

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

НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

№ 4 (24)

2017

СОДЕРЖАНИЕ

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

Богачкова Л. Ю., Хуришудян Ш. Г.

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ
РЕГИОНОВ РФ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ
ИХ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ
(в период с 2005 по 2014 г.).....4

Бредихина К. В., Бадеева Е. А., Сазонова И. В.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАЛОГОВЫХ
ОРГАНОВ РФ: ПОДХОДЫ К ЕЕ ОЦЕНКЕ
И ПЛАНИРОВАНИЮ 17

Зинина Л. И., Иванова И. А.

ФОРМИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ
АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ 28

Кабирова А. С.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА
ЗАТРАТ ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ АВС И ДОБАВЛЕННОЙ
СТОИМОСТИ ПОТОКА ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ (CVA) 42

Краковская И. Н. ОБ УСТОЙЧИВОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ, РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ	52
Кумехов К. К. КОНЦЕПЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	65
Петрова Е. С. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЯ: ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	75
Свиридова Н. В., Акимов А. А., Зайцева Л. С. ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЮДЖЕТНЫХ И АВТОНОМНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ.....	88
Свиридова Н. В., Акимов А. А., Осипова Л. А., Чуфистова К. В. МОНИТОРИНГ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ СФЕР ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ	99
Солодимова Г. А., Мешалкина Н. Н. РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	110
Хамиков В. А. РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ – АЛАНИЯ	122

РАЗДЕЛ 2. МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, МЕХАНИЗМЫ В ТЕХНИКЕ

Игнатьев А. А., Гаврилова А. В., Каракозова В. А. АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА.....	132
Липов А. В., Большаков Г. С., Павловский П. Г., Мамин Р. И. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ	143

<i>Николенко М. Н., Котин Д. А.</i> АКТИВНЫЙ МОДУЛЬ МЕДИЦИНСКОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА С СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ И СИСТЕМОЙ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ	155
<i>Светлов А. В., Князьков А. В., Паршуков М. Ю., Родионова Н. В.</i> АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛОВ	168
<i>Тарасов Д. А., Большаков Г. С., Липов А. В., Носков К. А.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ	176
<i>Чкалова М. В., Павлидис В. Д., Капустина О. А.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ	188

РАЗДЕЛ 1

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, СЕТИ

В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

УДК 332

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ РЕГИОНОВ РФ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ ИХ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ (в период с 2005 по 2014 г.)¹

Л. Ю. Богачкова, Ш. Г. Хуршудян

THE DYNAMICS OF ELECTRICITY CONSUMPTION BY RUSSIAN REGIONS DEPENDING ON THE TYPES OF THEIR ENERGY-ECONOMIC DEVELOPMENT (for the period from 2005 to 2014)

L. Yu. Bogachkova, Sh. G. Khurshudyan

Аннотация. Актуальность и цели. Результативность государственной политики энергоэффективности зависит от мониторинга реализации соответствующих федеральных и региональных программ. Однако российская система учета и анализа показателей энергоемкости экономики все еще находится в стадии становления. Ее региональная подсистема не обеспечена едиными для всех субъектов РФ методическими материалами. В территориальном разрезе не проводится дифференцированный учет вкладов в динамику электропотребления объективных факторов (экономического роста и структурных сдвигов) и наиболее релевантного субъективного (технологического) фактора. Не учитываются структурно-динамические особенности валового регионального продукта (ВРП), отражающие характер энергоэкономического развития регионов. Ранее авторами были опубликованы методика факторного анализа динамики электропотребления и методика классификации субъектов РФ по типам их энергоэкономического развития. Цель данной работы – выявить типологические особенности динамики электропотребления регионов, связанные с отраслевой структурой их ВРП, в контексте декомпозиционного факторного анализа и оценки результативности политики энергоэффективности. *Материалы и методы.* Используются данные Росстата за первый этап Энергетической стратегии России до 2030 г. (2005–2014 гг.); методы статистики, эконометрики и компаративного анализа; инструментальные средства MS Excel и STATISTICA 7.0. Рассмотрено потребление электроэнергии, так как необходимые официальные статистические данные доступны только по этому энергоресурсу. *Результаты.* Дан анализ влияния экономического

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и администрации Волгоградской области, проект «Разработка инструментов для поддержки принятия решений по оценке результативности мер политики энергосбережения и повышения энергетической эффективности региона» № 17-12-34041.

роста, структурных сдвигов и технологического фактора на электропотребление регионов с различными типами энергоэкономического развития. Оценены относительные уровни прироста эффективности электропотребления на основе учета индекса электроемкости ВРП и индекса технологической электроэффективности. Высокий уровень прироста эффективности электропотребления был присущ регионам аграрно-биоресурсного типа; уровень выше среднего – субъектам РФ промышленного и диверсифицированного типа; ниже среднего – торгово-финансовым и бюджетозависимым регионам; низкий уровень – сырьевым регионам. *Выводы.* Учет особенностей динамики электропотребления регионов, связанных с типами их энергоэкономического развития, позволяет уточнить оценку результативности государственной политики энергоэффективности в регионах РФ, исключить сравнения между собой территорий, для которых показатели динамики электропотребления различаются объективно независимо от мер политики энергоэффективности.

Ключевые слова: энергоэффективность, региональная экономика, декомпозиционный анализ, индексы энергоэффективности, энергоэкономическое развитие региона.

Abstract. Background. The performance of the state policy of energy efficiency depends on monitoring of the implementation of relevant federal and regional programs. However, the Russian system of accounting and analysis of economy's energy intensity is still in its youth. Its regional subsystem is not provided with the methodological materials uniform for all subjects of the Russian Federation. The differential accounting of objective factors (economic growth and structural shifts) and the most relevant subjective (technological) factor from the viewpoint of their contributions to the dynamics of power consumption is not carried out. The structural and dynamic features of GRP, reflecting the nature of energy-economic development of the regions are not taken into account either. The authors have already published the method of factor analysis of power consumption dynamics and the method of classifying the subjects of the Russian Federation by the types of their energy-economic development. The purpose of this research is to reveal the typological features of the dynamics of electricity consumption, related to the sectoral structure of their GRP, in the context of decomposition factor analysis and the evaluation of the performance of energy efficiency policy. **Materials and methods.** The authors use the data of Rosstat (Russian State Statistics Service) for the first stage of the Energy Strategy of Russia till 2030 (2005–2014); the methods of statistics, econometrics and comparative analysis; MS Excel and STATISTICA 7.0. data processing tools. The authors analyze the consumption of electricity, since the Rosstat website provides official statistical data necessary for calculations only on this energy resource. **Results.** The authors analyze the influence of economic growth, structural shifts and technological factor on electricity consumption in the regions with different types of energy-economic development. The authors also estimate the relative levels of electricity consumption increase on the basis of the index of GRP electricity intensity and the index of technological electricity efficiency. The agrarian-bioresource regions were characterized by the highest increase in the efficiency of electricity consumption; the regions of industrial and diversified types – an above-average level; the trade-financial and budget-dependent regions – a below-average level; the regions of raw-material type – a low level. **Conclusions.** Taking into account the features of dynamics of electricity consumption in the regions, associated with the types of their energy-economic development, allows specifying the evaluation of the performance of the state policy of energy efficiency in the regions of the Russian Federation, and excluding the comparisons among territories, which objectively have different indicators of the dynamics of electricity consumption, irrespective of energy efficiency policies.

Key words: energy efficiency, regional economy, decomposition analysis, indices of energy efficiency, energy-economic development of the region.

Введение

В последнее десятилетие в России на федеральном и региональном уровнях разработаны и реализуются долгосрочные государственные программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Начиная с 2014 г. Минэнерго РФ совместно с экспертами Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» проводят мониторинг реализации федеральной и региональных программ энергоэффективности [1–3]. В отраслевом аспекте оцениваются показатели удельного потребления энергоресурсов в различных производственных процессах, учитывается влияние на энергопотребление широкого круга факторов. Однако в региональном разрезе факторный анализ динамики энергоемкости ВРП и межрегиональные сравнения технологических индексов энергоемкости в настоящее время не проводятся.

Цель настоящей работы заключается в выявлении в динамике эффективности электропотребления субъектов РФ типологических особенностей, связанных с характером энергоэкономического развития территорий, на основе дифференцированного учета влияния на электропотребление объективных факторов (экономического роста и структурных сдвигов) и технологического фактора (наиболее релевантного с точки зрения государственной политики энергоэффективности).

В работе используется термин «энергоэкономическое развитие» территории, который означает экономическое развитие региона на основе повышения эффективности использования энергетических ресурсов как важнейшего фактора производства.

Обзор литературы

Методология формирования и оценки результативности комплексных долгосрочных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности в современной России представлены в научных трудах экспертов и ученых [4–9] Центра по эффективному использованию энергии. Проблемы организации мониторинга энергопотребления в регионах РФ отражены в многочисленных публикациях различных авторов [10–16]. Теоретические методы и модели, используемые в мировой практике для анализа энергоемкости и оценки результативности политики энергоэффективности, изложены в публикациях, например [17–21].

Несмотря на то, что изучению вопросов, связанных с информационно-аналитической поддержкой управления энергоэффективностью регионов РФ, посвящена обширная научная литература, остаются недостаточно изученными проблемы факторного анализа энергопотребления субъектов РФ и оценки региональных индексов технологической энергоэффективности. Межрегиональные сравнения показателей энергоэффективности регионов целесообразно осуществлять с учетом типов энергоэкономического развития территорий.

Методы

Одним из основных показателей результативности политики энергоэффективности в регионе является индекс энергоемкости ВРП (I_x):

$$I_x = \frac{X^t}{X^0} = \frac{E^t A^0}{A^t E^0} = I_x(A, S, T); \quad (1)$$

$$X = E/A; \quad (2)$$

$$E = E(A, S, T). \quad (3)$$

Здесь X – энергоемкость ВРП (2); A – валовой продукт; E – суммарный объем потребления энергоресурсов в экономике, который зависит от уровня экономического развития (A), отраслевой структуры экономики (S) и технологического фактора (T). Индексом 0 обозначены значения переменных в базисном периоде, а индексом t – в отчетном периоде. Валовой продукт (A) рассматривается в постоянных ценах базисного периода. Как видно из (1)–(3), энергоемкость региональной экономики (X), а также индекс энергоемкости (I_x) зависят как от факторов экономического роста и структурных сдвигов, так и от технологического фактора, наиболее релевантно отражающего результативность государственной политики энергоэффективности в регионе. Индекс энергоемкости ВРП I_x характеризует динамику энергоэффективности региональной экономики, но не позволяет судить о том, какие именно факторы оказали на нее наибольшее влияние.

1. Методика декомпозиции прироста электропотребления и оценки агрегированного индекса технологической энергоэффективности региона. Для дифференцированного учета влияния технологического фактора, экономического роста и структурных сдвигов на прирост потребления электроэнергии региона используется авторская методика, представляющая собой конкретизацию индексного метода декомпозиционного анализа [5] для случая потребления электроэнергии в регионе. Методика включает в себя способ приведения во взаимно-однозначное соответствие официальных данных о структуре ВРП и структуре регионального энергобаланса субъекта РФ. Дело в том, что разделы структур ВРП и энергобаланса не совпадают. Первоначальный вариант методики был показан в работе [22] и предполагал двухсекторное представление структур ВРП и энергобаланса. Однако известно, что чем больше градаций в этих структурах, тем выше точность результатов расчетов. В настоящей работе использована модификация [23] первоначального варианта методики, основанная на формировании пяти укрупненных секторов структуры ВРП и энергобаланса.

Совокупное энергопотребление в регионе (E) записывается в виде

$$E = \sum_i E_i = \sum_i A_i I_i = A \sum_i S_i I_i, \quad (4)$$

где A_i и E_i – валовой продукт и потребление электроэнергии в i -ом секторе региональной экономики; I и I_i – удельные расходы электроэнергии (на единицу валового продукта) в экономике региона в целом и в секторе i в частности;

S_i – доля сектора i в ВРП региона. С учетом (4) относительный прирост энергопотребления в регионе разложим на слагаемые:

$$\delta E = \frac{E^t - E^0}{E_0} \cdot 100\% = I_A + I_S + I_T; \quad (5)$$

$$I_A = \frac{(A^t - A^0) \cdot \sum S_i^0 I_i^0}{E_0} \cdot 100\%; \quad (6)$$

$$I_S = \frac{A^t \sum (S_i^t - S_i^0) I_i^t}{E_0} \cdot 100\%; \quad (7)$$

$$I_T = \frac{A^t \sum S_i^0 (I_i^t - I_i^0)}{E_0} \cdot 100\%. \quad (8)$$

Здесь I_A и I_S – индексы, характеризующие сокращение энергопотребления исключительно за счет одного из трех факторов: I_A – за счет роста ВРП (6); I_S – за счет структурных сдвигов (изменения величины градаций отраслевой структуры валового продукта) (7). Вклад фактора экономического роста (6) численно совпадает с темпом прироста реального ВРП за рассматриваемый период времени; I_T – агрегированный индекс технологической электроэффективности региона, характеризующий сокращение электропотребления субъекта РФ за рассматриваемый период за счет понижения удельной электроемкости валового продукта в различных секторах региональной экономики (8).

2. Методика классификации регионов РФ по типам их энергоэкономического развития. Предположено, что тип экономического развития территории зависит от структуры ВРП. Регионы, отличающиеся большей долей промышленности в отраслевой структуре ВРП, объективно являются более энергоемкими, а регионы с наиболее развитой сферой услуг – менее энергоемкими.

Для построения эмпирической типологии субъектов РФ по характеру их энергоэкономического развития использована пошаговая методика, предложенная ранее в работе [24], позволяющая классифицировать субъекты РФ по структуре ВРП. Она состоит в выделении из общей совокупности регионов однородных групп, включающих в себя субъекты РФ, отличающиеся преобладанием в отраслевой структуре их ВРП того или иного сектора ВРП (по сравнению со структурой, средней по всей совокупности регионов). Методика базируется на следующих принципах: формирование укрупненных секторов ВРП (аграрно-биоресурсный, сырьевой, промышленный, торгово-финансовый, бюджетозависимый); применение метода кластерного анализа k -средних и контроль выполнения критерия однородности формируемых групп регионов.

Реализация данной методики на основе данных Росстата за 2005 г. (базисный период) и за 2014 г. (отчетный период) позволила выявить в обоих периодах по пять пересекающихся групп регионов, сформированных по типу производственной специализации, а также одну группу диверсифицирован-

ных регионов, структура ВРП которых близка к средней структуре по всей совокупности регионов. Эмпирическая классификация регионов РФ по типам их энергоэкономического развития изменяется со временем: ряд регионов выходит из одних групп и попадает в другие группы. Вместе с тем обнаруживаются так называемые ядра групп, или подгруппы, сформированные из регионов, типы развития которых в базисном и отчетном периодах совпадают.

3. *Метод выявления типологических особенностей динамики электропотребления регионов РФ.* Типологические особенности, присущие регионам с одним типом энергоэкономического развития в отличие от регионов с другими типами энергоэкономического развития, предлагается выявлять с помощью мер центральных тенденций показателей энергоэффективности регионов, входящих в ядро соответствующей типологической группы. В качестве мер центральных тенденций целесообразно использовать средневзвешенные значения этих показателей, подбирая веса таким образом, чтобы обеспечить устойчивость меры центральной тенденции по отношению к аномальным значениям показателей [25]:

$$WM = \frac{\sum_{i=1}^n (w_i x_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}, \quad (9)$$

где WM – средневзвешенное среднее значение, или мера центральной тенденции; n – количество регионов; x_i – значение показателя для i -го региона; w_i – весовой коэффициент для значения x_i , весовые коэффициенты рассчитываются как величины, обратные среднему расстоянию рассматриваемого значения x_i от всех остальных значений x_j этого показателя:

$$w_i = (n-1) \left(\sum_{j=1}^n |x_i - x_j| \right)^{-1}. \quad (10)$$

4. *Определение относительного уровня результативности политики энергоэффективности для регионов с различными типами энергоэкономического развития.* Результативность определяется по двум индексам: индексу электроемкости ВРП региона и индексу технологической эффективности электропотребления. По всем ядрам групп однотипных регионов для обоих этих индексов находятся меры центральной тенденции – средневзвешенные значения индексов. Затем для каждого ядра определяется рейтинг по каждой мере центральной тенденции. Интегральный рейтинг ядра определяется как среднее арифметическое значение двух частных рейтингов. По значению интегрального рейтинга определяется относительный уровень результативности политики энергоэффективности регионов с типом энергоэкономического развития, который соответствует данному ядру.

Использованы официальные данные Росстата. Расчеты выполнены в пакетах обработки данных MS Excel и STATISTICA 7.0. Рассмотрен период с 2005 по 2014 г., что соответствует первому этапу стратегии ЭС-2030. Проанализировано потребление электроэнергии, так как необходимые для расче-

тов официальные статистические данные доступны на сайте Росстата только по этому энергоресурсу. Рассмотрено 80 субъектов РФ.

Результаты

1. Выполнена декомпозиция прироста электропотребления и оценка агрегированного индекса технологической эффективности электропотребления региона (I_T). Для 80 субъектов РФ за 2005–2014 гг. были рассчитаны индексы электроемкости ВРП (I_X) и индексы технологической эффективности электропотребления (I_T). По каждому индексу регионы были проранжированы. По индексу I_X рассматриваемые 80 субъектов РФ расположились на 43 позициях, а по индексу I_T – на 52 позициях, так как некоторые субъекты РФ продемонстрировали практически одинаковые значения того или иного индекса. Учет региональных индексов (I_T) и соответствующих рангов регионов R_T в дополнение к индексам (I_X) и рангам R_X позволяет уточнить анализ результативности политики энергоэффективности субъекта РФ, как показано в табл. 1. Например, результативность политики энергоэффективности в Чукотском автономном округе выше, чем следует из анализа индекса энергоемкости ВРП (I_X). Рейтинг этого региона по критерию I_T равен трем ($R_T = 3$), т.е. регион занимает 3-е место из 52, а по критерию I_X – всего лишь 20-е место из 43, так как $R_X = 20$. А для Белгородской области наоборот: результативность политики энергоэффективности по технологическому индексу после исключения вкладов объективных факторов в динамику энергопотребления получила более низкую оценку ($R_T = 14$ по сравнению с R_X).

Таблица 1

Ранги регионов РФ по индексу технологической эффективности электропотребления (R_T) и по индексу электроемкости ВРП (R_X) за 2005–2014 гг.

R_T	R_X	Регионы	I_X	$I_T, \%$	$I_A, \%$	$I_S, \%$	$\delta E, \%$
1	1	Камчатский край	0,12	-114 (min)	30	0	-84
2	2	Республика Марий Эл	0,52	-74	69	-7	-13
3	20	Чукотский автономный округ	0,82	-65	45	40	20
...							
14	13	Саратовская область	0,74	-33	48	-6	9
	5	Белгородская область	0,64	-33	96	-38	25
...							
26	20	Псковская область	0,82	-18	21	-4	-1
	19	Волгоградская область	0,81	-18	17	-4	-5
	18	Новгородская область	0,80	-18	45	-10	16
...							
51	37	Чеченская Республика	1,00	136	69	-136	69
52	43	Амурская область	3,66	323 (max)	19	-5	337

2. Построена эмпирическая классификация регионов РФ по типам их энергоэкономического развития на основе данных на начало и конец рассматриваемого периода (2005 и 2014 гг.). Списочный состав ядер однородных групп однотипных регионов приведен в табл. 2.

Таблица 2

Ядра эмпирической классификации – подгруппы регионов с устойчивыми по времени типами энергоэкономического развития (2005–2014 гг.)

Типы регионов	Регионы
Диверсифицированные	Алтайский край, Брянская область, Волгоградская область, Калининградская область, Кировская область, Курганская область, Мурманская область, Орловская область, Пензенская область, Республика Хакасия, Ростовская область, Рязанская область, Саратовская область, Смоленская область, Ставропольский край, Тверская область, Ульяновская область
Промышленные	Владимирская область, Вологодская область, Красноярский край, Курская область, Ленинградская область, Липецкая область, Нижегородская область, Новгородская область, Омская область, Пермский край, Республика Марий Эл, Самарская область, Свердловская область, Тульская область, Челябинская область, Ярославская область
Бюджетозависимые	Еврейская автономная область, Забайкальский край, Камчатский край, Карачаево-Черкесская Республика, Магаданская область, Республика Алтай, Республика Ингушетия, Республика Северная Осетия–Алания, Республика Тыва, Чеченская Республика
Аграрно-биоресурсные	Республика Алтай, Камчатский край, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Северная Осетия–Алания, Республика Марий Эл, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Калмыкия, Курская область
Сырьевые	Архангельская область, Кемеровская область, Магаданская область, Оренбургская область, Республика Коми, Республика Саха (Якутия), Республика Татарстан, Сахалинская область, Томская область, Тюменская область, Удмуртская Республика
Торгово-финансовые	Амурская область, г. Москва, г. Санкт-Петербург, Еврейская автономная область, Московская область, Нижегородская область, Новосибирская область, Приморский край, Свердловская область, Ярославская область, Забайкальский край

3. Типологические особенности динамики показателей эффективности потребления электроэнергии регионами РФ за 2005–2014 гг. Они выявлены как меры центральных тенденций по ядрам групп регионов, однотипных по характеру энергоэкономического развития. Для обозначения мер центральных тенденций далее используется подчеркивание сверху. Полученные средневзвешенные значения индекса электроемкости ВРП ($\overline{I_x}$) проиллюстрированы на рис. 1. Сокращение электроемкости региональной экономики свойственно регионам всех типов ($\overline{I_x} < 1$); наиболее результативными по

данному показателю являются аграрно-биоресурсные регионы, за ними в порядке убывания степени сокращения электроемкости ВРП следуют промышленные, диверсифицированные, торгово-финансовые, бюджетозависимые и сырьевые территории.

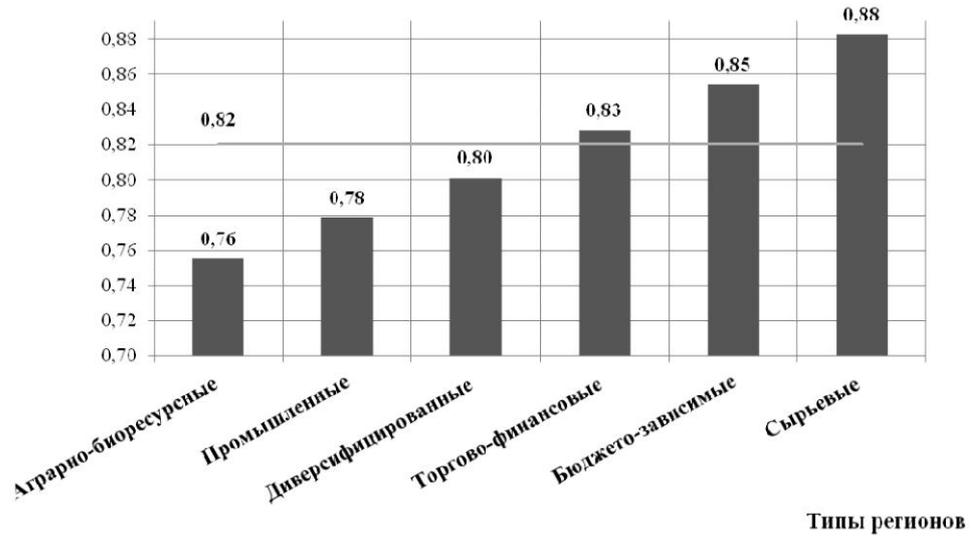


Рис. 1. Средневзвешенный индекс электроемкости ВРП (\bar{I}_x) за 2005–2014 гг. по ядрам групп однотипных регионов. Горизонтальная линия на рисунке – это средневзвешенный уровень по совокупности всех субъектов РФ

Средневзвешенные значения вкладов экономического роста, структурных сдвигов и технологического фактора в прирост электропотребления регионов с определенным типом энергоэкономического развития показаны на рис. 2.

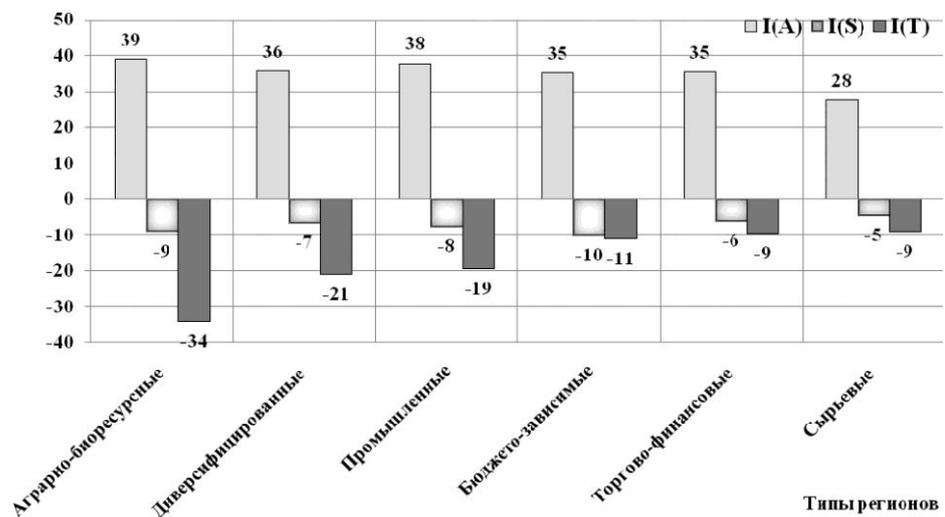


Рис. 2. Средневзвешенные значения индексов экономического роста (\bar{I}_A), структурных сдвигов (\bar{I}_S) и технологического фактора (\bar{I}_T) по ядрам групп однотипных регионов РФ (2005–2014 гг., %)

Для определения относительного уровня результативности региональной политики энергоэффективности с учетом обоих индексов, как (\bar{I}_x) , так и (\bar{I}_r) , составлен интегральный рейтинг, который определяется на основе средневзвешенных показателей: индекса электроемкости ВРП и индекса технологической эффективности электропотребления регионов, входящих в ядро группы регионов каждого типа. Это позволило сопоставить уровни результативности политики энергоэффективности, свойственные регионам с каждым из рассматриваемых типов энергоэкономического развития:

Уровень результативности политики энергоэффективности	Типы регионов
Высокий	Аграрно-биоресурсные
Выше среднего	Промышленные и диверсифицированные
Ниже среднего	Торгово-финансовые и бюджетозависимые
Низкий	Сырьевые

Аграрно-биоресурсные регионы, продемонстрировавшие наиболее высокий уровень результативности политики энергоэффективности, отличились наибольшими значениями вкладов всех факторов. В них наблюдались самые высокие темпы экономического роста, структурные сдвиги и наиболее интенсивные технологические улучшения. И наоборот, в сырьевых регионах в среднем наблюдались наименьшие темпы экономического роста, незначительные изменения структур ВРП, а также наименее выраженное сокращение электроемкости во всех секторах региональной экономики.

