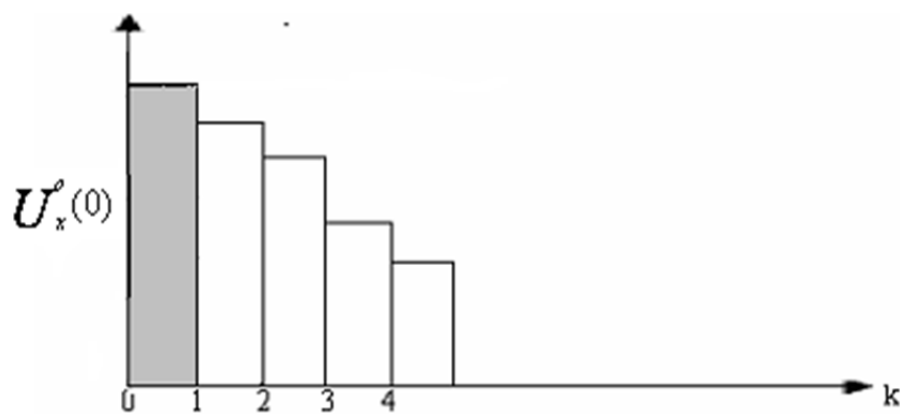


Рис. 1. Первый этап оптимизации управления

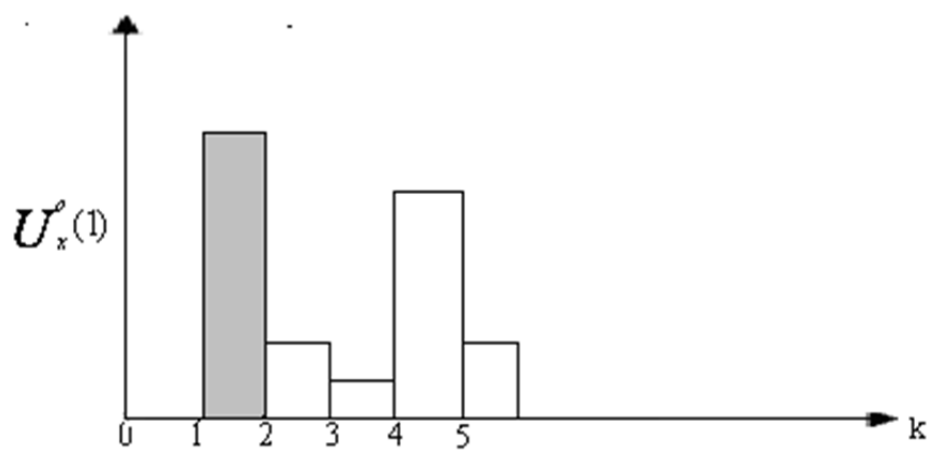


Рис. 2. Второй этап оптимизации управления

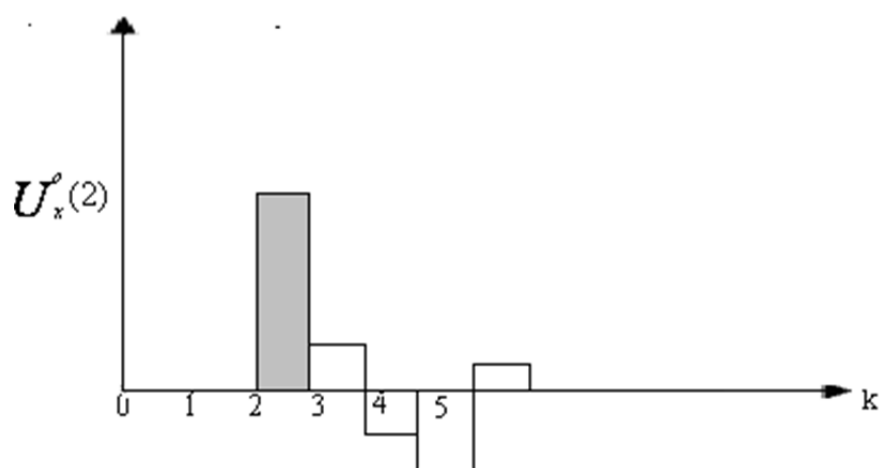


Рис. 3. Третий этап оптимизации управления

Прогнозирующее управление, которое было упомянуто выше, в неявной форме определяет стационарную стратегию управления, как в выражении (1), т.е. статическое отображение вида:

$$h(x) = u_x^0(0). \quad (13)$$

Заключение

Предложенный алгоритм прогнозирующего управления находит широкое применение в системах управления, работающих на границах рабочих областей [11–14].

Основными достоинствами алгоритма являются следующие:

- Алгоритм прогнозирующего управления обеспечивает системный подход к учету ограничений в задачах управления.
- Этот метод является одним из немногих, позволяющих работать с ограничениями состояния.
- Метод обладает глобальной асимптотической устойчивостью при подходящих весовых коэффициентах заключительного состояния.
- Имеется возможность произвести оценку состояния в масштабе реального времени и прогнозирование будущих состояний.
- Имеется возможность оптимизации в масштабе реального времени будущей траектории системы управления, подчиненной ограничениям, с помощью метода квадратичного программирования.

Библиографический список

1. Методы классической и современной теории автоматического управления : учеб. : в 3 т. Т. 2. Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / под ред. Н. Д. Егупова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 736 с.
2. Гилл, Ф. Практическая оптимизация / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М. : Мир, 1985. – 509 с.
3. Гришко, А. К. Оптимальное управление параметрами системы радиоэлектронных средств на основе анализа динамики состояний в условиях конфликта / А. К. Гришко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 2 (38). – С. 102–111. DOI: 10.21685/2072-3059-2016-2-9
4. Северцев, Н. А. Системный анализ определения параметров состояния и параметры наблюдения объекта для обеспечения безопасности / Н. А. Северцев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 4–10.
5. Гришко, А. К. Определение показателей надежности структурных элементов сложной системы с учетом отказов и изменения параметров / А. К. Гришко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 2. – С. 51–57.
6. Северцев, Н. А. Метод оценки показателей безопасности автономных динамических систем / Н. А. Северцев, А. Н. Катулев // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 17–26.
7. Гришко, А. К. Алгоритм поддержки принятия решений в многокритериальных задачах оптимального выбора / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 1 (17). – С. 242–248.

8. Кочегаров, И. И. Алгоритм выявления латентных технологических дефектов фототаблонов и печатных плат методом оптического допускового контроля / И. И. Кочегаров, И. В. Ханин, Н. К. Юрков, А. В. Григорьев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2013. – Т. 2. – С. 54–57.
9. Гришко, А. К. Оптимальное управление частотным ресурсом радиотехнических систем на основе вероятностного анализа динамики информационного конфликта / А. К. Гришко // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. – 2016. – № 57. – С. 21–28. DOI: 10.21667/1995-4565-2016-57-3-21-28
10. Гришко, А. К. Анализ надежности структурных элементов сложной системы с учетом интенсивности отказов и параметрической девиации / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 3 (19). – С. 130–137.
11. Кочегаров, И. И. Алгоритм прямого перебора с применением теории графов / И. И. Кочегаров, В. В. Стюхин // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2012. – Т. 2. – С. 130–131.
12. Анализ отчетных сегментов следа вибрационного размытия изображения круглой метки / А. В. Григорьев, И. И. Кочегаров, С. А. Бростилов, Н. В. Горячев, П. Г. Андреев // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. – 2016. – Т. 2. – С. 37–41.
13. Grishko, A. Dynamic Analysis and Optimization of Parameter Control in Radio Systems in Conditions of Interference / A. Grishko, N. Goryachev, I. Kochegarov, N. Yurkov // International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON). Moscow, Russia, May 12–14, 2016. – M., 2016. – P. 1–4. DOI: 10.1109/SIBCON.2016.7491674.
14. Grishko, A. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems / A. Grishko, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. – 2015. – Vol. 10, № 23. – P. 43 842–43 845.

Гришко Алексей Константинович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра конструирования
и производства радиоаппаратуры,
Пензенский государственный
университет
E-mail: alexey-grishko@rambler.ru

Grishko Aleksey Konstantinovich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of designing and production
of radio equipment,
Penza State University

УДК 519.7; 681.5

Гришко, А. К.

Алгоритм оптимального управления в сложных технических системах с учетом ограничений / А. К. Гришко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 117–123.

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА
ШЛИФОВАЛЬНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ
ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКОВ**

А. А. Игнатьев, А. В. Гаврилова, С. А. Игнатьев

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES
OF DYNAMIC QUALITY OF GRINDING MACHINES
FOR BEARING RINGS RACES PROCESSING**

A. A. Ignatyev, A. V. Gavrilova, S. A. Ignatyev

Аннотация. *Актуальность и цели.* Динамическое качество станков является важным фактором, влияющим на точность обработки высокоточных деталей. В условиях эксплуатации его оценка осуществляется на основе измерения виброакустических (ВА) колебаний основных формообразующих узлов. Последующая обработка ВА колебаний обеспечивает получение спектральных, корреляционных и других функций, на основе которых формируется оценка динамического качества станка. С точки зрения оценки динамического состояния станка при резании возможно измерение спектра колебаний в процессе обработки путем статистического анализа, однако в этом случае трудно дать физическое обоснование изменениям в динамике станка. В этом смысле более целесообразным представляется определение запаса устойчивости динамической системы (ДС). Запас устойчивости ДС изменяется при варьировании значениями параметров режима резания, например подачей шлифовального круга, или снижении его режущих свойств при износе. *Материалы и методы.* Рассматривается возможность определения рационального режима шлифования поверхностей качения колец подшипников на основе измерения виброакустических колебаний динамической системы. Представлена структурная схема ДС шлифовального станка при врезном шлифовании колец подшипников. Определяется запас устойчивости динамической системы станков по показателю колебательности или по критерию Михайлова. *Результаты.* На основе обработки результатов ВА колебаний установлена связь между запасом устойчивости (по показателю колебательности) и износом круга. Используется критерий Гурвица для оценки устойчивости ДС пятого порядка и выявления изменения запаса устойчивости по мере износа круга. *Выводы.* Построена передаточная функция ДС шлифовального станка для обработки колец подшипников, на основе анализа которой показано, что запас устойчивости ДС может служить численной оценкой динамического качества станка. Экспериментально установлена связь запаса устойчивости с износом круга при обработке колец подшипников. Проведено сравнение станков по динамическому качеству.

Ключевые слова: шлифовальный станок, динамическая система, виброакустические колебания, передаточная функция, критерий Гурвица, автокорреляционная функция, подача круга, износ круга, запас устойчивости.

Abstract. *Background.* The dynamic quality of the machines is an important factor in the precision machining of precision parts. Under service conditions of his assessment is based on the measurement of vibro-acoustic (VA) fluctuations of the basic formative com-

ponents. Post-treatment VA oscillation provides spectral, correlation and other functions on the basis of which is formed by a dynamic evaluation of the machine quality. From the standpoint of evaluating the dynamic quality of the machine when cutting is possible to measure the oscillation spectrum and changes in the processing by the statistical analysis, however, in this case, it is difficult to study physical changes in the machine dynamics. In this sense, seems more appropriate definition of the safety factor of the dynamic system (DS). Stability margin DS varies with the value of cutting mode settings, such as feeding the grinding wheel or the reduction of its cutting properties when wear. *Materials and methods.* The possibility of determining the rational mode of grinding surfaces of rolling bearing rings based on the measurement of vibro-acoustic vibrations of a dynamic system. The structural scheme of DC grinding machine when plunge grinding bearing rings. Determined a stability margin of the dynamic system of machines in index of oscillation or Mikhailov criterion. *Results.* Based on the results of processing VA fluctuations established between the margin of stability (in terms of oscillation) and wheel wear. Hurwitz criterion is used to assess the sustainability of the DS (fifth-order) and the identification of changes the stability margin as wheel wear. *Conclusions.* Constructed transfer function DC of a grinding machine for processing bearing rings, on the basis of the analysis which shows that the stock DS sustainability can serve as a dynamic assessment of the quality of the machine. Experimentally established communication stock sustainability and wear circle when handling bearing rings. A comparison of the dynamic quality of grinding machines.

Key words: grinding machines, dynamic system, vibro-acoustic oscillations, transfer function, Hurwitz criterion, autocorrelation function, supply range, wear circle, stability margin.

Введение

Повышение требований к качеству обработки деталей в машино- и приборостроении, применение новых обрабатываемых и инструментальных материалов обусловило необходимость снижения значений макро- и микро-геометрических параметров точности и стабильности физико-механических характеристик поверхностного слоя деталей, что определило целесообразность учета динамических процессов в автоматизированных станках [1, 2].

Динамическое качество станка является его важной характеристикой с точки зрения обеспечения качества шлифовальной обработки деталей подшипников. На круглошлифовальных станках для обработки колец без резания эффективно измерять виброскорость на частоте вращения круга и заготовки, что позволяет выявить дисбаланс шпинделей. Для оценки влияния виброакустических (ВА) колебаний на геометрические параметры точности деталей целесообразно измерять виброперемещение. Более целесообразно для оценки динамического качества использовать запас устойчивости динамической системы (ДС) [3, 4]. Экспериментальное подтверждение указанного положения для автоматизированных станков отражено в работах, выполненных в Саратовском государственном техническом университете имени Ю. А. Гагарина [2, 5, 6].

Основная часть

Динамические процессы играют важную роль в автоматизированных шлифовальных станках для обработки колец подшипников [2]. Для теорети-

ческого обоснования применимости на практике понятия «запас устойчивости ДС» целесообразно построить модель ДС.

Математическая модель динамической системы при врезном шлифовании отражает взаимосвязь регулирующих воздействий и сил резания, параметров упругой системы станка и износа абразивного круга, влияющих на динамические характеристики процесса шлифования и, соответственно, на качество обработки деталей. Подобные модели в виде передаточных функций рассматривались в работах В. А. Кудинова [3], В. Н. Михелькевича [7] и других авторов.

В работе [8] для упрощенной модели теоретически показано, что ДС по мере износа круга переходит из устойчивого состояния в неустойчивое, следовательно, запас устойчивости может служить критерием выбора режима шлифования с наибольшей эффективностью. При этом предполагается, что в течение времени обработки одной детали (1...3 мин) параметры ДС не изменяют своих значений, т.е. система линеаризована, хотя в целом ДС станка является нелинейной [3]. В этом случае для каждого обработанного кольца будет существовать передаточная функция ДС, но от кольца к кольцу значения ее коэффициентов будут изменяться, и, следовательно, будет изменяться запас устойчивости ДС.

Рассмотрим структурную схему ДС шлифовального станка при врезном шлифовании колец подшипников или малогабаритных валов (рис. 1), учитывающую износ круга. За основу взята схема из работы [7], но в нее внесены изменения: упругая система рассматривается в виде двух параллельно соединенных колебательных звеньев, соответствующих шпиндельным узлам (ШУ) круга и детали, а вместо коэффициента резания из схемы В. Н. Михелькевича введена передаточная функция, учитывающая изменение режущих свойств круга [8, 9].

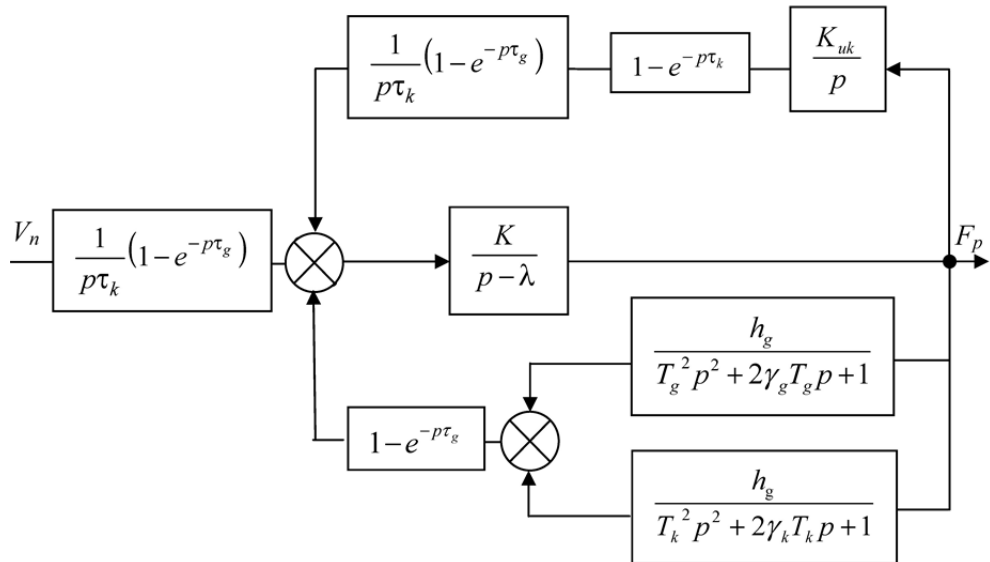


Рис. 1. Структурная схема динамической системы станка при врезном шлифовании с учетом износа круга и изменения его режущей способности

В этом случае передаточная функция ДС, равная отношению изображений по Лапласу силы резания и подачи круга, имеет вид

$$W(p) = \frac{K}{(p-\lambda)} (1 - e^{-p\tau_g}) \left(1 + \frac{K(1 - e^{-p\tau_g})}{(p-\lambda)p} \left[\left(\frac{h_g}{T_u^2 p^2 + 2\gamma_g T_g + 1} + \frac{h_k}{T_k^2 p^2 + 2\gamma_k T_k p + 1} \right) p + \frac{K_{uk}(1 - e^{-p\tau_k})}{p\tau_k} \right] \right)^{-1}. \quad (1)$$

На рис. 1 и в формуле (1) введены следующие обозначения: V_n – подача круга; τ_g, τ_k – время оборота детали и круга соответственно; K_{uk} – коэффициент износа круга; K – коэффициент резания; λ – коэффициент изменения режущей способности круга; T_k, T_g – постоянные времени круга и детали; γ_k, γ_g – коэффициенты демпфирования ШУ круга и ШУ детали, F_p – сила резания, h_k, h_g – податливость ШУ круга и ШУ детали.

После алгебраических преобразований (с учетом разложения экспонент в ряд ($e^{-p\tau_g} = 1 - p\tau_g, e^{-p\tau_k} = 1 - p\tau_k$)) имеем:

– числитель $B(p)$ в формуле (1) равен

$$B(p) = k\tau_g (T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1) (T_k^2 p^2 + 2\gamma_k T_k p + 1); \quad (2)$$

– знаменатель $A(p)$ в формуле (1) равен

$$A(p) = (p + K\tau_g K_{ku} - \lambda) (T_k^2 T_g^2 p^4 + 2\gamma_g T_k T_g^2 p^3 + T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g T_k^2 p^3 + 4\gamma_g T_k T_g p^2 + T_k^2 p + 2\gamma_k T_k p + 1) + (K\tau_g h_g T_k^2 p^3 + 2K\tau_g h_g T_g p^2 + 2K\tau_g h_g p^2 + K\tau_g h_k T_g^2 p^3 + 2K\tau_g h_k T_g p^2 + 2K\tau_g h_k p). \quad (3)$$

Для оценки устойчивости ДС и выявления изменения запаса устойчивости по мере износа круга необходимо применить критерий Гурвица [10] к характеристическому уравнению системы

$$A(p) = 0. \quad (4)$$

Выполнив алгебраические преобразования в формуле (3), получим выражение (4) в виде уравнения пятого порядка:

$$a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0, \quad (5)$$

где

$$a_0 = K\tau_g K_{uk} - \lambda;$$

$$a_1 = 1 + (K\tau_g K_{uk} - \lambda) (2\gamma_g T_g + 2\gamma_k T_k + K\tau_g h_g + K\tau_g h_k);$$

$$\begin{aligned}
a_2 &= (2\gamma_g T_g + 2\gamma_k T_k + K\tau_g K_{uk} h_g + K\tau_s h_h) + \\
&+ (K\tau_g K_{uk} - \lambda)(T_g^2 + T_k^2 + 4\gamma_g \gamma_k T_g T_k + 2K\tau_g h_g \gamma_k T_k + 2K\tau_g h_g \gamma_g T_g); \\
a_3 &= (T_g^2 + T_k^2 + 4\gamma_g \gamma_k T_g T_k + 2K\tau_g h_g h_k T_k + 2K\tau_s h_g \gamma_g T_g) \times \\
&\times (K\tau_g K_{uk} - \lambda)(2\gamma_k T_k T_g^2 + 2\gamma_g T_s T_k^2 + K\tau_g h_g T_k^2 + K\tau_g h_k T_g^2); \\
a_4 &= (2\gamma_k T_k T_g^2 + 2\gamma_g T_g T_k^2 + K\tau_g h_g T_k^2 + K\tau_s h_k T_s^2)(K\tau_s K_{uk} - \lambda)T_k^2 T_g^2, \quad a_5 = T_k^2 T_g^2.
\end{aligned}$$

Необходимые и достаточные условия устойчивости для системы с характеристическим уравнением пятого порядка по критерию Гурвица следующие [6]:

1) коэффициенты уравнения (2) все больше нуля:

$$a_i > 0, i = \overline{0, 5};$$

2) определитель второго порядка больше нуля:

$$\Delta_2 = a_4 a_3 - a_5 a_2 > 0;$$

3) определитель четвертого порядка больше нуля:

$$\Delta_4 = (a_4 a_3 - a_5 a_2)(a_2 a_{13} - a_3 a_0) - (a_4 a_{13} - a_5 a_{02})^2 > 0.$$

Воспользовавшись значениями коэффициентов, входящих в коэффициенты характеристического уравнения a_i , которые приведены в работах [3, 7], можно показать, что все три условия устойчивости ДС выполняются в начальный момент времени. По мере износа абразивного круга при шлифовании, когда снимаемые припуски незначительны (не более 100 мкм), коэффициент $K_{ик}$ согласно исследованиям Г. Б. Лурье [11] достаточно длительное время сохраняет свое значение, а затем быстро падает практически до нуля. В этом случае коэффициент a_0 изменяет свой знак на отрицательный, т.е. ДС переходит в неустойчивое состояние. Указанное сопровождается снижением запаса устойчивости ДС, который оценивается на основе измерения ВА колебаний при шлифовании [2].

Следовательно, аналитически доказано, что запас устойчивости ДС шлифовального станка служит критерием оценки его динамического состояния.

На практике запас устойчивости вычисляется из передаточной функции замкнутой ДС станка $W_3(p)$, которая определяется в результате специальной математической обработки виброакустических колебаний при резании, на основе которой устанавливается аналитический вид автокорреляционной функции (АКФ) $K(\tau)$. Далее используется известное выражение, полученное В. А. Складчиковым [12]:

$$K(p) + K(-p) = W_3(p)W_3(-p), \quad (6)$$

где $K(p)$ – изображение по Лапласу АКФ $K(\tau)$ при условии, что на вход упругой системы подается сигнал типа «белый шум», в качестве которого рассматривается стохастическая компонента силы резания [2, 5].

Оценку запаса устойчивости замкнутой ДС шлифовального станка для обработки колец подшипников можно выполнить на основе применения критерия устойчивости Михайлова [13] путем вычисления минимального расстояния от кривой Михайлова до начала координат на комплексной плоскости ($ReM(j\omega)$, $ImM(j\omega)$), где $M(j\omega)$ – характеристический многочлен передаточной функции $W_3(j\omega)$; $ReM(j\omega)$, $ImM(j\omega)$ – действительная и мнимая части $M(j\omega)$. Так, например, полученный из идентифицированной по экспериментальным данным передаточной функции для внутришлифовального станка SIW-4 многочлен Михайлова имеет вид [2]:

$$M(j\omega) = \left[(j\omega + \alpha)^2 + (\omega_0 + \Omega)^2 \right] \left[(j\omega + \alpha)^2 + (\omega_0 - \Omega)^2 \right], \quad (7)$$

где ω_0 – основная (несущая) частота колебаний АКФ, представляющей собой затухающую косинусоиду; α – коэффициент затухания реальной АКФ; Ω – частота огибающей АКФ. Результаты экспериментов на станке SIW-4 показали [2], что с увеличением подачи круга от 0,2 до 0,6 мм/мин запас устойчивости ДС резко уменьшается при подаче 0,6 мм/мин, что сопровождается ростом уровня ВА колебаний, снижением качества шлифовальной поверхности ниже допустимого значения. По запасу устойчивости ДС была рекомендована подача 0,5 мм/мин, которая превышает на 25 % значение подачи, применяемой в производстве.

Для оценки изменения запаса устойчивости ДС по мере износа круга проведен эксперимент на круглошлифовальном станке SWaAGL-50, заключающийся в последовательной обработке колец подшипников с увеличенным интервалом времени между правками круга. В производственных условиях правка предусмотрена через 5 колец. В эксперименте обработка осуществляется до того момента, когда состояние поверхностного слоя дорожки качения колец существенно ухудшилось. В качестве показателя качества шлифования использовалась неоднородность структуры поверхностного слоя. Оценка осуществлялась вихрековым методом с помощью автоматизированного прибора ПВК-К2М в баллах (5 баллов – отличное состояние, 2 балла – брак) [2]. Запас устойчивости оценивался в условных единицах по критерию Михайлова.

Вычисление запаса устойчивости при обработке колец показало (рис. 2), что уровень ВА колебаний и запас устойчивости почти не изменялись с 1-го по 10-е кольцо, а начиная с 12-го кольца повысился уровень ВА колебаний и резко понизился запас устойчивости, что коррелирует с показателем качества шлифования.

Из изложенного следует, что правку круга можно осуществлять не через 5 колец, как принято по технологическому циклу, а через 10 колец, что повышает производительность при сохранении качества поверхностного слоя и экономит алмазный правящий инструмент.

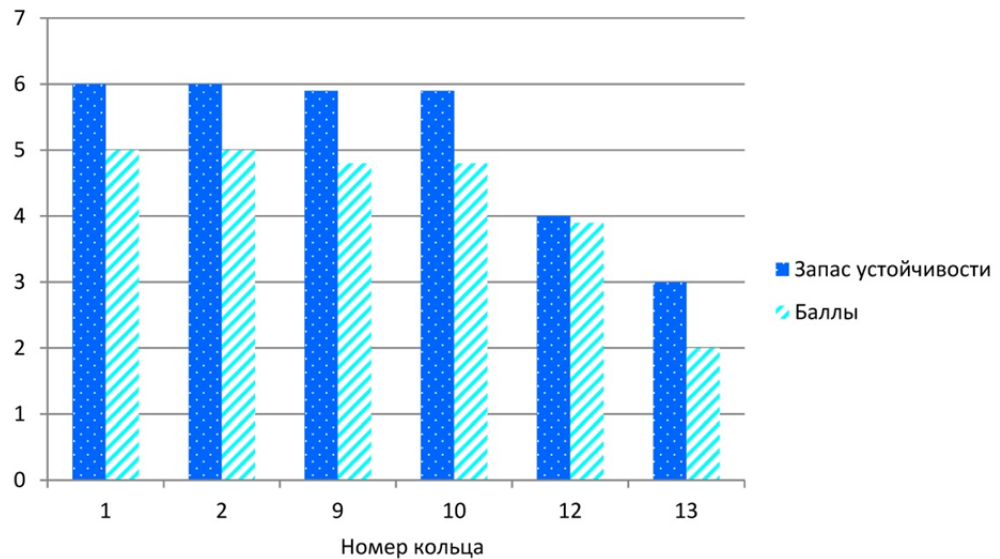


Рис. 2. Зависимость запаса устойчивости и качества поверхности от режима правки

С практической точки зрения более удобным для автоматизации оценки запаса устойчивости ДС является вычисление показателя колебательности. Заменой $P = j\omega$ можно получить из $W_3(p)$ частотную функцию $W_3(j\omega)$, после чего из нее определяется амплитудно-частотная характеристика $A(\omega)$ (АЧХ), на базе которой по показателю колебательности $M_{\max}$ оценивается запас устойчивости замкнутой ДС [13]:

$$M_{\max} = \frac{[A(\omega)]_{\max}}{A(0)}, \quad (8)$$

где $A(\omega)_{\max}$ – максимальное значение АЧХ; $A(0)$ – значение АЧХ при $\omega = 0$.

При меньшем значении показателя колебательности ДС имеет больший запас устойчивости (для детерминированных систем значение показателя колебательности, соответствующее наибольшему запасу устойчивости, должно быть в пределах $1,1 \dots 1,5$).

Для установления связи точности обработки на круглошлифовальных станках SWaAGL-50 с запасом устойчивости динамической системы выполнены измерения волнистости дорожек качения колец подшипников и ВА колебаний при обработке. На станках шлифовались дорожки качения колец из стали ШХ-15 примерно одного типоразмера, кругом из одного и того же материала и с одинаковыми значениями параметров технологического режима. Сравнительный анализ показал (рис. 3), что имеется взаимосвязь точности обработки с запасом устойчивости ДС, а станок № 230, обладающий наибольшим запасом устойчивости (показатель колебательности M имеет наименьшее значение), обеспечивает более высокую геометрическую точность поверхности качения колец.

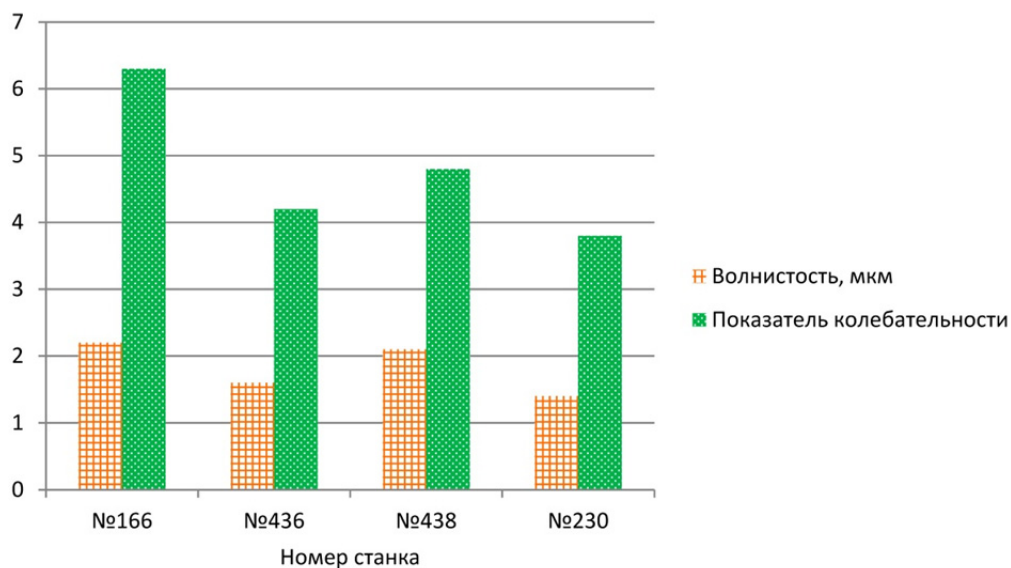


Рис. 3. Значения волнистости (B) дорожек качения колец подшипников и показатель колебательности (M) станков SWaAGL-50

Заключение

Теоретически и экспериментально подтверждено, что запас устойчивости ДС шлифовального станка может служить оценкой его динамического качества, что согласуется с положениями, рассмотренными ранее В. А. Кудиновым [3]. При условии сопоставления качества шлифованной поверхности с запасом устойчивости ДС в производственных условиях назначается момент правки круга или целесообразный режим обработки с точки зрения наибольшей эффективности. Экспериментально установлено, что период между правками круга при шлифовании колец подшипников может быть увеличен в 2 раза. Кроме того, однотипные станки можно сравнить по запасу устойчивости и определить станок с наиболее высоким динамическим качеством и, соответственно, с более высоким качеством шлифования.

Библиографический список

1. Аршанский, М. М. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках / М. М. Аршанский, В. П. Щербаков. – М. : Машиностроение, 1988. – 124 с.
2. Игнатьев, А. А. Стохастические методы идентификации в динамике станков / А. А. Игнатьев, В. А. Каракозова, С. А. Игнатьев. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2013. – 124 с.
3. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. – 360 с.
4. Добрынин, С. А. Методы автоматизированного исследования вибрации машин : справочник / С. А. Добрынин, М. С. Фельдман, Г. И. Фирсов. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.

5. Игнатьев, А. А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов / А. А. Игнатьев, В. В. Коновалов, С. А. Игнатьев. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2014. – 92 с.
6. Самойлова, Е. М. Моделирование динамической системы автоматизированного токарного модуля при разработке экспертной системы / Е. М. Самойлова, А. А. Игнатьев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 268–277.
7. Михелькевич, В. Н. Автоматическое управление шлифованием / В. Н. Михелькевич. – М. : Машиностроение, 1975. – 304 с.
8. Игнатьев, А. А. Динамическая модель врезного шлифования с учетом износа шлифовального круга / А. А. Игнатьев, Д. В. Козлов // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2011. – № 3 (58). С. 62–65.
9. Филимонов, Л. Н. Стойкость шлифовальных кругов / Л. Н. Филимонов. – М. : Машиностроение, 1973. – 136 с.
10. Егоров, К. В. Основы теории автоматического регулирования / К. В. Егоров. – М. : Энергия, 1967. – 648 с.
11. Лурье, Г. Б. Шлифование металлов / Г. Б. Лурье. – М. : Машиностроение, 1969. – 172 с.
12. Складчиков, В. А. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем / В. А. Складчиков. – М. : Наука, 1965. – 475 с.
13. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Профессия, 2003. – 752 с.

Игнатьев Александр Анатольевич
 доктор технических наук, профессор,
 кафедра автоматизации, управления,
 мехатроники,
 Саратовский государственный
 технический университет
 им. Ю. А. Гагарина
 E-mail: atp@sstu.ru

Ignatyev Alexander Anatolyevich
 doctor of technical sciences, professor,
 sub-department of automation, control,
 mechatronics,
 Saratov State Technical University
 named after Yu. A. Gagarin

Гаврилова Анна Владимировна
 ассистент,
 Саратовский государственный
 технический университет
 им. Ю. А. Гагарина
 E-mail: anchutca08@mail.ru

Gavrilova Anna Vladimirovna
 assistant,
 Saratov State Technical University
 named after Yu. A. Gagarin

Игнатьев Станислав Александрович
 доктор технических наук, профессор,
 кафедра автоматизации, управления,
 мехатроники,
 Саратовский государственный
 технический университет
 им. Ю. А. Гагарина
 E-mail: ignatievsa@mail.ru

Ignatyev Stanislav Alexandrovich
 doctor of technical sciences, professor,
 sub-department of automation, control,
 mechatronics,
 Saratov State Technical University
 named after Yu. A. Gagarin

УДК 681.5

Игнатьев, А. А.

Теоретические и экспериментальные исследования динамического качества шлифовальных станков для обработки дорожек качения колец подшипников / А. А. Игнатьев, А. В. Гаврилова, С. А. Игнатьев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 124–133.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТОКАРНОГО СТАНКА С ЧПУ И ОЦЕНКА ЕЕ ЗАПАСА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ РЕЖИМА РЕЗАНИЯ

А. А. Игнатьев, Н. А. Казинский, С. А. Игнатьев

MODELING THE DYNAMIC SYSTEM OF THE LATHE WITH CNC AND THE ASSESSMENT OF ITS STABILITY WHEN CHANGING MODES OF CUTTING

A. A. Ignatyev, N. A. Kazinskiy, S. A. Ignatyev

Аннотация. *Актуальность и цели.* Процесс обработки на металлорежущем станке сопровождается виброакустическими колебаниями, на основе измерения которых и специальной математической обработки можно назначить режим резания с наибольшей эффективностью. Цель исследования – обоснование применения для выбора режима резания запаса устойчивости динамической системы токарного станка, определяемого на основе идентификации ее передаточной функции по виброакустическим колебаниям. *Материалы и методы.* Для теоретического обоснования применимости запаса устойчивости построена математическая модель динамической системы токарного станка в виде передаточной функции 5-го порядка. *Результаты.* На основании анализа характеристического уравнения, полученного из передаточной функции динамической системы, показано, что по мере изменения износа инструмента или значений параметров режима резания динамическая система переходит из устойчивого состояния в неустойчивое. Экспериментальными исследованиями на токарном станке модели ПАБ-350 подтверждено, что максимум запаса устойчивости, оцениваемый по показателю колебательности, может служить критерием выбора параметров режима резания, в частности, частоты вращения заготовки, с наибольшей производительностью и заданным качеством обработки колец подшипников. *Выводы.* На основе теоретических и экспериментальных исследований показана целесообразность применения запаса устойчивости динамической системы токарного станка для выбора зоны режима резания с наибольшей эффективностью обработки.

Ключевые слова: автоматизированный токарный станок, модель динамической системы, виброакустические колебания, передаточная функция, запас устойчивости, износ инструмента, режим резания, точность обработки.

Abstract. *Background.* The treatment process in metal cutting machine is accompanied by vibroacoustic oscillations based on measurements which special mathematical processing, you can assign cutting mode with the greatest efficiency. The objective of the study justification of the application to select the cutting mode of the stability margin of the dynamic system of the lathe is determined on the basis of the identification transfer function of the vibroacoustic vibrations. *Materials and methods.* For theoretical justification of the applicability of the stability margin of a mathematical model of the dynamic system of the lathe in the form of the transfer function of the 5th order. *Results.* Based on the analysis of the characteristic equation obtained from the transfer function of a dynamic system it is shown that as the change of tool wear or of the values of the parameters of cutting mode

dynamic system passes from steady state to unstable. Experimental studies on the lathe model, the PUB-350 is confirmed that the maximum margin of stability measured by oscillation index, can serve as a criterion of selection of parameters of cutting mode, in particular, the frequency of rotation of the workpiece, with the highest performance and the desired processing quality of the bearing rings. *Conclusions.* On the basis of theoretical and experimental studies have shown the usefulness of the stability margin of the dynamic system of the lathe to select the zone of cutting mode with the highest treatment efficiency.

Key words: automated lathe, model dynamical systems, vibro-acoustic oscillations, transfer function, stability, tool wear, cutting conditions, machining accuracy.

Введение

Процесс обработки на токарном станке сопровождается виброакустическими (ВА) колебаниями динамической системы (ДС), обусловленными как характеристиками звеньев упругой системы, так и динамическими свойствами процесса резания [1, 2]. Колебания, связанные с резанием, определяются процессом стружкообразования, трением в контакте «резец – заготовка», износом инструмента, неоднородностью материалов заготовки и резца и другими факторами, в силу чего имеют достаточно широкий спектр частот, близкий к спектру сигнала типа «белый шум» [3].

Изменение значений параметров режима резания (частоты вращения заготовки, подачи резца, глубины резания) оказывает влияние на значения указанных выше факторов, что, соответственно, вызывает изменение интенсивности ВА колебаний и, как следствие, снижает точность обработки.

В связи с этим целесообразным является определение виброустойчивых зон режимов резания, при которых обеспечивается заданная точность обработки и наибольшая производительность. Кроме того, в этом случае снижается износ инструмента, что повышает эффективность обработки [2, 4].

Динамическое качество станка можно оценить посредством измерения ВА колебаний при резании (виброускорение, виброскорость, виброперемещение) с их последующей специальной обработкой для получения спектральных корреляционных и других функций [5], служащих основой для формирования критериев назначения режима резания.

Моделирование динамической системы станка

В Саратовском государственном техническом университете предложен метод оценки динамического качества автоматизированного токарного станка на различных режимах резания по запасу устойчивости ДС, который вычисляется из ее передаточной функции, идентифицированной по экспериментальным данным [2].

Предварительно теоретически покажем, что запас устойчивости ДС изменяется при изменении значений влияющих факторов, указанных выше, например износа инструмента. По аналогии с работой [6] построим модель ДС токарного станка, учитывающую процесс резания, износ резца и динамические свойства упругой системы, в которую включены два колебательных звена, описывающих шпиндельный узел (ШУ) и суппортную группу (рис. 1).

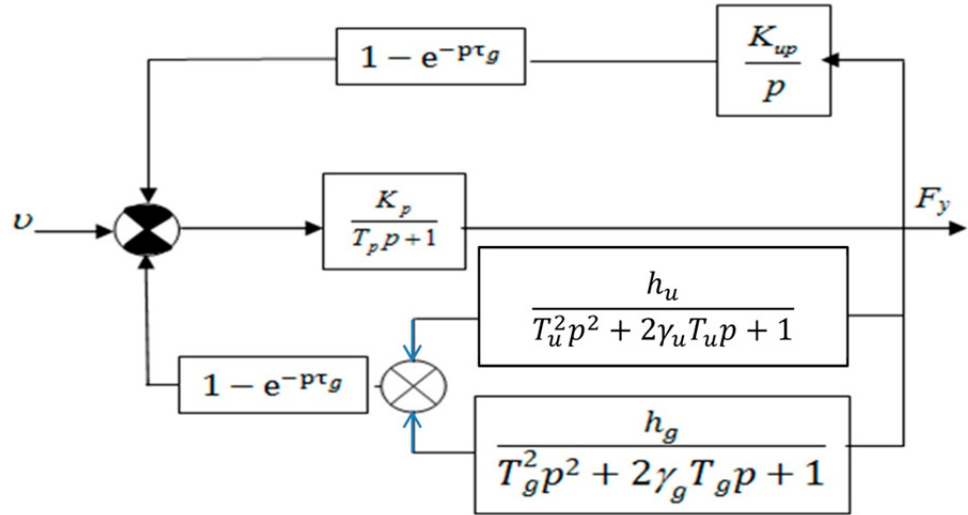


Рис. 1. Структурная схема динамической системы токарного станка с учетом износа резца: v – заданная глубина резания; F_y – сила резания; τ_g – время одного оборота детали; $h_u, h_g, T_u, T_g, \gamma_u, \gamma_g$ – коэффициенты, описывающие резцовый блок и шпиндельный узел детали; T_p – постоянная времени стружкообразования; K_p – коэффициент резания; K_{wp} – коэффициент износа резца

Процесс резания моделируется передаточной функцией [1]:

$$W(p) = \frac{K_p}{T_p p + 1}, \quad (1)$$

Упругая система представлена в виде параллельного соединения двух звеньев: ШУ детали и суппортной группы с инструментальным блоком с соответствующими передаточными функциями:

$$\begin{cases} W_g(p) = \frac{h_g}{T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1}, \\ W_u(p) = \frac{h_u}{T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1}. \end{cases} \quad (2)$$

Передаточная функция ДС станка:

$$W(p) = \frac{F_p(p)}{(p)}. \quad (3)$$

С учетом формул (1)–(3) передаточная функция приобретает вид

$$W(p) = \frac{\frac{K_p}{T_p p + 1}}{1 + \frac{K_p}{(T_p p + 1)}(1 - e^{-p\tau_g})} \times$$

$$\times \overline{\left[\left(\frac{h_u}{T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1} + \frac{h_g}{T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1} \right) + \frac{K_{up}}{p} \right]}. \quad (4)$$

С учетом разложения экспоненты в ряд при малом τ_g имеем $(1 - e^{-p\tau_g}) = p\tau_g$, тогда после алгебраических преобразований из формулы (4) получаем

$$W(p) = \frac{K_p (T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1) (T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1)}{(T_p p + 1) (T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1) (T_u^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1) + K_p \tau_g} \times \overline{\left[h_u (T_g^2 p^2 + 2\gamma_u T_u p + 1) p + h_g (T_g^2 p^2 + 2\gamma_g T_g p + 1) p + K_{up} \right]}. \quad (5)$$

Из знаменателя передаточной функции имеем характеристическое уравнение ДС в виде

$$a_5 p^5 + a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} a_5 &= T_p T_g^2 T_u^2, \\ a_4 &= T_g^2 T_u^2 + 2T_p T_g^2 \gamma_u T_u + 2T_p T_u^2 \gamma_g T_g + K_p \tau_g K_{up} T_g^2 T_u^2; \\ a_3 &= 2T_g^2 \gamma_u T_u + T_p T_g^2 + 2\gamma_y T_g T_u^2 + 4T_p \gamma_u \gamma_g T_u T_g + T_p T_u^2 + \\ &+ K_p \tau_g h_g T_u^2 + K_p \tau_g h_u T_g^2 + 2K_p \tau_g K_{up} T_g^2 \gamma_u T_u + 2K_p \tau_g K_{up} T_u^2 \gamma_g T_g; \\ a_2 &= T_g^2 + 4\gamma_u \gamma_g T_u T_g + 2T_p \gamma_g T_g + T_u^2 + 2T_p \gamma_u T_u + 2K_p \tau_g h_g \gamma_u T_u + \\ &+ 2K_p \tau_g h_u \gamma_g T_g + K_p \tau_g K_{up} T_g^2 + K_p \tau_g K_{up} T_u^2 + 4K_p \tau_g K_{up} \gamma_u \gamma_g T_u T_g; \\ a_1 &= 2\gamma_g T_g + 2\gamma_u T_u + T_p + K_p \tau_g h_g + K_p \tau_g h_u + 2K_p \tau_g K_{up} \gamma_y T_g + 2K_p \tau_g K_{up} J_u T_u; \\ a_0 &= 1 + K_p \tau_g K_{up}. \end{aligned}$$

По критерию Гурвица для устойчивости системы 5-го порядка необходимо и достаточно выполнения трех условий [7]:

- все коэффициенты $a_i (i = \overline{0,5})$ положительны;
- определитель второго порядка:

$$\Delta_2 = a_4 a_3 - a_5 a_2 > 0;$$

- определитель четвертого порядка:

$$\Delta_4 = (a_4 a_3 - a_5 a_2)(a_2 a_1 - a_3 a_0) - (a_4 a_1 - a_5 a_0)^2 > 0.$$

Первое условие выполняется, а для проверки второго и третьего условий можно воспользоваться значениями параметров $T_p, T_g, h_g, K_p, T_u, h_u, \gamma_g, \gamma_u, \tau_g$, приведенными для токарных станков в работах [1, 3]. Для периода нормального износа резца значение коэффициента износа K_{up} мало, что известно из классической кривой износа инструмента, тогда определители $\Delta_2 > 0$ и $\Delta_4 > 0$, следовательно, ДС устойчива.