Заключение

Следует отметить, что в представленной работе приняты гипотезы, значительно упрощающие расчеты:

- структурные сдвиги рассматриваются с точки зрения статистики: исключительно как изменения в отраслевой структуре ВРП, в то время как с экономической точки зрения этот термин означает более широкое понятие;
- в контексте политики энергоэффективности структурные сдвиги рассмотрены как объективное явление, в то время как они могут быть результатом структурной политики государства;
- действие технологического фактора оценивается по средневзвешенному изменению удельного потребления электроэнергии в отраслях экономики, т.е. без использования дезагрегированных экзогенных данных об энергоемкости отдельных производственных процессов, что обусловлено ограниченностью доступных статистических данных.

Развитие российской информационной системы показателей энергопотребления и инструментов анализа энергоэффективности регионов РФ позво-

лит в дальнейшем получать более точные оценки результативности государственной политики энергоэффективности.

Типологические особенности динамики показателей эффективности потребления электроэнергии регионами РФ можно выявить на основе интегрального рейтинга, составленного для каждого типа энергоэкономического развития регионов. Рейтинг определен на основе средневзвешенных показателей: индекса электроемкости ВРП и индекса технологической энергоэффективности регионов, входящих в ядро каждого типа. Ядра включают в себя субъекты РФ, сохранившие тип своего энергоэкономического развития за рассматриваемый период. Применение описанной методики позволило установить, что с 2005 по 2014 г. высокий уровень темпов повышения эффективности электропотребления был свойствен регионам аграрно-биоресурсного типа; уровень выше среднего – субъектам РФ промышленного и диверсифицированного типа; ниже среднего – торгово-финансовым и бюджетозависимым территориям; низкий уровень эффективности потребления электроэнергии наблюдался у регионов сырьевого типа.

Библиографический список

1. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2016 году [Министерство энергетики Российской Федерации]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/5197> (дата обращения: 01.11.2017).
2. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2015 году / Министерство энергетики Российской Федерации : [официальный сайт]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/5197> (дата обращения: 01.11.2017).
3. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2014 году / Министерство энергетики Российской Федерации : [официальный сайт]. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/5197> (дата обращения: 01.11.2017).
4. Башмаков, И. А. Индикаторы низкой квалификации, или критический анализ набора и методики расчета целевых показателей в области повышения энергетической эффективности / И. А. Башмаков. – URL: http://www.telesystems.info/files/content_files/Indikator_i_nizkoj_kvalifikacii_Bahmakov.pdf
5. Башмаков, И. А. Российская система учета повышения энергоэффективности и экономии энергии / И. Башмаков, А. Д. Мышак. – М. : ЦЭНЭФ, 2012. – 81 с. – URL: <http://www.cenef.ru/file/Indexes.pdf>
6. Башмаков, И. А. Динамика потребления энергии и энергоемкости ВРП в регионах России. Езда с поднятым капотом / И. А. Башмаков, А. Д. Мышак // ЭНЕРГО-СОВЕТ. – 2016. – № 2 (апрель–июнь). – С. 12–20.
7. Башмаков, И. А. Разработка комплексных долгосрочных программ энергосбережения и повышения энергоэффективности: методология и практика : дис. ... д-ра экон. наук / Башмаков И. А. – М., 2013. – 429 с.
8. Акулова, Я. Н. Система показателей оценки энергоэффективности как фактора экономического роста региональной экономики / Я. Н. Акулова // Вестник ОГУ. – 2014. – № 4 (165). – С. 33–38.

9. Шевелева, А. В. К вопросу о разработке методики оценки повышения энергоэффективности нефтегазового комплекса России. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25323548_77348611.pdf
10. Рейтинги устойчивого развития регионов РФ / В. В. Артюхов и др. – М. : Интерфакс, 2011. – 96 с.
11. Гашо, Е. Г. Развитие регионов через повышение энергоэффективности / Е. Г. Гашо, М. В. Степанова // Энергетическая политика. – 2015. – Вып. 3. – С. 59–66.
12. Гительман, Л. Д. Антикризисные решения для региональной энергетики / Л. Д. Гительман, Б. А. Бокарев, Т. Б. Гаврилова, М. В. Кожевников // Экономика региона. – 2015. – № 3 (43). – С. 173–188.
13. Голованова, Л. А. Энергоэкономический подход к регулированию развития промышленного производства / Л. А. Голованова, О. Г. Иванченко // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2010. – № 1. – С. 109–119.
14. Лебедев, Ю. А. К вопросу об оценке энергоэффективности регионов / Ю. А. Лебедев, Е. Н. Летягина, Ю. А. Сидоренко // Управление экономическими системами. – 2012. – № 4 (40). – URL: <http://www.uecs.ru/uecs40-402012/item/1273-2012-04-21-05-34-08>
15. Марченко, Е. М. Анализ факторов, влияющих на энергоэффективность региона: управленческий аспект / Е. М. Марченко, Т. Д. Белова // Вопросы управления. – 2015. – № 4 (16). – С. 105–112.
16. Попов, А. С. Оценка энергоэкономического обеспечения развития региона / А. С. Попов, И. Д. Гайналов // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7. – С. 625–629.
17. Ang, B. W. Decomposition analysis for policymaking in energy: which is the preferred method? / B. W. Ang // Energy Policy. – 2004. – Vol. 32, iss. 9. – P. 1131–1139.
18. Wade, S. H. Measuring change in energy efficiency for the Annual Energy Outlook / S. H. Wade // Energy information administration. US Department of Energy. – Washington D. C., 2002.
19. Marrero, G. A. Activity Sectors and Energy Intensity: Decomposition Analysis and Policy Implications for European Countries (1991–2005) / G. A. Marrero, J Francisco // Energies. – 2013. – Vol. 6. – P. 2521–2540.
20. Su, B. Structural decomposition analysis applied to energy and emissions: Some methodological developments / B. Su, B. W. Ang // Energy Economics. – 2012. – Vol. 34, iss. 1. – P. 177–188.
21. Xu, X. Y. Analysing residential energy consumption using index decomposition analysis / X. Y. Xu, B. W. Ang // Applied Energy. – 2014. – Vol. 113. – P. 342–351.
22. Bogachkova, L. Yu. Quantitative Analysis of Energy Efficiency Indices in the Regions of the Russian Federation as Exemplified by Energy Consumption / L. Yu. Bogachkova, Sh. G. Khurshudyan // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2015. – № 5 (4). – P. 376–382.
23. Хуршудян, Ш. Г. Развитие инструментов анализа результативности государственной политики энергоэффективности в регионах РФ : дис. ... канд. экон. наук / Хуршудян Ш. Г. – Волгоград, 2017. – 193 с. – С. 84.
24. Хуршудян, Ш. Г. Типология регионов РФ по структуре ВРП как фактору энергоёмкости экономики: методические аспекты / Ш. Г. Хуршудян // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 3, Экон. Экол. – 2016. – № 3 (36). – С. 66–78.
25. Додонов, Ю. С. Устойчивые меры центральной тенденции: взвешивание как возможная альтернатива усечению данных при анализе времен ответов / Ю. С. Додонов, Ю. А. Додонова // Психологические исследования. – 2011. – № 5(19). – URL: <http://psystudy.ru>

Богачкова Людмила Юрьевна

доктор экономических наук,
кандидат физико-математических наук,
профессор,
заведующий кафедрой математических
методов и информатики в экономике,
Институт управления
и региональной экономики,
Волгоградский государственный
университет
E-mail: bogachkova@volsu.ru

Bogachkova Lyudmila Yuryevna

doctor of economic sciences,
candidate of physical and mathematical
sciences, professor,
head of sub-department of mathematical
methods and computer science
in economics,
Institute of Management
and Regional Economy,
Volgograd State University

Хуршудян Шамам Гарниковна

младший научный сотрудник,
кафедра математических методов
и информатики в экономике,
Институт управления
и региональной экономики,
Волгоградский государственный
университет
E-mail: shamam1@volsu.ru

Khurshudian Shamam Garnikovna

junior researcher,
sub-department of mathematical methods
and computer science in economics,
Institute of Management
and Regional Economy,
Volgograd State University

УДК 332

Богачкова, Л. Ю.

Особенности динамики электропотребления регионов РФ в зависимости от типов их энергоэкономического развития (в период с 2005 по 2014 г.) / Л. Ю. Богачкова, Ш. Г. Хуршудян // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 4–16.

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НАЛОГОВЫХ ОРГАНОВ РФ:
ПОДХОДЫ К ЕЕ ОЦЕНКЕ И ПЛАНИРОВАНИЮ**

К. В. Бредихина, Е. А. Бадеева, И. В. Сазонова

**EFFICIENCY OF THE ACTIVITIES OF TAX BODIES
OF THE RUSSIAN FEDERATION:
APPROACHES TO ITS ASSESSMENT AND PLANNING**

K. V. Bredikhina, E. A. Badeeva, I. V. Sazonova

Аннотация. Актуальность и цели. Проблемы контроля за полным и своевременным поступлением налоговых платежей в бюджеты различных уровней особенно актуальны в кризисный период российской экономики. Оценка эффективности контрольной работы инспекций и управлений проводится на основе утвержденной методики, которой присущи недостатки. Для объективного ранжирования объектов исследования необходимы методика и показатели, результатом применения которых должны быть наиболее точные итоговые расчеты. *Материалы и методы.* Основой исследования стали результаты анализа трудов отечественных ученых по проблемам оценки эффективности деятельности налоговых органов, известных методик рейтинговой оценки и планирования, методов сравнения и группировки. *Результаты.* Рассмотрены подходы и показатели оценки и планирования эффективности деятельности территориальных органов Федеральной налоговой службы России. Выявлены недостатки и предложены рекомендации по совершенствованию действующей методики оценки деятельности налоговых органов. *Выводы.* Уточненная методика оценки эффективности деятельности налоговых органов имеет прикладное значение для комплексной оценки, оперативного мониторинга достижения поставленных целей деятельности налоговых органов в Российской Федерации, построения рейтинга инспекций и управлений и более точного планирования показателей их работы на последующие периоды.

Ключевые слова: оценка эффективности, планирование, показатель, методика, налоговый орган, деятельность налоговых органов.

Abstract. Background. The problems of control over the full and timely receipt of tax payments to budgets of various levels are especially relevant in the crisis period of the Russian economy. Evaluation of the effectiveness of inspection work of inspections, departments is conducted on the basis of an approved methodology, which has some drawbacks. Objective ranking of research objects requires indicators and methodology, the result of which should be the most accurate final calculations. *Materials and methods.* The basis of the study was the analysis of developments of works of domestic scientists on problems of assessment of efficiency of activity of tax authorities, the methods of rating evaluation and planning, as well as methods of comparison and grouping. *Results.* Approaches and indicators of the assessment and planning of the effectiveness of the activities of the territorial bodies of the Federal Tax Service of Russia are reviewed. Deficiencies have been identified and recommendations for improving the current methodology for assessing their performance have been proposed. *Conclusions.* The specified methodology of assessment of efficiency of activities of tax authorities has applied relevance for complex assessment, operational monitoring of achievement of goals of activi-

ties of tax authorities in the Russian Federation, creations of rating of inspections, controls and more exact measure planning of their operation for the next reporting periods.

Key words: performance evaluation, planning, indicators, methodology, tax authorities, activities of tax authorities.

Введение

Современная экономическая ситуация с развитием финансовых отношений диктует необходимость совершенствования методов налогового администрирования, в том числе контрольной деятельности налоговых органов РФ в целях обеспечения устойчивого сбора налоговых платежей – основы доходной части государства, позволяющей ему осуществлять свои социально-экономические функции в полном объеме.

Эффективность работы налоговых органов РФ во многом определяет экономическое состояние страны и финансовое благополучие ее граждан, но без рациональной системы анализа и оценки этой деятельности невозможно выявить проблемные моменты и усовершенствовать работу налоговой системы в целом.

Для достоверной оценки результатов и качества контрольной работы налоговых органов необходимо использование устойчивых показателей, раскрывающих внутреннее содержание контрольной работы. Данные показатели должны определять уровень эффективности деятельности налоговых органов РФ, помогать выявлять и устранять возникшие несоответствия, стать основой плановой деятельности на следующие отчетные периоды.

Принято считать, что основным критерием оценки деятельности налоговых органов РФ является выполнение показателей по сбору доходов, но на практике это далеко не так. По мнению М. В. Мишустина, доктора экономических наук и руководителя ФНС России, к основным критериям оценки эффективности деятельности налоговых органов РФ нужно относить собираемость налогов и сборов, результаты рассмотрения и разрешения судебных налоговых споров, увеличение доли налогоплательщиков, удовлетворительно оценивающих работу налоговых органов, а также снижение налоговой задолженности в бюджетную систему РФ. Данные критерии закреплены в официальной методике анализа и оценки контрольной работы налоговых органов РФ, которая существует с 2002 г., а с 2007 г. данная методика утверждена Правительством РФ [1–5].

Методические проблемы оценки эффективности деятельности территориальных органов ФНС России

Показатели методики [1–3] включают :

– критерии оценки качества эффективности деятельности территориальных органов ФНС России на отчетный период, одобренные на заседании Правительства РФ;

– количественные показатели оценки, рассчитываемые на основании статистической отчетности, формируемой налоговым органом;

– аналитические показатели, оцениваемые на основании различных факторов (анализа данных, служебных записок, полученных выводов, обзорных писем и т.п.) [1–3, 6].

Показатели содержат определенную информацию, учитывающую различные направления деятельности налоговых органов. Результаты оценки 17 показателей и эффективности работы налогового органа, определяемой степенью достижения плановых показателей, учитываются в системе материального стимулирования, позволяют отслеживать возникающие проблемы и повышать уровень управляемости налоговыми органами. Но в методике [1–3] отсутствует обобщающий показатель, позволяющий учитывать вклад каждого структурного отдела налогового органа [1, 3, 6].

Приказ Федеральной налоговой службы от 22 февраля 2013 г. № ММВ-7-12/95@ регламентирует использование методики расчета качественных показателей для оценки эффективности деятельности руководителя ФНС [3]. Определение значений показателей основывается на результатах социологического исследования, ежегодно организуемого ФНС в форме массового анкетного опроса. Для решения задач по оценке деятельности создается комиссия, выполняющая следующие функции [2]:

- организует и контролирует сбор оценочной информации;
- вырабатывает предложения по установлению аналитических баллов нижестоящим налоговым органам;
- проводит анализ достоверности представленных материалов. В случае выявления неточностей собранных данных для оценки структурных подразделений вносит предложение руководителю налогового органа о пересмотре полученных данных;
- подготавливает расчеты по базовой сумме материального стимулирования субъектов оценки;
- рассматривает на заседании обобщенные результаты оценки;
- составляет протокол рассмотрения результатов проведенной оценки.

Персональный состав комиссии (не менее 7 человек), ее председатель, заместитель председателя утверждаются приказом соответствующего налогового органа. Председателем комиссии назначается должностное лицо не ниже заместителя руководителя налогового органа. Начальники (или сотрудники) подразделения налогового органа, выполняющие функции внутрисистемного анализа, функции комплексного развития, а также функции финансового обеспечения, обязательно включаются в состав комиссии.

Решения комиссии рассматриваются и утверждаются руководителем (исполняющим обязанности руководителя) налогового органа. Руководитель (исполняющий обязанности руководителя) налогового органа несет персональную ответственность за организацию и проведение оценки эффективности деятельности соответствующих налоговых органов, качество выполнения служебных обязанностей гражданских служащих, установление за отчетный период аналитического балла налоговых органов, а также за эффективное расходование средств федерального бюджета на материальное стимулирование.

По окончании отчетного квартала (периода), за который оцениваются результаты работы и проводится материальное стимулирование, на основе налоговой статотчетности управлениями центрального аппарата ФНС России (отделами налоговых органов) выполняется расчет показателей эффективности деятельности налоговых органов, подготавливаются предложения по

определению соответствующих коэффициентов и формируется проект рейтингового списка субъектов стимулирования.

Комиссия соответствующего уровня рассматривает материалы, при необходимости вносит в данные корректировки, вырабатывает предложения по определению аналитического балла и затем вносит их на утверждение руководителю (начальнику) налогового органа. Руководитель (исполняющий обязанности руководителя (начальника)) налогового органа рассматривает и утверждает представленные материалы. На основании утвержденных рейтинговых баллов последовательно рассчитываются средства материального стимулирования субъекта оценки [1–3].

В литературных источниках приводятся авторские методики оценки эффективности деятельности налоговых органов РФ, дается критический анализ существующих показателей [6–15]. В работе [13] предлагается способ группировки показателей для оценки эффективности работы налогового органа и методика их расчета. По мнению авторов [15], одним из возможных вариантов является построение интегрального показателя на основе линейного преобразования частных показателей и на основе сортировки их значений. Интегральный показатель определяет сравнительную эффективность контроля различных видов налоговых платежей, на его основе строится итоговый рейтинг эффективности налогового контроля субъектов РФ.

Д. В. Крылова критерий эффективности контрольной работы определяет на основе коэффициента собираемости налогов как отношение общего объема налоговых поступлений по региону к его налоговому потенциалу. Под налоговым потенциалом региона автор понимает сумму потенциалов налоговой базы контролируемой территории, контрольной работы налоговых органов и налоговой задолженности налогоплательщиков, штрафные санкции и пени по налоговым платежам [10].

Рассмотренные методики в большей степени являются теоретическими разработками. В то же время вопрос о системе показателей оценки эффективности различных налоговых процедур и налогового администрирования в целом остается дискуссионным и требует дальнейшей доработки.

По результатам анализа действующей методики были выявлены следующие недостатки:

- 1) трудоемкость и сложность расчета показателей;
- 2) непривязанность показателей оценки результатов выполненных работ налоговых органов к их основным видам деятельности;
- 3) недооценка значимости каждого функционального отдела налогового органа из-за отсутствия обобщающего показателя, который учитывал бы вклад каждого отдела налогового органа в результативность решения поставленной задачи;
- 4) дублирование ряда показателей, характеризующих контрольную работу налоговых органов;
- 5) отсутствие гибкости и системности применяемой методики;
- 6) отсутствие учета загруженности каждой конкретной инспекции по количеству налогоплательщиков, стоящих на учете, и штатной численности сотрудников, работающих в ней;

7) необъективность и некорректность ряда показателей эффективности работы налоговых органов.

Вышеприведенные недостатки обуславливают необходимость пересмотра подходов к оценке эффективности деятельности налоговых органов.

Разработаны рекомендации по совершенствованию системы оценки эффективности деятельности налоговых органов РФ. Необходимо:

1) учитывать коэффициент загрузки налоговых органов, который будет определяться как отношение штатной численности сотрудников (ЧС) налогового органа (без учета вспомогательного персонала) к количеству налогоплательщиков (КН), стоящих на учете в данном налоговом органе:

$$K_{\text{загр}} = \text{ЧС} / \text{КН} \cdot 100 \% ;$$

2) вносить следующие изменения в расчет показателей оценки эффективности контрольной деятельности территориальных органов ФНС России:

а) рассчитывать показатель № 3.1 «Отношение сумм поступлений по результатам аналитической работы налоговых органов к общей сумме поступлений по результатам контрольной работы» (Од) не только за квартал, но и нарастающим итогом за весь год, как другие интегральные показатели оценки эффективности контрольной, правовой работы, досудебного урегулирования налоговых споров и качества обеспечения процедур банкротства, так как суммы поступлений при расчете только за квартал остаются недооцененными в сравнении с другими показателями; для объективности оценки показатели должны оцениваться равнозначно.

Данный показатель Од является необъективным и в том, что при более низких суммах общих взысканий и суммах, полученных по результатам контрольно-аналитической работы, т.е. при менее эффективной общей работе, можно получить более высокий показатель, чем у другого территориального органа ФНС с большей общей эффективностью. Для доказательства рассмотрим следующий пример:

$$\text{Од} = \text{Ва} / \text{Вк} \cdot 100 \% ,$$

где Ва – дополнительно поступило в бюджет в связи с представлением уточненных налоговых деклараций по результатам проведенной налоговыми органами контрольно-аналитической работы; Вк – сумма взысканных платежей по результатам камеральных и выездных проверок за отчетный период. Поэтому в первом случае:

$$(20/200) \cdot 100 \% = 100 \% ,$$

во втором:

$$(15/100) \cdot 100 \% = 150 \% ;$$

б) отменить показатель № 3.2 «Динамика сумм взысканных платежей за год (4 последовательных квартала) по сравнению с аналогичным предыдущим периодом» (Дв):

$$\text{Дв} = [(\text{В}_1 / \text{В}_0) \cdot 100] ,$$

где V_1 и V_0 – суммы взысканных платежей по результатам камеральных и выездных проверок за текущий год и за соответствующий предыдущий период – год соответственно.

Так как баллы оценки эффективности по данному показателю учитывают только непосредственный прирост показателя по отношению к предыдущему периоду, соответственно, если эффективность работы за два последующих периода одинакова и наблюдается стабильная положительная тенденция, то показатель по сравнению с предыдущим годом не покажет прироста, что является необъективным с точки зрения оценки эффективности работы;

в) в показателе № 3.3 «Сумма взысканных платежей за отчетный период в расчете на 1 специалиста налоговых органов согласно штатному расписанию» (табл. 1) изменить градацию баллов по группам УФНС России, так как разные группы имеют разную значимость, а баллы оценки эффективности практически не отличаются, соответственно, управлениям ФНС России из 4-й группы проще достичь высоких показателей, чем управлениям ФНС России из 5-й группы при одинаковых затратах и ресурсах, а это некорректная и необъективная оценка эффективности работы.

Таблица 1

Показатель № 3.3 методики

Показатель, баллы	Значения баллов
1	2
$B3 = Z$ (баллы) $Z = Cв/Чу$, где $Cв$ – сумма взысканных платежей по результатам камеральных и выездных проверок за отчетный период; $Чу$ – численность сотрудников (специалистов) территориальных налоговых органов	1-я группа
	$Z \geq 900$ $B3=22$
	$750 \leq Z < 900$ $11 \leq B3 < 22$
	$600 \leq Z < 750$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 600$ $B3=0$
	2-я группа
	$Z \geq 900$ $B3=22$
	$660 \leq Z < 900$ $11 \leq B3 < 22$
	$450 \leq Z < 660$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 450$ $B3=0$
	3-я группа
	$Z \geq 750$ $B3=22$
	$570 \leq Z < 750$ $11 \leq B3 < 22$
	$420 \leq Z < 570$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 420$ $B3=0$
	4-я группа
	$Z \geq 600$ $B3=22$
	$510 \leq Z < 600$ $11 \leq B3 < 22$
	$390 \leq Z < 510$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 390$ $B3=0$
	5-я группа
	$Z \geq 600$ $B3=22$
	$480 \leq Z < 600$ $11 \leq B3 < 22$
	$360 \leq Z < 480$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 360$ $B3=0$

1	2
	6-я группа
	$Z \geq 510$ $B3=22$
	$390 \leq Z < 510$ $11 \leq B3 < 22$
	$270 \leq Z < 390$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 270$ $B3=0$
	7-я группа
	$Z \geq 500$ $B3=22$
	$360 \leq Z < 500$ $11 \leq B3 < 22$
	$220 \leq Z < 360$ $0 \leq B3 < 11$
	$Z \leq 220$ $B3=0$

Система рейтинговых индексов

Исследования показали, что в отличие от действующей методики с использованием большого количества показателей для проведения комплексной сравнительной оценки эффективности контрольной работы налоговых органов и определения их рейтинга можно применять лишь три критерия (табл. 2) [8].

Таблица 2

Коэффициенты сравнительной оценки эффективности работы налоговых органов

Наименование коэффициента	Обозначение	Формула расчета
1) коэффициент доначисления налогов по результатам камеральных налоговых проверок	$K_{\text{днк}}$	$K_{\text{днк}} = C_{\text{днк}} / (C_{\text{днк}} + C_{\text{нд}}),$ <p>где $C_{\text{нд}}$ – сумма начисленных платежей по налоговым декларациям. Отражает долю платежей, дополнительно начисленных по результатам камеральных проверок ($C_{\text{днк}}$), в уточненной сумме начисленных платежей по налоговым декларациям</p>
2) коэффициент взыскания дополнительно начисленных платежей	$K_{\text{вдн}}$	$K_{\text{вдн}} = C_{\text{вп}} / C_{\text{дпп}} -$ <p>отношение суммы дополнительно взысканных платежей по результатам контрольной работы ($C_{\text{вп}}$) к сумме платежей, дополнительно начисленных по результатам камеральных и выездных налоговых проверок ($C_{\text{дпп}}$)</p>
3) коэффициент качества налоговых проверок	$K_{\text{кп}}$	$K_{\text{кп}} = (C_{\text{дпп}} - C_{\text{урс}}) / C_{\text{дпп}},$ <p>где $C_{\text{урс}}$ – сумма уменьшения дополнительно начисленных платежей по решению судебных и вышестоящих органов. Отражает долю правомерно доначисленных платежей в общей сумме дополнительно начисленных платежей по результатам камеральных и выездных налоговых проверок</p>

Суммарный рейтинговый индекс налогового органа (РНО) можно рассчитать по формуле

$$PHO = 0,5(K_{\text{днк}}/0,05) + 0,33(K_{\text{вдн}}/0,5) + 0,17(K_{\text{кп}}/0,95),$$

где 0,5; 0,33; 0,17 – коэффициенты значимости, рассчитанные для каждого показателя методом ПЕТТЕРН; 0,05; 0,5; 0,95 (в скобках) – определяемые экспертным путем теоретически достаточные значения показателей, комплексно характеризующие оптимальное состояние контрольной работы налогового органа [8].