В процессе обработки происходит износ инструмента, так что когда из стадии нормального износа резец переходит в стадию катастрофического износа, то резко возрастают коэффициенты K_{up} и K_p , что вызывает смену знака определителя $\Delta_2 < 0$, т.е. ДС становится неустойчивой.

Необходимо отметить, что аналогичное влияние на K_p оказывает повышение силы резания, обусловленное изменением величины снимаемого припуска, частоты вращения шпинделя или подачи резца [1, 3]. Отсюда следует, что оценкой динамического качества ДС может служить запас устойчивости, что согласуется с положениями теории автоматического управления и выводами В. А. Кудинова [1].

Экспериментальные исследования

При экспериментально-аналитическом определении передаточной функции ДС станка предполагается, что на нее воздействует в стационарном режиме сила резания со стохастической составляющей со спектральной плотностью, близкой к спектру сигнала «белый шум» [2, 3]. В этом случае возможно применение формулы, полученной А. Н. Складчиковым [8]:

$$K_y(p) + K_y(-p) = W_3(p)W_3(-p), \quad (7)$$

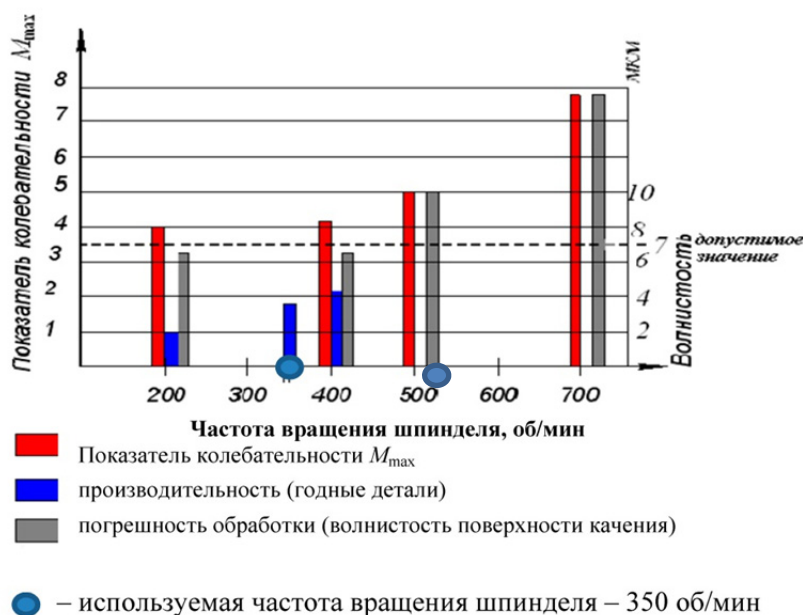
где $K_y(p)$ – изображение по Лапласу автокорреляционной функции (АКФ) $K_y(\tau)$ ВА колебаний ДС при резании; $W_3(p)$ – передаточная функция замкнутой ДС.

Из полученного аналитического выражения для $K_y(\tau)$ вычисляется передаточная функция $W_3(p)$, из которой, в свою очередь, определяется амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) $A(\omega)$. Далее вычисляется известный из теории автоматического управления показатель колебательности $M_{\max} = A_{\max}(\omega) / A(0)$, который дает оценку запаса устойчивости ДС: чем больше значение M , тем меньше запас устойчивости. Для хорошо демпфированных систем значение $M = 1,1 \dots 1,5$.

Выполняя измерения ВА колебаний ДС при различных значениях параметров режима обработки, а затем вычисляя значение M , можно назначить режим резания с наиболее высокой точностью и производительностью обработки деталей.

Изложенное нашло свое практическое подтверждение при назначении рационального режима резания на токарном двухшпиндельном станке с ЧПУ мо-

дели ПАБ-350, обрабатывающем кольца подшипников [2]. В производственных условиях изменялась частота вращения шпинделя от 200 до 700 об/мин. (рис. 2).



Количество измерений при каждой частоте вращения – 9
Среднее квадратическое отклонение измерений волнистости – не более 0,5 мкм
Среднее квадратическое отклонение значения $M_{\max}$ – не более 0,4

Рис. 2. Соотношение исследуемых показателей при обработке на токарном двухшпиндельном станке ПАБ-350

На каждой частоте вращения шпинделя, во-первых, регистрировались ВА колебания резцового блока при обработке 9 колец, а затем по специальной программе вычислялись показатели колебательности; во-вторых, измерялись значения волнистости обработанной поверхности качения колец, а далее осуществлялась статистическая обработка данных.

Анализ полученных результатов показал, что целесообразной является частота вращения шпинделя 400 об/мин, так как при частотах вращения 500 об/мин и выше значение волнистости превысило допустимый уровень 7 мкм, а также снизился запас устойчивости (показатель колебательности вырос). Следует отметить, что по технологической карте при обработке колец на данном станке задана частота вращения 350 об/мин, так что при рекомендуемой производительности повышается на 15 % с сохранением заданной точности обработки (производительность на частоте вращения 200 об/мин условно принята за единицу).

Рассмотренные исследования на станке ПАБ-350 являются фактически обучающим экспериментом, в ходе которого устанавливается значение показателя колебательности M , соответствующее режиму резания с заданным качеством обработанной поверхности. Подобные обучающие эксперименты

можно выполнить на любом станке при назначении режима резания, например, если используются новые обрабатываемые материалы или новые инструменты.

Заключение

Установлено соответствие теоретических и экспериментальных результатов, подтверждающих целесообразность использования запаса устойчивости ДС, вычисляемого на основе измерения ВА колебаний резцового блока, для выбора режима токарной обработки с наибольшей эффективностью.

Библиографический список

1. Кудинов, В. А. Динамика станков / В. А. Кудинов. – М. : Машиностроение, 1967. – 360 с.
2. Игнатьев, А. А. Идентификация в динамике станков с использованием стохастических методов / А. А. Игнатьев, В. В. Коновалов, С. А. Игнатьев. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2014. – 92 с.
3. Попов, В. И. Динамика станков / В. И. Попов, В. И. Локтев. – Киев : Техника, 1975. – 136 с.
4. Жарков, И. Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И. Г. Жарков. – М. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
5. Добрынин, С. А. Методы автоматизированного исследования вибрации машин / С. А. Добрынин, М. С. Фельдман, Г. И. Фирсов. – М. : Машиностроение, 1987. – 224 с.
6. Самойлова, Е. М. Моделирование динамической системы автоматизированного токарного модуля при разработке экспертной системы / Е. М. Самойлова, А. А. Игнатьев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 268–277.
7. Егоров, К. В. Основы теории автоматического регулирования / К. В. Егоров. – М. : Энергия, 1967. – 648 с.
8. Складчиков, А. Н. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем / А. Н. Складчиков. – М. : Наука, 1965. – 460 с.

Игнатьев Александр Анатольевич
доктор технических наук, профессор,
кафедра автоматизации, управления,
мехатроники,
Саратовский государственный
технический университет
им. Ю. А. Гагарина
E-mail: atp@sstu.ru

Ignatyev Alexander Anatolyevich
doctor of technical sciences, professor,
sub-department of automation, control,
mechatronics,
Saratov State Technical University
named after Yu. A. Gagarin

Казинский Никита Алексеевич
аспирант,
Саратовский государственный
технический университет
им. Ю. А. Гагарина
E-mail: knal89@mail.ru

Kazinskiy Nikita Alekseyevich
postgraduate student,
Saratov State Technical University
named after Yu. A. Gagarin

Игнатъев Станислав Александрович

доктор технических наук, профессор,
кафедра автоматизации, управления,
мехатроники,
Саратовский государственный
технический университет
им. Ю. А. Гагарина
E-mail: ignatievsa@mail.ru

Ignatyev Stanislav Alexandrovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of automation, control,
mechatronics,
Saratov State Technical University
named after Yu. A. Gagarin

УДК 681.5

Игнатъев, А. А.

Моделирование динамической системы токарного станка с ЧПУ и оценка ее запаса устойчивости при изменении режима резания / А. А. Игнатъев, Н. А. Казинский, С. А. Игнатъев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 134–141.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСИСТЕМЫ
НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ
ОБРАБОТКИ СИГНАЛА¹**

А. И. Мартышкин

**RESEARCH THE CHARACTERISTICS OF THE SUBSYSTEM
TASK ASSIGNMENTS OF RECONFIGURABLE COMPUTING
SYSTEMS FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING**

A. I. Martyshkin

Аннотация. *Актуальность и цели.* Благодаря развитию современной элементной базы и доступности микроэлектронных компонентов сегодня возможно построение многопроцессорных и многоядерных систем средней мощности. Среди них можно выделить реконфигурируемые вычислительные системы на основе программируемых логических интегральных схем (ПЛИС), используемые сегодня широко и повсеместно, чем, собственно, обусловлена актуальность статьи. Цель работы – изучение варианта архитектуры реконфигурируемых вычислительных систем, которые могут использоваться для цифровой обработки сигналов. *Материалы и методы.* Для достижения обозначенных целей использованы методы проектирования и построения вычислительных систем и устройств. Для проведения математических расчетов и моделирования работы описываемой системы применяется теория массового обслуживания, в частности, имеющие хорошо описанный математический аппарат открытые (разомкнутые) сети массового обслуживания. *Результаты.* Приведены результаты проведенного эксперимента по моделированию планировщиков с временным разделением для реконфигурируемых вычислительных систем. Рассмотрены и представлены на графиках результаты, полученные при аналитическом и имитационном моделировании. *Выводы.* В заключении статьи представлены полученные результаты и выводы, повествующие о результатах проведенных вычислительных экспериментов, из которых выявлено, что число процессоров в составе рассматриваемой системы зависит от параметров задач и архитектурных параметров планировщика задач. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют об адекватности разработанной модели реальной реконфигурируемой вычислительной системе.

Ключевые слова: аналитическая модель, планировщик задач, разделение во времени, открытая сеть массового обслуживания, вероятность.

Abstract. *Background.* Through the development of modern element base and the availability of microelectronic components today, it is possible to build multiprocessor and multicore medium power systems. Among them are reconfigurable computing systems based on programmable logic integrated circuits (FPGAs), today used widely and universally, what, in fact, due to the relevance of the article. The purpose of work is to study options architectures of reconfigurable computing systems that can be used for digital signal processing. *Materials and methods.* In order to achieve the above goals used methods of

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 16-07-00012).

design and construction of computer systems and devices. To perform mathematical calculations and modeling work described system applied queuing theory, in particular, having a well-defined mathematical device open queuing network. *Results.* The article presents the results of experimental modeling of schedulers with a time division for reconfigurable computing systems. Considered and presented on graphs results obtained by the analytical and simulation modeling. *Conclusions.* In conclusion of article presents the results and conclusions, telling about the results of the computational experiments, of which revealed that the number of processors in the composition of the system depends on the task settings and architectural settings Task Scheduler. The findings of the research results show the adequacy of the developed model of the real reconfigurable computing system.

Key words: analytical model, scheduler, time division, open queuing network, probability.

Введение

Увеличение количества центральных процессоров (ЦП) в высокопроизводительных системах, в частности в реконфигурируемых вычислительных системах (РВС), сказывается на ухудшении характеристик, в том числе и подсистемы планирования и назначения задач на обслуживание ЦП, так как программно реализованный планировщик функционирует последовательно, что приводит к возникновению и росту временных затрат на синхронизацию выполняемых процессов. Отсюда следует вывод, что для более эффективного планирования и назначения задач ЦП требуется вести параллельное распределение этих задач. Существует подобный метод параллельной обработки – аппаратное решение планирования процессов с единой очередью и временным разделением на каждый ЦП [1, 2]. Современная элементная база позволяет реализовать подобное решение [3–5], однако вначале необходимо провести исследование математической модели для более детального представления о характеристиках РВС, рассмотренных, например, в работах [6–11].

Постановка задачи

Для оценки параметров и моделирования рассматриваемой РВС с аппаратной реализацией функций планирования процессов адекватным методом используются аналитические математические модели, основывающиеся на положениях теории массового обслуживания [12, 13].

Рассмотрим детальнее входящий в РВС планировщик задач с общей (глобальной) очередью, описываемый в [1, 14]. Имеется множество дисциплин обслуживания, которые делятся на приоритетные и беспriorитетные. В данном исследовании выбрана дисциплина обслуживания *FIFO* ввиду ее частого применения на практике. Принцип функционирования *FIFO* заключается в следующем: выбор задач на обслуживание из очереди выполняется в порядке их появления. Достоинства *FIFO* – несложная реализация, малое количество потребляемых системных ресурсов, отсутствие необходимости во внешнем вмешательстве в процесс вычисления, здесь не происходит перераспределение процессорного времени. Кроме всего прочего, имеется один существенный недостаток: при подобном виде обслуживания короткие задачи ожидают столько же, сколько и более трудоемкие. При этом, когда возрастает загрузка системы, возрастает и среднее время ожидания обслуживания.

Исследуемая модель представляет собой разомкнутую сеть массового обслуживания (РСМО), состоящую из двух систем массового обслуживания (СМО): первая система (S_1) – это массив ЦП, вторая (S_2) – планировщик [14]. На рис. 1 представлена структура модели исследуемой РВС [15].

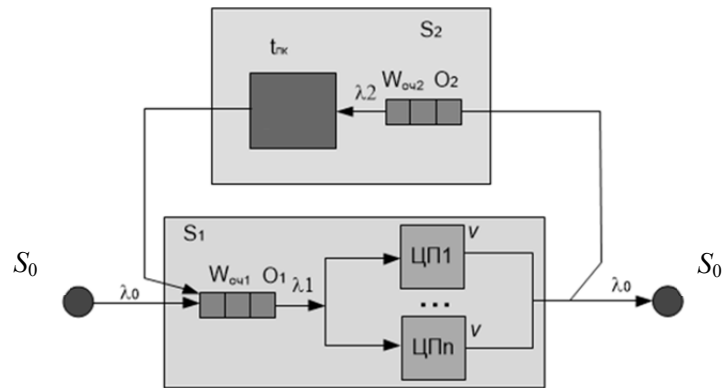


Рис. 1. Структура исследуемой модели РВС

Рассмотрим алгоритм ее работы. Задачи из источника S_0 в РВС поступают с интенсивностью λ_0 и становятся в очередь O_1 , если в ней есть свободные места. Если мест нет, задача покидает систему необработанной. В соответствии с дисциплиной *FIFO* задачи выходят из очереди с интенсивностью λ_1 и назначаются для обработки в n -й ЦП. Как только завершится время обслуживания, производится проверка на полное завершение обработки задачи. Если результат положительный, то задача покидает систему. Обработка задачи в n -м ЦП занимает квант времени (k). После завершения обработки ЦП из внутренней переменной задачи вычитается время обработки – время одного кванта (t_k). Далее выполняется проверка на завершенность методом сравнения внутренней переменной задачи, отвечающей за остаток времени, необходимого для завершения обработки, с нулем. При подтверждении того, что задача обработана окончательно, она покидает РВС. Если проверка не дает положительный ответ, то задача ждет освобождения планировщика, при этом n -й ЦП не освобождается, это явление создает очередь приостановленных ЦП. Когда планировщик освободится, задача поступит в него на обработку. После этого задача пытается вернуться в общую очередь при наличии в ней свободного места, иначе – покидает систему частично обработанной. Граф вышеописанной РВС представлен на рис. 2.

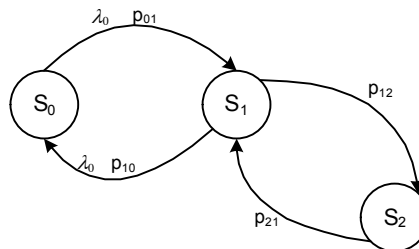


Рис. 2. Граф передач системы с общим планировщиком

На основе предложенного графа рассчитаны вероятности выхода (p_{10}) обработанной задачи и перехода (p_{12}) на обслуживание в планировщик. Вероятности p_{10} и p_{12} зависят от трудоемкости поступившей на обработку задачи: чем более трудоемкая задача, тем дольше она находится на обслуживании в ЦП, тем меньшее значение имеет вероятность выхода отработанной задачи из РВС и тем большее значение вероятности возвращения на дообслуживание задачи в ЦП [16]. При моделировании поступления в систему трудоемких задач значения p_{10} и p_{12} задавались 0,07 и 0,93 соответственно. При поступлении задач со средней трудоемкостью значения принимались равными 0,19 и 0,81. При моделировании поступления и обслуживания коротких задач p_{10} и p_{12} принимались равными 0,45 и 0,55 соответственно. Все расчеты проводились в программе аналитического моделирования и расчета сетей массового обслуживания [16].

Для получения результатов вычислительного эксперимента, проводимого на аналитических моделях, были исследованы вероятностно-временные характеристики, а именно загрузка ЦП, время пребывания задачи в системе, средняя длина очереди и т.д. При проведении эксперимента принимались параметры, вполне соответствующие реальным вычислительным системам: число ЦП варьировалось от 4 до 16; интенсивность поступления задач изменялась следующим образом: для задач с высокой реакцией от 9,3 до 93 задач/мс (среднее время обработки на ЦП составляет 0,009 мс), для задач со средней реакцией от 0,333 до 3,33 задач/мс (среднее время обработки на ЦП составляет 0,068 мс), для задач с низкой реакцией от 0,07 до 0,7 задач/мс (среднее время обработки на ЦП составляет 0,15 мс). Принятые значения интенсивностей обеспечивают среднюю загрузку ЦП на уровне 65 % ($\rho_{\text{ЦП}} = 0,65$); длина общей очереди в системе с планировщиком принята равной 128 задач; среднее время работы планировщика, учитывая время перезагрузки кэш-памяти и переключения контекста задач, составляет 0,002 мс [14].

Время ожидания обслуживания задачи в очередях РВС составит [14]

$$W = \frac{w_1 + w_2 p_{12}}{p_{10}}, \quad (1)$$

где w_1 – время ожидания в очереди перед ЦП; w_2 – время ожидания ЦП перед занятием планировщика; p_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из РВС; p_{12} – вероятность перехода задачи на обслуживание в планировщик.

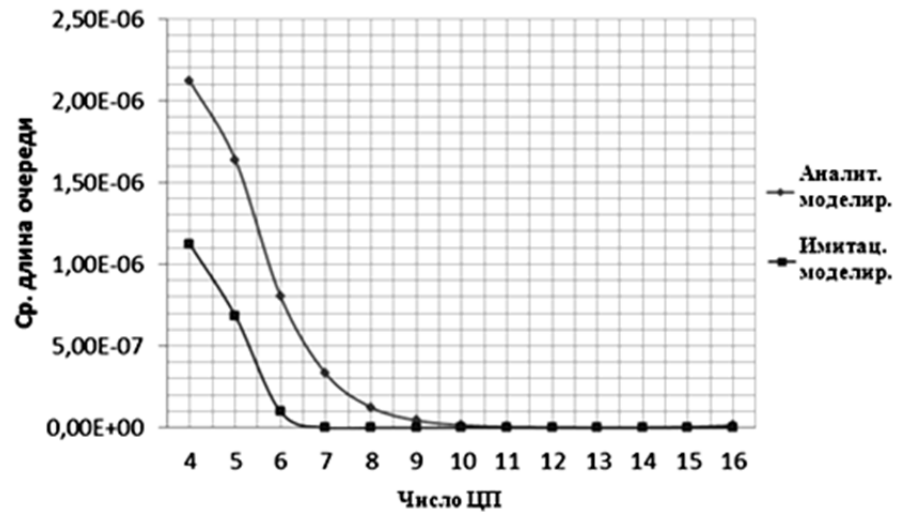
Время ответа (латентность) в системе с планировщиком и общей очередью задач в РВС составит [14]

$$U = \frac{w_1 + k(t_k + \delta) + p_{12}(w_2 + k(\tau + \zeta))}{p_{10}}, \quad (2)$$

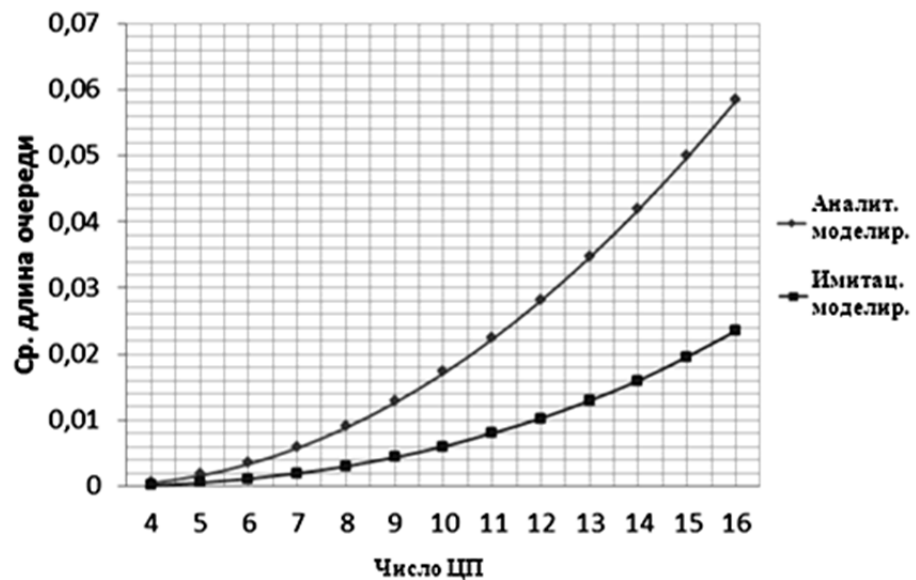
где k – число квантов на выполнение одной задачи; t_k – длительность одного кванта; δ – время, необходимое для перезагрузки кэш; ζ – время работы планировщика, τ – время, необходимое для переключения контекста задачи.

Во время проведения эксперимента по предложенной аналитической модели была разработана имитационная модель, по которой получены значения загрузки планировщика, средней длины очереди в РВС, также было исследовано, как влияет изменение трудоемкости задач на загрузку планировщика.

На рис. 3 представлены зависимости средней длины очереди перед ЦП и планировщиком от количества ЦП. Графики показывают, как при увеличении числа ЦП очередь стремится к нулю, когда как перед планировщиком она наоборот возрастает, отсюда следует вывод, что чем большее число ЦП в системе, тем больше вероятность простаивания нескольких ЦП.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость средней длины очереди перед ЦП (а) и перед планировщиком (б) от количества ЦП в системе

На рис. 4 представлен график зависимости загрузки планировщика от трудоемкости задач в РВС.

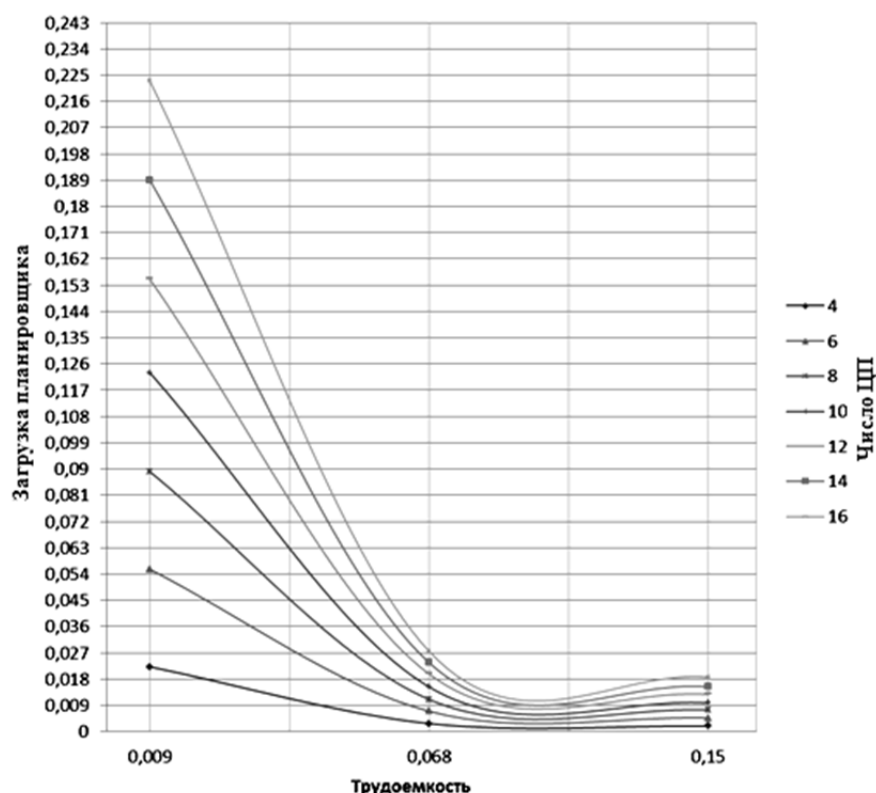


Рис. 4. Зависимость загрузки планировщика от трудоемкости задач в РВС

Из полученного рисунка можно сделать вывод: загрузка планировщика с временным разделением растет с понижением трудоемкости задач, т.е. с увеличением реактивности РВС.

Заключение

В результате проведенных экспериментов выявлено, что число процессоров в составе реконфигурируемой вычислительной системы зависит от параметров задач и архитектурных параметров планировщика задач. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют об адекватности разработанной модели реальной системе.

Библиографический список

1. Таненбаум, Э. Современные операционные системы / Э. Таненбаум, Х. Бос. — СПб. : Питер, 2015. — 1120 с.
2. Вашкевич, Н. П. Аппаратная поддержка диспетчера задач с глобальной очередью в многопроцессорных системах / Н. П. Вашкевич, Р. А. Бикташев, А. И. Меркурьев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. — 2011. — № 3. — С. 3–14.

3. Левин, И. И. Реконфигурируемая вычислительная система на основе ПЛИС Virtex UltraScale с жидкостным охлаждением / И. И. Левин, А. И. Дордопуло, Ю. И. Доронченко, М. К. Раскладкин // Параллельные вычислительные технологии. – 2016. – С. 221–230.
4. Платунов, А. Е. Реконфигурируемые встраиваемые системы и системы на кристалле / А. Е. Платунов // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2014. – № 4, Т. 57. – С. 49–52.
5. Ляшов, М. В. Гибридная реконфигурируемая система для высокопроизводительных вычислений / М. В. Ляшов, А. Н. Береза, Ю. В. Алексеев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.
6. Мартенс-Атюшев, Д. С. Реконфигурируемый вычислительный кластер для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. ст. XIII Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. И. И. Сальникова. – Пенза, 2015. – С. 112–117.
7. Мартенс-Атюшев, Д. С. Разработка и исследование реконфигурируемого вычислительного кластера для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Современные информационные технологии. – 2015. – № 21. – С. 190–195.
8. Мартенс-Атюшев, Д. С. Разработка реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 52. – С. 50–58.
9. Мартенс-Атюшев, Д. С. Разработка и исследование реконфигурируемой системы для цифровой обработки сигнала / Д. С. Мартенс-Атюшев, А. И. Мартышкин // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-1. – С. 86–88.
10. Мартышкин, А. И. Разработка подсистемы планирования и назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / А. И. Мартышкин, Д. С. Мартенс-Атюшев // Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов : сб. ст. XIV Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. И. И. Сальникова. – Пенза, 2016. – С. 115–119.
11. Воронцов, А. А. Разработка и исследование реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / А. А. Воронцов, Д. С. Мартенс-Атюшев // Инновации в науке. – 2016. – № 54. – С. 174–179.
12. Алиев, Т. И. Основы моделирования дискретных систем / Т. И. Алиев. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
13. Бикташев, Р. А. Многопроцессорные системы: архитектура, топология, анализ производительности : учеб. пособие / Р. А. Бикташев, В. С. Князьков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2004. – 107 с.
14. Мартышкин, А. И. Математическое моделирование диспетчеров задач в многопроцессорных вычислительных системах на основе стохастических сетей массового обслуживания : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.18 / Мартышкин А. И. ; Пензенская государственная технологическая академия. – Пенза, 2013.
15. Сальников, И. И. Исследование варианта реализации подсистемы планирования и назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала / И. И. Сальников, Д. С. Мартенс-Атюшев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 261–267.
16. Бикташев, Р. А. Программный комплекс для расчета вероятностно-временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания / Р. А. Бикташев, А. И. Мартышкин // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 1.

Мартышкин Алексей Иванович
кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительных машин
и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
E-mail: alexey314@yandex.ru

Martyszhkin Aleksey Ivanovich
candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computers and systems,
Penza State Technological University

УДК 519.872.3, 519.872.8

Мартышкин, А. И.

Исследование характеристик подсистемы назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала /
А. И. Мартышкин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 142–149.

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ОБЩИМИ РЕСУРСАМИ
В МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМАХ¹**

А. И. Мартышкин, Е. А. Карасева

**DEVELOPMENT AND RESEARCH OF MATHEMATICAL
MODELS FOR MANAGEMENT OF SHARED RESOURCES
IN MULTIPROCESSOR SYSTEMS**

A. I. Martyshkin, E. A. Karaseva

Аннотация. *Актуальность и цели.* Современный уровень технического обеспечения и научно-технический прогресс, а также колоссальная потребность всех отраслей народного хозяйства в мощных вычислительных ресурсах и реконфигурируемых под конкретные классы задач пользователя средствах обработки различной информации привела к активному применению вычислительных систем с массовым параллелизмом. Все внутренние (системные) ресурсы упомянутых систем, как правило, разделяемые. Колоссальные возможности многопроцессорных систем могут быть рационально использованы и раскрыты со всей полнотой только с применением наиболее производительных и эффективных методов и средств организации процессов обработки задач. В процессе создания новых вычислительных систем еще на этапе эскизного проектирования нужно задаться вопросом определения эффективности возможных вариантов воплощения таких систем в производство. Среди важнейших критериев, определяющих эффективность и целесообразность применения системы, выделяется критерий производительности. Наименее затратный способ для оценки важнейших характеристик любой вычислительной системы – проведение моделирования работы основных узлов системы, лучше в режиме реального времени. Все вышеперечисленное, несомненно, отмечает актуальность проводимого в работе исследования. Целью работы является создание некоторых моделей и методики, позволяющей определять наиболее эффективный способ доступа к одному или множеству общих ресурсов многопроцессорных систем. *Материалы и методы.* Для четкого следования к достижению указанных выше целей применяются положения и методы теории массового обслуживания. *Результаты.* Описываются математические модели для управления общими ресурсами многопроцессорных систем. Основными полученными в работе результатами являются графики зависимостей и выражения для определения наиболее эффективного метода доступа к общим ресурсам многопроцессорных систем, верифицированные путем моделирования. *Выводы.* Анализ полученных в ходе исследования данных позволяет определить основные особенности организации управления общими ресурсами и их проблемные места, а также сделать ряд некоторых выводов о возможной производительности различных организованных многопроцессорной системы.

Ключевые слова: многопроцессорная система, аналитическое моделирование, теория массового обслуживания, общий ресурс, битовый семафор, пространство пользователя, пространство ядра операционной системы.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (Грант № 16-07-00012 А).

Abstract. *Background.* The modern level of technical support and scientific-technical progress and the immense demand of all sectors of the economy in powerful computing resources and reconfigurable for specific classes of user tasks, the means of processing different information has led to the use of computer systems with massive parallelism. All the internal (system) resources, these systems typically share. Great opportunities multiprocessor systems can be rationally used and disclosed with the fullness only with the use of the most efficient and effective methods and means of the organization of processes of processing tasks. In the process of developing new computer systems at the stage of conceptual design we need to ask ourselves determine the effectiveness of possible embodiments of such systems in production. Among the most important criteria determining the efficiency and expediency of application of the system is the criterion of performance. The most cost effective way to assess the most important characteristics of any computing system performing the simulation of the major components of the system, preferably in real-time. All of the above, of course, notes the importance of the work performed in work study. The purpose of the article is to provide some of the models and methodology to determine the most efficient way to access one or a plurality of shared resources of multiprocessor systems. *Materials and methods.* For strict adherence to achieve the above objectives, the provisions and methods of the theory of mass service. *Results.* Describes mathematical models for the management of shared resources on multiprocessor systems. The main obtained results are dependency graphs and expressions for determining the most efficient access method to shared resources on multiprocessor systems, verified by simulation. *Conclusions.* The analysis of obtained during the research data allows to identify the main features of the organization of management of common resources and bottlenecks, and to make certain conclusions on the possible performance of different organized multiprocessor system.

Key words: multiprocessor system, analytical modeling, queuing theory, a shared resource, mutex, user space, the space of the operating system kernel.

Введение

Для решения задач оптимизации производительности и пропускной способности многопроцессорных систем (МПС) применяется моделирование, а также методы и средства математического анализа. Модель МПС – абстрактная система, наглядно представляющая объект исследования. В работе в качестве инструмента проведения исследования применяется теория систем и сетей массового обслуживания. Востребованность построения и исследования математических моделей вычислительных систем (ВС) сегодня – существование временных задержек из-за ограниченности мощностей ВС. Этому явлению наиболее подвержены многопроцессорные архитектуры, где все системные ресурсы распределяются не только между узлами системы, как в классических ВС, но и между несколькими управляющими устройствами, например, центральными процессорами (ЦП), имеющими вероятность обращения к этим устройствам.

Математические модели в форме аналитического описания функционирования той или иной ВС в первую очередь применяют для исследования основных системных характеристик, в том числе и вероятностно-временных [1–3]. Вопросам оценки характеристик ВС, к примеру, посвящены работы [4–6, 7–8]. Фактически любую ВС можно представить в виде совокупности

функциональных блоков, принципы работы которых непосредственно являются процессами массового обслуживания. Исходя из этого, для того чтобы охарактеризовать принципы их работы, пользуются математическими моделями, базирующимися на теории массового обслуживания, среди которых выделяют одно- и многоканальные системы массового обслуживания (СМО). ВС можно представить совокупностью СМО, каждая из которых наглядно отображает процесс функционирования отдельного устройства или группы устройств, входящих в состав системы. Совокупность взаимосвязанных СМО наглядно демонстрирует как основу ВС, так и алгоритмы вычислительного процесса, развивающегося в пределах предлагаемой основы [8].

Постановка задачи

Модель управления одиночным ОР

Для оценки влияния временных потерь и потерь производительности из-за возникающих конфликтов при соперничестве за доступ к общему ресурсу (ОР) (механизм семафора/монитора) рассмотрена аналитическая модель МПС с механизмом монитора (рис. 1) [9–10].

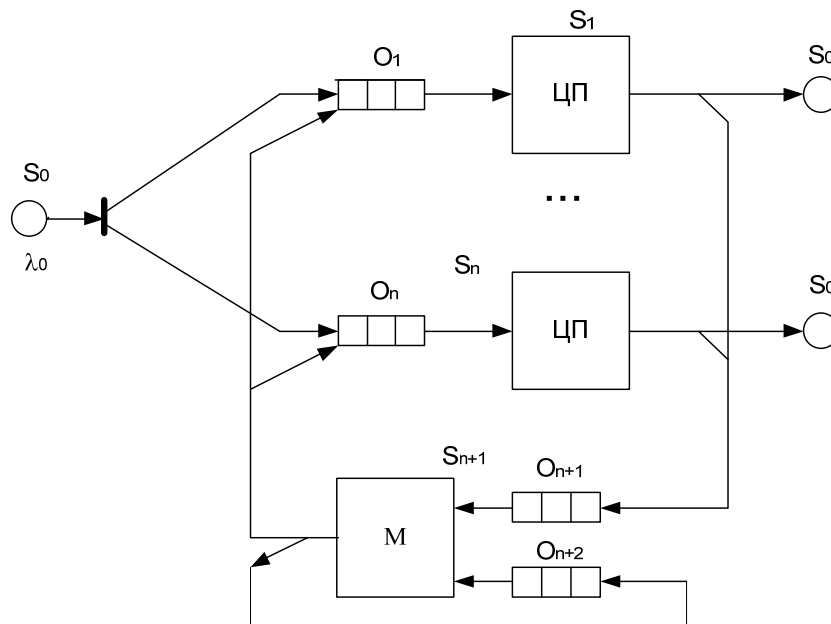


Рис. 1. Схема математической модели многопроцессорной системы с вариантом доступа к общему ресурсу при помощи механизма монитора:

ЦП – n процессоров; М – монитор (общий ресурс); O_{n+1} – очередь ожидающих процессов; O_{n+2} – очередь заблокированных (приостановленных) процессов

Модель представлена в виде разомкнутой сети массового обслуживания (РСМО), состоящей из n ($S_1, \dots, S_n$) одноканальных СМО, отражающих функционирование ЦП, и одноканальной СМО (S_{n+1}), которая на модельном уровне

отражает механизм доступа к ресурсу. Следует отметить, что СМО S_0 – источник входящих и поглотитель обслуженных сетью запросов на обслуживание.

При выполнении экспериментальных исследований и работе над статьей данные для моделирования выбирались в соответствии с данными, рассчитанными теоретически [11] и полученными с использованием программного продукта [12]. Все расчеты, полученные в ходе написания данной работы, проводились в программе [13]. Экспериментально получено, что время доступа к монитору в пространстве ядра составляет 250 микросекунд (мкс). Обслуживание в ЦП принято из соображений от значения, соизмеримого с минимумом времени доступа к ОР, до значения много большего временного максимума доступа к ресурсу. В итоге получено время в интервале от 50 мкс до 600 мкс [13].

Исследование возможного влияния времени доступа к ОР на производительность МПС

Исходные данные, принимаемые при выполнении экспериментов: число ЦП от 2 до 12; время обработки одним модулем ЦП $V = 600$ мкс; время обработки ОР $V = 50, 150, 250$ мкс (причем 50 мкс – обращение к ОР в пространстве пользователя, 150, 250 мкс – время обращения в пространстве ядра операционной системы к монитору). Входная интенсивность запросов при эксперименте изменялась согласно предположения: $5 \cdot 10^{-7}$ умножить на число ЦП в системе.

При повышении времени доступа к битовому семафору с 50 до 250 мкс время ожидания в очереди перед ним (W_s) возрастает примерно в 92 раза (при 11 ЦП W_s составило 18,9 мкс при времени обслуживания (V_s), равном 50 мкс и 1736,1 мкс при 250 мкс). Загрузка его также растет, достигая 100 % при 8 ЦП в системе с $V_s = 250$ мкс, а в системе с $V_s = 50$ мкс при 8 ЦП $P_s = 0,2$.

Приведенные результаты экспериментов указывают на тот факт, что выбор наиболее оптимального способа управления доступом к ОР, который влияет на временные параметры доступа к ресурсу, влияет и на общую производительность системы в целом.

Исследование возможного влияния времени обработки в ЦП на производительность МПС

Исходные данные, принимаемые при выполнении экспериментов: число ЦП от 2 до 12; время обработки одним модулем ЦП $V = 50, 600$ мкс; время обработки ОР $V = 150$ мкс. Входная интенсивность запросов при эксперименте снижалась в процессе увеличения времени обработки в ЦП, при этом понижалась загрузка и время ожидания доступа к ОР, поскольку заявки задерживались в ЦП на куда более длительное время.

Модели управления множеством ОР

Для оценки влияния временных потерь и потерь производительности из-за возникающих конфликтов при соперничестве за доступ к монитору рассмотрена аналитическая модель МПС со множеством ОР (рис. 2) [10].

зоне изменения нагрузки. Полученные результаты экспериментов подтверждают тот факт, что спин-блокировку необходимо использовать для коротких часто обращающихся к ОР процессов. Основным недостатком этого метода по существу являются затраты на подготовку и предварительное программирование, что не может не усложнить его использование. При применении механизма монитора тратится куда более длительное время ожидания его освобождения, однако такой метод более прост и предпочтителен в применении и может использоваться для трудоемких (длинных) процессов, имеющих долгое время обработки в ЦП.

Для выбора критерия определения наиболее оптимального метода доступа к одиночному ОР проведено экспериментальное исследование некоторых наборов времен обслуживания в ЦП и в семафоре. Кроме того, вычислялось отношение загрузки семафора P_s к загрузке ЦП P_{cp} :

$$Z = P_s / P_{cp}. \quad (2)$$

Рассмотрев варианты построения 4-процессорных систем с различными значениями времени обслуживания в ЦП и битовом семафоре, а также приняв во внимание сделанные выше выводы, получили значение интервала, необходимого для выборки оптимального метода доступа к ОР. Нужно, чтобы коэффициент Z лежал в пределе

$$0,4 \cdot K \leq Z \leq 1 \cdot K, \quad (3)$$

где K – число процессоров в системе.

Исходя из выражения (3), для 4-процессорной системы получаем: $1,6 \leq Z \leq 4$, для 8-процессорной системы: $3,2 \leq Z \leq 8$.

Методика определения наиболее эффективного способа доступа к множеству ОР

Ранее в статье получили критерий для модели с одним ОР (3). Для систем с множеством ОР необходимо провести дополнительный анализ. Рассматривались модели с двумя и четырьмя ОР. Для разработки критерия выбора оптимального метода доступа к множеству ОР проведены эксперименты по исследованию набора времен обслуживания в ЦП и ОР. Проводились вычисления отношения загрузки семафора P_s к загрузке ЦП P_{cp} . Рассмотрев варианты построения 4-процессорных систем с различными значениями времени обслуживания в ЦП и битовом семафоре, а также приняв во внимание сделанные выше выводы, получили значение интервала, необходимого для выборки оптимального метода доступа к данным. Нужно, чтобы коэффициент Z лежал в пределе

$$0,4 \cdot K / n \leq Z \leq 1 \cdot K / n, \quad (4)$$

где n – число ОР.

Исходя из выражения (4), для 4-процессорной системы с 2 ОР получаем: $0,8 \leq Z \leq 2$; для 4-процессорной системы с 4 ОР получаем: $0,2 \leq Z \leq 1$.

Ранее для модели ВС были получены числовые данные, с помощью которых построены графики, показанные на рис. 3, 4.

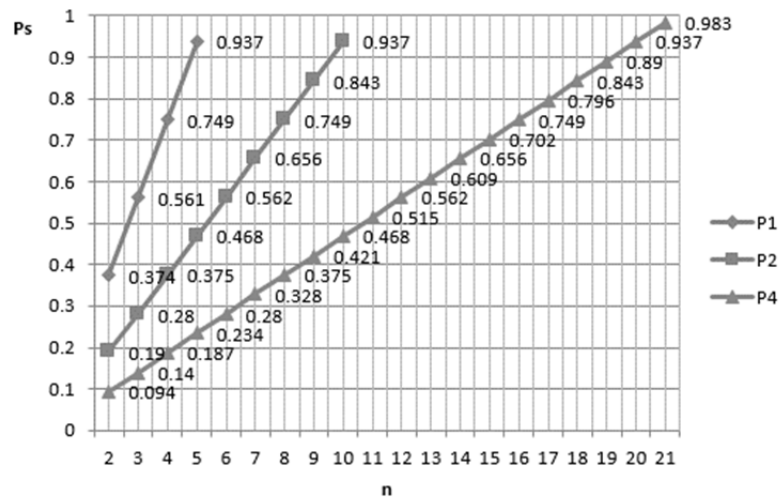


Рис. 3. Зависимость загрузки общих ресурсов в многопроцессорной системе от числа процессоров

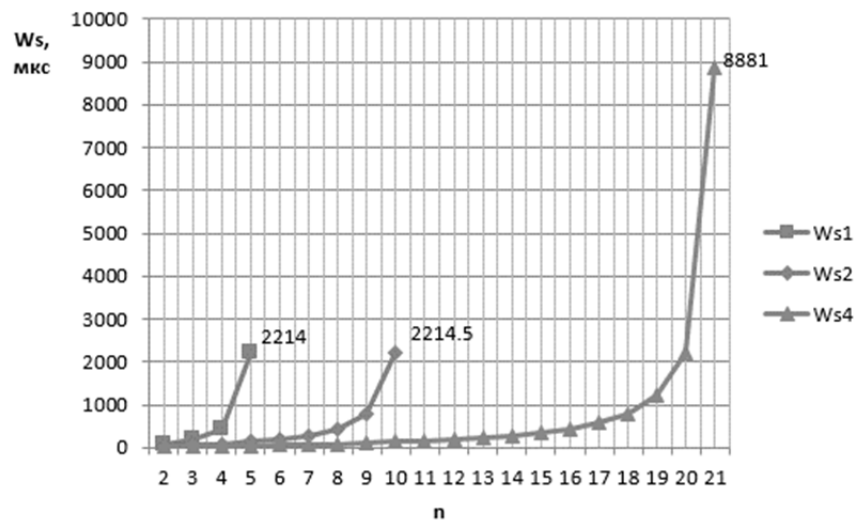


Рис. 4. Зависимость времени ожидания освобождения общих ресурсов в многопроцессорной системе от числа процессоров

Из графиков видно, что при наличии единственного ОР максимально возможное число выполняемых процессов составляет не более 4 ввиду того, что вероятность обращения к ОР очень высока, а это в свою очередь оказывает сильное влияние на общее увеличение времени ожидания к данному ресурсу. При увеличении числа ОР в МПС эта вероятность заметно снижается.

Заключение

В статье показаны результаты экспериментального исследования математических моделей управления общими ресурсами многопроцессорных си-

стем и разработаны методики определения наиболее эффективного метода доступа к общим ресурсам. Анализ полученных в ходе исследования данных позволяет определить основные особенности организации управления общими ресурсами и их проблемные места, а также сделать ряд некоторых выводов о возможной производительности различно организованной многопроцессорной системы.