Результаты расчетов рейтинга инспекций (на примере ИФНС по Пензенской области) приведены в табл. 3–7.

Таблица 3

Начисленные налоги

ИФНС	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6	№ 7	№ 8	№ 9	№ 10
Суммарный объем начисленных налогов, тыс. руб	197 834	115 926	62 105	149 988	1 456 132	987 317	1 429 122	779 913	350 961	704 225

Таблица 4

Расчет коэффициента $K_{\text{днк}}$

ИФНС	$C_{\text{днк}}$	$C_{\text{нд}}$	$K_{\text{днк}}$
№ 1	16 788	781 667	0,021
№ 2	13 988	687 446	0,020
№ 3	26 211	472 554	0,053
№ 4	21 344	478 043	0,043
№ 5	20 987	560 025	0,036
№ 6	19 236	654 299	0,029
№ 7	22 871	414 030	0,052
№ 8	13 046	576 304	0,022
№ 9	27 112	734 230	0,036
№ 10	17 079	510 289	0,032

Таблица 5

Расчет коэффициента $K_{\text{вдн}}$

ИФНС	$C_{\text{вп}}$	$C_{\text{дпп}}$	$K_{\text{вдн}}$
№ 1	39 743	57 923	0,686
№ 2	32 015	64 200	0,499
№ 3	11 899	38 899	0,306
№ 4	17 327	34 623	0,500
№ 5	19 582	38 511	0,508
№ 6	15 996	43 671	0,366
№ 7	15 643	34 287	0,456
№ 8	15107	28569	0,529
№ 9	26281	46212	0,569
№ 10	15308	30436	0,503

Таблица 6

Расчет коэффициента $K_{кп}$

ИФНС	$C_{урс}$	$C_{дпп}$	$K_{кп}$
№ 1	2835	57 923	0,951
№ 2	1198	64 200	0,981
№ 3	145	38 899	0,996
№ 4	7721	34 623	0,777
№ 5	4423	38 511	0,885
№ 6	2697	43 671	0,938
№ 7	3101	34 287	0,910
№ 8	567	28 569	0,980
№ 9	5012	46 212	0,892
№ 10	1587	30 436	0,948

Таблица 7

Суммарный рейтинговый индекс налогового органа

ИФНС	РНО
№ 1	0,833
№ 2	0,704
№ 3	0,906
№ 4	0,469
№ 5	0,855
№ 6	0,695
№ 7	0,987
№ 8	0,746
№ 9	0,891
№ 10	0,825

Необходимо отметить, что на результаты комплексной сравнительной оценки эффективности контрольной работы территориальных налоговых органов РФ и определения их рейтинга существенное влияние оказывает количество обслуживаемых налогоплательщиков, что изначально ставит их в неравные условия.

Предложенные рейтинговые индексы могут применяться как при оценке, так и при планировании эффективности деятельности инспекций, управлений.

Заключение

Необходимо дальнейшее совершенствование системы анализа и оценки эффективности деятельности налоговых органов РФ, так как проведенные исследования выявили ряд проблемных моментов. Для того, чтобы выявить причины изменения эффективности контрольной работы органов, целесообразно не только применять рассмотренные показатели с установленными пороговыми значениями, но и выстраивать инспекции и управления с определением их позиций на этапе планирования.

Библиографический список

1. Об утверждении Порядка осуществления материального стимулирования федеральных государственных гражданских служащих территориальных органов Федеральной налоговой службы : приказ Минфина РФ № 90н : [от 17.10.2007]. – URL: <http://base.garant.ru/12156913/>
2. Об утверждении методик расчета значений показателей для оценки эффективности деятельности руководителя Федеральной налоговой службы по созданию благоприятных условий ведения предпринимательской деятельности : приказ № ММВ-7-12/95@ : [от 22.02.2013]. – URL: https://www.nalog.ru/tn58/about_fts/docs/4057487/
3. Создание единого механизма оценки результатов эффективности деятельности территориальных органов ФНС России, их структурных подразделений, эффективности работы федеральных государственных гражданских служащих и качества исполнения ими должностных обязанностей : приказ ФНС России № ББ-425/31 : [от 15 ноября 2007 г.].
4. Мишустин, М. В. Совершенствование инструментов налогового администрирования по обеспечению стабильных доходов государственного бюджета / М. В. Мишустин // Экономика. Налоги. Право. – 2014. – № 4. – С. 4–8.
5. Гапоненко, Ю. В. Методические аспекты оценки эффективности работы налоговых органов региона / Ю. В. Гапоненко, С. А. Савина // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. – 2014. – № 3 – С. 132–135.
6. Дорофеева, Н. А. О показателях оценки эффективности деятельности налоговых инспекций / Н. А. Дорофеева, А. В. Суворов // Бухгалтерский учет в строительных организациях. – 2010. – № 7. – С. 59–65.
7. Аристархова, М. К. Концепция оценки деятельности налоговых органов / М. К. Аристархова, А. Ю. Шеина // Экономика и управление: научно-практический журнал. – 2015. – № 2. – С. 79–83.
8. Билалова, И. М. Оценка эффективности деятельности налоговых органов в Республике Дагестан / И. М. Билалова, А. Р. Мамедова // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 4. – С. 320–324.
9. Бирюков, А. И. О системе показателей для оценки эффективности налогового контроля / А. И. Бирюков, Н. В. Свиридова, А. В. Суворов // Налоговая политика и практика. – 2006. – № 1. – С. 34–37.
10. Васильева, М. В. Оценка эффективности контрольно-проверочной работы налоговых органов / М. В. Васильева // Управленческий учет. – 2011. – № 4. – С. 66–73.
11. Мы – сервисная компания, Михаил Мишустин, руководитель Федеральной налоговой службы РФ // Ведомости. – 2010. – № 217 (2735), 17 нояб. – URL: http://www.nalog-briz.ru/2010/11/blog-post_3609.html
12. Хафизова, А. Р. Об оценке эффективности деятельности налоговых органов в России / А. Р. Хафизова // Вестник экономики, права и социологии. – 2015. – № 2. – С. 85–88.
13. Хафизова, А. Р. Показатели оценки эффективности деятельности налоговых органов: обзор существующих подходов / А. Р. Хафизова // Налоговая политика. – 2012. – № 31 (511). – С. 18–24.
14. Шеина, А. Ю. Инструментарий оценки деятельности налоговых органах / А. Ю. Шеина, М. К. Аристархова // Управление экономическими системами. – 2014. – № 12 (72). – URL: <http://uecs.ru/uecs-72-722014/item/3248-2014-12-20-09-12-12>
15. Яшина, Н. И. Оценка эффективности налогового контроля с учетом риска исполнения налоговых обязательств / Н. И. Яшина, А. А. Александров // Известия УрГЭУ. – 2016. – № 3 (65). – С. 50–64.

Бредихина Карина Владимировна

магистрант,
кафедра бухгалтерского учета,
налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: karina_official_mail@mail.ru

Bredikhina Karina Vladimirovna

graduate student,
sub-department of accounting,
taxation and auditing,
Penza State University

Бадеева Елена Александровна

доктор технических наук, профессор,
кафедра бухгалтерского учета,
налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: badeeva_elena@mail.ru

Badeeva Elena Alexandrovna

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of accounting,
taxation and auditing,
Penza State University

Сазонова Ирина Владимировна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра бухгалтерского учета,
налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: irp@list.ru

Sazonova Irina Vladimirovna

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of accounting,
taxation and auditing,
Penza State University

УДК 336.225

Бредихина, К. В.

Эффективность деятельности налоговых органов РФ: подходы к ее оценке и планированию / К. В. Бредихина, Е. А. Бадеева, И. В. Сазонова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 17–27.

**ФОРМИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ МОДЕЛИ
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ
АГРОПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ**

Л. И. Зинина, И. А. Иванова

**FORMATION OF COMPETITIVE ADVANTAGES
IN THE DEVELOPMENT OF NATIONAL AGRI-FOOD SYSTEM**

L. I. Zinina, I. A. Ivanova

Аннотация. Актуальность и цели. Стратегическое развитие агропродовольственной системы (АПС) должно быть основано на формировании территориальных инновационных моделей продовольственного обеспечения и реализации возможностей совершенствования данного процесса. Инновационная модель развития территориальной АПС значима для интеграции усилий сельскохозяйственных товаропроизводителей, субъектов продовольственного рынка в едином производственно-потребительском цикле, достижения наиболее социально эффективных продовольственных ориентиров, роста экспортного потенциала региона, активизации процессов импортозамещения. Очевидно, что процесс модернизации АПС затруднен, что вызвано ее биоэкономической спецификой, уникальностью и многообразием естественных условий хозяйственной деятельности, большой продолжительностью сроков окупаемости проектов, недостаточным привлечением инновационных разработок и защитой интеллектуальной собственности. Это препятствует развитию агропродовольственной системы, трансформации ее в наукоемкий, способный к генерированию инновационный сектор экономики. В связи с этим требуется принципиально новая организационно-экономическая модель системы формирования и использования продовольственных ресурсов государства в целом и отдельных его регионов, представляющая один из общепринятых инструментов эффективного стратегического управления. Обозначенные проблемы определяют актуальность, практическую значимость и основные направления исследования. Предложенное исследование содержит методические и практические подходы к разработке инновационной модели развития АПС региона. *Материалы и методы.* Теоретической и методологической основами исследования являются системно-структурный и системно-функциональный подходы к изучению взаимоотношений социально-экономических систем и их основных компонентов. Решение основных задач исследования выполнено с применением разнообразных методов научного анализа: сравнительного, исторического, математико-статистического; эконометрического и компьютерного моделирования. *Результаты.* Выявлены основные компоненты инновационной организационной структуры агропродовольственной системы. Разработаны методологические и методические положения междисциплинарных исследований, связанные прежде всего с исследованием инновационных возможностей в развитии сельского хозяйства. В частности, проведены историческая и экономическая оценки функционирования сельского хозяйства с обоснованием пространственно-временных сельскохозяйственных показателей и созданием специализированных баз данных (за 100-летний период), с применением инструментов спектрального анализа выявлено циклическое развитие инновационных процессов в сельском хозяйстве и построена математическая модель для их прогнозирования. Проведен кластерный анализ субъ-

ектов РФ, в результате которого выявлены три страты, включающие, соответственно, регионы с низкой, средней и высокой инвестиционной привлекательностью. С помощью корреляционно-регрессионного анализа построены эконометрические модели зависимости объема внутренних затрат на научные исследования и разработки от исследуемых факторов регионального развития для субъектов РФ каждого из трех кластеров. Разработан методический подход к построению интегральной оценки инновационного потенциала региона на примере субъектов Приволжского федерального округа РФ и обоснованию управленческих решений по его повышению. *Выводы.* Разработанные положения и полученные результаты могут стать основой для процесса развития инновационной модели территориальной АПС, направленного на системные преобразования производства, формирование, использование и обеспечение мировой конкурентоспособности продовольственных ресурсов, оптимизацию развития базовых отраслей и достижение целевых параметров, усиление кооперационных и интеграционных связей на всех стадиях воспроизводства.

Ключевые слова: агропродовольственная система, инновационная модель развития, конкурентоспособность, инновации, инновационный цикл, агроэкономический потенциал, продовольственная стратегия, агропромышленный комплекс, моделирование, инновационная деятельность.

Abstract. Background. Strategic development of the agrifood system should be based on the formation of innovation territorial patterns of food supply and opportunities for improving food security. The importance of the innovation model of development of a territorial agri-food system is to integrate the efforts of agricultural producers, subjects of the food market in a single production-consumption cycle to achieve the most socially important food guidelines, growth of export potential of the region, activization of processes of import substitution. It is obvious that the process of modernization of the agrifood system is difficult, owing to its bioeconomical specificity, uniqueness and diversity of the natural conditions of economic activity, a large continue, with output of the payback period, the lack of involvement of innovations and protection of intellectual property. This prevents the development of the agri-food system, transforming it into high-tech, capable of generating innovative sector of the economy. In this connection, you need a fundamentally new model of organizational-economic system of the formation and use of food resources of the country and regions based on the implementation of strategic management, which is one of the accepted tools for effective development. Identified the issues determine the relevance, practical importance and the main directions of research. The proposed study contains methodological and practical approaches to the development of innovaciones models of development of regional agro-industrial system. *Materials and methods.* Theoretical and methodological bases of the study are systematic and structural and systemic-functional approach to the study of the relationship of social and economic systems and their main components. Solution studies major tasks accomplished using a variety of methods of scientific analysis: a comparative, historical, mathematical and statistical; econometric and computer modeling. *Results.* The main components of the innovative organizational structure of the agro-food system are identified. Methodological and methodological provisions of interdisciplinary research have been developed, primarily related to the study of innovative opportunities in the development of agriculture. In particular, a historical and economic assessment of the functioning of agriculture with the justification of spatio-temporal agricultural indicators and the creation of specialized databases (over a 100-year period), using the tools of spectral analysis, revealed the cyclical development of innovative processes in Agriculture and built a mathematical model for their prediction. Cluster analysis of the subjects of the Russian Federation was carried out, as a result of which 3 strata were revealed, which include, respectively, regions with low,

medium and high investment attractiveness. With the help of correlation-regression analysis, econometric models of the dependence of the volume of internal costs on scientific research and development on the factors of regional development for the subjects of the RF of each of the three clusters are constructed. A methodical approach to the construction of an integrated assessment of the innovative potential of the region is developed on the example of the subjects of the Russian Federation in the Volga Federal District and the rationale for management decisions to improve it. *Conclusions.* Developed in the situation and the results can be the basis for the development of innovative models of territorial agri-food system, aimed at systemic change production; formation, use and maintenance of the global competitiveness of the food resources; optimizing the development of basic industries and the achievement of target parameters; strengthening cooperation and integration relationships at all stages of reproduction.

Key words: agro-food system, innovative model of development, competitiveness, innovation, innovation cycle, economic potential of the agro, food strategy, agriculture, simulation, innovation.

Введение

Формирование инновационной модели развития территориальной агропродовольственной системы (АПС), исследование факторов, предпосылок развития экономики на основе инноваций способствуют устойчивому развитию экономики в соответствии с современными макроэкономическими тенденциями развития, улучшению качественной стороны жизни населения. Данная проблема, имея особый социальный статус, требует системного исследования с использованием различных инструментов и методов. Инновационные процессы являются приоритетным условием для обеспечения долгосрочного развития предприятий агропромышленного комплекса. В то же время процесс активизации инновационной деятельности на предприятиях, рассматриваемый как необходимая предпосылка экономического роста, усложняется ограничениями формализованного аппарата для разработки эффективных управленческих решений и оценки их результативности. Это актуализирует необходимость данного исследования в теоретических и практических вопросах, а также анализа и прогнозирования инновационного развития, разработки методов количественной оценки влияния инновационных процессов на формирование конкурентных преимуществ.

Обоснование комплексного подхода к разработке региональной инновационной модели развития АПС с использованием методологического и методического инструментария стратегического управления позволяет решить следующие задачи:

- обоснование концептуальной сущности и содержания территориальной АПС, инновационных моделей ее модернизации с позиции обеспечения роста конкурентных преимуществ региона и усиления его агроэкономического потенциала;

- анализ современного состояния национальной АПС, факторов и потенциала ее инновационного развития, выделение сфер разработки, генерирования и внедрения инноваций, оценка возможности ее инновационной модернизации в условиях невысокой привлекательности для мобильного

капитала, государственно-частного партнерства, взаимодействия бизнеса и государства;

- выявление возможностей трансформации агропродовольственной системы экономики исследуемого региона в мировое хозяйство, участия в международных цепочках производства и реализации продовольствия с позиций эффекта аграрного мультипликатора;

- обоснование практических подходов к ресурсному обеспечению инновационной деятельности агропродовольственной системы, включающему информационное, финансовое, материально-техническое, кадровое, правовое обеспечение и т.д.;

- разработка механизма эффективной инновационной деятельности, предусматривающего инновационное предпринимательство, сельскохозяйственное консультирование, бизнес-планирование, стимулирование инновационной деятельности;

- эконометрическое моделирование и прогнозирование потребностей региона в социально значимых видах продовольствия с целью обоснования социальной модели роста экономической доступности продовольствия в зависимости от уровня платежеспособности потребителя, расширения емкости продовольственного рынка, обеспечения стандартов потребления;

- разработка рекомендаций по повышению конкурентоспособности отечественной агропродовольственной системы, основанных на биоэкономическом характере ее функционирования, возрастающем значении продовольственной самодостаточности, эффективного аграрного производства, продвижения на современные рынки продовольственных товаров, обеспечения инновационной привлекательности специализированных предприятий;

- разработка предложений по реализации программно-целевого подхода к моделированию инновационного развития территориальной агропродовольственной системы в части разработки региональной целевой программы «Инновационная агропродовольственная система» и агропродовольственного потенциала, международных и отечественных возможностей (проектов) привлечения инвестиций для ее реализации с обоснованием инновационно активных предприятий в отраслях растениеводства и животноводства; рекомендаций по развитию инструментов регулирования инновационной деятельности в агропродовольственной системе региона.

Теоретический обзор

Разработке проблем развития инновационных процессов, вопросам инновационного развития посвящены работы многих исследователей. Термин «национальная инновационная система» впервые был использован К. Фриманом как своего рода сеть институтов в государственном и частном секторах экономики, активность и взаимодействие которых инициирует, создает, модифицирует и способствует диффузии новых технологий [1]. Б.-А. Лундвэлл определял национальную инновационную систему как систему инноваций, формируемую из элементов и отношений, которые взаимодействуют в производстве, распространении и использовании нового и экономически полезного знания внутри границ национального государства [2]. В основу методологи-

ческих принципов данных авторов положены идеи Й. Шумпетера об инновациях, или «новых комбинациях», и о предпринимателях, основная экономическая функция которых – осуществление инноваций; рассмотрение институционального аспекта инновационной деятельности как определяющего фактора, ее структуры и содержания [3]. Исходные положения инновационной теории Й. Шумпетера базируются в трудах Н. Д. Кондратьева, который выявил взаимосвязь волн изобретений и инноваций с производственными циклами [4]. Исследования и выводы Кондратьева основывались на статистическом анализе временных рядов экономических показателей различных стран, при котором им установлены в начале роста волны большого цикла радикальные нововведения, глубокие изменения в технике и технологии производства на основе появления кардинальных изобретений и открытий, существенной трансформации в определяющих условиях хозяйственной жизни общества. Совершенствование техники подчинено циклическому процессу с большим периодом.

Среди зарубежных ученых, чьи работы представляют наибольший интерес для разработки инновационной агропродовольственной системы, необходимо отметить таких ученых, как Р. Дэниелс [5], Б. А. Лундвелл [2], Р. Нельсон [6], Д. Норт [7], М. Портер [8], П. Ромер [9], Б. Санто [10], К. Фримэн [11], С. Хантингтон [12], Г. Чесборо [13], Дж. Эндрю [14], Й. Шумпетер [15] и др. Моделированию национальной инновационной системы, вопросам инновационного развития посвящены работы многих отечественных экономистов: А. И. Анчишкина [16], О. Г. Голиченко [17], Л. М. Гохберга [18], А. А. Дагаева [19] и др. Системный анализ инновационной деятельности приведен в трудах М. Месаровича, Д. Мако, И. Такахара [20], В. Н. Садовского [21], И. Н. Ивановой [22] и др.

В работах отечественных и зарубежных ученых решены многие важные задачи анализа, методологии и прикладных исследований инновационной деятельности [23]. Однако проведенное в отечественной науке комплексное отражение вопросов разработки инновационных моделей АПС представлено недостаточно. Изменение форм хозяйственной деятельности и внедрения инноваций, научного и финансового обеспечения АПК предполагает разработку методологических подходов и практических рекомендаций по моделированию инновационной агропродовольственной системы.

Теоретическую сущность АПС мы рассматриваем с позиции ее структурно-функционального содержания. Она включает отрасли сельскохозяйственного производства по переработке и реализации сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольственных товаров, а также производственно-экономические отношения, направленные на обеспечение воспроизводственного процесса, а соответственно, формирование самодостаточного продовольственного баланса.

При этом можно выделить структурные функциональные сферы АПС: производство сельскохозяйственного сырья; формирование продовольственных ресурсов; использование и потребление сельскохозяйственных ресурсов и продовольствия.

Инновационная организационная структура продовольственной системы включает:

– производство сельскохозяйственного сырья и продовольствия, представленное сельхозпредприятиями, фермерскими хозяйствами, личными подсобными хозяйствами и т.д.;

– рынки сельскохозяйственного сырья и продовольствия, включающие в себя федеральный и региональные продовольственные фонды, закупочные организации, индивидуальных посредников;

– переработку сельскохозяйственного сырья и производство продукции в ассортименте предприятий пищевой промышленности;

– оптовые рынки продовольствия, которые представлены федеральным и региональными продовольственными фондами, оптовыми торговыми предприятиями, торговыми компаниями, индивидуальными посредниками;

– розничные рынки продовольствия, которые формируют предприятия розничной торговли, городские рынки, частные магазины, предприятия общественного питания, продовольственные рынки с оптово-розничной торговлей [24].

Приведем классификационные признаки АПС как интегрированной многоотраслевой системы: целевое предназначение; функционально-отраслевая структура (структурные подсистемы и основополагающие элементы, включающие сельскохозяйственные и перерабатывающие отрасли с соответствующими функциями в создании конечного продукта); продуктовая структура (производство определенных видов продукции); территориально-производственная структура (как агропромышленные предприятия в пределах конкретной местности, территории); организационно-управленческая структура (как интегрированные структурные элементы и звенья, функционирующие в территориальном, отраслевом и программно-целевом аспектах); производственно-технологическая структура (как элементы производства и технологические способы их консолидации для получения продукции с заданным потребительским качеством); социальная структура (как группы населения, формы хозяйствования и собственности которых способствуют процессу агропромышленного воспроизводства).

Анализ результатов моделирования

При финансовой поддержке грантов РФФИ (проект № 11-06-00177 «Математическое и компьютерное моделирование экономических циклов в сельском хозяйстве»; проект № 13-06-00200-а «Математическое и геоинформационное моделирование инновационного развития сельского хозяйства»; проект № 14-12-13006 «Разработка инновационной модели развития территориальной агропродовольственной системы региона (на примере Республики Мордовии)»; проект № 16-02-00279-а «Формирование конкурентных преимуществ в развитии национальной агропродовольственной системы») рассмотрены отдельные аспекты исследуемой проблемы. Разработаны методологические и методические положения междисциплинарных исследований, связанные прежде всего с изучением инновационного развития сельского хозяйства. В частности, проведен системный анализ динамики сельского хозяй-

ства с помощью инструментов спектрального анализа на основе баз данных временных рядов сельскохозяйственных показателей более чем за 100-летний период, благодаря чему обосновано циклическое развитие инновационных процессов в АПС и построен прогноз до 2025 г. [25].

Теоретической и методологической основой исследования являются системно-структурный и системно-функциональный подходы к изучению взаимоотношений социально-экономических систем и их основных компонентов, что требует применения разнообразных методов научного анализа: сравнительного, исторического, статистического, ГИС-технологий, математического, геоинформационного и компьютерного моделирования, а также типологии и районирования. При финансовой поддержке грантов РФФИ и РГНФ разработаны и апробированы различные подходы и методы моделирования социально-экономических объектов, которые использованы в данном исследовании. При этом математические методы использованы для выявления факторов формирования, развития и моделирования территориальной агропродовольственной системы; применен оригинальный математический аппарат, представляющий собой модернизацию метода структурной и параметрической идентификации и агрегирования ее на базе учета только самых существенных свойств систем, обуславливающих их эффективность. Данный математический аппарат апробирован в системе компьютерного имитационного моделирования (ППП «Имитационное моделирование Simwek 1.0.» разработан на кафедре статистики, эконометрики и информационных технологий в управлении Мордовского государственного университета им. Н. П. Огарева)¹ с целью оценки влияния наиболее существенных факторов на функционирование территориальной АПС и ее отдельных компонентов. При построении ее инновационной модели применялись также методы многомерного (кластерного, факторного, корреляционного, регрессионного) анализа данных. Для выявления факторов использованы данные Росстата. Сложные математические расчеты с построением математических моделей выполнены с помощью ППП Statistica и Matlab.

Выделены наиболее значимые аспекты современного периода развития АПС с точки зрения ее биоэкономической сущности и в качестве реального объекта планирования, прогнозирования и регулирования:

- структурированность АПС и направленность ее развития при строгой ориентации всех элементов на конечный результат, устойчивость, экономичность, эффективность и сбалансированность;
- прогнозирование объемов производства сельскохозяйственного сырья и продовольствия, исходя из самообеспеченности ресурсами;
- оптимизация взаимодействия структурных подразделений в АПС, укрепление интеграционных организационно-производственных связей между основными ее сферами;

¹ Свидетельство Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2005612656, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

- расширение масштабов производства продукции до рационального его уровня с использованием преимущественно интенсивных и ресурсосберегающих технологий;
- внедрение и реализация программно-целевого подхода к развитию АПС на базе индикативного планирования и государственного регулирования;
- развитие АПС как необходимого условия обеспечения продовольственной безопасности [27].

Выявлены тенденции, факторы, приоритеты в развитии территориальной АПС в разрезе формирования стратегических продовольственных ресурсов. Проведена структуризация процесса организационно-экономического воздействия на ее функционирование и обеспечение инновационного развития с ориентацией на усиление импортозамещения и рост стратегической конкурентоспособности.

Реализация методологии инновационного развития требует разработки методики подхода к обоснованию стратегических параметров развития АПС. Инструментарий предлагаемой методики предполагает построение блок-схемы расчетов по выявлению продовольственных потребностей региона и их сопоставление с возможностями развития межрегионального продовольственного обмена:

- 1-й блок – Продовольствие и регион – содержит целевые показатели потребности региона в сельскохозяйственной продукции и продовольствии;
- 2-й блок – Продовольствие в регионе – содержит оценку возможности региона в удовлетворении внутренних потребностей в продовольственных ресурсах на базе его собственного производства и характеризует степень самообеспеченности продовольствием;
- 3-й блок – Межрегиональные связи региона – включает определение объемов экспорта и импорта продовольственных ресурсов и, соответственно, выявление статуса ввозящего или вывозящего региона в межрегиональных экономических отношениях.

Разработан алгоритм формирования территориальной продовольственной стратегии, направленной на структуризацию процессов продовольственного обеспечения, рост его стратегической конкурентоспособности в условиях ограниченности ресурсного оснащения, постоянно возникающих рисков.

Даны предложения по формированию стратегии в условиях региона (алгоритм оценки основных параметров АПС, структуризация, содержание базовых функциональных разделов, применяемый инструментарий, стратегические зоны хозяйствования).

Разработана информационно-аналитическая система мониторинга инновационной деятельности субъектов РФ, целью которой является сравнительный анализ их развития, позволяющий предложить в отношении каждого субъекта адекватный инновационный режим [28].

Для более эффективной оценки инновационной привлекательности, индикативного планирования экономического развития субъектов РФ необходима их кластеризация.

В результате проведенного теоретического анализа были выделены следующие факторы регионального развития:

- X_1 – число организаций, выполнявших научные исследования и разработки;
- X_2 – численность аспирантов, человек;
- X_3 – число используемых передовых производственных технологий;
- X_4 – затраты на проведение технологических инноваций, млн руб.;
- X_5 – доля инновационных товаров, работ, услуг в общем объеме отгруженных товаров, выполненных работ, услуг, %;
- X_6 – износ основных фондов, %;
- X_7 – оборотные фонды организаций, млрд руб.;
- X_8 – масса прибыли организаций, млн руб.;
- X_9 – объемы инвестиций в основной капитал, млн руб.;
- X_{10} – индексы изменения потребительских цен.

Представленные признаки имеют разный масштаб и разные единицы измерения, поэтому при больших различиях изменчивости проведена стандартизация данных и найдено кластерное решение на основе стандартизованных данных с использованием ППП Statistica, агломеративных иерархических и не-иерархических методов классификации, наиболее репрезентативным из которых выбран метод Уорда (Ward's method).

По характеру распределения были выявлены три кластера, предполагающие дифференциацию регионов по критерию «Инвестиционная привлекательность» (низкий, средний и высокий уровень).

Более многочисленной оказалась 1-й страта, в состав которой вошли 42 региона, крайне неравномерно распределенные. При этом в состав данного кластера вошли регионы преимущественно из Приволжского, Центрального и Северо-Западного федеральных округов и следующие субъекты РФ: Ставропольский край, Алтайский край, Республика Адыгея, Республика Северная Осетия – Алания, Карачаево-Черкесская Республика, Астраханская, Волгоградская, Курганская, Новосибирская, Омская и Томская области. Вышеперечисленные регионы имеют относительно среднее инновационное развитие. Для них характерны средние значения по таким показателям, как число организаций, выполняющих научные исследования и разработки, оборот организаций, сумма прибыли организации и инвестиции в основной капитал.

Регионы второго кластера по сравнению с другими имеют самую низкую оценку уровня инновационного развития, невысокий инновационный потенциал, а следовательно, и слабую инновационную активность. В него вошло 25 регионов РФ, из которых все регионы Дальневосточного федерального округа, большинство регионов Сибирского федерального округа, а также Ивановская, Калининградская, Калужская, Ленинградская, Ростовская, Смоленская и Челябинская области, Краснодарский край, Республика Дагестан и Кабардино-Балкарская Республика. Для них характерны наименьшие значения численности научных сотрудников, невысокие показатели используемых передовых производственных технологий, недостаточные объемы затрат на технологические инновации, незначительные доли инновационных товаров, работ услуг и наибольшая степень износа основных фондов.

В третью группу вошли субъекты РФ с высоким инновационным развитием: г. Москва, г. Санкт-Петербург, Московская, Нижегородская, Сара-

товская, Самарская, Свердловская и Тюменская области, Республика Татарстан и Ханты-Мансийский автономный округ. Они характеризуются высоким уровнем экономического развития, обусловленным высокими значениями всех факторов инновационной активности, что способствует довольно благоприятному инновационному климату.

Одним из основных показателей, характеризующих уровень инновационного развития, являются объемы внутренних затрат на научные исследования, так как он охватывает две наиболее актуальные сферы изучения: инвестиции и инновации. Именно этот показатель мы и предпочли в качестве результативного показателя (Y) для построения регрессионных моделей (с учетом исключения факторов, ответственных за мультиколлинеарность и статистически незначимых по критерию Стьюдента).

В итоге корреляционно-регрессионного анализа получили эконометрические модели зависимости объема внутренних затрат на научные исследования и разработки от исследуемых факторов регионального развития для субъектов РФ каждого из трех кластеров:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{I кластер: } Y = -1220,3 + 122,3X_1 - 0,1X_2 + 0,4X_7 + \varepsilon_1, R^2 = 0,70, \\ \text{II кластер: } Y = -639,4 + 73,6X_1 + 0,1X_3 + 0,2X_4 + \varepsilon_2, R^2 = 0,82, \\ \text{III кластер: } Y = -22139,1 + 222,1X_1 + 2,2X_3 + 89,8X_6 + \varepsilon_3, R^2 = 0,91 \end{array} \right. \quad (1)$$

Анализ регрессионных моделей (1) позволяет сделать вывод о том, что для увеличения объема внутренних затрат на научные исследования и разработки необходимо увеличить:

- число организаций и научных работников, выполняющих научные исследования и разработки, а также оборот научно-исследовательских организаций *для регионов РФ первого кластера;*
- число используемых передовых производственных технологий, организаций, выполняющих научные исследования и разработки, объемы затрат на технологические инновации *для регионов РФ второго кластера;*
- число организаций, выполняющих научные исследования и разработки;
- затраты на технологические инновации и обновить основные фонды *для регионов РФ третьего кластера.*

Разработан методический подход к построению интегральной оценки инновационного потенциала региона на примере субъектов Приволжского федерального округа РФ и обоснованию управленческих решений по его повышению [26]. Одним из методов интегральной оценки инновационного потенциала региона может служить преобразованный многоугольник, или радар конкурентоспособности. Оценка инновационной деятельности регионов ПФО по названным факторам позволяет построить гипотетические многоугольники и вычислить интегральные индексы инновационного потенциала регионов ПФО РФ (табл. 1).

Проведенная интегральная оценка формирования инновационного потенциала регионов ПФО позволяет утверждать наличие высокой степени дифференциации субъектов по исследуемому интегральному показателю.

Следовательно, целесообразны мероприятия по выравниванию существующих диспропорций, а также совершенствованию агропродовольственной государственной политики, включающей поддержку малых инновационных предприятий, инновационное предпринимательство и целевое финансирование приобретения современного электронно-вычислительного оборудования для информатизации агробизнеса и интенсификации НИОКР.

Таблица 1

Индексы инновационного потенциала регионов ПФО

Регионы	Индекс инновационного потенциала
Республика Башкортостан	0,47
Республика Марий Эл	0,02
Республика Мордовия	0,09
Республика Татарстан	0,78
Удмуртская Республика	0,18
Чувашская Республика	0,15
Пермский край	0,49
Кировская область	0,05
Нижегородская область	0,77
Оренбургская область	0,11
Пензенская область	0,20
Самарская область	0,58
Саратовская область	0,30
Ульяновская область	0,17

Выявлена существенная корреляция между длинными волнами Кондратьева и трендовыми закономерностями агропродовольственной системы, усовершенствована методология исследования АПС на основе выявленных циклично-генетических закономерностей для обоснования необходимости мероприятий по обеспечению продовольственной безопасности страны на основе модернизации агропромышленного комплекса.

Заключение

Разработаны рекомендации по организации мониторинга в обеспечении конкурентоспособности АПС [27, 28]. Исследованы основные параметры инновационного развития регионов РФ, структура и динамика их изменения, выявлена территориальная дифференциация инновационной и инвестиционной активности. На разных масштабных уровнях (федеральные округа, субъекты РФ) выявлены факторы, характеризующие неравномерность уровня инновационной деятельности. Разработана система информационно-аналитического обеспечения АПС, предполагающая формирование и использование автоматизированного программного комплекса [29]. Ведется разработка автоматизированной компьютерной системы моделирования инновационной деятельности «Агросистема».

Развитие АПС в соответствии с современными социально-экономическими потребностями связано с системными преобразованиями производства,

формированием и использованием продовольственных ресурсов, обеспечением их мировой конкурентоспособности, что возможно лишь на основе реализации государственной инновационной стратегии, направленной на осуществление преимущественно интенсивного типа воспроизводства и его результативность; усиление кооперационных и интеграционных связей на всех стадиях воспроизводства; оптимизацию целевых параметров и развитие ее базовых отраслей.

Библиографический список

1. Freeman, C. *Technology Policy and Economic Performance: lessons from Japan* / C. Freeman. – London : Pinter, 1987. – 155 p.
2. Lundvall, B.-A. *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning* / B.-A. Lundvall. – London, 1992. – P. 44.
3. Schumpeter, J. A. *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* / J. A. Schumpeter. – 1911. – S. 121.
4. Кондратьев, Н. Д. *Мировое хозяйство и его конъюнктура во время и после войны* / Н. Д. Кондратьев. – Вологда : Областное отделение Государственного издательства, 1922. – Гл. 5. – С. 75–81.
5. Daniels, R. J. *Private Provision of Public infrastructure: an organizational analysis of the next privatization frontier* / R. J. Daniels, J. Triebcock // *University of Toronto Law Journal*. – Toronto, 1996. – P. 54–58.
6. Nelson, R. *National Systems of Innovation: A Comparative Analysis* / R. Nelson. – Oxford, 1993. – P. 113.
7. North, D. C. *The Evolution of Institutions Governing Public Choice in 17th Century England* / D. C. North, B. W. Weingast // *Journal of Economic History*. – 1989. – № 49. – P. 803–832.
8. Porter, M. E. *The Competitive Advantage of Nations* / M. E. Porter. – N.Y. : Free Press, 1990. – P. 123–132.
9. Romer, P. *Increasing Returns and Long-Run Growth* / P. Romer // *Journal of Political Economy*. – 1986. – № 94 (5). – P. 1002–1037.
10. Santo, B. *Innovation as a tool for economic development: a tutorial* / B. Santo. – Moscow : Progress. – 2005. – P. 376.
11. Freeman, C. *Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan* / C. Freeman. – London ; New York, 1987. – P. 155.
12. Huntington, S. P. *The clash of civilizations?* / S. P. Huntington // *Foreign Affairs*. – 1993. – № 72 (3). – P. 22–49.
13. Chesbrough, H. W. *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology* / H. W. Chesbrough. – Boston : Harvard Business Scholl Press, 2005. – P. 155–172.
14. Andrew, J. P. *Reaping the Rewards of Innovation* / J. P. Andrew, H. L. Sirkin. – Boston : Harvard Business School Press, 2007. – P. 55–58.
15. Schumpeter, J. A. *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* / J. A. Schumpeter. – Leipzig, 1911. – S. 241.
16. Анчишкин, А. И. *Научно-технический прогресс и интенсификация производства* / А. И. Анчишкин. – М. : Политиздат, 1981. – 94 с.
17. Golichenko, O. G. *National Innovation System and Public Innovation Policy: Theory and Practice Problems* / O. G. Golichenko, S. A. Samovoleva // *Proceedings of the 8th European Conference on Innovation and Entrepreneurship – ECIE 2013*. – Brux. : Hogeschool-Universiteit Brussel (HUBrussel), 2013. – P. 278–287.

18. Gokhberg, L. Indicators for Science, Technology and Innovation on the Crossroad to Foresight / L. Gokhberg // Science, Technology and Innovation Policy for the Future – Potentials and Limits of Foresight Studies / ed. by D. Meissner, L. Gokhberg, A. Sokolov. – Heidelberg ; New York ; Dordrecht ; London : Springer, 2013. – P. 257–288.
19. Dagaev, A. A. The Problem of investment Incentives and their performance in the state capitalism / A. A. Dagaev // State Capitalism in the new Global Political Economy. Conference Proceedings. International Conference of Institute quebecois des hautes etudes international (HEI). – Canada Quebec : Universite Laval, 2013. – P. 119.
20. Mesarović, M. Theory of Hierarchical Multilevel Systems / M. Mesarović, D. Mako, Y. Takahara. – New York : Academic, 1970. – P. 294.
21. Sadowski, V. N. Philosophical and methodological foundations of System theory / V. N. Sadowski // A science for goal formulation. – N.Y., 1991. – P. 37.
22. Иванова, Н. И. Национальные инновационные системы / Н. И. Иванова. – М. : Наука, 2002. – 244 с.
23. Андриюшкевич, О. А. Модели формирования национальных инновационных систем / О. А. Андриюшкевич, И. М. Денисова. – URL: <http://www.kapital-rus.ru/index.php/articles/article/236495> (дата обращения: 17.11.2016)
24. Kornev, V. M. National innovation system: experience of formation, revealing patterns of development, regulation / V. M. Kornev, O. V. Bakanach, Yu. V. Sazhin, I. A. Ivanova // Mediterranean Journal of Social Sciences. – 2015. – Vol. 6, № 6. S. 3. – P. 487–495.
25. Иванова, И. А. Прогнозирование экономических рисков в сельском хозяйстве с учетом цикличности его развития / И. А. Иванова // Вестник НГУЭУ. – 2013. – № 4. – С. 229–238.
26. Иванова, И. А. Моделирование и прогнозирование основных индикаторов инновационной деятельности регионов Российской Федерации / И. А. Иванова // Региональная экономика: теория и практика. – 2014. – № 9. – С. 50–55.
27. Зинина, Л. И. Территориальная агропродовольственная система: приоритеты и механизм инновационного развития / Л. И. Зинина // Проблемы теории и практики управления. – 2015. – № 9. – С. 17–28.
28. Зинина, Л. И. Производство конкурентоспособной сельскохозяйственной продукции: формирование стратегии развития / Л. И. Зинина, О. Бурлакова // Проблемы теории и практики управления. – 2010. – № 8. – С. 112–122.
29. Носонов, А. М. Теория диффузии инноваций и инновационное развитие регионов россии / А. М. Носонов // Псковский регионологический журнал. – 2015. – № 23. – С. 3–16.

Зинина Любовь Ивановна

доктор экономических наук, профессор,
кафедра статистики, эконометрики
и информационных технологий
в управлении,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарева
E-mail: zininali@mail.ru

Zinina Lubov Ivanovna

doctor of economic sciences, professor,
sub-department of statistics, econometrics
and information technologies
in management,
National Research Mordovia State
University named after N. P. Ogarev

Иванова Ирина Анатольевна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра статистики, эконометрики
и информационных технологий
в управлении,
Национальный исследовательский

Ivanova Irina Anatolyevna

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of statistics, econometrics
and information technologies
in management,

УДК 332.1: 338. 436. 33

Зинина, Л. И.

Формирование инновационной модели развития территориальной агро-продовольственной системы / Л. И. Зинина, И. А. Иванова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 28–41.

**СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЗАТРАТ
ПРОДУКЦИИ МЕТОДОМ ABC И ДОБАВЛЕННОЙ
СТОИМОСТИ ПОТОКА ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ (CVA)**

А. С. Кабилова

**INTEGRATING ACTIVITY-BASED COSTING
AND CASH VALUE ADDED**

A. S. Kabirova

Аннотация. *Актуальность и цели.* Актуальность проблемы обусловлена тем, что величина основных видов ресурсов, расходуемых на производство продукции, влияет на эффективность производства, величину прибыли и уровень рентабельности, так как уровень их использования непосредственно влияет на величину расхода. Вместе с тем ориентация на стоимостные показатели, такие как добавленная стоимость потока денежных средств, в управлении затратами представляет принципиально новый экономический подход, позволяющий учесть будущие возможности компании. В статье предлагается оригинальное дополнение добавленной стоимости потока денежных средств (CVA) к системе учета затрат продукции методом ABC. Интегрированная система ABC-CVA позволяет менеджменту более точно определять стоимость того или иного продукта, особенно в ситуации, когда косвенные расходы превышают прямые, а также учитывать потребность в капитале. Цель системы ABC-CVA – разработать для производственных компаний инструмент, который позволит им управлять процессом создания стоимости на уровне отдельных продуктов или услуг. *Материалы и методы.* Реализация цели исследования была достигнута на основе анализа трудов отечественных и зарубежных ученых по корпоративным финансам, применения моделей анализа финансового состояния компаний на основе стоимостных показателей. *Результаты.* С учетом внесенной модификации в метод ABC интегрированная система позволит менеджерам компаний управлять процессом создания стоимости на уровне бизнес-процессов и видов деятельности. *Выводы.* Интегрируя добавленную стоимость потока денежных средств в систему учета затрат продукции методом ABC, менеджеры получают дополнительный управленческий инструмент для эффективного распределения капитала компании по бизнес-процессам и видам деятельности путем включения затрат в стоимость продукта или услуги.

Ключевые слова: метод ABC, добавленная стоимость денежного потока, операционные и капитальные расходы, экономическая прибыль.

Abstract. *Background.* The urgency of the problem is caused by the fact that the size of the main types of resources expended on the production of products affects the efficiency of production, the amount of profit and the level of profitability, since the level of their use directly affects the amount of consumption. However, the focus on cost indicators, such as the added value of cash flow, in cost management presents a fundamentally new economic approach that allows for the future capabilities of the company to be taken into account. The article proposes an original addition of the added value of the cash flow (CVA) to the cost accounting system by the ABC method. The integrated ABC-CVA system allows management to more accurately determine the value of a product, especially in situations where indirect costs exceed direct costs, but also take into account the need for capital. The

purpose of the ABC-CVA system is to develop a tool for manufacturing companies that will allow them to manage the process of creating value at the level of individual products or services. *Materials and methods.* The goal of the research was achieved on the basis of an analysis of the work of domestic and foreign scientists on corporate finance, the application of models for analyzing the financial condition of companies based on cost indicators. *Results.* Given the modification to the ABC method, the integrated system will allow company managers to manage the process of creating value at the level of business processes and activities. *Conclusions.* By integrating the added value of the cash flow in the cost accounting system with the ABC method, we believe that managers will receive an additional management tool for effectively allocating the company's capital to business processes and activities by including costs in the cost of the product or service.

Key words: Activity-Based Cost System, Cash Value Added, operating and capital expenditures, economic profit.

Введение

Каждая компания в процессе деятельности должна получать достаточную экономическую прибыль, которая гарантирует ей устойчивое развитие и в долгосрочной перспективе позволяет сформировать резервы для своих будущих инвестиционных проектов.

Система учета затрат продукции методом *ABC* – это современный инструмент управленческого учета, основанный на распределении косвенных затрат, которые генерируются по видам деятельности, составляющих, в свою очередь, бизнес-процессы, позволяющий установить причинно-следственные связи между продуктами и затратами, необходимыми для их производства, т.е. используется концепция цепочки ценностей [1].

Оценка эффективности управления на основе ценностного подхода позволяет учесть будущие возможности компании. Показатель «добавленная стоимость потока денежных средств» (*CVA*) позволяет оценить необходимые дополнительные потоки денежных средств для создания прироста капитала компании.

Специфика системы учета затрат продукции методом ABC

Такая система позволяет топ-менеджменту управлять не только на основании тщательного анализа качества, производительности, но и с точки зрения стоимости, учитывая финансовые риски. На основании полученной существенной информации менеджмент способен принимать обоснованные стратегические и оперативные управленческие решения. Примером могут служить задачи, связанные с оптимизацией структуры капитала компании, ассортиментной политикой создания новых продуктов и т.д. Метод *ABC* позволяет компании с высокой степенью достоверности определять стоимость и производительность операций, оценивать эффективность использования ресурсов и производить калькуляцию себестоимости продукции (работ, услуг). Результаты, полученные данным методом, радикально отличаются от традиционной системы начисления затрат (позаказный, попередельный) или системы прямой калькуляции себестоимости.

Поскольку система *ABC* предполагает несколько промежуточных этапов распределения затрат по бизнес-процессам и видам деятельности, в результате менеджеры среднего и низшего звена могут оптимизировать распределение рабочего времени. Калькулирование себестоимости данным методом – расчет себестоимости всех реализуемых видов продукции (работ, услуг) с выходом на суммарную себестоимость реализованной продукции и ее сопоставление с конечным результатом [2].

Система учета затрат продукции методом *ABC* позволяет учитывать затраты по видам операционной деятельности, выявлять косвенные производственные, сбытовые и административные затраты, а также оценивать ресурсы, необходимые для осуществления этих видов деятельности.

Кроме того, принципиальным отличием калькулирования себестоимости методом *ABC* является разделение затрат на прямые и косвенные (накладные) и в дальнейшем отнесение обоих видов затрат на готовую продукцию. Используемые ранее на практике методы калькуляции показывают, что доля косвенных затрат в себестоимости продукции была невелика. В настоящее время в условиях научно-технического прогресса, когда производство автоматизировано, усовершенствованы технологические процессы и технологии, происходит уменьшение прямых затрат. В отличие от них увеличивается доля косвенных расходов, которые связаны с реализацией товаров, проведением маркетинговых исследований, продвижением товаров на рынок, расходами на рекламу, на упаковку и т.д. В результате применение традиционных подходов калькуляции себестоимости может привести к принятию неверных управленческих решений. В связи с этим метод *ABC* распределения косвенных затрат позволяет избежать ошибок.

Данный метод представляет собой двухуровневый процесс распределения затрат. На первом уровне ресурсы распределяются на виды деятельности, на втором уровне затраты по видам деятельности распределяются на продукцию.

Менеджеры компании, где внедрен метод *ABC*, более эффективно управляют затратами, устраняя действия, которые не приводят к улучшению производственных процессов и не повышают ценность компании [3].

CVA как инструмент измерения

В целях осуществления контроля управленческих решений на основе ценностного подхода используется группа показателей, основанных на добавленной стоимости, а именно: экономическая добавленная стоимость (*EVA*), добавленная стоимость денежного потока (*CVA*), рыночная добавленная стоимость (*MVA*).

Тем не менее даже самые впечатляющие управленческие решения, направленные на сокращение затрат в процессе создания стоимости, не приводили автоматически к максимизации богатства акционеров, а иногда вызвали обратный эффект.

В последнее время значительно возросло значение нефинансовых мер, принимаемых компаниями, включенных в сбалансированную систему показателей (*balanced scorecard*), разработанную американскими экономистами

Р. Капланом и Д. Нортон, которые не рекомендуют с финансовой точки зрения игнорировать количественную оценку деятельности компании [4]. Так, Каплан и Нортон утверждали, что менеджеры, улучшая финансовое состояние компании, пересматривая стратегию компании при разработке сбалансированных карт, не должны отказываться от результативных показателей по операционной деятельности компании, таких как операционная прибыль, выручка, объем производства, доля рынка, клиентская база, дебиторская задолженность, складские запасы и т.п.

С другой стороны, показатели, основанные на стоимостных показателях, в последние 15–20 лет показали, что они намного проще и точнее в процессе создания дополнительной стоимости компании.

Добавленная стоимость потока денежных средств (*CVA*) представляет собой концепцию, основанную исключительно на движении денежных потоков, разработанную шведскими экономистами в середине 1990-х гг. Эриком Отгосоном и Фредриком Вайссенридером [5].

Модель добавленной стоимости денежного потока (*CVA*) включает только денежные потоки, т.е. заработанные до амортизации, уплаты налогов и процентов (*EBITDA*), изменение оборотного капитала и нестратегических инвестиций (поддерживающих инвестиций).

Исходя из представленных драйверов данного показателя, выделяются стратегические и нестратегические инвестиции. В качестве стратегических инвестиций компании выделяют затраты, приводящие к созданию прироста капитала собственников бизнеса, требующие прирост дополнительных потоков денежных средств. Таким образом, компании необходимо формировать материальный капитал, который может выражаться как в материальной форме, так и в виде нематериальных активов. К нестратегическим инвестициям (поддерживающим инвестициям) можно отнести затраты компании, направленные на поддержание созданной ранее стоимости, т.е. тех затрат, которые не создают долгосрочных выгод. Следовательно, данные затраты не капитализируются, их не отражают в активах компании, даже если срок их экономической жизни составляет более одного года. Принцип разделения инвестиций очень логичен, так как позволяет точнее установить показатели, на основе которых формируется вклад в создание стоимости [6].

CVA определяется как разница между операционным денежным потоком (*OCF*) и требуемым операционным денежным потоком (*OCFD*). Сущность показателя *OCFD* состоит в следующем: для покрытия стратегических инвестиций (*Strategic Investments – SI*) компании необходимо производить серию минимальных требуемых платежей. Следовательно, формула выглядит таким образом [7]:

$$CVA = OCF - OCFD. \quad (1)$$

По своей природе *OCFD* сопоставим с амортизацией, однако объектом амортизации в данном случае являются не конкретные активы, а совокупные стратегические инвестиции [8, 9].

В свою очередь, *OCF* отражает притоки и оттоки денег, связанные непосредственно с операционной деятельностью компании, и не включает

притоки и оттоки, связанные с получением или выплатой процентных платежей по заемному капиталу. В связи с этим операционная прибыль (*EBIT*), изменение оборотного капитала (ΔWK) и нестратегические инвестиции/поддерживающие инвестиции (*non-strategic investments, NSI*) соответствуют затратам, которые компания несет для поддержания ранее созданной стоимости:

$$OCF = EBIT + \Delta WK - NSI. \quad (2)$$

Сущность *CVA* заключается в оценке денежного потока за определенный период, генерируемый компанией выше или ниже требований инвестора за этот период. Соответственно, критерием прироста стоимости компании, для которой характерно значение положительной экономической прибыли, является наличие положительной величины *CVA*. В противоположность этому при недостатке планируемого потока денежных средств показатель добавленной стоимости потока денежных средств принимает отрицательное значение.

Преимущество применения *CVA* в анализе заключается в том, что оценка может быть выполнена на каждом уровне бизнес-процессов и видов деятельности, в отличие от рыночной добавленной стоимости (*MVA*). По сравнению с методами учета прибыли, таким как *EBIT*, чистый доход и прибыль на акцию (*net income and earnings per share*), добавленная стоимость потока денежных средств является динамическим показателем, так как в течение определенного времени поток денежных средств меняется, тем более бизнес должен покрывать как операционные расходы, так и капитальные затраты.