Библиографический список

1. Алиев, Т. И. Основы моделирования дискретных систем / Т. И. Алиев. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
2. Клейнрок, Л. Вычислительные системы с очередями : пер. с англ. / Л. Клейнрок ; под ред. Б. С. Цыбакова. – М. : Мир, 1979. – 595 с.
3. Бикташев, Р. А. Многопроцессорные системы: архитектура, топология, анализ производительности : учеб. пособие / Р. А. Бикташев, В. С. Князьков. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2004. – 107 с.
4. Бикташев, Р. А. Модели оценки производительности средств синхронизации параллельных процессов / Р. А. Бикташев // Вопросы радиоэлектроники. – 2010. – № 5, Т. 3. – С. 21–29.
5. Максимова, Н. Н. Оценка производительности многопроцессорных операционных систем методом моделирования / Н. Н. Максимова, Р. А. Бикташев // Успехи современного естествознания. – 2011. – № 7. – С. 150–151.
6. Карасева, Е. А. Обзор средств управления процессами и ресурсами многопроцессорных операционных систем / Е. А. Карасева, А. И. Мартышкин // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-1. – С. 80–81.
7. Мартышкин, А. И. Математические модели для качественной оценки производительности семафоров многопроцессорных вычислительных систем / А. И. Мартышкин, Е. А. Карасева // Инновации в науке. – 2015. – № 50. – С. 40–45.
8. Богуславский, Л. Б. Вероятностные методы и модели управления потоками данных и ресурсами в сетях и многопроцессорных системах : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.13.13 / Богуславский Л. Б. – М., 1995.
9. Мартышкин, А. И. Исследование сетевых математических моделей управления одиночными критическими ресурсами в многопроцессорных системах / А. И. Мартышкин, Е. А. Карасева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2016. – № 3 (31). – С. 179–184.
10. Карасева, Е. А. Исследование сетевых аналитических моделей управления критическими ресурсами в многопроцессорных вычислительных системах / Е. А. Карасева, Е. Г. Бершадская // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 164–170.
11. Михалев, В. Результаты тестов производительности QNX Neutrino / В. Михалев // Современные технологии автоматизации: Научно-технический журнал. – 2012. – № 2. – С. 82–88.
12. Бикташев, Р. А. Программный комплекс для измерения производительности функций операционных систем / Р. А. Бикташев, А. И. Мартышкин // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 2.
13. Бикташев, Р. А. Программный комплекс для расчета вероятностно-временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания / Р. А. Бикташев, А. И. Мартышкин // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 1.

Мартышкин Алексей Иванович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительных машин
и систем,
Пензенский государственный
технологический университет
E-mail: alexey314@yandex.ru

Martyshkin Aleksey Ivanovich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computers and systems,
Penza State Technological University

Карасева Елена Александровна

студентка,
Пензенский государственный
технологический университет
E-mail: elena280190@yandex.ru

Karaseva Elena Alexandrovna

student,
Penza State Technological University

УДК 519.872.2, 519.872.5

Мартышкин, А. И.

Разработка и исследование математических моделей управления общими ресурсами в многопроцессорных системах / А. И. Мартышкин, Е. А. Карасева // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 150–158.

**ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОИНСПИРИРОВАННЫХ
АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧЕ СИНТЕЗА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ
СЕТЕЙ ПЕТРИ В ТЕНЗОРНОЙ МЕТОДОЛОГИИ
ИССЛЕДОВАНИЯ СП-СТРУКТУР**

*Г. В. Мартяшин, Е. А. Бальзанникова, Д. В. Пащенко,
Д. А. Трокоз, М. П. Синева*

**THE POSSIBILITY OF APPLYING BIO-INSPIRED ALGORITHMS
IN THE PROBLEM OF SYNTHESIS OF ALTERNATIVE PETRI
NETS INTO TENSOR METHODOLOGY OF THE STUDY
OF SP-STRUCTURES**

*G. V. Martiashin, E. A. Balzannikova, D. V. Pashchenko,
D. A. Trokoz, M. P. Sinev*

Аннотация. *Актуальность и цели.* Объектом исследования являются ограниченные сети Петри, именуемые далее СП-структуры. Предметом исследования является возможность применения тензорной методологии для анализа исходной сети, а также синтеза новых СП-структур, эквивалентных исходной. Целью работы является поиск решений проблемы экспоненциального роста потенциально эквивалентных сетей в зависимости от размера исходной модели, а также сокращения затрачиваемого времени для проведения полного цикла тензорного анализа. *Материалы и методы.* Формальное описание исходной модели системы проведено с использованием модели ограниченных сетей Петри. Синтез эквивалентных СП-структур выполняется согласно методологии тензорного анализа и синтеза. С целью сокращения синтезируемых и анализируемых структур предлагается ввести ряд ограничений, налагаемых в процессе синтеза на объединяемые вершины и переходы. Кроме того, с целью сокращения затрачиваемого на обработку времени предлагается использовать естественные алгоритмы. *Результаты.* Введены определения переходо-ориентированных и вершинных ограничений, а также доказана их способность сокращать количество синтезируемых потенциально эквивалентных структур. Определены различные этапы тензорного анализа, на которых возможна оптимизация за счет применения биоинспирированных алгоритмов. *Выводы.* В рамках данной статьи рассмотрена одна из наиболее существенных проблем тензорной методологии исследования моделей на основе аппарата сетей Петри – синтез альтернативных СП-моделей, связанный с экспоненциальным ростом их количества при увеличении размера исходной модели, а также предложен способ ее решения на основе эвристических алгоритмов поиска.

Ключевые слова: сети Петри, тензорный анализ, биоинспирированные алгоритмы, генетический алгоритм, метод роя частиц, муравьиный алгоритм.

Abstract. *Background.* The object of study is bounded Petri nets, hereinafter referred to as SP-structure. The subject of the study is the possibility of using the tensor methodology to the analysis of the original network as well as synthesis of SP-structures equivalent to the original. The aim of this work is the search for solutions to the problem of the exponential growth of potentially equivalent networks depending on the size of the original model,

and reducing the time taken for a complete cycle of tensor analysis. *Materials and methods.* A formal description of the original model of the system was conducted using the model of bounded Petri nets. Synthesis of equivalent to SP-structures is performed according to the methodology of tensor analysis and synthesis. To reduce synthesized and analyzed structures it is proposed to introduce a number of limitations in the synthesis process to combine positions and transitions. In addition, with the aim of reducing processing time are encouraged to use natural algorithms. *Results.* Introduced definition transition-centric and position constraints, as well as proven their ability to reduce the number of synthesized potentially equivalent structures. Identified different stages of tensor analysis, which can be optimized through the use of bio-inspired algorithms. *Conclusions.* In this article is considered one of the most significant problems of tensor methodology of the study models on the basis of the device of Petri nets – synthesis of alternative SP-models associated with the exponential growth of their number by increasing the size of the original model. And proposed a solution based on heuristic search algorithms.

Key words: Petri nets, tensor analysis, bio-inspired algorithms, genetic algorithm, particle swarm optimization, ant algorithm.

Введение

Сегодня моделирование находит применение почти во всех областях науки и является неотъемлемой частью многих исследований. Особое место занимает моделирование дискретных динамических систем, используемых для автоматизации и управления производством, вследствие того, что динамические дискретные системы достаточно популярны, так как позволяют создавать простые реализации алгоритмов управления и моделировать параллельные процессы [1]. Для моделирования динамических дискретных систем используются специализированные математические аппараты, в числе которых теория автоматов, исчисление процессов, модель акторов, сети Петри и прочие, но одним из наиболее распространенных и используемых на практике аппаратов являются сети Петри.

Достаточно перспективным направлением исследования является применение методов тензорной методологии Г. Крона к моделям на основе сетей Петри [2]. Применение этих методов к СП-структурам предоставляет возможность свести к минимуму избыточность разработанной СП-структуры в процессе проектирования дискретных систем, в том числе параллельных [3]. Тензорная методология исследования СП-структур является весьма молодым направлением и имеет ряд нерешенных проблем. Одной из наиболее актуальных и препятствующих ее развитию является проблема экспоненциального роста количества синтезированных альтернативных СП-структур при увеличении размера исходной модели, что делает невозможным применение тензорной методологии исследования СП-структур для анализа моделей сложных систем.

Для дальнейшего исследования и развития тензорной методологии исследования СП-структур и доработки применяемых алгоритмов ведется разработка аналитического программного средства, позволяющего выполнять исследование СП-структур с применением тензорной методологии. В рамках разрабатываемого аналитического средства предпринимались попытки решения проблемы экспоненциального роста количества синтезированных альтернативных СП-структур в виде введения ряда ограничений, применяемых

на разных этапах анализа. Однако рост количества альтернативных СП-моделей все же сохранил экспоненциальный характер, вследствие чего методология по-прежнему не применима для крупных сетей. Исходя из вышесказанного, данная работа ставит своей целью поиск иных подходов к решению обозначенной проблемы.

Постановка задачи

Применение методов тензорной методологии Г. Крона к моделям на основе сетей Петри уже рассматривалось достаточно подробно в ряде работ [4, 5], поэтому сразу перейдем к рассмотрению наиболее проблемного этапа применения методологии, существенно ограничивающего размеры СП-моделей. Речь идет об этапе синтеза альтернативных (эталонных) СП-моделей в рамках тензорной методологии исследования СП-структур. На данном этапе из системы примитивов, полученной в результате декомпозиции, выполняемой на предыдущих этапах, путем перебора различных объединений вершин формируется множество альтернативных СП-моделей, которые впоследствии будут подвержены преобразованию с помощью тензора, редукции и оценке анализируемых метрик на последующих этапах и в конечном счете потенциально имеют возможность привести к результирующим СП-моделям, имеющим более высокие характеристики согласно анализируемым метрикам.

Система примитивов представляет из себя множество элементарных сетей Петри вида позиция-переход-позиция, где T – множество переходов, а P – множество позиций, причем $|T| = m$, а $|P| = n = 2m$. Типовая система из n примитивов представлена на рис. 1.

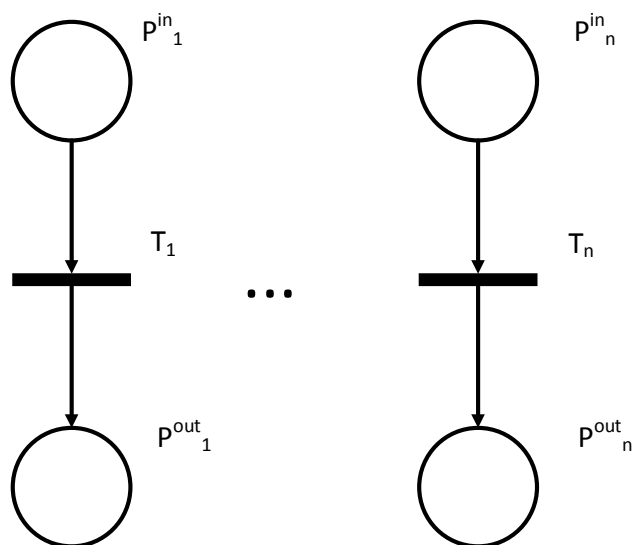


Рис. 1. Типовая система из n примитивов

Синтез альтернативных СП-структур основан на формировании новых СП-структур, генерирующихся путем различных комбинаций объединения

переходов и вершин примитивной системы. Каждая возможная комбинация объединения описывается с помощью вектора объединения V , каждая компонента которого соответствует строго определенной вершине, т.е. позиции или переходу системы примитивов. Вектор V можно разбить на два образующих его вектора: вектор объединения переходов V_t и вектор объединения позиций V_p , по m и n элементов соответственно. Компонент вектора может принимать следующие значения:

– нуль – если вершина примитива, соответствующая компоненте вектора объединения, не участвует в объединении;

– большее чем нуль целое число – если вершина примитива, соответствующая компоненте вектора объединения, принадлежит некоторому подмножеству объединяемых вершин, номер которого определяется значением компоненты. Все позиции или переходы, входящие в одно подмножество объединяемых вершин, объединяются в одну вершину – позицию или переход соответственно.

Более подробно данный способ описания рассмотрен в статье [6].

Учитывая тот факт, что минимальный размер подмножества объединяемых вершин равен 2, количество подмножеств объединяемых переходов и объединяемых позиций можно оценить, как r_t и r_p соответственно, где:

$$r_t = \left\lfloor \frac{|T|}{2} \right\rfloor + 1; \quad r_p = \left\lfloor \frac{|P|}{2} \right\rfloor + 1.$$

Следовательно, компоненты векторов объединений переходов $v_t \in V_t$ и объединений позиций $v_p \in V_p$ принимают значения $v_t = \overline{0, r_t}$ и $v_p = \overline{0, r_p}$ соответственно $v_p = \overline{0, r_p}$. Количественная оценка множества полученных на этапе синтеза альтернативных СП-моделей может быть произведена с помощью чисел Белла – числа всех неупорядоченных разбиений множества мощностью n [7]. Число Белла B_n можно вычислить как сумму чисел Стирлинга второго рода

$$B_n = \sum_{m=0}^n S(n, m),$$

где n – количество элементов множества.

Число Стирлинга второго рода из n по k , обозначаемое $S(n, k)$ или $\left\{ \begin{matrix} n \\ k \end{matrix} \right\}$, выражает количество неупорядоченных разбиений n -элементного множества на k непустых подмножеств и вычисляется как

$$S(n, k) = \frac{1}{k!} \sum_{j=0}^k (-1)^{k+j} \binom{k}{j} j^n,$$

где n – количество элементов множества; k – количество непустых подмножеств.

Количественная оценка множества синтезированных альтернативных СП-моделей подробно рассматривалась в работе [8], поэтому все промежуточные результаты опущены и представлена конечная формула:

$$K = K_{\tau} K_{\nu} = \sum_{m=0}^{\tau} S(\tau, m) = \sum_{m=0}^{\tau} \frac{1}{m!} \sum_{j=0}^m (-1)^{m+j} \binom{m}{j} j^{\tau} \sum_{m=0}^{\nu} S(\nu, m) =$$

$$= \sum_{m=0}^{\nu} \frac{1}{m!} \sum_{j=0}^m (-1)^{m+j} \binom{m}{j} j^{\nu}.$$

Зависимость количества альтернативных СП-моделей от размеров системы примитивов имеет экспоненциальный характер, что наглядно иллюстрируется графиком, представленным на рис. 2.

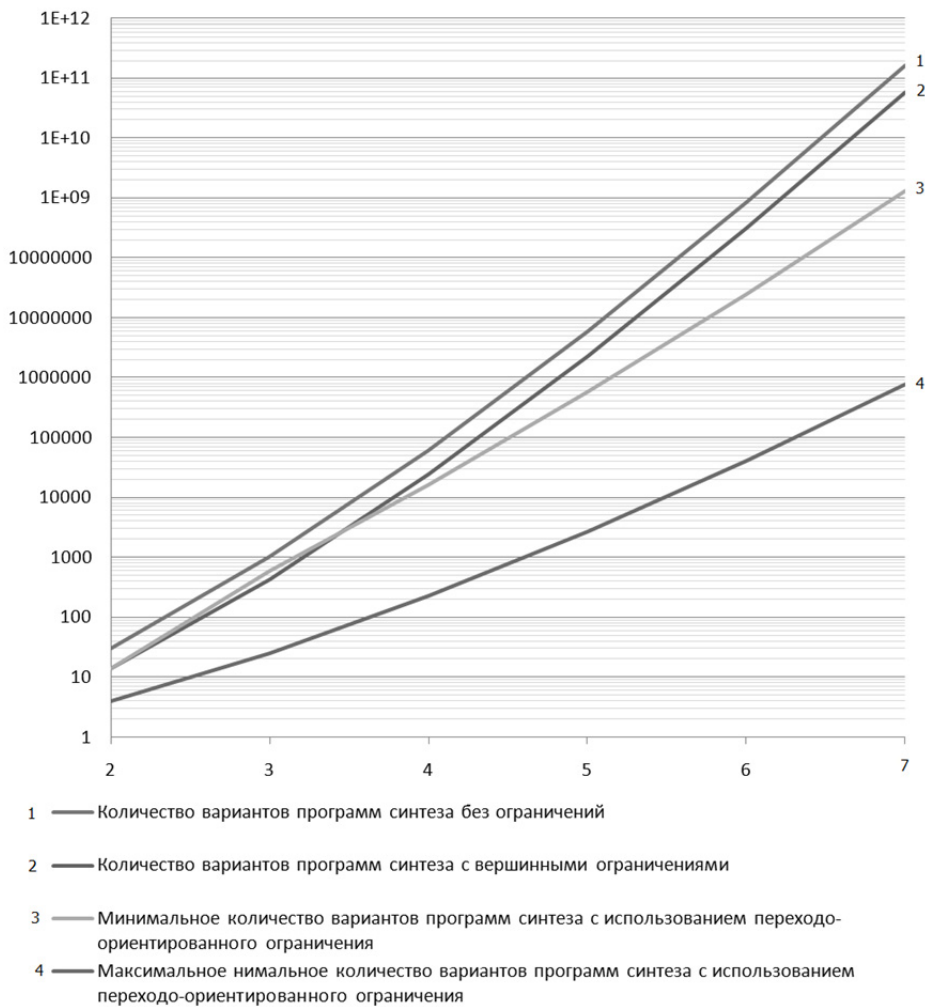


Рис. 2. Графики зависимости количества синтезируемых альтернативных СП-моделей от количества примитивных сетей с применением позиционно-ориентированных и переходо-ориентированных ограничений

В целях ограничения роста количества синтезированных СП-моделей были введены правила – позиционно-ориентированные и переходо-ориентированные ограничения, позволяющие пропускать такие комбинации объединений, которые приводят к заведомо некорректным СП-моделям в силу нарушения логики исходной модели или моделям, которые идентичны исходной СП-модели. Однако уменьшение количества синтезируемых альтернативных СП-моделей в результате ввода данных ограничений все равно не изменило экспоненциальный характер зависимости количества синтезированных СП-моделей от количества примитивов, что также проиллюстрировано на графике.

Таким образом, становится очевидной необходимость поиска иного алгоритма для синтеза альтернативных СП-моделей, который позволял бы избежать перебора всех возможных объединений вершин примитивов и сделать тензорную методологию исследования применимой к более крупным СП-моделям по сравнению с теми, для которых ее применение возможно в настоящий момент.

Возможность применения генетического алгоритма в задаче синтеза альтернативных сетей Петри

Возможное решение данной проблемы лежит в области применения эвристических алгоритмов. Особое место среди них занимают естественные или «биоинспирированные» алгоритмы, которые на данный момент активно применяются для поиска решений задач высокой вычислительной сложности. Рассмотрим возможность применения каждого из них с позиции возможного решения проблемы экспоненциального роста необходимых временных и вычислительных ресурсов для решения задачи синтеза альтернативных эквивалентных структур.

Достаточно перспективным решением в данном случае является применение генетического алгоритма – эвристического алгоритма поиска, используемого для решения подобных задач путем случайного подбора, комбинирования и вариации искоемых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе [9].

Для применения к задаче генетического алгоритма необходимо выполнение следующих требований:

1. Задача должна быть формализована таким образом, чтобы ее решение могло быть закодировано в виде вектора генов – «генотипа». Компонентами этого вектора, т.е. генами, являются биты или числа.
2. Для решений задачи, т.е. «генотипов», должна быть определена функция приспособленности – функция оценки, определяющая меру эффективности полученного решения. На основе этой функции производится поиск оптимального решения.

Задача синтеза альтернативных сетей Петри удовлетворяет вышеперечисленным требованиям, поскольку [9]:

1. Формализм задачи синтеза альтернативных СП-структур удовлетворяет требованию представления задачи в виде генотипа, которым является вектор синтеза.

2. Тензорная методология включает этап оценки полученных альтернативных СП-структур, результатом которой является набор параметров, каждый из которых количественно характеризует то или иное свойство СП-структуры, интересующее исследователя. Следовательно, в качестве функции приспособленности может выступать результирующий параметр, который является взвешенной суммой всех оценочных параметров.

Поэтому становится возможным применение генетического алгоритма с целью сокращения количества анализируемых потенциально эквивалентных структур, полученных в результате всех возможных объединений вершин примитивов.

Помимо операции синтеза достаточно ресурсоемкой задачей является оценка множества характеристик синтезированной сети. К характеристикам, поиск которых является NP-сложной задачей, относится поиск кратчайшего пути и локальных экстремумов. Для решения данных задач могут быть использованы муравьиный алгоритм и алгоритм поведения роя пчел соответственно.

Возможность оценки степени функционального параллелизма с использованием муравьиного алгоритма

Рассмотрим возможность использования муравьиного алгоритма. Поскольку среди множества эквивалентных сетей наиболее предпочтительными будут являться те, которые достигают конечной вершины за как можно меньшее количество шагов, что в большинстве случаев соответствует меньшему времени выполнения алгоритма. Следовательно, данная задача сводится к поиску кратчайшего пути, однако, задача поиска кратчайшего пути в графе обладает достаточно высокой вычислительной сложностью и может потребовать немалого количества ресурсов при ее решении с помощью алгоритмов, основанных на полном переборе вариантов. Однако подобные задачи успешно могут решаться с помощью эвристических алгоритмов – в данном случае при помощи муравьиных алгоритмов, рассчитанных на применение для решения задач поиска маршрутов на графах, так как СП-модель, вполне очевидно, также представляет собой граф.

Кроме того, в статье [10] также рассмотрена возможность применения муравьиного алгоритма для оценки структурного параллелизма СП-структур.

Возможность оценки степени структурного параллелизма с использованием роевых алгоритмов

Одним из этапов оценки потенциально эквивалентных СП-структур является выявление функционально параллельных фрагментов модели системы.

Функционально параллельный фрагмент (ФПФ) представляет собой совокупность структурного фрагмента заданной ингибиторной сети Петри (включая абсолютно линейные структурные образования) и маркировки сети на определенном интервале шагов [11]. Поскольку в качестве метрики, определяющей коэффициент параллельности всей СП-структуры, принимается

максимальный коэффициент параллельности ФПФ среди всех функционально параллельных фрагментов, обнаруженных в процессе достижения конечной разметки, данная задача обладает высокой вычислительной сложностью и может потребовать значительного количества ресурсов.

Для эффективного выявления данной метрики предлагается использовать метод, называемый методом роя частиц (МРЧ) или методом роя пчел. Изначально МРЧ был разработан как метод решения непрерывных задач. Чтобы применить метод для решения дискретной задачи, вводится концепция расстояний над дискретным пространством решений, и в соответствии с ней переопределяются стандартные арифметические операторы МРЧ. Планируется внедрить в МРЧ оператор, выявляющий наличие участка с максимальным коэффициентом структурного параллелизма в сети при текущем положении агентов-частиц, а затем провести тестирование эффективности гибридного дискретного алгоритма роя частиц на практике путем анализа систем, обладающих структурой высокой сложности.

Заключение

Таким образом, в данной статье предложено альтернативное решение основной проблемы синтеза альтернативных структур, основанное на применении естественных эвристических алгоритмов.

Применение генетического алгоритма в процессе поиска сетей позволит значительно сократить объем оцениваемых структур, оптимально удовлетворяющих заданным условиям.

В свою очередь алгоритмы роя пчел и колонии муравьев могут быть использованы для сокращения издержек качественной и количественной оценок синтезированных структур. Из чего следует, что реализация наиболее вычислительно сложных этапов процесса тензорного анализа и синтеза с использованием эвристических алгоритмов позволит применять его для гораздо более широкого класса сетей Петри.

Результатам апробации предложенных алгоритмов и их сравнению с теоретическими предпосылками предполагается посвятить следующую статью.