Показатель *CVA*, предложенный Boston Consulting, можно рассчитать двумя способами. Первый способ определяется путем вычитания амортизации (*amortization and depreciation, DA*) и капитальных затрат (*capital costs*) из потока валовых денежных средств компании:

$$CVA = GCF - DA - Capital\ costs. \quad (3)$$

Второй способ определяется путем умножения доходности инвестиций на основе денежного потока (*CFROI*) и затрат на капитал (*weighted average cost of capital, WACC*) на валовые инвестиции компании (*gross Investment, GI*):

$$CVA = (CFROI - WACC) \times GI. \quad (4)$$

В соответствии с логикой расчета *CVA* вторым способом денежные потоки от операционной деятельности предприятия должны покрывать затраты как на производство и реализацию продукции, так и на привлечение источников финансирования капитала. Чтобы измерять стоимость капитала инвестора в процентном выражении (*WACC*), *CVA* модель использует альтернативную стоимость капитала инвестора в денежном выражении.

Второй способ расчета *CVA* определенно имеет недостатки в том, что он не имеет прямой связи с операционной деятельностью компании и конкретных способов и приемов, которыми компания могла бы улучшить свою операционную деятельность для улучшения конкурентоспособности и повышения экономической ценности компании.

В связи с этим менеджерам компании необходим концептуальный подход к разработке инструмента, позволяющего управлять эффективно с учетом как операционных, так и капитальных затрат.

Методология интеграции ABC-CVA

В конце 90-х гг. XX столетия такие авторы, как W. Hubbell, N. Roztockі и K. Needy, предложили интегрированную систему, основанную на основе системы ABC и экономической добавленной стоимости (EVA) в качестве индикатора в управлении затратами и максимизации богатства акционеров [9, 10].

На наш взгляд, компаниям, которые фиксируют высокие капитальные расходы, рекомендуется внедрение интегрированной системы на основе метода ABC и CVA. Для внедрения интегрированной системы первоначально необходимо оценить наличие высоких капитальных затрат. Для этого предлагается протестировать компанию, которая собирается применить интегрированную систему с использованием показателя соотношения капитальных (capital expenditure, CAPEX) и операционных (operational expenditure, OPEX) затрат (capital/operating, C/O):

$$C/O = \frac{CAPEX}{OPEX}. \quad (5)$$

Если показатель соотношения C/O больше 0,1, компании могут рассмотреть возможность внедрения системы ABC-CVA. Уровень 0,1 взят на основании эмпирических исследований, проведенных различными аналитиками и исследователями в этой области за несколько лет.

Основная идея ABC-CVA в том, что руководство компании может сосредоточить свое внимание на уровне применения единого экономического показателя. Если уровень этого единого экономического показателя является положительным и увеличивающимся, то компания наращивает свой потенциал. Если уровень единого экономического показателя отрицательный или убывающий, компания находится в неверном направлении, независимо от уровня бухгалтерской прибыли или других положительных показателей, применимых в традиционном анализе финансового состояния компании.

Возможность интеграции метода ABC-CVA представлена в условном примере, где рассматривается бизнес-единица (отмеченная как Y) промышленной компании производства условной продукции, которая имеет две разные производственные линии. Этот метод требует выделения структурных элементов добавленной стоимости денежных потоков (операционный денежный поток, требуемый операционный денежный поток, стратегические инвестиции и нестратегические инвестиции).

Метод ABC-CVA осуществляется поэтапно:

- 1) расчет добавленной стоимости денежного потока для всей бизнес-единицы с целью определения создания стоимости;
- 2) корректировка метода ABC для рационального распределения операционных и капитальных затрат на элементы, составляющие бизнес-единицу;

3) расчет добавленной стоимости денежного потока для каждой производственной линии, составляющей бизнес-единицу, чтобы определить, создают ли отдельные элементы стоимость;

4) разработка соответствующих мер для повышения эффективности каждого компонента в создании ценности на уровне бизнес-единицы в целом.

Продemonстрируем четыре этапа для бизнес-единицы Y.

Для разработки метода ABC-CVA бизнес-единицы Y исходной информацией являются данные формы бухгалтерской отчетности прибыли и убытка, которые представлены в табл. 1. Для упрощения расчетов в примере ставка налога на прибыль принята 0 %. Стратегические инвестиции, на основе которых вычисляется цена капитала, составляют 800 000 руб., распределенных поровну по двум производственным линиям, жизненный цикл которых составляет 10 лет. Затраты на привлечение капитала составляют 12,6 % (100 800 / 800 000).

Таблица 1

Анализ бизнес-единицы (Y) методом ABC-CVA

Показатели	В целом по бизнес-единице		Линия изготовления продукции № 1		Линия изготовления продукции № 2	
	руб.	% от продаж	руб.	% от продаж	руб.	% от продаж
Стратегические инвестиции	800 000	80,0	400 000	66,7	400 000	100,0
Выручка от продаж	1 000 000	100	600 000	100	400 000	100
Себестоимость реализованной продукции	480 000	48	240 000	40	240 000	60
Коммерческие и управленческие расходы	326 000	32,6	190 000	31,66	136 000	34
<i>EBIT</i>	194 000	19,4	170 000	28,34	24 000	6
Нестратегические инвестиции	108 000	10,8	48 000	6,0	60 000	15
Операционный денежный поток (<i>OCF</i>)	86 000	8,6	122 000	20,33	-36 000	-9
Требуемый операционный денежный поток (<i>OCFD</i>)	108 800	10,8	71 600	11,93	29 200	7,3
Добавленная стоимость потока денежных средств (<i>CVA</i>)	-14 800	1,48 %	50 400	8,4	-65 200	10,87

В целом бизнес-единица Y показывает положительный финансовый результат, рентабельность денежного потока составляет 8,6 %. Тем не менее

после вычета капитальных затрат, выраженных операционным денежным потоком, можно заметить, что данная бизнес-единица в течение анализируемого периода не создает экономической ценности. Более того, операционный денежный поток имеет низкий уровень стоимости капитала, необходимый для создания этого денежного потока.

В результате в целом по бизнес-единице менеджерам необходимо разработать мероприятия для увеличения валовой маржи (увеличение отпускных цен и снижение затрат, снижение уровня запасов или расходов, создающих меньшую ценность) или эффективно использовать активы компании.

Остановимся подробно на сравнительном анализе эффективности двух производственных линий методом *ABC-CVA*. Табл. 1 позволяет сделать вывод, что финансовая ситуация линии изготовления № 1 имеет положительное значение *CVA*. Ее производственные процессы эффективны и наблюдается наличие хороших отношений с контрагентами по операционной деятельности, которые позволяют им работать с низким уровнем незавершенного производства и запасами готовой продукции, что, в свою очередь, приводит к невысокому уровню дебиторской задолженности и, соответственно, к получению высокой операционной прибыли.

В то время как производственная линия № 2 представляет собой неэффективное использование рабочего времени, так как имеет значительный уровень запасов на всех уровнях производства, покупатели осуществляют платежи с большой отсрочкой за поставленную продукцию, вследствие этого наблюдаются низкие показатели рентабельности и отрицательное значение *CVA*. В связи с этим усилия менеджеров должны быть не обязательно ориентированы на сокращение операционных расходов, а, скорее, на определение мер, которые обеспечат увеличение рентабельности.

Кроме этого, анализ методом *ABC-CVA* показывает эффективность распределения капитала в активы. Так, для производственной линии № 1 требуется стратегических инвестиций только 667 руб. для получения выручки от продаж в размере 1000 руб., тогда как для производственной линии № 2 требуется вложений 1000 руб. для получения тех же 1000 руб. выручки от продаж. Данное различие наблюдается в результате различных методов учета запасов и дебиторской задолженности, применяемых менеджерами двух производственных линий.

Стоимость капитала для двух производственных линий дает следующую картину. Производственная линия № 1 может позволить себе затраты на капитал в размере 17,9 % (71 600/400 000), поскольку она демонстрирует высокую эффективность производства и высокую оборачиваемость дебиторской задолженности. В то же время производственная линия № 2 должна поддерживать уровень 7,3 % (29 200/400 000), но даже ее низкая операционная прибыль не может покрыть более низкую стоимость капитала.

Калькуляция затрат с учетом *CVA* повышает важность этого симбиоза, выходя за рамки определения стандартной нормы прибыли. Такой подход предоставляет менеджерам целый ряд возможностей в отношении улучшения как операционной прибыли, так и эффективности использования активов производственной линии № 2.

Оценка и последующий мониторинг показателя *CVA* от уровня бизнес-единицы *Y* до уровня всей компании позволяют разработать конкретные меры по повышению добавленной стоимости потока денежных средств для разных продуктов и клиентов, стимулируя мотивацию менеджеров функциональных субъединиц. Вместо принятых стандартных общих мер – работы с дебиторами, снижения издержек, эффективности использования активов – менеджеры могут работать с гораздо большей точностью на уровне конкретных действий, продуктов или клиентов, приводящих к отрицательному значению *CVA*.

Кроме того, распределение капитала по активам должно быть простым и прозрачным. Некоторые активы, такие как запасы, непосредственно распределяются на конечные продукты. Строго специализированные активы, такие как специальное производственное оборудование, специализированные инструменты и специальные приборы, испытательное оборудование, могут быть отдельно выделены для уменьшенной группы продуктов, которые используют эти ресурсы.

Другие активы, активы общего назначения, могут использоваться более широкой группой продуктов. В этом случае распределение активов может осуществляться с использованием таких стоимостных показателей, как тарифные машино-часы, используемых для распределения операционных расходов (амортизации, аренды, коммунальных услуг) и оборудования на отдельные продукты.

Последние тенденции в глобальной теории и практике учета побуждают компании капитализировать несколько видов ресурсов: материальные, трудовые, технические и др., поэтому необходимо ими эффективно управлять, принимать решения для повышения отдачи.

Изложенное выше позволит понять, что система *ABC-CVA* скорректировала произвольное распределение косвенных операционных расходов на продукты и клиентов. Добавленная стоимость потоков денежных средств исправила несовершенство в финансовой отчетности, относящейся к признанию капитальных затрат как экономических расходов для определения прибыли компании. Интегрирование *CVA* и *ABC* с точки зрения управления позволяет менеджерам получить реальный показатель рентабельности и, соответственно, исправить свои действия через стратегическое управление по снижению себестоимости.

Таким образом, применение метода *ABC-CVA* для компаний, чей бизнес-процесс состоит из цепочки операций, предпочтительнее. Высокая степень эффективности работы, калькуляция себестоимости, возможность контролировать расходы на стадии их возникновения приводят к увеличению прибыли и результативности бизнеса, в итоге – к увеличению стоимости компании.

Заключение

Применение интегрированного метода не может само по себе повысить эффективность деятельности компании, но может предоставить ценную информацию менеджерам, помогая им исправить свои действия для совершенствования бизнес-процесса.

Предлагаемая система может использоваться как инструмент управленческого планирования для руководителей, позволяющий не только решать краткосрочные задачи, но и принимать решения, нацеленные на создание стоимости.

Библиографический список

1. Кондукова, Э. В. ABC: Себестоимость без искажений. Современный метод учета и контроля затрат / Э. В. Кондукова. – М. : Эксмо, 2008. – С. 288.
2. Атаманов, Д. Ю. Определение себестоимости методом Activity based costing / Д. Ю. Атаманов // Финансовый директор. – 2003. – № 7–8.
3. Cooper, R. The Rise of Activity-Based Costing – What is an Activity-Based Cost System? / R. Cooper // Journal of Cost Management. – 1988. – P. 45–54.
4. Kaplan, R. S. Balanced Scorecard / R. S. Kaplan, D. P. Norton. – Boston : Harvard Business School Press, 1996. – P. 95.
5. Ottosson, E. Cash Value Added – a new method for measuring financial performance / E. Ottosson, F. Weissenrieder // Gothenburg Studies in Financial Economics. – Sweden, 1996. – № 1.
6. Назарова, В. В. Стоимостные методы оценки эффективности менеджмента компании / В. В. Назарова, Д. С. Бирюкова // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». – 2014. – № 3. – С. 393–414.
7. Кольшкин, А. В. Показатели добавленной стоимости как инструмент управления топ-менеджментом компании / А. В. Кольшкин, Н. Ю. Нестеренко // Экономика, управление и учет на предприятии. – 2016. – № 1. – С. 85–88.
8. Ивашковская, И. В. Оценка деятельности: новый взгляд / И. В. Ивашковская, А. И. Запорожский // Управление компанией. – 2006. – № 3.
9. Hubbell, W. Combining Economic Value Added and Activities-Based Management / W. Hubbell // Journal of Cost Management. – 1996. – P. 18–29.
10. Roztocky, N. LaScola Integrating activity-based costing and economic value added in manufacturing / N. Roztocky, K. Needy // Engineering Management Journal. – 1999. – № 1.

Кабилова Алина Салаватовна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра финансов и кредита,
Уфимский филиал
Финансового университета
при Правительстве РФ
E-mail: ac-kabirova@yandex.ru

Kabirova Alina Salavatovna

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of finance and credit,
Ufa branch of Financial University
under the Government
of Russian Federation

УДК 336.645.1

Кабилова, А. С.

Совместное использование системы учета затрат продукции методом ABC и добавленной стоимости потока денежных средств (CVA) / А. С. Кабилова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 42–51.

**ОБ УСТОЙЧИВОЙ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ,
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИИ И ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ
ЭНЕРГЕТИКЕ**

И. Н. Краковская

**ON SUSTAINABLE COMPETITIVENESS, RESOURCE
CONSERVATION AND RENEWABLE ENERGY**

I. N. Krakovskaya

Аннотация. Актуальность и цели. В последние годы все большее значение придается устойчивости развития как конкурентному преимуществу. Под устойчивой конкурентоспособностью страны понимается ее способность генерировать и обеспечивать достойный уровень жизни для всех граждан в глобальном мире конкурирующих экономик, удовлетворять основные потребности нынешних поколений при сохранении или росте национального и индивидуального богатства в будущем без истощения природного и социального капитала. Цель данного исследования – проанализировать угрозы и возможности для устойчивой конкурентоспособности России, создаваемые глобальной энергетической революцией, направленной на энергосбережение, сокращение вредных выбросов в окружающую среду и использование возобновляемых источников энергии. *Материалы и методы.* Информационную основу настоящего исследования составили материалы Всемирного экономического форума, консалтинговой компании SolAbility, Международного агентства по возобновляемой энергетике, Министерства энергетики РФ, Национальной технологической инициативы РФ, некоммерческого партнерства «Совет участников рынка возобновляемой энергетике» и др. Используются общенаучные методы анализа (в том числе контент-анализ), синтеза, индукции, дедукции. *Результаты.* Рассмотрено содержание понятия «устойчивая конкурентоспособность», ее составляющие и принципы их взаимодействия на примере модели устойчивой конкурентоспособности SolAbility, позиции России в глобальном рейтинге стран по уровню индекса устойчивой конкурентоспособности (The Global Sustainability Competitiveness Index), тенденции и факторы интенсификации ресурсосбережения в мировой экономике и развития возобновляемой энергетике, риски для России. *Выводы.* В статье обосновано, что курс стран – лидеров глобального рынка на достижение устойчивой конкурентоспособности на основе энергетического самообеспечения несет реальную угрозу долгосрочной устойчивости российской экономики в случае недооценки опасности, непринятия адекватных мер по наращиванию и использованию конкурентных преимуществ, не связанных с экспортом традиционных энергоресурсов.

Ключевые слова: устойчивая конкурентоспособность, ресурсосбережение, энергетика, возобновляемые источники энергии, неуглеродные энергоресурсы.

Abstract. Background. In recent years, the importance of sustainability as a competitive advantage is growing. The sustainable competitiveness of a country means its ability to generate and provide a decent standard of living for all citizens in the global world of competing economies and to meet the basic present generations needs while maintaining or growing future national and individual wealth without natural and social capital depleting.

The purpose of this study is to analyze threats and opportunities for the sustainable competitiveness of Russia in conditions of the global energy revolution aiming at energy saving, reduction of harmful emissions into the environment and renewables using. *Materials and methods.* Information basis of this study constituted the materials of the world economic forum, consultancy firm SolAbility, the International renewable energy Agency, Ministry of energy of the Russian Federation, National technology initiative, non-commercial partnership "Council of participants of renewable energy market", etc. Used scientific methods of analysis (including content analysis), synthesis, induction, deduction. *Results.* Considered the concept of "sustainable competitiveness", its components and the principles of their interaction in the model of sustainable competitiveness of SolAbility, Russia's position in the Global Sustainability Competitiveness Index rankings, trends and factors of resource saving intensification in the world economy and the renewables industry development, risks for Russia. *Conclusions.* The article proves that the global market leaders course for sustainable competitiveness, including energy self-sufficiency, poses the real threats to the Russian economy long sustainability if the danger will be underestimated and adequate measures will not be realised for the expansion and using of competitive advantages not associated with traditional energy exports.

Key words: sustainable competitiveness, resource saving, energy, renewables, non-carbon energy sources.

Введение

В условиях перехода развитых стран к шестому технологическому укладу, предполагающему все большее ужесточение социальных и экологических стандартов, быстрый рост новых отраслей на основе использования инновационных информационных, nano-, ядерных, молекулярных, клеточных технологий, развития альтернативной энергетики, проблемы повышения конкурентоспособности социально-экономических систем всех уровней обретают неразрывную связь с задачами их устойчивого развития.

Сокращение мировых запасов невозполнимых природных ресурсов, удорожание их добычи и использования требуют уменьшения энерго-, капитало-, материалоемкости продукции, т.е. обуславливают объективную необходимость ресурсосбережения в мировой экономике в целом. Как следствие, повышается роль ресурсосберегающих технологий в обеспечении международной конкурентоспособности, снижается эффективность ресурсодобывающих отраслей (и в развивающихся, и в развитых странах), сырьевая ориентация экономики постепенно утрачивает свою целесообразность.

Несмотря на принимаемые меры в рамках политики импортозамещения, принятую Национальную технологическую инициативу, чрезмерная зависимость российской экономики от экспорта природных ресурсов сохраняется. Сырьевая модель экономического роста в условиях глобального рынка неэффективна в долгосрочной перспективе, так как снижает стимулы для ресурсосбережения и сдерживает тем самым развитие высокотехнологичных отраслей. Экономический кризис высветил потребность в глубокой трансформации российской экономики на новой технологической и управленческой основе с учетом общемировых тенденций экономического развития и особенностей развития мировых рынков с целью повышения конкурентоспособности и переориентации страны на более надежный и устойчивый путь экономического роста [1].

Устойчивая конкурентоспособность: понятие и составляющие

«Конкурентоспособность – это динамическая многофакторная относительная характеристика, формируемая текущим состоянием конкурентных преимуществ, которые, в свою очередь, формируются в условиях активного состояния экономической системы» [2]. Исследователями данной категории сформулированы пять основных типов конкурентных преимуществ: ресурсные; технологические (наличие технологий массового производства и экономии на масштабах); инновационные (реализация в производстве результатов НИОКР, ускоренное обновление ассортимента продукции); глобальные (формирование и реализация в политике фирм и государств экологических, социальных и иных внеэкономических стандартов хозяйственной деятельности); культурные (позволяющие развивать и поддерживать рынки сбыта и ресурсов в странах близкой культуры). В последние годы все большее значение придается устойчивости развития как конкурентному преимуществу [2].

Устойчивое развитие в широком смысле трактуется как возможность настоящего поколения удовлетворять свои экономические, социальные и экологические потребности без ущерба для будущих поколений.

В докладе Всемирного экономического форума 2011–2012 гг. (*The Global Competitiveness Report*) **устойчивая конкурентоспособность** страны трактуется как результат комплексного воздействия политики, институтов и факторов, определяющих уровень производительности и обеспечивающих возможность для будущих поколений удовлетворять свои потребности [3].

По определению экспертов компании SolAbility¹, **устойчивая конкурентоспособность страны (региона)** – способность генерировать и обеспечивать достойный уровень жизни для всех граждан в глобальном мире конкурирующих экономик, удовлетворять основные потребности нынешних поколений при сохранении или росте национального и индивидуального богатства в будущем без истощения природного и социального капитала [4].

Индекс устойчивой конкурентоспособности (*The Sustainable Competitiveness Index, SCI*) дополняет другие международные индексы и рейтинги конкурентоспособности, в частности, индекс роста конкурентоспособности (*Growth Competitiveness Index, GCI*), позволяя высветить взаимосвязь между конкурентоспособностью и устойчивостью в условиях глобализации экономики и отражая тот факт, что некоторые компоненты устойчивого развития имеют решающее значение для национальной производительности и конкурентоспособности в долгосрочной перспективе.

В настоящее время индекс устойчивой конкурентоспособности рассчитывается на основе модели устойчивой конкурентоспособности, охватывающей 106 показателей данных, сгруппированных в пять ключевых компонентов (составляющих), которые взаимодействуют и влияют друг на друга: природный капитал (природная среда и климат, обеспеченность природными ресурсами), ресурсоемкость (как результативность управления ресурсами, возможность извлечь максимальные результаты из ресурсов), социальный капитал

¹ SolAbility – исследовательская и консалтинговая компания, ежегодно публикующая рейтинг стран мира по Глобальному индексу устойчивой конкурентоспособности (GSCI).

(здоровье населения, равенство, безопасность и свобода внутри страны), интеллектуальный капитал (способность конкурировать на глобальном рынке благодаря непрерывным инновациям) и государственное управление (рис. 1) [4].

УСТОЙЧИВАЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТЬ																		
Природный капитал			Управление ресурсами			Социальный капитал			Интеллектуальный капитал			Государственное управление						
Продовольственные ресурсы	Вода и биосфера	Загрязнение природной среды	Леса	Энергоэффективность	Интенсивность выбросов парниковых газов	Материалоемкость	Гидроемкость	Здоровье и здравоохранение	Сфера услуг	Преступность	Свобода	Образование	НИОКР	Инновации	Инвестиции	Коррупция	Занятость	Сбалансированная экономика

Рис. 1. Составляющие устойчивой конкурентоспособности

Перечисленные составляющие формируют пирамиду (рис. 2), в которой нижние уровни являются основой для построения следующих уровней, и наоборот, более высокие уровни влияют на совершенство нижестоящих уровней [4].



Рис. 2. Пирамида устойчивой конкурентоспособности

Базовым уровнем пирамиды является природный капитал – ресурсы, которые питают население, обеспечивают энергией и материалами. Второй уровень – управление ресурсами – способность использовать имеющиеся внутренние и импортируемые ресурсы (природные, человеческие, интеллектуальные, финансовые) с максимально возможной эффективностью. Третьим

уровнем является социальный капитал страны – удовлетворенность, сбалансированность, сплоченность поколений, полов, групп доходов и других групп общества. Эти условия влияют на эффективность использования ресурсов и необходимы для благополучного развития интеллектуального капитала, образующего четвертый уровень пирамиды. Его наличие – необходимый фактор конкуренции и получения богатства на глобализованном рынке посредством разработки и производства продукции и услуг с добавленной стоимостью. Таким образом, интеллектуальный капитал воздействует на возможности удовлетворения общественных потребностей и опосредованно формирует возможности управления. Пятым и самым высоким уровнем является управление – направление и рамки социально-эколого-экономического развития, предоставляемые государственными мероприятиями, расходами и инвестициями. Политика правительства (или отсутствие такой политики) оказывает воздействие на все более низкие уровни пирамиды устойчивой конкурентоспособности. В настоящее время широко признается, что экономическая деятельность оказывает неблагоприятное побочное воздействие на нефинансовые активы страны, что может подорвать или даже обратить вспять будущий рост и создание богатства [4].

В табл. 1 приведен рейтинг ряда стран по уровню индекса их устойчивой конкурентоспособности («первая десятка» рейтинга, группа семи (*Group of Seven, G7*) и БРИКС). Несмотря на определенную ангажированность¹, рейтинг показывает, что, обладая значительным природным и интеллектуальным капиталом, Россия не достигает высокого уровня устойчивой конкурентоспособности вследствие низкой эффективности управления ресурсами, что отражается и на социальной сфере [4].

Ресурсосбережение как фактор устойчивой конкурентоспособности

В соответствии с Концепцией техно-экономической парадигмы Кристофера Фримэна в каждом цикле развития мирового хозяйства существует одна техно-экономическая парадигма, включающая систему самых лучших практических знаний, которыми владеют страны-лидеры. Эти знания определяют приоритет и лидерство одной из отраслей промышленности в мировой экономике. Каждая парадигма проходит в своем развитии этапы становления, расцвета и заката. В период смены парадигмы находящиеся на более низком уровне развития страны получают возможность догнать более развитые в технологическом отношении. Смена парадигмы предполагает доступ к новым производственным ресурсам с более низкими издержками; появление и интенсивное развитие новых отраслей промышленности и сферы услуг; быстрое распространение нововведений в мировом хозяйстве, базирующееся на способности бизнес-сообщества, правительственных структур и общества в целом к адекватному восприятию перемен [2].

¹ В рейтинге 2015 г. Китай и Россия, занимавшие 25-ю и 33-ю строки рейтинга, опережали Соединенные Штаты (41-я строка) и Великобританию (48-я строка) [5]. В рейтинге 2017 г. страны большой семерки значительно улучшили свои позиции (в частности, рейтинг США поднялся до 29-го места, Великобритании – до 22-го), а позиции стран БРИКС, наоборот, ухудшились (в частности, рейтинг России понижен до 43-го места) [4].