Библиографический список

1. Pashchenko, D. Formal transformation inhibitory safe Petri nets into equivalent not inhibitory / D. Pashchenko, D. Trokoz, N. Konnov, M. Sinev // *Procedia Computer Science*. – 2015. – Vol. 49. – P. 99–103.
2. Крон, Г. Тензорный анализ сетей / Г. Крон. – М. : Советское радио, 1965. – 720 с.
3. Кулагин, В. П. Тензорные методы исследования структур сетей Петри / В. П. Кулагин // *Информационные технологии*. – 2015. – № 2, Т. 21. – С. 84–94.
4. Трокоз, Д. А. Алгоритм синтеза альтернативных СП-моделей в тензорной методологии исследования СП-структур / Д. А. Трокоз, Г. В. Мартяшин, Е. А. Бальзанникова, К. С. Максимова // *Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. III ежегод. межвуз. науч.-практ. конф.* – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С. 131–135.

5. Формальное описание алгоритма декомпозиции сложных систем на основе сетей Петри с использованием тензорной методологии / Г. В. Мартяшин., К. Ю. Тархов, А. В. Калачев, Е. А. Бальзанникова, Д. В. Пашенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 3. – С. 25–35.
6. Пашенко, Д. В. Модернизация алгоритма синтеза альтернативных СП-моделей в тензорной методологии исследования СП-структур / Д. В. Пашенко, Г. В. Мартяшин, Е. А. Бальзанникова, К. С. Максимова // Информационные технологии в науке и образовании. Проблемы и перспективы : сб. науч. ст. III ежегод. межвуз. науч.-прак. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С. 158–161.
7. Aitken, A. C. A Problem in Combinations / A. C. Aitken // Mathematical Notes. – 1993. – Vol. 28. – P. 23–28. DOI:10.1017/S1757748900002334
8. Алгоритм синтеза альтернативных сетей Петри для аналитического программного средства исследования СП-моделей с использованием тензорной методологии / Д. В. Пашенко, Г. В. Мартяшин, К. С. Максимова, Е. А. Бальзанникова, К. Ю. Тархов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2016. – № 2 (18). – С. 231–241.
9. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик ; под ред. В. М. Курейчика. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 320 с.
10. Советкина, Г. И. Метод оценки степени структурного параллелизма безопасных сетей Петри с использованием муравьиного алгоритма / Г. И. Советкина, Е. А. Николаева, Д. А. Трокоз, Д. В. Пашенко // Новые информационные технологии и системы : сб. науч. ст. XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С. 103–107.
11. Краснов, А. А. Методика выявления функционально параллельных фрагментов заданной СП-структуры. Алгоритм роя частиц как основа критериального аппарата / А. А. Краснов, П. К. Чечель, Д. А. Трокоз, А. В. Дубравин // Новые информационные технологии и системы : сб. науч. ст. XIII Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. – С. 61–63.

Мартяшин Георгий Викторович

аспирант,
Пензенский государственный
университет
E-mail: nowargore@gmail.com

Martiashin Georgiy Viktorovich

postgraduate student,
Penza State University

Бальзанникова Елена Алексеевна

студентка,
Пензенский государственный
университет
E-mail: c016s006b017@mail.ru

Balzannikova Elena Alekseyevna

student,
Penza State University

Пашенко Дмитрий Владимирович

доктор технических наук, профессор,
кафедра вычислительной техники,
Пензенский государственный
университет
E-mail: dmitry.pashchenko@gmail.com

Pashchenko Dmitry Vladimirovich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of computer science,
Penza State University

Трокоз Дмитрий Анатольевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительной техники,
Пензенский государственный
университет
E-mail: dmitriy.trokoz@gmail.com

Trokoz Dmitry Anatolyevich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computer science,
Penza State University

Синев Михаил Петрович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра вычислительной техники,
Пензенский государственный
университет
E-mail: mix.sinev@gmail.com

Sinev Mihail Petrovich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of computer science,
Penza State University

УДК 004.94

Возможности применения биоинспирированных алгоритмов в задаче синтеза альтернативных сетей Петри в тензорной методологии исследования СП-структур / Г. В. Мартяшин, Е. А. Бальзанникова, Д. В. Пашенко, Д. А. Трокоз, М. П. Синев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 159–168.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА МЕТОДА ВЕТВЕЙ
И ГРАНИЦ В ЗАДАЧЕ КОММИВОЯЖЕРА
ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО ГРАФА**

С. Ф. Подшивалов, К. С. Подшивалова, Л. В. Левицкая, С. В. Дунаев

**IMPROVED ALGORITHM OF BRANCH
AND BOUND METHOD IN THE PROBLEM
OF ROAD TRANSPORT FOR THE GRAPH OF A SALESMAN**

S. F. Podshivalov, K. S. Podshivalova, L. V. Levitskaya, S. V. Dunaev

Аннотация. *Актуальность и цели.* Задача коммивояжера является NP-трудной задачей дискретной оптимизации. При количестве вершин графа менее двадцати для ее решения используется метод ветвей и границ. В настоящее время он считается точным методом для поиска оптимального маршрута. Задача коммивояжера применяется в учебных целях и научных работах при решении различных задач дискретной оптимизации, а также в качестве тестового контроля других методов. Изначально задача коммивояжера разрабатывалась для поиска оптимального пути для авиационного сообщения на полном графе. Автомобильная транспортная сеть является более мобильной и имеет свои особенности. Она отличается от авиационной по структуре, разнообразию связей между вершинами и их взаиморасположению. Поэтому структура автомобильного транспортного графа может быть самой разнообразной и расстояния между его вершинами могут колебаться в значительных пределах одновременно. Целью работы является проверка точности решения метода ветвей и границ для автомобильного транспортного графа. *Материалы и методы.* Для достижения поставленной цели использовано численное моделирование. *Результаты.* Впервые показано, что метод ветвей и границ может не давать оптимального результата в автомобильном транспортном графе. Причиной неточности решения задачи коммивояжера является неадекватность принятой модели расчета исходной постановки задачи. Она заключается в несправедливости второй гипотезы по оценке нулевого элемента в оценочной матрице, включаемого в оптимальный маршрут. Данная гипотеза принята в методе ветвей и границ без строгих доказательств и носит вероятностный характер. Предложен алгоритм усовершенствования метода ветвей и границ, который заключается в дополнительной проверке полученного оптимального маршрута путем удаления ветви с оценкой на одну ступень ниже максимальной на каждом шаге ветвления на дереве решения. *Выводы.* Доказано, что классический метод ветвей и границ является в общем случае приближенным, а не точным методом решения задачи коммивояжера, как это считается в настоящее время.

Ключевые слова: метод ветвей и границ, точность решения, усовершенствование, алгоритм, коммивояжер.

Abstract. *Background.* The traveling salesman problem is NP-hard discrete optimization problem. When the number of vertices less than twenty to solve the method of branches and borders. Currently, he is considered to be accurate method to find the optimal route. The traveling salesman problem is used for educational purposes and research work in solving various problems of discrete optimization, as well as test other methods of con-

trol. Initially, the traveling salesman problem is designed to find the optimal path for the air service on the complete graph. Car transport network is more mobile and has its own characteristics. It differs from the aircraft structure, diversity of connections between nodes and their mutual arrangement. Therefore, the count of motor vehicle structure can be very diverse, and the distance between its vertices may vary considerably at the same time. The aim is to check the accuracy of the decision branch and bound method for road traffic count. *Materials and methods.* To achieve this goal used numerical modeling. *Results.* For the first time shows that branch-and-bound method might not give optimum result in road transport box. Cause inaccuracies decision traveling salesman problem is the inadequacy of the accepted model of calculating the original problem statement. It is injustice second hypothesis on the assessment of the zero element in the evaluation matrix included in the route. This hypothesis is accepted in branch-and-bound method without strong evidence and is probabilistic in nature. The algorithm for improvement of branch and bound method, which is an additional verification of obtained optimal route by removing branches from the assessment one notch below the maximum in each step of branching in a tree solution. *Conclusions.* It is proved that the classical branch-and-bound method is in the General case, approximate, not exact.

Key words: branch and bound method, accuracy of solution, enhancement, algorithm, salesman.

Введение

В настоящее время более половины автомобильных грузовых перевозок различного назначения приходится на мелкопартионные отправки. Оптимизация их маршрутов является достаточно актуальной задачей. В общем случае она сводится к решению задачи коммивояжера, которая относится к классу NP-трудных.

Считается, что точным методом решения задачи коммивояжера является метод ветвей и границ (ВиГ) [1]. Он широко используется в учебных целях и научных работах при решении различных задач дискретной оптимизации, а также в качестве тестового контроля других методов при матрице расстояний менее чем из 20 пунктов [2–8].

Постановка задачи заключается в определении оптимального маршрута наименьшей длины при прохождении по всем вершинам автомобильного транспортного графа один раз, начиная и возвращаясь в один и тот же пункт. Алгоритм ее решения заключается в следующем.

1. Составляем исходную матрицу расстояний между пунктами ℓ_{ij} исследуемой автомобильной транспортной сети, используя карту или показания спидометра.

$$\begin{vmatrix} \infty & \ell_{1,2} & \ell_{1,3} & \dots & \ell_{1,n} & \dots & \ell_{1,j} \\ \ell_{2,1} & \infty & \ell_{2,3} & \dots & \ell_{2,n} & \dots & \ell_{2,j} \\ \ell_{3,1} & \ell_{3,2} & \infty & \dots & \ell_{3,n} & \dots & \ell_{3,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} \ell_{n,1} & \ell_{n,2} & \ell_{n,3} & \dots & \infty & \dots & \ell_{n,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \ell_{i,1} & \ell_{i,2} & \ell_{i,3} & \dots & \ell_{i,n} & \dots & \infty \end{vmatrix}$$

Заметим, что знак ∞ представляет собой очень большое число и означает блокировку движения между этими пунктами

2. Переходим к приведенной матрице $L_i^{\text{пп}}$. Для этого в каждой строке находим минимальный элемент h_i и вычитаем его из всех остальных элементов ℓ_{ij} , расположенных в рассматриваемой строке:

$$\ell'_{ij} = \ell_{ij} - h_i, i = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (1)$$

Затем в полученной матрице находим минимальный элемент в каждом столбце h_j и вычитаем его из всех остальных элементов ℓ'_{ij} , расположенных в рассматриваемом столбце:

$$\ell''_{ij} = \ell'_{ij} - h_j, j = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (2)$$

3. Находим оценочную матрицу L_i^o . Определяем для каждого элемента с $\ell''_{ij} = 0$ оценку по формуле

$$A = \min \ell''_{ik} + \min \ell''_{sj}, \quad (3)$$

где ℓ''_{ik} – наименьший элемент в строке i ; ℓ''_{sj} – наименьший элемент в столбце j ; $k \neq j, s \neq i, k, s = 1, 2, 3, \dots, n$.

4. Находим пару $k-s$ с максимальной оценкой:

$$A_{ks} = \max A_{ij}, i, j = 1, 2, 3, \dots, n. \quad (4)$$

5. Переходим к новой матрице L_{ks} . Для этого вычеркиваем из L_i^o строку k и столбец s с наибольшей оценкой. Блокируем ячейку на пересечении строки s и столбца k , а также ветвь, ведущую к заикливанию цепи со звеном $k-s$.

6. Выполняем над полученными матрицами L_{ks} и L_v операции приведения и оценки, описанные в пп. 2–3, до тех пор, пока последняя вычеркиваемая ветвь не станет очевидной.

7. Оптимальный маршрут устанавливается путем сравнения всех возможных вариантов вычеркивания ветвей.

Одним из недостатков алгоритма является невозможность посещать вершины графа несколько раз. В работе [4] предложена усовершенствованная методика расчета ВиГ, позволяющая в процессе решения матрицы расстояний вводить в нее дополнительные фиктивные приведенные узлы и ветви, которые дублируют действительные. Их посещение наряду с действительными узлами позволяет включать в маршрут вершины графа несколько раз.

Другим недостатком метода ветвей и границ служит вырождение решения для неполного графа [8]. В результате исследования авторами установлено, что оно проявляется в разделении замкнутого гамильтонового контура на два замкнутых независимых кольцевых маршрута или одного контура и ветви. Причина заключается в неточности второй из принятых гипотез метода ветвей и границ и, следовательно, определении порядка вычеркивания элементов матрицы. В работе [8] приведен усовершенствованный алгоритм решения и доказана его справедливость на численных примерах.

Третьим недостатком метода ВиГ, который установлен авторами данного исследования, является неточность решения задачи при выборе оптимального маршрута, если имеется большая разница между величинами элементов исходной матрицы расстояний транспортного графа.

Доказательство неточности алгоритма метода ветвей и границ

В основе метода ветвей и границ лежат две гипотезы: приведения и оценки ветвей, предназначенных для вычеркивания из матрицы расстояний. Гипотеза приведения не вызывает сомнения, так как решение задачи отыскания оптимального маршрута не изменится, если из какой-нибудь строки или столбца матрицы вычесть произвольное положительное число, а длина маршрута уменьшится на это самое число. Выбор нулевого элемента для ветвления обеспечивает удаление хорды наименьшей длины, включения ее в маршрут и поэтому не вызывает сомнения.

На основании второй гипотезы считается, что для обеспечения достижения наибольшей степени вероятности оптимального результата в первую очередь необходимо исключить из рассмотрения ту нулевую хорду, у которой самая большая сумма расстояний у минимальной входящей и минимальной выходящей ветвей из ее узлов. Они расположены в строке и столбце таблицы, на пересечении которых находится нулевой элемент. Использование минимальных величин строки и столбца из приведенной матрицы представляется целесообразным, так как определяется маршрут наименьшей длины. Сомнение вызывает справедливость второго утверждения, что необходимо всегда вычеркивать на каждом этапе нулевой элемент с максимальной суммарной оценкой. Причина в том, что она в общем случае носит случайный характер и может не выявить оптимальную ветвь с учетом всех возможных последующих комбинаций, когда разница в оценках невелика.

В настоящей статье на численном примере представлено доказательство несправедливости алгоритма метода ветвей и границ, когда не получается оптимального решения при удалении ветви с максимальной оценкой. Наоборот, вычеркивание ячейки, имеющей следующую более низкую оценку, дает оптимальный результат.

Рассмотрим пример матрицы расстояний, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Исходная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		101	202		104	202		
2	101					102	300	
3	202			201	304	300	304	403
4			201		204	105		201
5	104		304	204		202		404
6	202	102	300	105	202			400
7		300	304					402
8			403	201	404	400	402	

Ввиду важности получаемых результатов и последующих выводов приводим достаточно подробное ее решение, по классическому алгоритму, представленному во введении. В табл. 2 дана приведенная матрица по строкам и столбцам.

Таблица 2

Приведенная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0	97		0	101		
2	0					1	96	
3	1			0	100	99	0	106
4			92		96	0		0
5	0		196	100		98		204
6	100	0	194	3	97			202
7		0	0					6
8			198	0	200	199	98	

Оценочная матрица показана в табл. 3. В ней имеется две ячейки 5-1 и 8-4 с максимальной оценкой 98. Рассмотрим, например, удаление хорды 5-1.

Таблица 3

Оценочная матрица

	1	2	3	4	5	6	7	8
1		0	97		96	101		
2	1					1	96	
3	1			0	100	99	0	106
4			92		96	0	1	6
5	98		196	100		98		204

Окончание табл. 3

	1	2	3	4	5	6	7	8
6	100	0 ³	194	3	97			202
7		0 ⁰	0 ⁹²					6
8			198	0 ⁹⁸	200	199	98	

Получаем табл. 4 меньших размеров, в которой блокируем ячейку 1-5. Выполняем операции приведения во второй строке и пятом столбце.

Таблица 4

Оценочная матрица

	2	3	4	5	6	7	8
1	0 ⁹⁷	97		∞	101		
2					0 ⁹⁵	95	
3			0 ⁰	4	99	0 ⁹⁵	106
4		92		0 ¹	0 ⁰		0 ⁶
6	0 ¹	194	3	1			202
7	0 ⁰	0 ⁹²					6
8		198	0 ⁹⁸	104	199	98	

В табл. 4 наибольшую оценку 98 имеет элемент 8-4. После удаления ветви 8-4 получаем матрицу 6×6, в которой блокируем ячейку 4-8 и выполняем операцию приведения в столбце 8 (табл. 5).

Таблица 5

Оценочная матрица

	2	3	5	6	7	8
1	0 ⁹⁷	97		101		
2				0 ⁹⁵	95	
3			4	99	0 ⁹⁹	100
4		92	0 ¹	0 ⁰		∞
6	0 ¹	194	1			196
7	0 ⁰	0 ⁹²				0 ¹⁰⁰

Затем в ней производим оценку полученных нулевых элементов. Вычеркиваем ветвь 7-8 с максимальной оценкой 100.

Из табл. 5 получаем матрицу размером 5×5. В ней делаем операцию приведения в столбце 3 и выполняем оценку нулевых элементов (табл. 6).

Таблица 6

Оценочная матрица

	2	3	5	6	7
1	0	5		101	
2				0	95
3			4	99	0
4		0	0	0	
6	0	102	1		

На основании их анализа включаем в маршрут ветвь 3-7 с наибольшей оценкой 99 и получаем табл. 7.

Таблица 7

Оценочная матрица

	2	3	5	6
1	0	0		101
2				0
4		∞	0	0
6	0	97	1	

В ней блокируем ячейку 4-3 против заикливания и выполняем приведение во второй строке и третьем столбце. В табл. 7 вычеркиваем ветвь 2-6. Остается матрица размером 3×3, в которой блокируем ячейку 6-2 (табл. 8).

Таблица 8

Оценочная матрица

	2	3	5
1	0	0	
4			0
6	∞	96	0

Выполняем операцию приведения в строке 6 и производим оценку нулевых элементов. Максимальную оценку имеют два элемента 1-2 и 4-5. В качестве примера рассмотрим удаление ветви 1-2. В результате получаем матрицу размером 2×2 , в которой блокируем ячейку 6-6 (табл. 9). В ней хорды 6-3 и 4-5, включаемые в маршрут, определяются однозначно. В итоге получаем маршрут 5-1-2-6-3-7-8-4-5 длиной 1718 единиц.

Таблица 9

Оценочная матрица

	3	5
4		∞
6	∞	0

Удаление ветвей 4-5 и 8-4, соответственно, в табл. 3 и 8 не изменяет результат.

Покажем, что найденный маршрут не является оптимальным. Нарушим алгоритм метода ветвей и границ в части выбора в качестве оптимальной ветви элемент матрицы с максимальной оценкой.

Приведем результаты расчетов на примере первого этапа ветвления на дереве решения.

Вычеркиваем в табл. 4 вместо хорды 8-4 с наибольшей оценкой 98 ветвь 1-2 с чуть меньшей оценкой 97 (табл. 10). Получаем матрицу 6×6 (табл. 11). В ней выполняем операцию приведения в строке 1 и оценку нулевых элементов. Два элемента матрицы 8-4 и 7-3 имеют одинаковую оценку 98.

Таблица 10

Оценочная матрица

	2	3	4	5	6	7	8
1	97						
2	0	97		∞	101		
3			0		95		
4			0	4	99	95	106
6		92		0	0	0	6
7	0	194	3	1			202
8	0	92					6

Таблица 11

Оценочная матрица

	3	4	5	6	7	8
2				95 0	95	
3		0	4	99	95	106
4	92		0	0		6
6			2			
7	193 0	2	0			201
8	98					6
	198	98	104	199	98	

В качестве примера рассмотрим включение в маршрут ветви 7-3. Получаем табл. 12, в которой блокируем ячейку 3-7 против заикливания. После выполнения операций приведения в столбце 7 и оценки нулевых элементов удаляем хорду 4-8 с максимальной оценкой 106. В результате получается матрица размером 4×4 (табл. 13). В ней блокируем ячейку 8-4. В строке 8 выполняем операцию приведения. Производим оценку нулевых элементов. Из табл. 13 включаем в маршрут ветвь 8-7, имеющую максимальную оценку 101. Получаем табл. 14, в которой блокируем ячейку 3-4 и выполняем операции приведения в строке 3 и столбце 4. Наибольшую оценку имеют две хорды 2-6 и 6-4. В качестве примера вычеркиваем ветвь 2-6.

Таблица 12

Оценочная матрица

	4	5	6	7	8
2			0	3	
3	4		99	∞	106
4		0	0		106
6	2	2			201
8	3	104	199	3	

Таблица 13

Оценочная матрица

	4	5	6	7
2			99	0
3	6			
	0	4	99	

Окончание табл. 13

	4	5	6	7
6	2	0	6	
8	∞	101	196	0

Таблица 14

Оценочная матрица

	4	5	6
2			∞
3	∞	0	95
6	0	0	6

Получаем матрицу размером 2×2 , в которой блокируем ветвь 6-5 (табл. 15). Удаление ветвей 3-5 и 6-4 является очевидным. Отметим, что рассмотрение варианта удаления ветви 8-4 в табл. 11 не дает улучшения решения. Получаем маршрут 5-1-2-6-4-8-7-3-5 длиной 1623 единицы. Это на 95 км меньше, чем при расчете в первом варианте. Экономия составляет 5 % длины маршрута.

Таблица 15

Оценочная матрица

	4	5
3		∞
6	0	∞

Вследствие того, что элементы матрицы являются случайными величинами, аналогичную проверку на оптимальность необходимо выполнять на каждом этапе ветвления на дереве решения, кроме последнего, когда решение однозначно. Отметим, что проведенные расчеты на оптимальность на всех других этапах ветвления не привели к улучшению окончательного результата.

Усовершенствованная методика ветвей и границ заключается в следующем. После выполнения п. 5 классического алгоритма, приведенного во введении, на следующем шаге создаем проверочную матрицу L_v . Для этого вычеркиваем из матрицы L_i^o строку v и столбец h с оценкой на одну ступень ниже максимальной. Блокируем ячейку на пересечении строки h и столбца v , а также ветвь, ведущую к заикливание цепи со звеном $v-h$. Далее классический алгоритм метода ВиГ сохраняется.

Заключение

Метод ветвей и границ не всегда дает точное решение задачи коммивояжера для автомобильного транспортного графа. Поэтому необходимо после определения рационального маршрута методом ВиГ выполнять дополнительную его проверку на оптимальность путем удаления хорды с оценкой на одну ступень ниже максимальной на каждом шаге ветвления дерева решения.

Использование усовершенствованного алгоритма позволило сократить длину маршрута на 5 %.

Исследования в данном направлении необходимо продолжить, чтобы набрать достаточную статистику решения таких задач, а также найти другие возможные типы графов, для которых метод ВиГ может не дать точного решения. Следует обратить внимание ученых и преподавателей высшей школы, читающих лекции по теории оптимизации, на рассмотренную проблему.