Таблица 1

Глобальный индекс устойчивой конкурентоспособности – 2017

Страна	Устойчивая конкурентоспособность		Природный капитал		Ресурсоемкость		Социальный капитал		Интеллектуальный капитал		Государственное управление	
	рейтинг	оценка	рейтинг	оценка	рейтинг	оценка	рейтинг	оценка	рейтинг	оценка	рейтинг	оценка
Швеция	1	60,5	5	63,6	11	55,1	9	59,2	2	69,3	37	55,4
Норвегия	2	58,2	27	57,8	1	58,6	78	47,9	3	66,7	15	59,7
Исландия	3	57,6	20	59,8	3	58,1	60	49,9	18	60,3	12	60,1
Финляндия	4	57,4	16	60,8	4	57,1	41	51,5	8	63,9	46	53,7
Дания	5	57,2	61	49,7	12	55,0	18	55,8	5	66,5	19	58,9
Ирландия	6	55,4	65	48,8	25	49,9	24	54,0	23	55,8	1	68,7
Швейцария	7	55,3	71	47,8	6	56,4	38	51,7	7	64,0	28	56,8
Австрия	8	54,8	70	47,8	13	54,9	72	48,6	12	61,6	9	60,9
Латвия	9	54,2	25	58,4	51	46,0	15	56,7	37	50,5	18	59,3
Эстония	10	53,7	9	63,3	39	47,6	131	42,2	28	52,9	6	62,6
Германия	14	53,4	128	37,2	5	56,6	91	46,6	6	64,2	5	62,7
Франция	19	52,9	54	51,0	16	53,0	63	49,3	20	58,0	51	53,2
Япония	20	52,8	105	41,4	7	56,4	106	45,1	9	63,2	20	58,0
Великобритания	22	51,9	144	34,7	28	49,8	12	57,9	11	62,7	45	54,2
Канада	24	51,4	11	61,9	30	49,4	84	47,4	41	49,1	91	49,2
США	29	49,2	49	52,2	129	36,4	110	44,8	19	59,3	50	53,4
Италия	31	49,0	111	40,6	26	49,9	58	50,4	33	52,0	56	52,2
Китай	32	48,9	153	32,1	37	48,3	161	37,4	4	66,7	11	60,2
Бразилия	42	47,6	8	63,4	115	37,9	43	51,3	51	44,6	133	41,1
Россия	43	47,5	30	57,3	127	36,6	168	37,0	25	54,4	59	52,1
Индия	121	40,5	152	32,4	84	41,1	128	42,4	104	34,4	58	52,1
Южно-Африканская Республика	141	39,2	74	47,3	131	36,3	166	37,1	102	34,8	139	40,3

Развитие мировой экономики сегодня определяется несколькими факторами:

- создание существенных заделов для инновационного развития в рамках антикризисных мероприятий в США и развитых европейских странах;
- новый курс стран ЕС, США и Японии на энергетическую независимость, вплоть до самообеспечения (развитие технологий использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ), добычи сланцевого газа и др.);
- борьба с изменениями климата, ужесточение режимов энергопотребления и экологических ограничений (новые «чистые» стратегии энергетики и промышленного производства);
- вывоз энергоемких производств в «третьи» страны.

Прогрессивные изменения становятся «могущественным» рычагом поддержания мировой конкурентоспособности. В ускоренном наращивании конкурентоспособности в международном бизнесе усиливается роль непрерывного выявления и творческого освоения лучшей мировой теории и практики, расширяющей возможности минимизации затрат времени и ресурсов [6].

Ресурсосберегающие задачи являются приоритетными в мировой экономике. С ростом дефицитности природных и финансовых ресурсов обостряется проблема их экономии не только у производителей, но и у потребителей товаров. Так, к началу XXI в. затраты ресурсов у потребителей сложной техники за срок ее эксплуатации превышали ее цену в 5 раз в промышленно развитых странах и до 20 раз – в развивающихся странах [6].

Промышленно развитые страны активно реализуют политику интенсивного ресурсосбережения уже несколько десятилетий (США и Канада с начала 1980-х гг., Япония и западноевропейские страны с 1970-х гг.). Россия же, несмотря на реализацию Энергетической стратегии, продолжает отставать по показателю энергоемкости ВВП от Канады и США в 2,4–2,9 раза, от западноевропейских стран – в 4,5–4,8 раза, от Японии – в 5,9–7,0 раз, что вызывает обременительный для экономики перерасход ресурсов, снижает рентабельность производства и конкурентоспособности на мировых рынках, способствует дополнительному загрязнению природной среды [6]. В РФ приняты планы по импортозамещению, ориентированные в том числе на обеспечение устойчивой конкурентоспособности, однако заложенные в этих планах индикаторы эффективности не учитывают экологические эффекты и проблемы энергосбережения. Тем временем в мире происходит глобальная энергетическая революция, направленная на энергосбережение, сокращение вредных выбросов в окружающую среду и использование ВИЭ.

Возобновляемая энергетика и глобальная энергетическая революция

Согласно мировой практике неотъемлемым элементом устойчивого развития является экологический аспект.

Исполнительный директор Международного энергетического агентства (IEA) Фатих Биrol (Fatih Birol) сказал в интервью Гардиан по случаю выхода обзора World Energy Outlook: «Самое интересное происходит с возобновляемой энергетикой. Это уже не узкая ниша, а один из основных источников

энергии». Как отмечается в этом обзоре, почти половина новых генерирующих мощностей, введенных в 2014 г., приходится на ветровую, солнечную, волновую или приливную энергетику. Возобновляемая энергетика на данный момент стала вторым после угля источником электроэнергии [7].

«Невозможное становится возможным. Глобальный прорыв в возобновляемой энергетике случился гораздо раньше, чем ожидалось. Мы верим, что при соответствующем уровне поддержки со стороны политиков мир может к 2050 году на 100 % обеспечивать себя энергией за счет возобновляемых источников», – заявила Эмили Рочон (Emily Rochon), эксперт по вопросам глобальной энергетики в Гринпис [7].

Есть альтернативное мнение российских специалистов о том, что в Евросоюзе, например, развитие ВИЭ целиком зависело и зависит от правительственных субсидий, сокращение которых в условиях кризиса и курс на экономическую обоснованность мер поддержки возобновляемой энергетики мгновенно снизили конкурентоспособность последней и темпы ее роста [8].

Тем не менее Европейский союз является одним из лидеров в развитии возобновляемой энергетики (почти 42 % мирового потребления энергии из возобновляемых источников). За последние пятнадцать лет в ЕС сформировалась полноценная политика стимулирования ВИЭ, включающая четко обозначенные цели (к 2020 г. довести производство энергии на основе возобновляемых источников до 20 % от первичного потребления) и широкий комплекс мер по их достижению. Для реализации заявленной цели в 2009 г. была принята Директива 2009/28 по развитию возобновляемой энергетики [8].

В глобальном масштабе ВИЭ (в первую очередь, солнечная и ветровая, а также биоэнергетика) все более быстрыми темпами завоевывают свои позиции на рынке, вытесняя традиционные углеводородные источники. «Самыми динамичными здесь являются солнечная и ветровая энергетики, в которых были достигнуты успехи даже без поддержки государства. В Бразилии, например, наземные ветряные электростанции конкурируют не только с заводами по сжиганию газа, но и с предприятиями гидро- и биоэнергетики. В Австралии ветровая энергетика конкурирует с угольной и газовой. Успехам солнечной энергетики способствует снижение издержек на оборудование. В солнечных странах они вполне могут заменить нефтяные продукты. Например, нефтедобывающие страны могут экспортировать нефть, а внутри страны пользоваться солнечной энергетикой, которая дешевле. В некоторых странах установить солнечную панель дешевле, чем платить счета за электричество, например, в Италии, Испании, Южной Германии, Калифорнии, Австралии и других странах» [9].

Возобновляемая энергия существенно подешевела за последние годы, так как дешевым стали используемое оборудование и инжиниринг. В Германии, например, затраты на маленькие солнечные электростанции (для домохозяйств) в 2006–2013 гг. сократились до 1,684 евро/Ватт (на 70 %), а для больших проектов – до 1 евро/Ватт [10].

Газовая генерация потеряла значение в качестве собственно генерации, но пока необходима для стабилизации (выравнивания нагрузки) сети. Однако уже введен в коммерческую эксплуатацию первый в Европе «батареинный

парк», который выполняет функцию стабилизации сети быстрее и точнее традиционных «регулирующих» электростанций. Не исключено, что развитие таких резервных и регулирующих мощностей со временем приведет к отказу от газовой генерации.

Развиваются CO₂ нейтральные промышленные предприятия, на 100 % обеспечиваемые энергией за счет возобновляемых источников.

Германия планирует увеличить долю ВИЭ в конечном энергопотреблении до 60 % к 2050 г., Италия ставит целью уравнивать доли использования газа и ВИЭ в производстве электроэнергии. Саудовская Аравия собирается увеличить долю ВИЭ (без учета ГЭС) до 100 % к 2040 г. [11].

В 2015 г., по данным агентства Bloomberg, впервые в истории количество рабочих мест в области возобновляемой энергетики в США превысило аналогичное количество в нефтяной сфере. В мире в 2015 г. количество рабочих мест в секторе выросло до 8,1 млн человек. В нефтяном бизнесе, напротив, количество рабочих мест сократилось на более чем 350 тыс. человек. Международное агентство возобновляемой энергетики (IRENA) прогнозирует, что до 2030 г. количество рабочих мест в секторе вырастет до 24 млн [12].

План IRENA по максимизации количества транспорта отвечает требованиям концепции устойчивого развития (документ описывает активные меры по внедрению электромобилей и автомобилей на водородном топливе, биотопливе и т.п. с целью увеличения доли экологически чистого транспорта до 11–15 % к 2030 г.). План предполагает ежегодные инвестиции около 339 млрд долларов в создание и внедрение на рынок транспортных средств, передвигающихся с помощью электричества, развитие технологий и инфраструктуры возобновляемой энергетики, в том числе хранения энергии [12].

Таким образом, в качестве одного из сценариев развития мирового энергетического рынка на 30–70 лет можно рассматривать полный отказ от ископаемого топлива с замещением его энергией из возобновляемых источников. В отдельных странах Европы (например Дании, Швеции) это может произойти до 2050 г. [10].

Угрозы и возможности для России

Развитие ВИЭ нынешними темпами может привести к постепенному снижению спроса на традиционные энергоресурсы (нефть, газ, уголь) в течение ближайших тридцати лет. Для России эти тенденции означают дополнительные риски в отношении не только валютных поступлений, но и структуры промышленного производства и занятости населения [10]. Соответственно, такой вариант развития энергетического рынка должен учитываться при разработке государственной внешнеэкономической, инвестиционной, структурной и социальной политики.

По прогнозам аналитиков Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), увеличение глобальной доли ВИЭ до 36 % к 2030 г. может способствовать росту мирового ВВП на 0,6–1,1 % в год. В то же время странам, экспортирующим ископаемые энергоресурсы, развитие индустрии возобновляемых источников энергии угрожает сокращением

доходной части национальных бюджетов. Так, дополнительные потери российского ВВП к 2030 г. могут составить до 0,7 % [13].

Глобальные вызовы снижают возможности РФ по реализации ее превосходства в природных ресурсах, заставляют искать новые пути к обеспечению устойчивой конкурентоспособности [14]. Например, по мнению экспертов IRENA, Россия может компенсировать падение ВВП развитием биоэнергетики (как для внутреннего потребления, так и в целях экспорта), что позволит создать до 1,1 млн новых рабочих мест [13].

Следует отметить, что развитие энергетики в России и государственная политика в этой области по-прежнему выдержаны в духе индустриальной энергетики и ориентированы на наращивание добычи ископаемого топлива и энергетических мощностей [7, 15]. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. предусматривает различные сценарии развития мировой энергетики и возможности для адаптации к ним [16]. Россия вступила в Международное агентство возобновляемой энергетики IRENA. Мероприятия по развитию ВИЭ включены в различные стратегии и программы: «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года» [17], Национальная технологическая инициатива (EnergyNet) [18], стратегические программы технологических платформ «Перспективные технологии возобновляемой энергетики», «Биоэнергетика», «Малая распределенная энергетика», «Интеллектуальная электроэнергетическая система России», «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» [19] и др. Тем не менее, несмотря на значительный природный и рыночный потенциал структурной перестройки энергетики, индустрия возобновляемых источников энергии и рынки энерго-сервисных и энергосберегающих услуг в России развиваются пока слабо, не принимаются достаточных мер для перехода к неуглеродной энергетике¹. Имеется серьезный риск технологического отставания по ключевым направлениям в создании энергетики нового типа – «умным сетям», управлению энергопотреблением и энергоинформационным системам, технологическому энергосбережению, децентрализации энергоснабжения [15]. Дорожной картой EnergyNet в рамках Национальной технологической инициативы предусмотрена реализация мероприятий по развитию рынка «умной энергетики» (интеллектуальной энергетики и новых технологий генерации), однако сроки достижения заявленных целей – до 2035 г. – слишком отдаленные по сравнению с реальными тенденциями развития данного рынка [9].

Более отдаленное будущее может принести и принципиально новые угрозы, которые необходимо учитывать при разработке энергетической политики страны уже сейчас. Например, уже происходящие и ожидаемые кли-

¹ Планируется, что к 2024 г. в Российской Федерации доля производства электрической энергии на генерирующих объектах, функционирующих на основе использования возобновляемых источников энергии (кроме гидроэлектростанций установленной мощности более 25 МВт), достигнет 4,5 % [17]. К 2030 г. поставлена задача довести долю нетопливной энергетики в целом (включая гидроэнергетику) в топливно-энергетическом балансе страны до 13–14 % [16].

матические изменения вызывают необходимость реализации климатической политики, соответствующей глобальным приоритетам устойчивого развития и требованиям системы мирового климатического регулирования (в числе которых квоты на выбросы загрязняющих веществ, штрафы за их превышение, тарифные и нетарифные ограничения на поставки углеродоемкой продукции и др.). Но, по мнению разработчиков дорожной карты EnergyNet, «хотя стимулом для развития «Интернета энергии» в Европе, в первую очередь, является развитие «зеленой» энергетики, ... ошибочно было бы считать, будто бы возобновляемая энергетика является главным бенефициаром технологии «Интернета энергии»... Стратегии в области «Интернета энергии» могут быть построены в связке практически с любым видом генерации, что может обеспечить продвижение на рынок атомной генерации и газовой генерации. Эти стратегии привлекательны для российских игроков, так как усиливают позиции тех сегментов, где у России исторически сложились конкурентные преимущества (в отличие от возобновляемой энергетики, где у России нет объективных преимуществ и где уже большое число технологий защищено патентами)» [18]. Очевидно, что экологические аспекты устойчивой конкурентоспособности снова не воспринимаются всерьез, хотя и декларируются.

Заключение

Наша страна обладает значительным ресурсным и интеллектуальным потенциалом для устойчивого конкурентоспособного развития, но имеющиеся преимущества реализуются не в полной мере, эффективность управления уникальным запасом ресурсов остается низкой. В результате Россия по уровню социально-экономического развития и подходам к решению экологических проблем отстает от стран с меньшим природным потенциалом [20].

В ближайшие несколько десятилетий развитие мировой экономики в направлении повышения устойчивой конкурентоспособности будет сопровождаться радикальными преобразованиями: традиционные источники энергии постепенно уступят свое место в структуре энергетической отрасли и в мировом энергетическом балансе неуглеродным энергоресурсам. Как в самой энергетике, так и в иных отраслях многократно возрастет значение новых технологий, адаптированных к обновляющимся системам производства, передачи и потребления энергии. Переход развитых и многих развивающихся экономик на альтернативные виды энергии значительно сократит доходы стран, в значительной мере зависящих от экспорта углеводородов. Курс стран – лидеров глобального рынка на энергетическое самообеспечение и независимость от поставщиков энергии посредством интенсивных технологических и структурных изменений в экономике, активно продвигаемый ими в глобальном масштабе, лишь обострит внутренние проблемы социально-экономического развития России (технологическое отставание, региональные и структурные диспропорции и др.) и способен создать реальную угрозу экономической безопасности и устойчивости страны [21].

Устойчивая конкурентоспособность экономики России в целом, отдельных регионов и предприятий невозможна без учета вышеописанных тенденций. Рассмотренные перспективы развития мировой энергетики создают

для России не только значительные риски, но и новые возможности, открывающиеся при использовании иных, не связанных с экспортом природных ресурсов конкурентных преимуществ. Это означает необходимость смены приоритетов в развитии экономики страны, причем не в скором будущем, а уже сейчас. Для преодоления вызовов будущего необходима, в частности, корректировка государственной энергетической политики с ориентацией на перспективу создания энергетики постиндустриального типа.

Библиографический список

1. Бескровная, С. В. Конкурентоспособность России и принципы конкурентоспособности / С. В. Бескровная. – URL: <http://www.ibl.ru/science.html> (дата обращения: 17.10.2017).
2. Белова, Л. Г. Эволюция подходов к конкурентным преимуществам в наиболее развитых странах Азиатско-Тихоокеанского региона : монография / Л. Г. Белова. – Москва : РГ-Пресс, 2013. – 158 с.
3. The World Economic Forum. The Global Competitiveness Report, 2011–2012. – P. 52. – URL: http://www3.weforum.org/docs/WEF_GCR_Report_2011-12.pdf (дата обращения: 20.03.2012)
4. The Global Sustainability Competitiveness Index 2017. – URL: <http://solability.com/the-global-sustainable-competitiveness-index/the-index> (дата обращения: 17.10.2017).
5. Абрамов, И. В рейтинге стран по индексу устойчивой конкурентоспособности США и Британия оказались ниже Китая и России / И. Абрамов. – URL: <http://mixednews.ru/archives/94137> (дата обращения: 17.10.2017).
6. Мировая экономика и международный бизнес : учебник / под общ. ред. В. В. Полякова и Р. К. Щенина. – 5-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2008. – 688 с.
7. Возобновляемая энергетика набирает обороты. – URL: <http://altenergiya.ru/apologiya/vozobnovlyaemaya-energetika-nabiraet-oboroty.html> (дата обращения: 30.08.2016).
8. Кавешников, Н. Возобновляемая энергетика в ЕС: смена приоритетов / Н. Кавешников. – URL: http://russiancouncil.ru/inner/?id_4 = 3482#top-content (дата обращения: 17.10.2017).
9. Зарембо, И. МЭА: в 2016 году вода, ветер и солнце потеснят газ в мировом энергобалансе / И. Зарембо. – URL: <http://www.finmarket.ru/main/article/3394436> (дата обращения: 30.08.2016).
10. Сидорович, В. О возобновляемой энергетике в Германии и не только / В. Сидорович. – URL: <http://www.odnako.org/blogs/o-vozobnovlyaemoy-energetike-v-germanii-i-ne-tolko/> (дата обращения: 30.08.2016).
11. Цели, задачи и политика развития использования возобновляемых источников энергии и торфа для энергоснабжения в России: докл. (подгот. на осн. материалов междунар. конгр. «Возобновляемая энергетика XXI век: энергетическая и экономическая эффективность» (REENCON-XXI), г. Москва, 27–28 октября 2015 г.) – URL: <http://www.energy2020.ru/reencon/> (дата обращения: 30.08.2016).
12. Международное агентство возобновляемой энергетики (International Renewable Energy Agency, IRENA). – URL: <http://renewnews.ru/irena/> (дата обращения: 30.08.2016).
13. Давыдова, А. Отстающий платит. От мирового перехода к альтернативной энергии РФ к 2030 году потеряет до 0,7 % ВВП / А. Давыдова. – URL: <http://www.kommersant.ru/doc/2946246> (дата обращения: 30.08.2016).

14. Платонова, И. Н. Устойчивое развитие мировой экономики и конкурентоспособность России : материалы VIII конвента Рос. ассоциации междунар. исследований (25–26 апреля 2014 г., МГИМО (У) МИД России) / И. Н. Платонова, А. А. Никонова и др. // Российский внешнеэкономический вестник. – 2014. – № 9. – С. 63–64.
15. Лихачев, В. Энергетическая революция. XXI век. Перегрузка / В. Лихачев. – URL: http://russiancouncil.ru/inner/?id_4 = 575#top-content (дата обращения: 17.10.2017).
16. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г. – URL: <http://www.energystrategy.ru/projects/es-2030.htm> (дата обращения: 17.10.2017).
17. Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2009 № 1-р «Об основных направлениях государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83805/ (дата обращения: 17.10.2017).
18. Национальная технологическая инициатива. – URL: <http://www.nti2035.ru/nti/> (дата обращения: 17.10.2017).
19. Перечень технологических платформ (утв. решениями Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 1 апреля 2011 г., протокол № 2, от 5 июля 2011 г., протокол № 3, решением президиума Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям от 21 февраля 2012 г., протокол № 2). – URL: http://economy.gov.ru/minec/activity/sections/innovations/formation/doc20120403_11 (дата обращения: 17.10.2017).
20. Возобновляемые источники энергии в России. Итоги 2014 года : аналит. докл. // Некоммерческое партнерство «Совет участников рынка возобновляемой энергетики». – М., 2015. – 62 с.
21. Распоряжение Правительства РФ от 03.07.2014 № 1217-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») «Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса» на период до 2018 года» – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420206167> (дата обращения: 17.10.2017).

Краковская Ирина Николаевна
доктор экономических наук, доцент,
кафедра менеджмента,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарева
E-mail: krakovskayain@mail.ru

Krakovskaya Irina Nikolayevna
doctor of economic sciences,
associate professor,
sub-department of management,
National Research Mordovia State
University named after N. P. Ogarev

УДК 338.1: 338.4: 339.9

Краковская И. Н.

Об устойчивой конкурентоспособности, ресурсосбережении и возобновляемой энергетике / И. Н. Краковская // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 52–64.

КОНЦЕПЦИЯ ДВУХУРОВНЕВОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

К. К. Кумехов

CONCEPT OF THE TWO-LEVEL MODEL OF A PRODUCTION ENTERPRISE

K. K. Kumekhov

Аннотация. *Актуальность и цели.* Достоверное представление модели производственного предприятия признано одним из наиболее значимых инструментов налаживания эффективной системы управления. Метод декомпозиции элементов, составляющих модели, по разным причинам не позволяет этого добиться. В настоящем исследовании представлена модель производственного предприятия, построенная на основе технологического фактора. В ней выделены два уровня: потоки материальных и денежных ресурсов, которые достоверно отражают содержание элементов и процессов, происходящих на производственном предприятии. Использование такой модели для целей управления существенно повысит уровень эффективности управления производственным предприятием. *Материалы и методы.* Необходимость данного исследования обусловлена несовершенством применяемых моделей производственных предприятий, не учитывающих всех факторов производства. Двухуровневая модель производственного предприятия представляет собой схематическое отражение элементов и взаимосвязей между ними и построена на классических представлениях о факторах производства. При их обосновании использованы методы абстракции, моделирования, монографический и др. *Результаты.* Обоснована и схематически представлена двухуровневая модель предприятия, основу которой составляют две непересекающиеся плоскости: первая – движение ресурсов, вторая – движение денежных средств. Представленная модель позволяет структурировать все элементы модели производственного предприятия и механизмы взаимодействия между ними, а также рационализировать систему управления ими. *Выводы.* На основании данного исследования установлено, что модели, основанные на концепции равновесия, делают невозможным использование результатов моделирования на практике. Обоснована необходимость использования двухуровневой модели производственного предприятия, которая органически вписывается в двухуровневую макроэкономическую модель. Предложена также схема внедрения результатов моделирования производственного предприятия.

Ключевые слова: модель, моделирование, декомпозиция, производственное предприятие.

Abstract. *Background.* A reliable representation of the model of a manufacturing enterprise is recognized as one of the most significant tools for establishing an effective management system. Models based on the decomposition of the elements making up the model, for various reasons, do not allow this to be achieved. The present study presents a model of a manufacturing enterprise built on the basis of a technological factor. It identifies two levels: flows of material and monetary resources, which reliably reflect the content of elements and processes occurring at the manufacturing enterprise. The use of such a model for management purposes will significantly increase the level of efficiency of the production enter-

prise. *Materials and methods.* The need for this study is due to the imperfection of the applied models of manufacturing enterprises that do not take into account all factors of production. A two-level model of a production enterprise is a schematic reflection of the elements and interrelations between them, built on the classical concepts of production factors. With their justification, the methods of abstraction, modeling, monographic and others were used. *Results.* The article justifies and schematically presents a two-level model of an enterprise, the basis of which are two non-overlapping planes: the first is the movement of resources, the second is the movement of money. The presented model allows to structure all elements of the model of the production enterprise and mechanisms of interaction between them, and also to rationalize the management system for them. *Conclusions.* Based on this study, it is established that models based on the concept of equilibrium make it impossible to use the results of modeling in practice. The necessity of using a two-level model of a production enterprise, which integrally fits into a two-level macroeconomic model, is substantiated. A scheme for implementing the simulation results of a production enterprise is also proposed.

Key words: model, modeling, decomposition, manufacturing enterprise.

Введение

Современные модели управления производственным предприятием строятся на «концепции оптимального построения и распределения функциональных обязанностей элементов (подсистем), отражающихся в конечных результатах деятельности организации» [1]. Они воплощают идеи основоположников методов декомпозиции Данцига – Вульфа [2], которые предписывают рассматривать предприятие в процессе управления как целое, являющееся результатом взаимодействия его составляющих между собой и средой. Объектами моделирования при этом могут быть как процессы (динамические модели), происходящие на предприятии (процессы заготовления, производства, сбыта и т.д.), так и его отдельные структурные подразделения (статические модели), отражающиеся в организационной и производственной структуре предприятия. Параметрические характеристики этих объектов принимаются в качестве информационной базы для математических манипуляций, с помощью которых достигаются решения поставленных перед предприятием задач, которые сфокусированы на построении оптимальной модели, учитывающей все факторы равновесия [3]. Однако на практике параметры самой равновесной модели актуальны лишь на определенный момент времени, поэтому могут быть экстраполированы в будущие события лишь с определенной долей вероятности.

Обоснование конструкции

Наиболее эффективное использование математического аппарата возможно только тогда, когда в его основу будет заложена модель предприятия, в полной мере учитывающая все его элементы и процессы. Такой глобальной модели производственного предприятия до сих пор не разработано.

Такая модель должна соответствовать определенным требованиям, это:

– включать все элементы, участвующие в финансово-хозяйственных процессах; невключение хотя бы одного элемента приведет к некорректным конечным результатам;

– отражать все финансово-хозяйственные процессы: внутренние между составляющими элементами и внешние – с другими субъектами;

– и элементы, и процессы должны иметь схематическое отображение. Обязательность данного требования обусловлена тем, что во многих исследованиях авторы не всегда исходят из единых представлений об экономической модели производственного предприятия как прообраза реально действующих предприятий. Данное обстоятельство вредит содержательной стороне, так как расширяет возможности для «словесного маневра».

В работе была обоснована двухуровневая конструкция макроэкономической модели [4]. Прикладная ценность такой модели определяется тем, насколько она совместима с моделями более низкого уровня управления, в данном случае на микроуровне. Это означает, что модели более низших уровней управления должны полностью интегрироваться в глобальную макроэкономическую модель.

Из этого следует, что модель производственного предприятия как составляющая макроэкономической модели должна быть сконструирована по «образу и подобию» макроэкономической модели, с соблюдением всех принципов ее построения. При этом следует учитывать, что производственное предприятие в зависимости от его специализации может относиться к любому из четырех переделов, которые представляют собой совокупность предприятий, характеризующихся общностью выпускаемой продукции, технологией и т.д. Данное обстоятельство не означает непризнания эксклюзивности каждой отдельной модели производственного предприятия.

Конструкция модели производственного предприятия, как и макроэкономическая модель, является двухуровневой (рис. 1). Первый уровень – движение ресурсов, которое определяется факторами производства – живым трудом, потоками материальных ресурсов и основным капиталом. Это исходные составляющие данного уровня. В совокупности эти факторы обеспечивают процесс производства всем необходимым.

Производственный процесс с точки зрения потоков ресурсов представляет собой совокупность комбинаций материальных ресурсов, капитала и живого труда, которая с соблюдением технологии воплощается в определенный конечный продукт. Принято считать, что после прохождения всех стадий технологической обработки технологический процесс заканчивается. Готовый продукт может быть реализован или пребывать на складе предприятия.

Нижний уровень отражает денежные потоки предприятия. Их источниками являются оплата за продукцию, услуги; кредиты и займы; инвестиции; поступления из бюджета и целевое финансирование и прочие поступления. Они поступают на соответствующие счета предприятия, откуда направляются кредиторам, в качестве оплаты труда; оплаты материальных ресурсов; оплаты налогов и сборов; оплаты во внебюджетные фонды; возврата кредитов и займов. Часть денежных средств идет на выплату дивидендов, накопление и инвестиции.

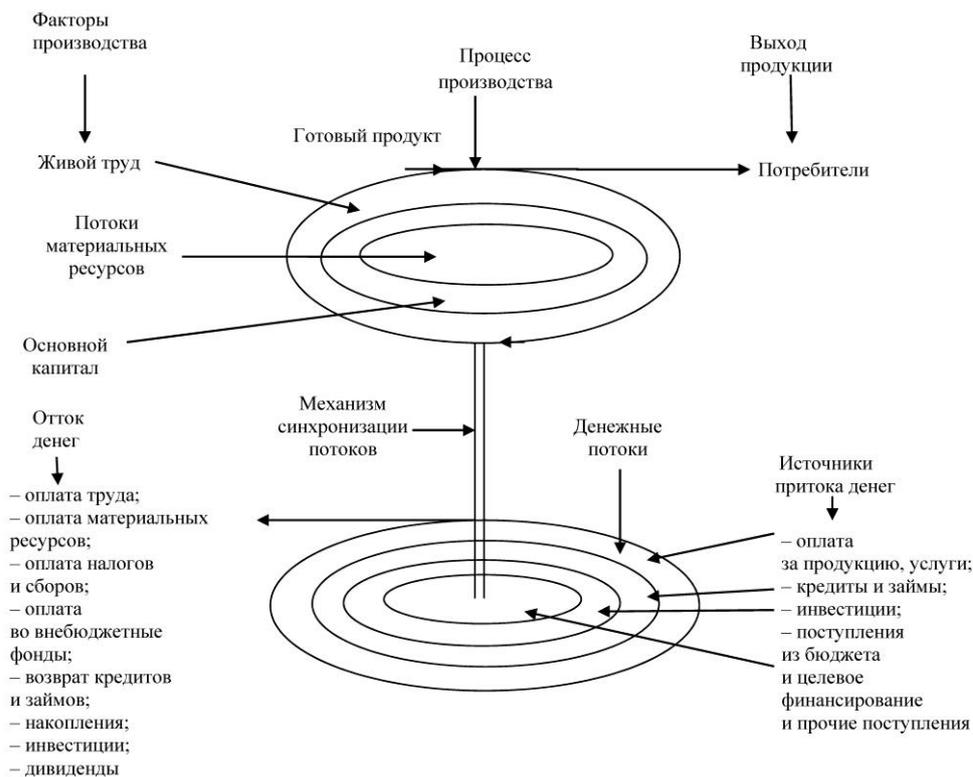


Рис. 1. Механизм синхронизации потоков материальных и денежных ресурсов на производственном предприятии

Несмотря на то, что потоки материальных и денежных ресурсов противоположно направлены, между ними, как видно из рис. 1, существует жесткая взаимосвязь, которая отражена в виде механизма синхронизации потоков. Процесс производства в полной мере зависит от финансового обеспечения всех необходимых факторов его поддержания. Необходимое условие эффективности производственного процесса – поддержание его непрерывности и ритмичности.

Между двумя уровнями возможны определенные временные лаги, которые можно связывать с их направлением деятельности. Так, в сельском хозяйстве, характеризующемся малой оборачиваемостью, временной лаг между потоками ресурсов и денег значительный, так как продукцию получают, как правило, один раз в год. На предприятиях промышленности продукцию получают гораздо чаще, поэтому временные разрывы между потоками материальных и денежных ресурсов, участвующих в одном производственном цикле, гораздо меньше.

В каждом конкретном случае на временной лаг влияет еще множество факторов, которые в процессе налаживания работы требуют анализа и оценки.

Как любой другой механизм, механизм синхронизации материальных и денежных потоков требует «налаживания», т.е. определения качественных, количественных и временных параметров отдельных его составляющих. Наладить механизм синхронизации потоков материальных и денежных ре-

сурсов означает исключить все «люфты», которые могут привести к нарушениям непрерывности и ритмичности, тем самым обеспечив синхронность вращения. На деле это означает минимизировать временной разрыв между движениями потоков на первом и втором уровнях в течение одного производственного цикла.

Следует учитывать, что с учетом алгоритма хозяйственных процессов некоторые временные разрывы допустимы. В то же время сверхнормативные разрывы могут привести к отказу всего механизма, что на деле означает разрыв хозяйственных связей.

На схеме рис. 1 видно, что это может происходить как за счет неотрегулированности денежных потоков на втором уровне, так и за счет нарушения хозяйственных связей на первом. Исходя из этого наладка механизма должна производиться изначально на каждом уровне отдельно: на верхнем уровне – за счет налаживания связей и отношений, на нижнем – за счет синхронизации притока и оттока денежных средств. Затем принимаются меры по синхронизации потоков материальных ресурсов и денежных потоков во времени, и только после этого механизм запускается вновь.

Результаты исследования

Двухуровневое представление модели производственного предприятия позволяет вскрыть еще один весьма значимый фактор функционирования модели в целом – это количество и расположение механизмов. На рис. 2. представлен первый уровень модели производственного предприятия – движение материальных ресурсов. Она подразделена на три составляющие, представляющие схему движения от изначального продукта в виде материальных ресурсов через производственный процесс до получения конечного продукта с новыми потребительскими качествами. К его элементам на «входе» можно отнести акционеров, собственников, поставщиков, подрядчиков и прочих поставщиков материальных ресурсов. Сюда же следует относить персонал предприятия, обладающий всеми необходимыми навыками профессиональной деятельности.

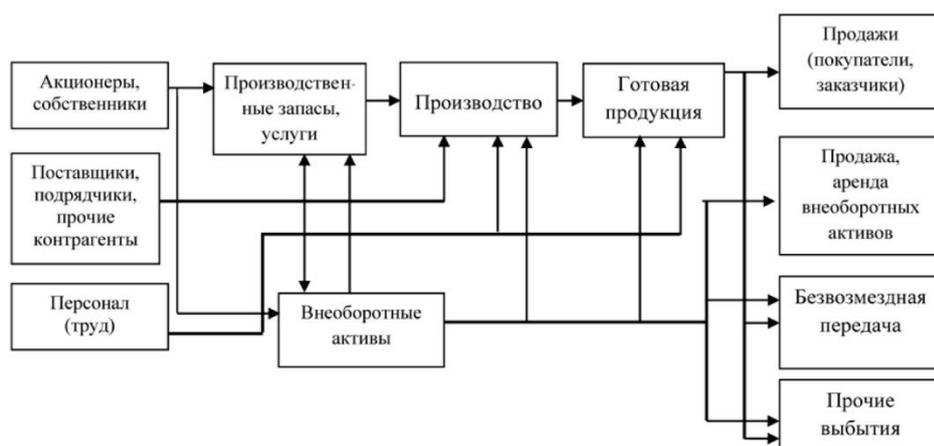


Рис. 2. Первый уровень модели производственного предприятия – движение материальных ресурсов

К элементам процесса производства следует относить труд, запасы, внеоборотные активы, технические и технологические средства и готовую продукцию. К элементам на «выходе» относятся разные потребители продукции предприятия: покупатели готовой продукции и внеоборотных активов, безвозмездная передача и прочие выбытия.

Элементы второго уровня модели производственного предприятия также можно подразделить на три группы, в зависимости от схемы их продвижения. Следует помнить о противоположности данного потока первому уровню модели. На «входе» здесь следует выделять банки, других кредиторов, поступления от финансовых вложений, покупателей и заказчиков и т.д. Через места хранения эти денежные средства попадают к кредиторам, среди которых поставщики и подрядчики, персонал, банки, государственные органы и др. (рис. 3).

Наилучшие результаты в деятельности предприятий будут достигнуты при условии постоянного и синхронного движения разнонаправленных ресурсов.



Рис. 3. Второй уровень модели производственного предприятия – денежные потоки

Представление модели производственного предприятия в виде противоположных потоков материальных и денежных ресурсов противоречит

классическому представлению кругооборота хозяйственных средств по схеме (рис. 4) при простом воспроизводстве.

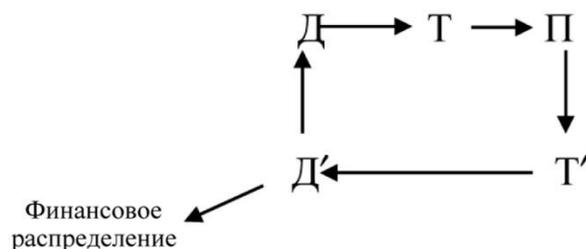


Рис. 4. Классическая схема кругооборота хозяйственных средств

Изначально включение денег в схему считаем некорректным, так как после возникновения банков и банковской системы владельцы денег, хранящихся в банке на их счетах, передали агентские полномочия по организации денежных потоков банкам. Тем самым они частично лишили себя права собственности на свои деньги, взамен на удобства, предоставляемые банками в процессе организации расчетов.

Классическая схема кругооборота хозяйственных средств была бы справедлива, если бы все расчеты предприятия осуществлялись наличными, а остаток денег в полном объеме хранился на предприятии. Кроме этого, нет ни одной технологии, которая бы использовала в качестве сырья денежные средства. Как было отражено на рис. 1, ресурсы поступают на предприятие, там с помощью технологий используются для производства новых продуктов, которые реализуются и выбывают из предприятия без непосредственного участия денежных средств.

И наоборот, на втором уровне (см. рис. 1) показано, что потоки денежных средств тоже прямонаправленные, только в обратную сторону по отношению к потокам ресурса, без участия материальных и иных ресурсов. В данном случае «деньги – это средство достижения цели, а не сама цель» [5].

Достоверное представление о потоках ресурсов и денежных средств имеет принципиальное значение, так как только на основе достоверной модели возможно принятие адекватной системы показателей, ее характеризующих.

Заключение

Конструирование и использование результатов двухуровневой модели производственного предприятия должно происходить поэтапно. Каждый этап при этом должен включать набор конкретных логически последовательных действий, обеспечивающих разработку и внедрение модели производственного предприятия, пригодного для использования в управленческих целях.

1-й этап – конструирование статической имитационной экономической модели. На этом этапе определяется система исходных параметров на первом уровне модели «движение ресурсов». Состав ресурсов определяется исходя из возможностей предприятия, наличия трудовых ресурсов и сложившейся

производственной базы. Исходя из принципов максимальной полезности каждого вида ресурсов и максимально возможной производительности труда, уточняется состав ресурсов. Исходным пунктом для их определения является миссия предприятия. Одновременно на втором уровне модели «движение денежных средств» под движение ресурсов подбираются встречные потоки денежных средств. Источники при этом могут быть разные, но их объем должен быть достаточным для обеспечения продвижения потоков ресурсов.

2-й этап – ввод временных параметров. На этом этапе движение каждого ресурса на первом уровне и встречное движение денежных средств расписывается по времени. Если на первом этапе мы использовали статическое содержание времени, сопряженное с «сосуществованием всех модусов времени, таких как произвол в выборе точки настоящего, симуляция хода и направления времени интервальная длительность» [6] и т.д., то здесь при конструировании должно быть использовано «динамическое содержание времени» – неравнозначность модусов, отличие времени от пространства, акцент на момент настоящего и его значимости, необратимость хода и его направленность. Применение на данном этапе «динамического времени» одинаково актуально для обеих уровней модели. Если на первом уровне движение ресурсов во времени привязано к технологии производства, то на втором уровне (встречных денежных потоков) динамическое время определяется ограничениями для обеспечения непрерывности продвижения ресурса.

3-й этап – обоснование и ввод системы исходных качественных и количественных показателей, критериев и параметров оценки. Это самый сложный этап, который для первого уровня модели начинается с определения перечня необходимых ресурсов предприятия для выполнения его миссии, причем не только уже используемых, но и потенциально возможных, с указанием объемов и периодичности их введения в оборот.

На втором уровне модели на данном этапе балансируются денежные потоки по источникам и графику использования.

4-й этап – конструирование имитационной динамической модели. По своей сути это «запуск», который начинается с обозначения схемы продвижения каждого ресурса до его полного потребления. При этом следует исходить из необходимости использования системы необходимых допущений:

а) на предприятии на момент запуска имеются все необходимые условия для обеспечения непрерывности и ритмичности продвижения ресурсов в технологическом процессе;

б) предприятие платежеспособно;

в) на всех этапах продвижения ресурса используются техника и технологии, позволяющие достичь максимально возможной производительности труда;

г) исходя из принципа максимальной полезности и целеполагания всей модели, определены каналы использования каждого вида ресурсов.

5-й этап – определение оптимальных параметров имитационной модели. Как следует из предыдущих этапов, они формируются на «входе» из ресурсного и трудового потенциала и производственной базы (инфраструкту-

ры). С помощью технологий ресурсы используются для производства продуктов с заданными потребительскими качествами, которые на «выходе» реализуются. На «выходе» на данном этапе должен быть представлен максимально возможный результат, который может быть обеспечен при соблюдении идеальных условий производства.

6-й этап – сопоставление параметров имитационной и реальной модели производственного предприятия. На данном этапе на основании сопоставления параметров имитационной и реальной модели выявляются отклонения, которые являются программой к действию для руководства.

7-й этап – управленческие решения, корректировки. На данном этапе в полной мере проявляется прикладная ценность разработанной имитационной модели предприятия. С одной стороны, она позволяет на основе определившихся элементов модели и характера взаимосвязей между ними создать организационную структуру, которая с учетом технологических особенностей обеспечит налаживание внутри- и межхозяйственных связей и отношений как основы эффективного функционирования. Динамическая модель на основании выявленных расхождений позволит составить дорожную карту конкретных действий по дальнейшему развитию предприятия в части направления инвестиций на вовлечение в оборот дополнительных ресурсов. В части повышения производительности труда выявляются «точки приложения» в техническом и технологическом перевооружении.

На втором уровне на основании выявленных расхождений предпринимаются действия, направленные на дифференциацию финансовой политики с целью обеспечения достаточной денежной массы для поддержания процесса производства.

Библиографический список

1. Матвеев, В. А. Исследование современных моделей управления промышленным предприятием / В. А. Матвеев // Вестник Саратовского социально-экономического университета. – Саратов, 2011. – № 2. – С. 93–99.
2. Семенова, Е. В. Применение метода декомпозиции Данцига – Вулфа для решения задач с неопределенностью в начальных данных / Е. В. Семенова, Т. А. Осечкина // Перспективы развития науки и образования : сб. науч. тр. по материалам науч.-практ. конф. – 2012. – С. 129–130.
3. Кумехов, К. К. Критика классических теорий макроэкономического моделирования / К. К. Кумехов // Вестник МГИМО Университета. – М., 2015. – № 5 (44). – С. 181–189.
4. Кумехов, К. К. Теоретическое обоснование двухуровневой конструкции макроэкономической модели / К. К. Кумехов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – Пенза, 2017. – № 2 (22). – С. 69–88.
5. Брэнсон, Р. Цитаты Ричарда Брэнсона о деньгах / Р. Брэнсон. – URL: www.i-u.ru/biblio (дата обращения: 12.10.2017).
6. Баскин, А. И. Время в системе экономических ресурсов постиндустриального общества / А. И. Баскин. – URL: <http://www.dslib.net/econom-teoria/vremja-v-sisteme-jekonomicheskikh-resursov-postindustrialnogo-obwestva.html> (дата обращения: 12.10.2017).

Кумехов Константин Колумбиевич
доктор экономических наук, профессор,
кафедра финансов,
Московский государственный институт
международных отношений
(Одинцовский филиал)
E-mail: komeh@yandex.ru

Kumekhov Konstantin Kolumbievich
doctor of economic sciences, professor,
sub-department of finances,
Moscow State Institute of International
Relations (Odintsovo branch)

УДК 334

Кумехов, К. К.

Концепция двухуровневой модели производственного предприятия /
К. К. Кумехов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. –
2017. – № 4 (24). – С. 65–74.

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ
ПРЕДПРИЯТИЯ: ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ,
СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ**

Е. С. Петрова

**SIMULATION MODELING OF PROCESSES
OF THE ENTERPRISE: INFORMATION SUPPORT,
MODERN CONDITION AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

E. S. Petrova

Аннотация. Актуальность и цели. Современные тенденции информатизации общества оказывают закономерное влияние на автоматизацию процессов принятия решений. Одним из наиболее эффективных методов поддержки остается имитационное моделирование управленческих процессов в организации. Целью данной статьи является рассмотрение особенностей формирования системы информационного обеспечения для проведения указанных исследований на разных этапах развития общества, а также перспективные направления совершенствования данного подхода. *Материалы и методы.* При написании статьи применялись методы эмпирического исследования и общелогические методы и приемы исследования. Выделяются и описываются характерные особенности имитационного моделирования на разных хронологических этапах, проводится сравнительный анализ поколений средств имитационного моделирования. *Результаты.* В рамках статьи раскрыто понятие, проведено исследование этапов формирования технологий имитационного моделирования, описана собственная разработка автора по данному направлению, представлены основные направления развития и перспективы. *Выводы.* Применение методов имитационного моделирования в управленческой деятельности позволяет существенно повысить эффективность управления деятельностью организаций и определить наиболее перспективные направления ее развития.

Ключевые слова: система имитационного моделирования, динамическая модель, вероятностная модель, метод Монте-Карло.

Abstract. Background. Modern trends of Informatization of society have a natural impact on the automation of decision-making processes. One of the most effective methods of support remains simulation modeling of management processes in the organization. The purpose of this article is consideration of features of formation of information support system for conducting these studies at different stages of development of society, as well as future directions for the improvement of this approach. *Materials and methods.* When writing the article we used the methods of empirical research and General logical methods and techniques of research. Allocated and describes the characteristics of the simulation at different chronological stages, a comparative analysis of generations of simulation tools. *Results.* The article reveals the concept, the study of the stages in the formation of technologies of simulation, described their own development of the author in this direction, the main directions of development and prospects. *Conclusions.* The use of simulation methods in

management can significantly improve the efficiency of management of organizations and to identify the most promising directions of its development.

Key words: system of simulation modeling, dynamic model, probability model, Monte-Carlo method.

Введение

Формирование информационного общества диктует свои требования к организации управленческой деятельности, которая становится все более подверженной влиянию новых технологий. Имитационное моделирование в этой связи доказало свою эффективность при исследовании и проектировании такой исключительно сложной системы, как промышленное предприятие. Модель в этом случае формируется в виде алгоритма, в котором заложены все значимые элементы, связи между элементами системы и задаются начальные значения параметров, которые соответствуют точке отсчета, т.е. «нулевому» моменту времени. Средства логической обработки данных при выполнении указанного алгоритма позволяют определить все последующие изменения в системе.

Если рассматривать процесс изготовления изделий, то он прежде всего характеризуется изменением во времени и пространстве большого количества материальных, трудовых, финансовых и информационных потоков, имеющих отношение к подготовке производства, доставке материалов и энергии, выполнению множества технологических и обслуживающих производственных операций, хозяйственному и финансовому обеспечению, сбыту и реализации продукции. Естественно, поведение производственной системы нельзя представить или оценить каким-либо одним показателем.

Повышение научной обоснованности методов управления производством предполагает решение проблем рационального использования материальных и трудовых ресурсов, увеличение эффективности работы оборудования. Создание новой конкурентоспособной техники связано с поиском и разработкой различных многовариантных решений. В этой связи широкое использование экономико-математических методов и моделей позволяет обеспечить выбор наилучшего варианта управления с точки зрения экономии ресурсов, повышения эффективности проектирования и производства современной конкурентоспособной продукции.

Применение методов имитационного моделирования открывает широкие перспективы для осуществления комплексного технико-экономического анализа деятельности фирм, совершенствования их организационной структуры управления, прогнозирования наиболее эффективных направлений их развития.

При проведении имитационного эксперимента компьютер имитирует процесс функционирования системы и рассчитывает параметры свойств, которые вырабатывает система. Применение средств компьютерной техники в системе производственного планирования и управления, кроме ускорения обработки больших объемов информации, дает возможность на выходе получить более качественные управленческие решения. Это достигается как повышением надежности моделируемых планов, более полно учитывающих приемлемые изменения параметров производственных процессов, так и выбором наилучшего планового решения.

Таким образом, применение систем имитационного моделирования при выработке управленческого решения может использоваться руководителями предприятия или лицами, принимающими решения, для тренировки навыков прогнозирования показателей деятельности организации при влиянии на нее различных факторов внешней и внутренней среды.

Развитие информационного обеспечения средств имитационного моделирования процессов управления деятельностью предприятия

В рамках данной статьи проведем обзор основных этапов развития информационного обеспечения средств имитационного моделирования процессов управления деятельностью предприятия. Для удобства восприятия представим информацию в табл. 1.

Таблица 1

Обзор поколений развития систем имитационного моделирования

Поколение	Годы	Программные средства и продукты	Краткая характеристика поколения
1	2	3	4
I поколение	Конец 40-х – 50-е гг. XX в.	–	Специальная программная поддержка моделирования отсутствовала. Программы разрабатывались на языках Algol и Fortran
II поколение	Конец 50-х – начало 70-х гг. XX в.	В начале 60-х гг. появились первые языки моделирования: SLAM, SIMULA, CSL, GPSS, SOL, SIMSCRIPT и др. Второе поколение языков моделирования (60-е гг. XX в): GPSS V, SIMULA 67, SIMSCRIPT II.5, GASP-IV и др.	Для описания процесса моделирования разработаны специальные алгоритмические конструкции, генераторы случайных чисел, средства представления результатов. Разработаны системы автоматизации моделирования (SIMULA), но они отличались сложностью для восприятия и требовали специальных знаний при применении
III поколение	70-е гг. XX в.	MODEL-6, ACSL, GEAR, DEMOS, CADSIM и др.	Разработаны средства комбинированного непрерывно-дискретного моделирования. Продолжают развиваться разработанные языки моделирования и средства поддержки моделирования, которые направлены на повышение эффективности процесса моделирования и его дальнейшее масштабирование

1	2	3	4
IV поколение	80-е гг. XX в.	SLAM II PC System Animation, PC Model SIMFACTORY, GPSS PC и др.	Разработаны системы имитационного моделирования, содержащие интерфейс непрограммирующего пользователя, входные и выходные анализаторы. Появилась возможность применять анимацию при построении моделей. Появление персональных ЭВМ с использованием средств графического интерфейса позволило визуализировать процесс моделирования
V поколение	90-е гг. XX в.	SIMPLEX II, SIMPLE ++ и др.	Характеризуются наличием графического интерфейса, созданием интегрированных сред для разработки и редактирования имитационных моделей, планирования экспериментов, управления процессом моделирования и анализа полученных результатов. Разработаны средства технологической поддержки процессов распределенного имитационного моделирования на мультипроцессорных ЭВМ и сетях
IV поколение	Конец 90-х гг. XX в. – по настоящее время	Arena, AutoMod, Anylogic, GPSS World, Simulink, NetLogo, Mimosа и др.	Разработаны интегрированные системы имитационного моделирования, в которых сочетаются технологии визуализации, проектирования и анализа полученных результатов, позволяющие автоматизировать процесс моделирования, начиная с постановки задачи, заканчивая анализом и представлением результатов

Необходимо отметить, что современные системы имитационного моделирования обладают широким спектром инструментов анализа и представления результатов. Реализована поддержка пользователей как в формате учебных пособий, так и в виде курсов и тренингов, онлайн-помощников. Указанные продукты построены на принципах открытой архитектуры, ис-

пользуют методы графического построения модели и методы программирования, но языки программирования в каждом программном продукте используются свои. Структура производственного процесса представлена в иерархической форме, что улучшает ее наглядность и восприятие. В имитационном моделировании широкое распространение получили методы анимации, начиная от классической анимации и визуализации модели, заканчивая 3D-моделированием и возможностью просмотра в режиме реального времени. Практически все системы имитационного моделирования базируются на использовании комплекса методов анализа данных, таких как метод Монте-Карло, сценарный анализ, анализ чувствительности и метод оптимизации.

Виды имитационного моделирования

На практике выделяют три основных подхода к процессу имитационного моделирования (рис. 1).