Библиографический список

1. Литл, Дж. Алгоритм для решения задачи о коммивояжере / Дж. Литл, К. Мурти, Д. Суини, К. Карел // Экономика и математические методы. – 1965. – Т. 1, вып. 1. – С. 94–107.
2. Кожин, А. П. Математические методы планирования и управления грузовыми автомобильными перевозками / А. П. Кожин, В. Н. Мезенцев. – М. : Транспорт, 1994. – 304 с.
3. Костюк, Ю. Л. Эффективная реализация алгоритма решения задачи коммивояжера методом ветвей и границ / Ю. Л. Костюк // Прикладная дискретная математика. – 2013. – № 2 (20). – С. 78–90.
4. Подшивалова, К. С. Повышение эффективности перевозок мелкопартионных грузов автомобильным транспортом : дис. ... канд. техн. наук / Подшивалова К. С. – Волгоград, 2007. – 156 с.
5. Мудров, В. И. Задача о коммивояжере / В. И. Мудров. – М. : Знание, 1969. – 61 с.
6. Пожидаев, М. С. Алгоритмы решения задачи маршрутизации транспорта : дис. ... канд. техн. наук / Пожидаев М. С. – Томск, 2010. – 134 с.
7. Прокофьева, О. С. Разработка методики оптимизации развозочных маршрутов : дис. ... канд. техн. наук / Прокофьева О. С. – Иркутск, 2004. – 167 с.
8. Подшивалов, С. Ф. Особенность использования метода ветвей и границ в задаче коммивояжера при неполном транспортном графе / С. Ф. Подшивалов, К. С. Подшивалова // Экономика и математические методы. – 2014. – Т. 50, вып. 3. – С. 134–140.

Подшивалов Сергей Федорович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра общепрофессиональных
дисциплин,
филиал Военной академии
материально-технического обеспечения
(г. Пенза)
E-mail: burobaola@mail.ru

Podshivalov Sergey Fedorovich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of general professional
disciplines,
Branch of Military Academy
of logistics (Penza)

Подшивалова Кристина Сергеевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра организации
и безопасности движения,
Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства
E-mail: sharm-08@bk.ru

Podshivalova Kristina Sergeyevna

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of organization
and traffic safety,
Penza State University
of architecture and construction

Левицкая Любовь Владимировна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра эксплуатации автомобильного
транспорта,
Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства
E-mail: levickaya.lyu@yandex.ru

Levitskaya Lyubov Vladimirovna

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of road transport
exploitation,
Penza State University
of architecture and construction

Дунаев Сергей Валерьевич

курсант,
филиал Военной академии
материально-технического
обеспечения (г. Пенза)
E-mail: dunaevsv@mail.ru

Dunaev Sergey Valeryevich

cadet,
Branch of Military Academy
of logistics (Penza)

УДК 656.135.073

Подшивалов, С. Ф.

Совершенствование алгоритма метода ветвей и границ в задаче коммивояжера для автомобильного транспортного графа / С. Ф. Подшивалов, К. С. Подшивалова, Л. В. Левицкая, С. В. Дунаев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 169–180.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БЫТОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Т. И. Чернышова, А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Н. М. Зяблов

PROGNOSIS OF ELECTRICITY LOAD USING NEURAL NETWORKS

T. I. Chernyshova, A. V. Kobelev, S. V. Kochergin, N. M. Zyablov

Аннотация. *Актуальность и цели.* Известно, что переход отечественной электроэнергетики на новое качество управления возможен путем формирования целостной многоуровневой системы управления с увеличением объемов автоматизации и повышением надежности всей системы. На современном этапе развития электроэнергетики прогнозирование электрической нагрузки является неотъемлемой частью системы управления. Установлено, что наибольшее распространение в прогнозировании электроэнергетической нагрузки находят методы, основанные на искусственных нейронных сетях (НС). *Материалы и методы.* В работе использованы методы математического моделирования, программное обеспечение MatLAB Simulink. *Результаты.* Проведены исследования по использованию НС для моделирования прогнозов изменения бытовой электрической нагрузки (жилого дома). В качестве массива информации использовались месячные данные потребления электрической энергии жилым домом за три года. Проведен анализ влияния различных функций активации НС на ошибку прогноза потребления бытовой электрической нагрузки. В качестве функций активации НС использовались сигмоидальная передаточная функция (logsig), гиперболический тангенс (tansig), линейная передаточная функция (purelin), линейная передаточная функция с насыщением и ступенчатая передаточная функция. *Выводы.* Установлено, что минимум ошибки прогнозирования бытовой электрической нагрузки показывает НС с функцией активации logsig в скрытом слое и purelin в выходном слое.

Ключевые слова: электроэнергетика, моделирование электрических сетей, нейронные сети, прогнозирование электрической нагрузки.

Abstract. *Background.* Improving the quality of the electric power industry control in the Russian Federation can be achieved by forming a multi-level management system, as well as an increase in the volume of automation and reliability of all components of the system. Currently, the electrical load predict is an essential part of management in the electro power sector. Greatest popularity has prediction methods based on synthetic neural networks. *Materials and methods.* We used the methods of mathematical modeling software MatLAB Simulink. *Results.* During of this work were conducted research of Neural Networks to predict of electric loads in a residential building. As the initial data is-used monthly data of energy consumption in the residential home for three years. We used the following activation function: sigmoid transfer function (logsig), the hyperbolic tangent (tansig), linear transfer function (purelin), linear transfer function with saturation and speed the transfer function. *Conclusions.* It is established that the minimum prediction error of home electrical load shows Neural Networks logsig activation function in the hidden layer and output layer with purelin activation function.

Key words: electro engineering, modelling of electric networks, neural networks, predict electrical load.

Введение

ЕЭС России является уникальным организационно-техническим объектом. Однако централизованная система организации и управления ЕЭС в условиях современной России нуждается в коренной модернизации. В последние десятилетия приходится говорить о неудовлетворительном состоянии технологического потенциала российской электроэнергетики. Для решения существующих проблем необходим переход отечественной электроэнергетики на новое качество управления путем формирования целостной многоуровневой системы управления с увеличением объемов автоматизации и повышением надежности всей системы, включая самые слабые и уязвимые звенья [1, 2].

Одним из направлений развития электроэнергетики России в современных условиях является задача развития распределенной энергетики с разработкой информационных систем, позволяющих осуществить интеграцию децентрализованных генерирующих мощностей в централизованную электрическую сеть. При этом можно выделить основные элементы будущей энергетики – Smart Grid: цифровые подстанции и активно-адаптивные электрические сети.

Прогнозирование энергопотребления является одним из значимых элементов Smart Grid. Особенностью электроэнергетики является отсутствие возможности запасать электрическую энергию в больших количествах. В этой связи в электроэнергетике все чаще начали применять технологии прогнозирования.

Существующие методы прогнозирования можно разделить на следующие: классические (аналитические, статистические, вероятностные) и интеллектуальные (экспертные системы, искусственные нейронные сети, клеточные автоматы, метод опорных векторов, метод группового учета аргументов, хаотические методы, метод информационный проходки). При этом недостатком классических методов является низкая точность, а также трудоемкость и сложность вычислений, так как необходимо получение наиболее полного описания всех параметров электроэнергетической системы, а также их влияния друг на друга. Однако интеллектуальные методы обладают рядом преимуществ – это более высокая точность вычисления прогнозных показателей, возможность использования неполных и искаженных данных, а также возможность учета дополнительных факторов.

В последнее время наибольшее распространение в прогнозировании потребления электрической энергии находят методы, основанные на искусственных нейронных сетях (НС). При выборе модели НС в решении задач прогнозирования необходимо учитывать ее размерность, а точнее, количество слоев и количество нейронов в слоях. Низкая точность расчетов связана с недостаточным размером сети, в то же время большая размерность увеличивает длительность обучения и повышает сложность решаемой задачи. В этой связи каждая конкретная задача решается экспериментальным путем, а критерием является погрешность прогноза [3].

Целью исследования является разработка модели НС, позволяющей осуществлять прогноз потребления электрической энергии бытовой электрической нагрузкой (жилым домом).

Результаты исследований и обсуждение

В качестве объекта исследования использовалась бытовая электрическая нагрузка жилого дома. Исследования по прогнозированию потребления электрической энергии проводились с использованием нескольких функций активации нейрона, таких как сигмоидальная передаточная функция (logsig), гиперболический тангенс (tansig), линейная передаточная функция (purelin), линейная передаточная функция с насыщением, ступенчатая передаточная функция (рис. 1).

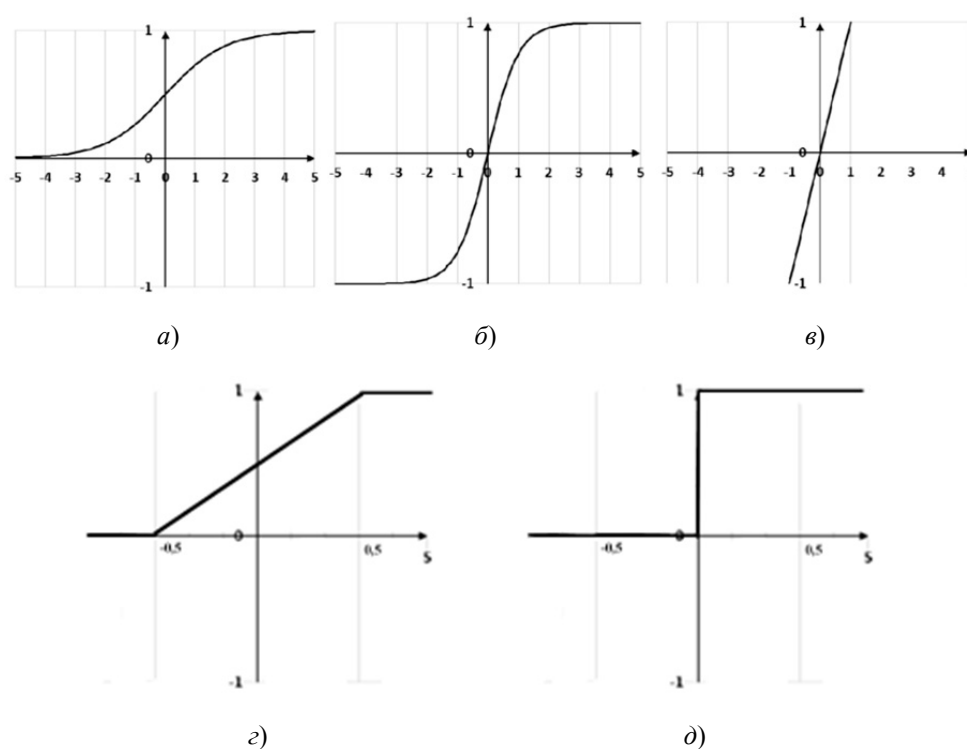


Рис. 1. Основные виды функции активации:
 а – сигмоидальная передаточная функция (logsig); б – гиперболический тангенс (tansig); в – линейная передаточная функция (purelin); г – линейная передаточная функция с насыщением; д – ступенчатая передаточная функция

Задача – проанализировать влияние различных функций активации НС на ошибку прогноза потребления электрической энергии.

В качестве выборки данных использовался массив месячных показаний за три года (рис. 2, табл. 1).

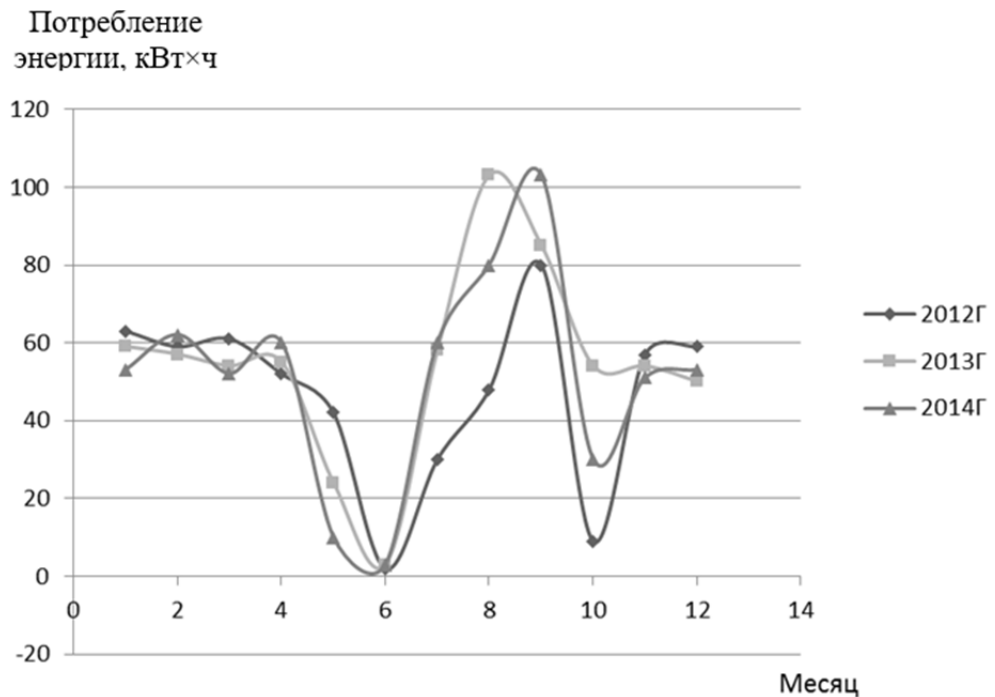


Рис. 2. Данные о потреблении электрической энергии жилым домом за три года

Таблица 1

Исходные данные потребления электрической энергии

Год	Месяц											
	Январь (кВт×ч)	Февраль (кВт×ч)	Март (кВт×ч)	Апрель (кВт×ч)	Май (кВт×ч)	Июнь (кВт×ч)	Июль (кВт×ч)	Август (кВт×ч)	Сентябрь (кВт×ч)	Октябрь (кВт×ч)	Ноябрь (кВт×ч)	Декабрь (кВт×ч)
2012	63	59	61	52	42	2	30	48	0	9	57	59
2013	59	57	54	55	24	3	58	103	85	54	54	50
2014	53	62	52	60	10	3	60	80	103	0	51	53

Одной из решаемых задач в процессе создания и настройки искусственных НС является выбор функций активации нейронов в различных слоях исследуемой НС. Наиболее часто используемыми являются сигмоидальные и линейные функции активации.

Сигмоидальная передаточная функция (logsig) или сигмоид – монотонно возрастающая, всюду дифференцируемая S-образная нелинейная функция с насыщением. Сигмоид позволяет усиливать слабые сигналы и не насыщаться от сильных сигналов. Примером сигмоидальной функции активации может служить логистическая функция, задаваемая следующим выражением:

$$OUT = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha Y)}, \quad (1)$$

где α – параметр наклона сигмоидальной функции активации. Изменяя этот параметр, можно построить функции с различной крутизной.

Гиперболический тангенс (tansig) – разновидность сигмоидальной функции, область значений которой лежит в пределах $[-1; 1]$. Описывается математическим выражением:

$$\text{th}(Ax) = \frac{\exp(Ax) - \exp(-Ax)}{\exp(Ax) + \exp(-Ax)}. \quad (2)$$

Поскольку справедливо выражение

$$\text{th}\left(\frac{t}{2}x\right) = 2\sigma(x) - 1, \quad (3)$$

то график гиперболического тангенса отличается от логистической функции лишь масштабом осей.

Purelin – разновидность линейных функций, чаще всего используется в качестве функции активации во входных или выходных нейронах.

Другая разновидность линейной функции активации – линейная передаточная функция с насыщением. Она обладает большим недостатком в виде невозможности дифференцирования на всей числовой оси, что сужает ее применение.

Для построения НС, которая будет решать задачу прогнозирования потребления электрической энергии, необходимо выбрать правильную конфигурацию слоев и типов функций активации в них. НС выбрана с обратным распространением ошибки как система с наиболее широким применением, при этом количество слоев – 2, в первом слое (скрытом) – 10 нейронов, во втором (выходном) – 2 нейрона. Функция активации подбиралась экспериментальным путем, при анализе результатов использовалось значение среднеквадратического отклонения. Подбор функции активации производился с сигмоидальных передаточных функций.

НС с функциями активации типа tansig в скрытом и выходном слоях показала следующие результаты исследований (рис. 3).

При моделировании потребления электрической энергии НС с функцией активации tansig в обоих слоях среднеквадратическое отклонение составило 32 %. Как видно на графике, система не смогла предсказать резкого роста электрической нагрузки, выдав в 8–9 месяцах некоторое усредненное значение. Такая система плохо подходит для текущего исследования, поскольку резкий рост и падение потребления электричества происходят достаточно часто.

НС с функциями активации типа logsig в скрытом слое и tansig в выходном показала следующие результаты исследований (рис. 4).

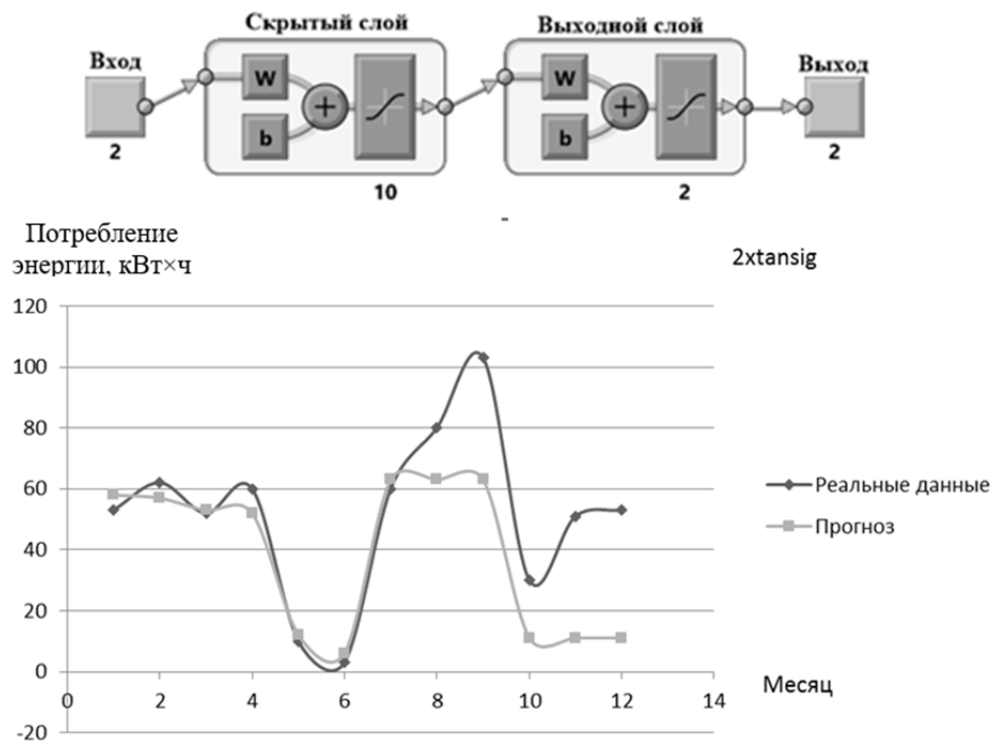


Рис. 3. Результаты исследований НС с функциями активации типа tansig в скрытом и выходном слоях

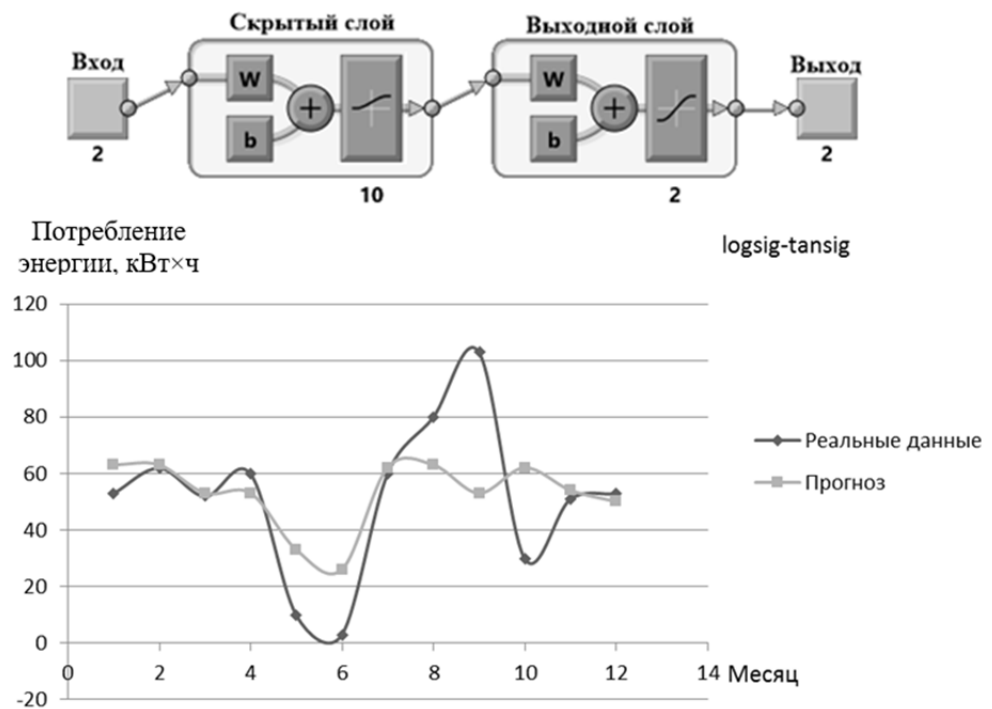


Рис. 4. Результаты исследований НС с функциями активации типа logsig в скрытом слое и функции tansig в выходном слое

Моделирование НС с функцией активации logsig в скрытом слое и tansig в выходном показало среднеквадратическое отклонение прогноза 27 %. Численно результат лучше, но, судя по графику, система не смогла правильно установить взаимосвязь между входными и выходными данными. Вместо ожидаемого роста нагрузки в сентябре НС предсказала падение. Таким образом, НС не выставила правильные веса нейронов. Отсюда можно сделать вывод, что данная система плохо подходит для решения задачи прогнозирования электрической нагрузки.

НС с функциями активации типа logsig в скрытом и выходном слоях показала следующие результаты исследований (рис. 5).

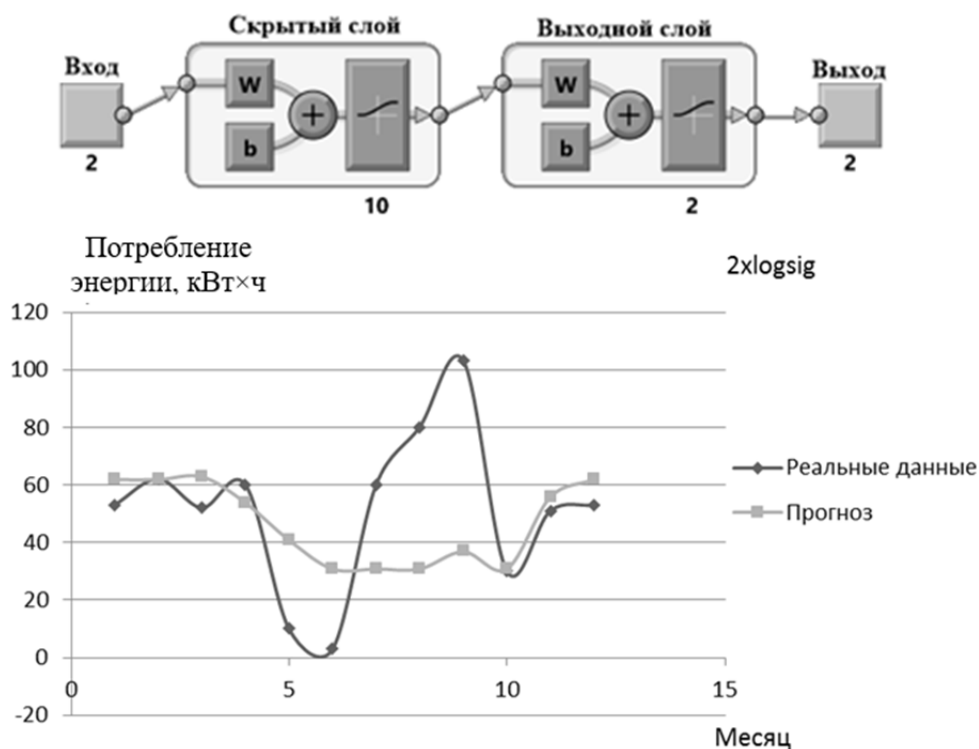


Рис. 5. Результаты исследований НС с функциями активации типа logsig в скрытом и выходном слоях

Моделирование системы с функциями активации logsig в обоих слоях показало крайне высокую погрешность прогноза. Среднеквадратическое отклонение прогноза составило 34 %. На графике видно, что система неправильно настроила веса нейронов, причем процесс «создание НС – обучение – моделирование» был произведен несколько раз, но во всех случаях система показывала произвольные данные, мало похожие на реальные. Такая конфигурация системы совершенно не подходит для задачи прогнозирования.

Было также произведено моделирование системы с tansig функцией активации в скрытом слое и logsig в выходном, но значения электрической

нагрузки в результате моделирования были отрицательные, что явно является ошибкой. После этого был сделан вывод, что функция активации *logsig* не подходит для нейронов в выходном слое, но хорошо себя показывает в скрытом. Было принято решение в ходе дальнейшего исследования использовать в выходном слое линейную передаточную функцию.

НС с функциями активации типа *logsig* в скрытом слое и *purelin* в выходном показала следующие результаты исследований (рис. 6).

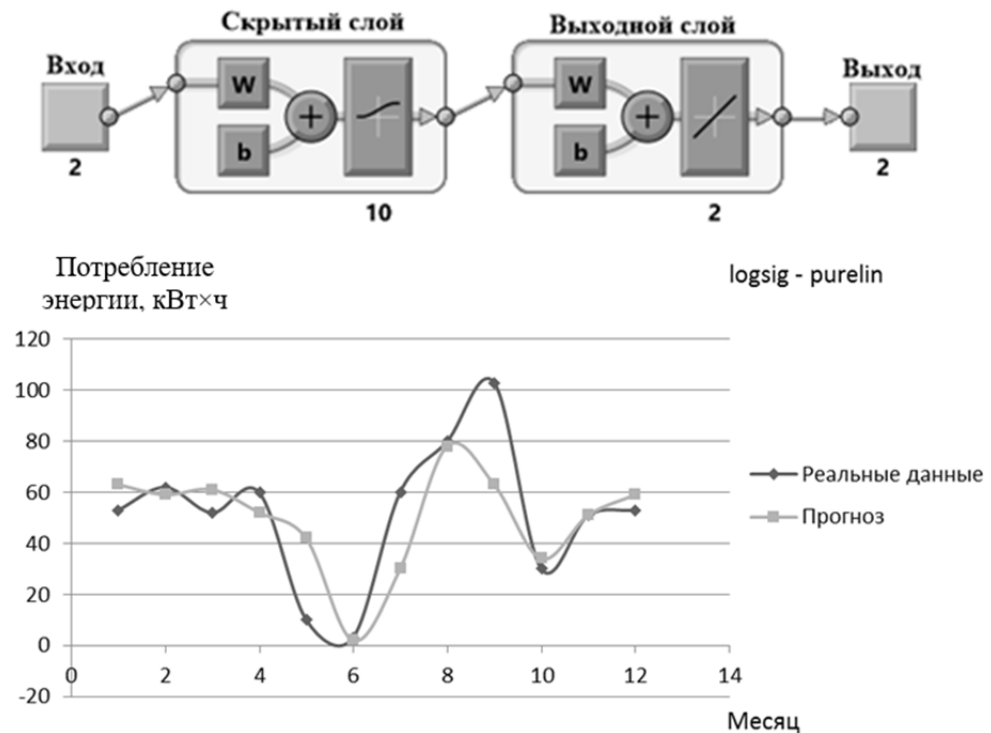


Рис. 6. Результаты исследований НС с функциями активации типа *logsig* в скрытом слое и *purelin* в выходном

Моделирование НС с конфигурацией *logsig* – *purelin* дало достаточно достоверные данные. Система показала готовность к скачкам потребления электрической энергии. Среднеквадратическое отклонение прогноза составило 22 %, что является самым лучшим результатом из исследованных конфигураций НС. Причем при повторном цикле «создание – обучение – моделирование» система показала среднеквадратическое отклонение прогноза 19 %. Можно сделать вывод, что данная система подходит для решения задачи прогнозирования потребления электрической нагрузки.

На рис. 7 приведены сводные результаты анализа погрешностей прогноза исследованных НС.

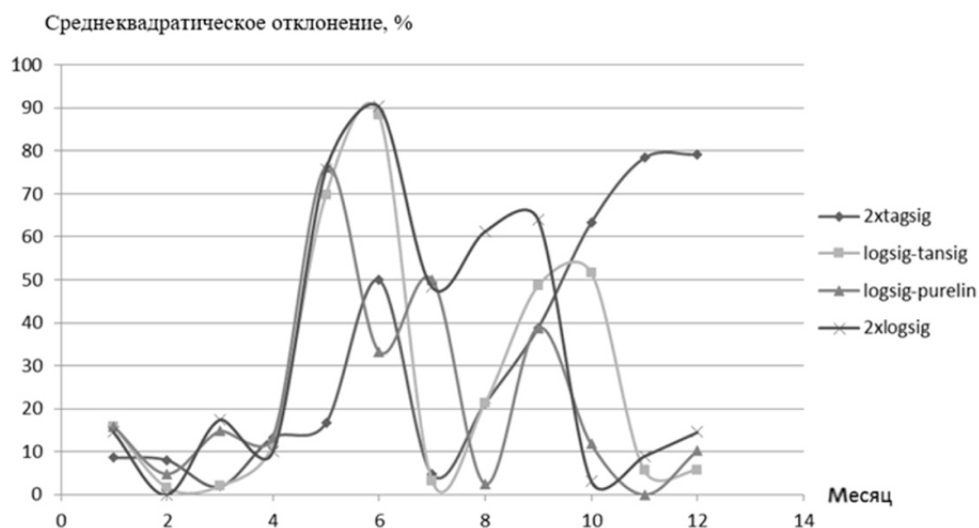


Рис. 7. Погрешности прогноза исследованных НС

Заключение

Таким образом, наиболее целесообразным для использования в решении задач прогнозирования потребления электрической энергии бытовой электрической нагрузкой является НС с функцией активации logsig в скрытом слое и purelin в выходном слое.

Библиографический список

1. Инновационное развитие электроэнергетики на основе технологий Smart Grid : учеб. пособие / сост. Н. В. Савина. – Благовещенск : Амурский гос. ун-т, 2014. – 136 с.
2. Чичев, С. И. Методология проектирования цифровой подстанции в формате новых технологий / С. И. Чичев, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – М. : Спектр, 2014. – 228 с.
3. Кочергин, С. В. Нейронные сети и фрактальное моделирование электроэнергетических систем / С. В. Кочергин, А. В. Кобелев, Н. А. Хребтов // Fractal Simulation. – 2012. – № 1 (3). – С. 6–15.

Чернышова Татьяна Ивановна

доктор технических наук, профессор,
Институт энергетики, приборостроения
и радиоэлектроники,
Тамбовский государственный
технический университет
E-mail: energo@mail.nnn.tstu.ru

Chernyshova Tatyana Ivanovna

doctor of technical sciences, professor,
Institute of power engineering, instrument
making and radio electronics,
Tambov State Technical University

Кобелев Александр Викторович

кандидат технических наук,
заведующий кафедрой
электроэнергетики,
Тамбовский государственный
технический университет
E-mail: ee@mail.nnn.tstu.ru

Kobelev Alexander Victorovich

candidate of technical sciences,
head of sub-department of electrical power
engineering,
Tambov State Technical University

Кочергин Сергей Валерьевич

кандидат технических наук, доцент,
кафедра электроэнергетики,
Тамбовский государственный
технический университет
E-mail: skochergin77@gmail.com

Kochergin Sergey Valeryevich

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of electrical power
engineering,
Tambov State Technical University

Зяблов Никита Михайлович

студент,
Тамбовский государственный
технический университет
E-mail: vlladimirka@gmail.com

Zyablov Nikita Mikhailovich

student,
Tambov State Technical University

УДК 612.31

Чернышова, Т. И.

Прогнозирование бытовой электрической нагрузки с применением нейронных сетей / Т. И. Чернышова, А. В. Кобелев, С. В. Кочергин, Н. М. Зяблов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 181–190.

УДК 177+304

ОТ ИМПЕРСКОГО ТИТАНИЗМА К РАЗУМНОМУ ЭГОИЗМУ: РАЗМЫШЛЕНИЯ ПО ПОВОДУ 100-ЛЕТИЯ РУССКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

А. Г. Мясников

FROM IMPERIAL TITANISM TO REASONABLE EGOISM: REFLECTIONS CONCERNING THE 100 ANNIVERSARY OF THE RUSSIAN REVOLUTION

A. G. Myasnikov

Аннотация. *Актуальность и цели.* В статье рассматривается современное социально-политическое состояние российского общества в контексте 100-летия Великой русской революции. *Материалы и методы.* Использован системный социально-философский подход к изучению развития российского социума в XX в., а также сравнительно-исторический анализ современных социально-политических и экономических процессов. *Результаты.* Проведенный системный анализ позволяет описать сложившуюся историческую ситуацию как «белый реванш». Понятие «белого реванша» включает возврат российского социума к буржуазно-демократическому пути развития, от которого оно отказалось 100 лет назад. Представлены экономические, политические и социокультурные признаки такого возврата. *Выводы.* Выявлены «философские уроки» советской, революционной истории XX в.

Ключевые слова: Россия, революция, белый реванш, демократия, философские уроки.

Abstract. *Background.* The article deals with the current socio-political state of the Russian society in the context of the centenary of the Great Russian revolution. *Materials and methods.* The author uses social and philosophical system approach to studying of development of the Russian society in the 20th century, and also the comparative-historical analysis of modern socio-political and economic processes. *Results.* The carried-out system analysis permits to describe the developed historical situation as «a white revenge». The concept of «a white revenge» includes itself return of the Russian society to a bourgeois-democratic way of development which it refused 100 years ago. The article presents economic, political and socio-cultural signs of such return are presented. *Conclusions.* The article reveals «Philosophical lessons» of the Soviet, revolutionary history of a 20th century.

Key words: Russia, revolution, white revenge, democracy, philosophical lessons.

Немного советской ностальжи

Сейчас много говорят и пишут о событиях столетней давности и пытаются их по-разному оценить, осмыслить этот столетний путь, который проделала Россия. Мне показалось интересным остановиться на половине этого

пути и вспомнить важное событие – 50-летие Великой Октябрьской социалистической революции, которое отмечалось советским народом в 1967 г.

Если обратиться к официальным речам и документам того периода, то сразу можно почувствовать титанический дух времени. Это особенно чувствуется, когда перечитываешь доклады генерального секретаря КПСС Л. И. Брежнева и испытываешь уже забытые ощущения величия советского проекта, его исторической монументальности, проникаешься почти священным культом труда и солидарности со всеми трудящимися.

За первые минуты чтения меня просто переполнил революционный титанизм, проснулись революционная мечтательность и желание осчастливить весь мир, сделать его лучше, прекраснее, справедливее. Чтобы не быть голословным, приведу некоторые выдержки из доклада генсека:

«Пятьдесят лет существования Страны Советов – это для нас пятьдесят лет героической борьбы и напряженного труда, пятьдесят лет боевых и трудовых побед во имя свободы, счастья и процветания всех народов нашей социалистической Родины, во имя коммунизма. Вот почему так дорога нашему сердцу эта юбилейная дата, вот почему мы встречаем ее с таким торжеством, с таким ликованием в наших сердцах.

Но наш юбилей дорог не только советским людям. Ведь это день рождения первого в мире государства рабочих и крестьян, первого государства, где была навсегда уничтожена эксплуатация человека человеком, государства, которое показало путь к социалистическому будущему для других стран и народов. Вот почему вместе с нами 50-летие Октября отмечают как свой собственный большой праздник миллионы и миллионы наших друзей в других странах» [1].

Дочитывая доклад Леонида Ильича, революционная эйфория постепенно идет на спад, и начинаешь ловить себя на мысли о великих иллюзиях, массовом обмане и показушничестве, которыми была наполнена реальная советская жизнь. Хотя для тех поколений это была светлая и жизнеутверждающая вера, которая до сих пор вызывает у них ностальгию, но сегодня она вызывает искреннее сочувствие...

Эти ностальгические настроения учитывают некоторые современные политики и громко заявляют, что распад СССР – это величайшая геополитическая катастрофа XX в. В этом утверждении явно выражено негативное оценочное суждение – «это была катастрофа».

Я лично не согласен с этим оценочным утверждением. По моему мнению, распад советской империи – это вполне закономерный результат исторического развития народов, проживающих на территории бывшего Советского Союза. Распад советской империи был также неизбежен, как и распад Российской империи после Первой мировой войны. Это предсказывал еще Александр Радищев в своей оде «Вольность» [2].

Итак, вернемся к 100-летию Великой российской революции.

«Белый реваниш»?

Социально-политический анализ происходящего в современной России многих исследователей подводит к мнению, что через 100 лет после прихода

к власти большевиков – «красных» – «белые» взяли исторический реванш, т.е. страна вернулась на начальный этап буржуазно-демократического развития, от которого отказалась сто лет назад.

Аргументы:

1. Воссоздано сословно-классовое общество с огромным уровнем социально-экономического неравенства между богатыми и бедными: олигархический капитализм [3]. Как показывает новейшая статистика, 10 % населения страны владеют почти всеми ее богатствами [4]. Такая социально-экономическая ситуация характерна для эпохи дикого капитализма, который еще не освободился от многих элементов позднего феодализма.

2. Воссоздана авторитарная система управления, основанная на тотальном военно-полицейском государственном контроле [5]. Мощный силовой блок должен прежде всего обеспечить неделимость страны, т.е. сохранность крупной частной собственности, находящейся в удаленных территориях, а также личную безопасность самих собственников. Тем более что дети и родственники большинства крупных чиновников и генералитета заняты в сфере бизнеса. Вместе с тем военно-полицейская система постепенно начинает обеспечивать и конституционные права большинства граждан страны.

3. Религиозные организации вновь получили легитимность и государственную поддержку, и даже некоторые из них претендуют на идеологическое доминирование в общественной жизни. Активное вхождение церковно-религиозных организаций в личную, общественную и государственную жизнь объясняется потребностью некоторой части населения в их услугах. Как отмечают обществоведы, рост религиозных настроений связан с ценностно-нормативной аномией, которая произошла в 90-е гг. после быстрого краха советской идеологии, но постепенно общество трезвеет, взрослеет и начинает все более рационально относиться к религиозной вере и к посреднической роли церковных организаций.

4. В сфере науки, образования и культуры восстановлены принципы демократизма и свободомыслия [6]. Ученые освободились от «принципа партийности» и мировоззренческого догматизма. Имеющаяся свобода слова и печати выражает реальную демократическую направленность развития российского общества.

5. В частной сфере начинают преобладать эгоистичные, лично-семейные интересы [7]. К сожалению, пока это ведет к распространению местничества, семейственности, высокой коррумпированности государственного и муниципального управления, но постепенно эта тенденция будет ограничиваться контролем со стороны гражданского общества и более эффективной деятельностью правоохранительных структур. Приоритет частного над общим начинает осознаваться многими россиянами в качестве вполне разумного убеждения. Вместе со многими другими учеными я утверждаю, что первичность частного интереса заложена в самой человеческой природе и от этого природного эгоизма мы не можем избавиться. Нам остается его трансформировать, сублимировать, согласовывать с общественными потребностями и интересами других лиц, чтобы идти от частного к общему благу. Поэтому прежние попытки искоренить «частно-собственнические инстинкты» были обречены на неудачу, так как это был бунт против природы.

6. По моим социологическим опросам жителей г. Пензы и Пензенской области, проведенным в сентябре-октябре 2016 г. (350 человек), 95 % опрошенных считают, что *коммунизм не наступит, потому что это утопия*. Недавние выборы в Государственную Думу также подтверждают эту тенденцию. У коммунистов только 13 % голосов.

Итак, «красные» проиграли, а «белые» вновь на коне. Такая политологическая трактовка сегодняшней ситуации звучит остро, может быть, не очень политкорректно, но факты и логика приводят именно к такому выводу. По моему мнению, в России в конце XX в. началась буржуазно-демократическая революция, которая продолжается до сих пор. Поэтому о нынешнем времени мы и говорим как о переходной эпохе.

Правящий класс благоразумно опасается открыто признать состоявшийся «белый реванш», чтобы не обижать старшие поколения и не обострять классовые противоречия; поэтому через СМИ активно внедряется так называемый проект «СССР-2», чтобы удовлетворить ностальгические чувства постсоветских поколений, сохранить социокультурную преемственность, ментальное единство истории. Такая искусственная реставрация советского прошлого лишь замедляет модернизацию страны, но такова тактика правящего класса, который обладает полнотой информации о происходящем и очень заинтересован в сохранении нового порядка, поэтому готов на самые разные уступки, уловки и манипуляции, чтобы не допустить великих потрясений.

О «случайности» или «неизбежности» Великой русской революции

В начале рыночных реформ историки много рассуждали о том, что революции 1917 г. можно было бы избежать, предотвратить ее, если бы вовремя были проведены реформы [8]. Теперь большинство официальных историков вернулось к советской трактовке: революция была исторической неизбежностью, т.е. была подготовлена всем ходом российской истории [9]. Такая смена научных настроений может быть объяснена изменением политического тренда – с исторической случайности революции на ее историческую необходимость. Действующая власть все больше заинтересована в обосновании своей исторической *неслучайности*, чтобы закрепить в общественном сознании свое право на будущее господство, и для этого отечественная история должна подстроиться под гегелевскую идею – «в истории нет ничего случайного».

Но тут появляется другая группа общественно-политических интересов в лице РПЦ, которую вовсе не устраивает тезис о *неслучайности* русской революции. Ведь историческая необходимость революции также предполагает признание необходимыми и массового атеизма, безбожия, антицерковных настроений и гонений на священнослужителей, и в итоге отделения церкви от государства. Из этого следует, что такие страшные последствия для религиозных институтов России оказываются не случайными, а вполне осмысленными и заслуженными [10].

Очевидно, что нынешней церкви такая трактовка революционного прошлого не очень удобна, и поэтому она выступает за идею *случайности* русской революции. Для объяснения этой идеи *случайности* нередко исполь-

зуется аналогия со скалолазом: русский народ подобно скалолазу долго взбирался на крутую гору веры Христовой и в один момент неудачно оступился, и упал в бездну неверия, атеизма, а теперь вновь ускоренно взбирается на желанную вершину.

Думаю, что в скором времени церковная точка зрения присоединится к правительственной, так как главный вопрос таких историко-политических трактовок – это объяснение настоящего и проектирование будущего страны. А для нового класса частных собственников (включая и церковные владения) наиболее подходящей будет гегелевская идея разумности и необходимости прошлого, настоящего и будущего.

Оптимистическое заключение

100-летие «красного Октября» Россия встречает в бело-голубых одеждах, дающих некоторую надежду на светлое буржуазное будущее. Такая вот историческая диалектика...

Ленинско-сталинский проект исчерпал себя, и этот факт подтверждает правоту классического марксизма о том, что скачки в историческом развитии оказываются очень затратными случайностями, которые не могут изменить общую логику развития человеческого общества.

Какие же «философские уроки» можно извлечь из этого масштабного исторического эксперимента?

1) Люди – это не ангелы, которые могут жить только духовными стремлениями и общественными идеалами. Люди не могут жить без эгоизма, без материальных потребностей. Поэтому попытки создать «советских ангелов» были обречены на неудачу.

2) Революционные скачки очень опасны и затратны для общества, и они возвращают его к научной логике исторического развития, чтобы решить назревшие проблемы.

3) Если власть не обновляется демократическим путем, то происходит ее революционное свержение со всеми вытекающими негативными последствиями.

Итак, формирование нормального буржуазно-демократического общества – это и есть наша разумная действительность, которая создается ежедневными частными делами, общественными заботами и стараниями всех граждан нашей большой страны.

Библиографический список

1. Брежнев, Л. И. Вечен огонь революции / Л. И. Брежнев. – URL: <http://leninism.su/revolution-and-civil-war/4251-velikij-oktyabr-god-za-godom-1917-1990.html?showall=&start=7> (дата обращения: 18.03.2017).
2. Мясников, А. Г. Философия свободы А. Радищева: современный комментарий к оде «Вольность» / А. Г. Мясников // CREDO new. Теоретический журнал. – 2016. – № 2. – С. 91–94. – URL: <http://credo-new.ru/archives/800> (дата обращения: 18.03.2017).
3. Тонконогов, А. В. Олигархический капитализм как угроза национальной безопасности современной России / А. В. Тонконогов // Общество: политика, экономика, право. – 2015. – № 1. – С. 8–13.

4. Комраков, А. Десятая часть россиян владеет 90 % богатства страны / А. Комраков // Независимая газета. – 2016. – 26 ноября. – URL:http://www.ng.ru/economics/2016-11-23/4_6866_poor.html (дата обращения: 18.03.2017).
5. Пивоваров, Ю. С. Русская политика в ее историческом и культурном отношении / Ю. С. Пивоваров. – М. : РОССПЭН, 2006.
6. Мясников, А. Г. Современные трансформации традиционного сознания в России: распад или обновление? / А. Г. Мясников // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2013. – № 3. – С.44–56.
7. Инглхард, Р. Модернизация, культурные изменения и демократия. Последовательность человеческого развития / Р. Инглхард, К. Вельцер. – М. : Новое издательство, 2011.
8. Миронов, Б. Н. Социальная история России периода империи (XVIII – начало XX в.) : в 2 т. / Б. Н. Миронов. – СПб. : Дмитрий Буланин, 1999.
9. Кондрашин, В. В. Великая русская революция 1917 г. / В. В. Кондрашин // Люди во времени: записки историка. – Пенза ; Саранск, 2012. – С. 289–296.
10. Сухова, О. А. Церковь и вера в повседневной культуре российского крестьянства / О. А. Сухова // Десять мифов крестьянского сознания: Очерки истории социальной психологии и менталитета русского крестьянства (конец XIX – начало XX в.) по материалам Среднего Поволжья. – М. : РОССПЭН, 2008. – С.179–197.

Мясников Андрей Геннадьевич

доктор философских наук, профессор,
кафедра методологии науки, социальных
теорий и технологий,
Пензенский государственный
университет,
председатель Пензенского отделения
Российского философского общества
E-mail: myasnikov-g@mail.ru

Myasnikov Andrey Gennadyevich

doctor of philosophical sciences, professor,
sub-department of science methodology,
social theories and technologies,
Penza State University,
chairman of the Penza branch
of the Russian philosophical society

УДК 177+304

Мясников, А. Г.

От имперского титанизма к разумному эгоизму: размышления по поводу 100-летия русской революции / А. Г. Мясников // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 1 (21). – С. 191–196.