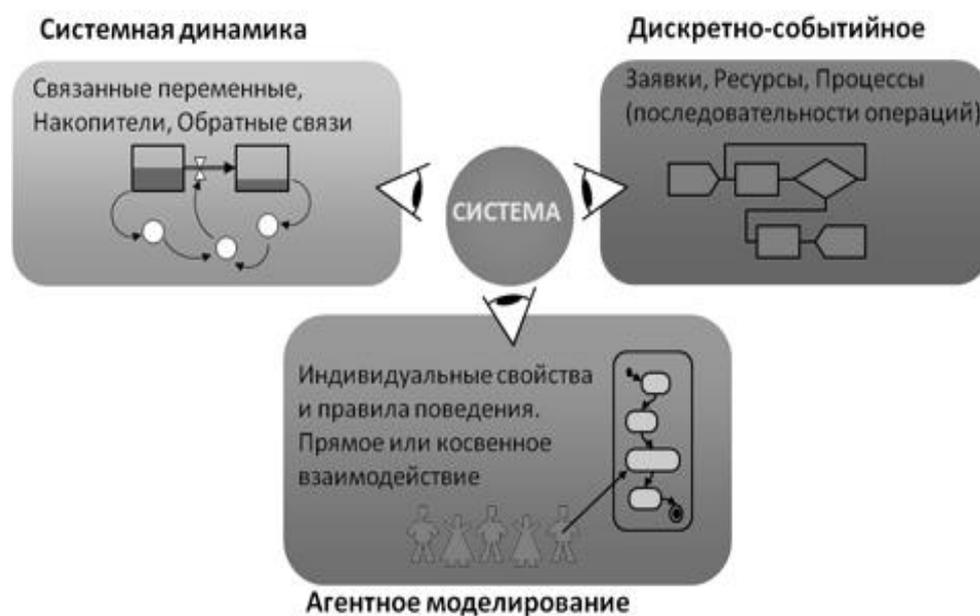


Рис. 1. Виды имитационного моделирования [1]

Рассмотрим их более подробно.

Дискретно-событийное моделирование предполагает наличие возможности описания бизнес-процессов как последовательности отдельных дискретных событий или дискретных операций. Чаще всего оно используется при моделировании систем обслуживания потоков объектов, например покупателей, клиентов банка, абонентских вызовов, поликлиническое обслуживание пациентов и т.д., т.е. систем массового обслуживания.

Основополагающим аспектом дискретно-событийного моделирования является концепция заявок, или транзактов, ресурсов и потоковых диаграмм, которые определяют потоки заявок и использование ресурсов. Автором этого подхода является Дж. Гордон, который, работая в IBM, в 60-х гг. XX в. при-

думал и реализовал GPSS. Заявки – это пассивные объекты, представляющие людей, детали, документы, задачи, сообщения и т.п. Они отражаются в потоковых диаграммах, изменяя свое состояние: стоя в очередях, обрабатываясь, захватывая и освобождая ресурсы, разделяясь, соединяясь и т.д. Дискретно-событийное моделирование имеет широчайшее применение – от логистики и систем массового обслуживания до транспортных и производственных систем.

Агентное моделирование ориентировано на обработку данных децентрализованной модели. Как правило, такая модель состоит из множества уникальных объектов, называемых агентами, и их окружения. Поведение агентной системы описывается опосредованно, через описание поведения каждого агента, которое удобно представляется с помощью карты состояний. Глобальное поведение агентной системы оценивается как результат взаимодействия всех агентов системы.

Для сложных систем, которые представлены большим количеством активных объектов, имеющих выраженные особенности поведения, агентное моделирование является наиболее удобным и универсальным инструментом, который позволяет учесть структуру и поведение любой сложности.

Существенным достоинством подобных моделей является возможность получения глобальных характеристик системы и построения ее имитационной модели даже в том случае, когда информация о зависимостях на глобальном уровне отсутствует. С использованием карты состояния агентов строится соответствующая агентная модель и разрабатывается прогноз ее глобального поведения в той или иной ситуации.

Системная динамика позволяет моделировать сложные системы на высоком уровне абстракции, не принимая в расчет такие мелкие характеристики, как частные свойства отдельных продуктов, событий или людей. Такие имитационные модели позволяют получить общее видение рассматриваемой системы и наилучшим образом подходят для процессов стратегического планирования. В качестве примера можно рассмотреть процесс разработки маркетинговой кампании торговым предприятием, которое может построить ее имитационную модель и проанализировать эффективность новых способов взаимодействия с клиентами и продвижения товаров, не моделируя поведение каждого клиента в отдельности. В данном случае глобальное поведение системы может быть описано с помощью причинно-следственных диаграмм, а взаимозависимости факторов модели строятся на основе циклов обратной связи. Достоинством метода является возможность создания имитационных моделей, не перегруженных лишними деталями, а также возможность использования глобальных взаимосвязей с заданием значений различных параметров и переменных в системе.

Практическая реализация динамической системы с дискретным вмешательством случая

Наличие современных инструментов обработки информации позволяет разрабатывать универсальные и эффективные системы программ моделирования сложных производственных процессов со случайной компонентой. По-

добные программы позволяют снизить нагрузку на клиента/пользователя при построении формализованной модели, так как имеют более обширный спектр возможностей. В области формализации сложных систем с учетом случайных факторов лучшим образом зарекомендовала себя динамическая система с дискретным вмешательством случая. Данная модель доведена до практической реализации в виде программного комплекса имитационного статистического моделирования SIMWEK 1.0 [2].

В основе программного комплекса лежит подход системной динамики Дж. Форрестера [3], который используется при моделировании производственной и сбытовой деятельности компаний. В процессе моделирования воспроизводятся информационные, материальные и финансовые потоки организации, а также структура взаимодействия ее подразделений. Возможен учет изменения состава работающих на предприятии. Результатом моделирования аналитической модели, отображающей процессы фирмы в статистике, обычно является производственная функция. В отличие от нее итогом моделирования SIMWEK 1.0 с учетом всех указанных параметров является подробная экономико-математическая модель организации в виде системы линейных и нелинейных (при соответствующей аппроксимации кусочно-линейных) разностных уравнений. В ней отражается структура организации, учитываются все задействованные параметры ее структурных подразделений. Варианты применения таких моделей можно определить следующим образом: построение автоматизированной системы адаптивного управления фирмой в условиях изменяющейся рыночной ситуации, анализ и выбор принимаемых решений для предпринимателей, оценка эффективности инвестиций, а также в бизнесе в качестве основы экспертных систем поддержки принятия решений.

Процессы в рассматриваемой модели описываются в виде системы алгебро-дифференциальных уравнений, при формировании которой используются следующие элементарные процессы:

- имитация процесса сборки из некоторого количества исходных деталей конечного изделия – процесс объединения;
- имитация процесса накопления запасов материалов, комплектующих, оборудования, денежных и других средств – процесс накопления;
- имитация технологических процессов изготовления и обработки отдельных компонентов изделия – процесс подготовки;
- имитация движения материальных и нематериальных потоков (финансовых, информационных и т.д.) – процесс передачи (транспортные коммуникации).

Программный комплекс SIMWEK 1.0 предназначен для построения имитационных моделей производственных систем по таким направлениям [4]:

- построение непрерывных динамических моделей на основе принципов системной динамики, предложенных Дж. Форрестером для моделирования производственной и сбытовой деятельности организаций. При этом воспроизводятся информационные, материальные и финансовые потоки организации, а также структура взаимодействия ее подразделений. Результатом моделирования является подробная экономико-математическая модель

фирмы в виде системы линейных и/или нелинейных (при соответствующей аппроксимации кусочно-линейных) разностных уравнений;

- разработка и построение вероятностных моделей, которые базируются на принципах статистической имитации методами Монте-Карло;

- разработка динамических моделей, основывающихся на принципах дискретно-событийного моделирования (Дж. Гордон, начало 60 гг. XX в). Основным объектом в этой системе является заявка на обслуживание или пассивный транзакт, который может некоторым образом представлять собой работников, детали, сырье, документы, сигналы и т.п. Передвигаясь по модели, транзакты становятся в очередь к одноканальным и многоканальным устройствам, захватывают и освобождают эти устройства, расщепляются, уничтожаются и т.д. Таким образом, дискретно-событийную модель можно представить как некую глобальную схему обслуживания заявок. В теории массового обслуживания рассматриваются аналитические результаты для большого количества частных случаев подобных моделей.

Разработанный программный комплекс SIMWEK 1.0 позволяет [4]:

- осуществлять ввод или изменение входной информации в диалоговом режиме с необходимыми подсказками, а также производить диагностику ее ошибок;

- рассчитывать значения показателей на элементах системы и визуализировать их в процессе исследования на экране в виде графиков и таблиц для дальнейшей обработки;

- осуществлять в процессе работы прерывания для изменения модели (например, изменение параметров элементов, величины источников, состояния дискретных элементов и др.), а также производить запоминание состояния модели, с которого можно продолжить расчет;

- визуализировать графическое изображение задействованных в модели переменных, полученных в результате произведенных расчетов;

- формировать результаты проведенного анализа в формате обобщающих показателей, таких как таблицы частотного распределения признаков, описательные статистики и др.;

- производить отдельную обработку отдельных блоков модели;

- выводить графические изображения и результаты анализа на устройства печати.

Процесс анализа и оценки преобразователей с помощью программного комплекса SIMWEK делится на следующие этапы [4]:

- 1) формирование теоретической модели преобразователя;
- 2) описание расчетных и функциональных схем, отображающих структуру объекта и особенности его функционирования;
- 3) подготовку и редактирование исходного описания модели на входном языке;
- 4) разработку и представление управляющей информации для каждой подсистемы;
- 5) отладку модели;
- 6) выполнение расчетов.

Наиболее важным и достаточно трудоемким этапом построения имитационной модели, который напрямую оказывает влияние на достоверность результатов исследования, можно назвать этап формирования модели преобразователя, разработки расчетных схем, определения корректной методики расчета параметров модели и их определения. Нужно отметить, что при его выполнении большое значение имеет интуиция и уровень знаний пользователя.

По итогам формирования расчетных схем и определения их параметров начинают подготовку и редактирование исходного описания модели на входном языке системы. Основные требования к составлению и редактированию исходного описания модели приведены ниже.

Здесь подготовительный этап работы завершается, и затем начинается процесс непосредственной работы по отладке модели, анализу и оценке преобразователя.

Отладка модели заключается в следующем:

- выявление ошибок в ее исходном описании, которые не поддаются идентификации системой контроля транслятора;
- оценка достоверности модели, т.е. корректности выбора расчетных схем и их ключевых параметров, правильности выбора данных, управляющих счетом, например шаг счета, интервал счета, величины, задающие точность счета.

В процессе отладки построенной модели используется некоторый типичный контрольный режим работы, осуществляется выполнение его расчета.

Программный комплекс SIMWEK апробирован на модели производственно-сбытового предприятия. Модель отображает процессы взаимодействия предприятия с заказчиками, производственные процессы, поставку сырья и материалов, динамику изменения численности рабочих, а также некоторые финансовые показатели. Сейчас мы рассматриваем в некоторой степени упрощенную программу, в модели которой не учтены подсистемы, связанные с учетом денежных средств, прибылей и расхода материалов, так как они не оказывают принципиального влияния на производственные процессы [4].

Рассматриваемая имитационная модель выполняет заказы по двум каналам: 1) отгрузки товаров со склада готовой продукции; 2) отгрузки товаров непосредственно с производства.

Представленная модель включает в себя следующие подсистемы, отображенные на рис. 2:

- первая подсистема предназначена для выполнения заказов клиентов за счет запасов и осуществления распределения части заказов на производство;
- функциями второй подсистемы является описание процесса оформления заказов на возмещение запасов на складе готовой продукции;
- третья подсистема предназначена для описания процесса производства по заказам клиентов и заказам на возмещение запасов;
- процесс оформления заказов на основные материалы описывает четвертая подсистема;

– пятая подсистема имеет целью описание процессов регулирования численности рабочих.

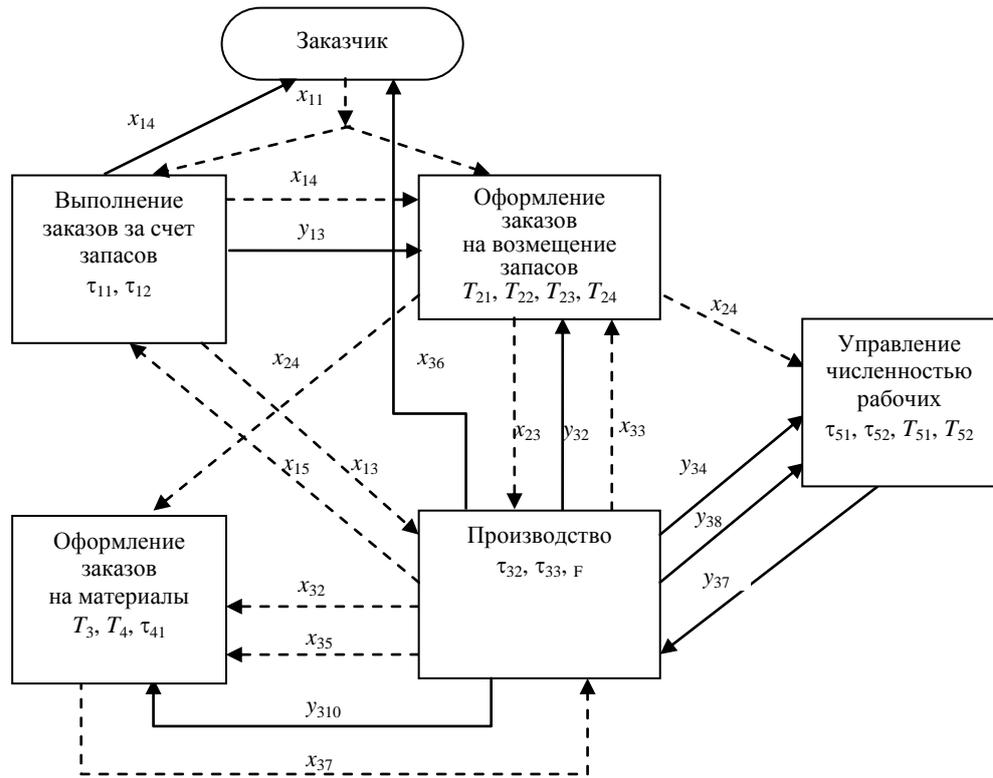


Рис. 2. Описание структуры модели производственно-сбытового предприятия

На приведенном рис. 2 стрелками отображены информационные и материальные потоки между задействованными подсистемами модели: x_{11} – поток заказов, поступающих на завод; x_{14} – отгрузка продукции из запасов завода; x_{24} – усредненный поток заказов заводу; x_{36} – отгрузка продукции по заказам покупателей; x_{15} – производство продукции для возмещения запасов; x_{13} – поток заказов, выполняемых производством; x_{23} – поток заказов производством на возмещение запасов; x_{32} – поток продукции по заказам покупателей; x_{33} – поток продукции на возмещение запасов; x_{35} – суммарный поток продукции, идущей в запас; x_{37} – поток материалов, поступающих на завод; y_{13} – фактический запас продукции; y_{32} – объем заказов на возмещение запасов в процессе производства; y_{37} – численность рабочих на заводе; y_{38} – численность рабочих, производящих избыточный запас продукции; y_{310} – запасы основных материалов.

На этом же рисунке отображены некоторые параметры имитационной модели: τ_{11} – запаздывание оформления требований на заводе; τ_{12} – запаздывание отгрузки продукции с завода; τ_{31} – нормальная продолжительность нахождения заказа в портфеле заказов; τ_{32} – минимальное время подготовки заказов к производству; τ_{33} – среднее время, необходимое для производства

продукции; τ_{41} – запаздывание поступления материалов на завод; τ_{51} – среднее время обучения персонала; τ_{52} – среднее время увольнения рабочих; F – производительность труда на заводе.

В процессе исследования в качестве параметров имитационной модели задаются постоянные времена T инерционных звеньев, которые отображают различные производственные операции.

Конечно, это далеко не единственный вариант имитационной модели рассматриваемой производственно-сбытовой системы. Структура модели, набор подсистем, заложенных в ее основу, определяются целями и задачами исследования, которые ставит перед собой пользователь, уровнем его компетентности, профессиональных знаний и опыта.

Перспективы развития систем имитационного моделирования

Ранее мы рассмотрели особенности формального описания и процесса исследования сложных объектов и систем, что позволило прийти к выводу о том, что в ходе имитационного моделирования и управления ими необходимо базироваться на подходах и принципах, которые лежат в основе современных технологий системного или комплексного моделирования. На практике, как показывает анализ, при решении актуальных проблем структурно-функционального синтеза облика гибридных интеллектуальных систем управления, желательны рассматриваемые технологии системного моделирования, которые традиционно связывают с количественными вычислениями, дополнять технологиями искусственного интеллекта, предназначенными для символической обработки информации. К таким интеллектуальным технологиям относятся [5]:

- технология мультиагентного моделирования, применение которой позволяет оценить управленческие решения и степень влияния положительных и негативных воздействий внешней среды на отдельные субъекты экономики и на макроэкономические показатели в целом;

- технология экспертных систем или систем, основанных на знаниях, которые аккумулируют знания экспертов в конкретных предметных областях и тиражируют их для получения консультаций менее квалифицированными пользователями;

- технология ассоциативной памяти, которая представляет собой физическую или компьютерную систему, действующую по принципу человеческой памяти по классическим законам ассоциаций;

- технология нечеткой логики, которая дает возможность улучшить количественное информационное обоснование любой системы, что обуславливает наличие аналитически определенных приоритетов для параметров модели, включенных в анализ, и повышает эффективность их использования;

- технология искусственных нейронных сетей, которая представляет собой некие вычислительные структуры, моделирующие простые биологические процессы, чаще всего отождествляемые с деятельностью человеческого мозга;

– технология когнитивного картирования, которая представляет собой графическое отображение имеющегося в сознании человека плана или стратегии сбора, переработки и хранения информации, является базой его представлений о прошлом, настоящем и будущем;

– технология операционного кодирования, которая обеспечивает базу для выбора когнитивных ориентаций, занимающих главное место в когнитивной структуре человека, т.е. представлений, которые он применяет в оценке различных событий;

– технология эволюционного моделирования, которая применяется при автоматизации решения самых разнообразных оптимизационных задач, а также при доработке и усовершенствовании искусственных систем посредством присвоения им параметров адаптивного поведения и самоорганизации.

Заключение

Несмотря на отмеченные недостатки, в настоящее время имитационное моделирование является основой для создания новых перспективных технологий управления и принятия решений в сфере бизнеса, а развитие вычислительной техники и программного обеспечения делает этот метод все более доступным для широкого круга специалистов-практиков. Перспективы развития систем имитационного моделирования весьма широки. Это удобный инструмент поддержки принятия управленческого решения, который с успехом может быть применен в любой сфере или отрасли народного хозяйства.

Таким образом, можно резюмировать, что имитационное моделирование позволяет учесть максимально возможное число факторов внешней среды для поддержки принятия управленческих решений и является одним из наиболее мощных средств анализа. Необходимость его применения в отечественной практике управления производственными процессами обусловлена особенностями российской экономики, характеризующейся зависимостью от внешнеэкономических факторов и высокой степенью неопределенности.

Результаты имитации могут быть дополнены вероятностным и статистическим анализом и в целом обеспечивают менеджера наиболее полной информацией о степени влияния ключевых факторов на ожидаемые результаты и возможных сценариях развития событий.

Библиографический список

1. Имитационное моделирование. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Шаранов, И. М. Программный комплекс имитационного моделирования SIMWEK-1.0 : свид. гос. рег. программы для ЭВМ № 20111613917 / И. М. Шаранов, Е. С. Петрова [Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам]. – Зарег. в Реестре программ для ЭВМ 22 июля 2011 г.
3. Соболев, И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболев. – М. : Наука, 1985.
4. Шаранов, И. М. Имитационное моделирование управленческих процессов в производственных системах / И. М. Шаранов, Е. С. Петрова // Вестник Волжского университета им. В. Н. Татищева. – 2011. – Вып. 18. – С. 5–10.
5. Плотников, А. М. Анализ современного состояния и тенденции развития имитационного моделирования в Российской Федерации (по материалам конференции

«Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД) / А. М. Плотников, Ю. И. Рыжиков, Б. В. Соколов, Р. М. Юсупов // Труды СПИИРАН. – СПб., 2013. – Вып. 2 (25). – С. 42–112.

Петрова Елена Сергеевна

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра статистики, эконометрики
и информационных технологий
в управлении,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет им. Н. П. Огарева
E-mail: elespetrova@mail.ru

Petrova Elena Sergeyevna

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of statistics,
econometrics and information
technologies in management,
National Research Mordovia State
University named after N. P. Ogarev

УДК 334.7: 001.891.57

Петрова, Е. С.

Имитационное моделирование бизнес-процессов предприятия: информационное обеспечение, современное состояние и перспективы развития / Е. С. Петрова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 75–87.

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА ФИНАНСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ БЮДЖЕТНЫХ И АВТОНОМНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Н. В. Свиридова, А. А. Акимов, Л. С. Зайцева

PROBLEMS IN THE ANALYSIS OF FINANCIAL STABILITY OF THE BUDGET AND AUTONOMOUS INSTITUTIONS

N. V. Sviridova, A. A. Akimov, L. S. Zaytseva

Аннотация. *Актуальность и цели.* В связи с принятием федеральных стандартов бухгалтерского учета для государственного сектора изменились требования к представлению информации в бухгалтерской отчетности государственных учреждений, а также с 2018 г. становится необходимостью проводить анализ их финансового положения и, соответственно, отдельного его этапа – анализа финансовой устойчивости. В связи с этим требуется решение проблем выбора и эффективной методики и организации его проведения на основе баланса – официальной формы бухгалтерской отчетности. Анализ финансовой устойчивости государственного учреждения призван обеспечить ее объективную оценку. Цель работы – выбрать методику проведения анализа финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений на основе данных официальной бухгалтерской (финансовой) отчетности и требований федеральных и международных стандартов финансовой отчетности для государственного сектора. *Материалы и методы.* Основой исследования стали методики коэффициентного анализа, а также экспертный метод при выборе пороговых значений относительных показателей. *Результаты.* В статье показано применение методики финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений, позволяющей решить проблему применения информационной базы, формируемой по требованиям федеральных стандартов. *Выводы.* Анализ финансовой устойчивости государственного учреждения призван обеспечить его объективную оценку, по результатам которой учредители и руководители могут принимать управленческие решения в целях экономического развития бюджетных и автономных учреждений.

Ключевые слова: финансовая устойчивость, коэффициенты, федеральные стандарты, международные стандарты финансовой отчетности, баланс, платежеспособность.

Abstract. *Background.* In connection with the adoption of federal accounting standards for the public sector, the requirements for the presentation of information in the accounting records of public institutions have changed, and since 2018 it becomes necessary to analyze their financial situation and, accordingly, its separate stage – the analysis of financial stability. In this regard, it is required as a solution to the problems of choice and effective methodology and organization of its conduct on the basis of a balance – the official form of accounting. An analysis of the financial sustainability of a public institution is designed to ensure its objective evaluation. The purpose of the work is to choose the methodology for analyzing the financial stability of budgetary and autonomous institutions on the basis of official accounting (financial) reporting data and the requirements of federal and international financial reporting standards for the public sector. *Materials and methods.* The basis of the study was the methods of coefficient analysis, as well as the expert method when choosing threshold values of relative indicators. *Results.* The article shows the appli-

cation of the methodology of financial stability of budgetary and autonomous institutions, which makes it possible to solve the problem of using the information base, formed according to the requirements of federal standards. Conclusions. An analysis of the financial sustainability of a public institution is designed to provide an objective assessment of it, as a result of which founders and managers can make management decisions for the economic development of budgetary and autonomous institutions.

Key words: financial stability, coefficients, federal standards, international financial reporting standards, balance sheet, solvency.

Введение

В условиях кризиса и нестабильности экономической ситуации большинству бюджетных и автономных учреждений необходимо выдерживать определенное соотношение источников финансирования в общей их совокупности – долей бюджетного финансирования (в частности, бюджетных субсидий на выполнение государственных заданий) и доходов от внебюджетных источников.

Но следует учитывать, что на финансовую устойчивость государственных учреждений влияют не только источники финансирования их деятельности, но и обеспечение их финансовой независимости.

Бюджетные и автономные учреждения являются некоммерческими организациями, функционирующими в сфере науки, образования, здравоохранения, культуры, социальной защиты, занятости населения, физической культуры и спорта, а также в иных сферах. Бюджетные и автономные учреждения отвечают по своим обязательствам в соответствии с законодательством. Следует отметить, что собственники имущества бюджетных и автономных учреждений не несут ответственности по их обязательствам.

В современной отечественной и зарубежной научной литературе проблемам определения финансовой устойчивости организаций посвящено много работ, но в настоящее время продолжается исследование вопросов анализа финансовой устойчивости как этапа анализа финансового положения учреждения в связи с применением ряда федеральных стандартов бухгалтерского учета и отчетности с 2018 г. и международных стандартов финансовой отчетности для государственного сектора. Можно констатировать, что методология российского учета в государственных учреждениях приближена к требованиям международных стандартов.

Методические проблемы определения финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений

В теории финансов понятие финансовой устойчивости применяется к коммерческим организациям и в большей степени рассматривается как обеспечение финансовой независимости и осуществление финансово-хозяйственной деятельности за счет собственных средств при сохранении платежеспособности, характеризующей возможности организации своевременно расплачиваться по своим обязательствам.

Следует отметить, что проблеме оценки финансовой устойчивости государственных учреждений в настоящее время уделяется недостаточно внима-

ния [1]. В процессе ведения финансово-хозяйственной деятельности государственных учреждений могут изменяться ее направления и в результате перед ними может встать проблема обеспечения и поддержания финансовой устойчивости.

Представляется, что финансовая устойчивость государственного учреждения является одной из важнейших характеристик оценки финансового положения бюджетных и автономных учреждений и является комплексным понятием, исходя из достижения основной цели их деятельности с учетом влияния внешних и внутренних факторов.

Финансовая устойчивость – одна из окончательных характеристик финансового положения учреждения и должна характеризоваться таким состоянием финансовых ресурсов, которое соответствует потребностям развития любого государственного учреждения.

Важную роль в устойчивости государственного учреждения играет главный учредитель и распорядитель бюджетных средств, который отвечает как за финансирование, так и за имущество этих учреждений в соответствии с действующим законодательством.

Можно констатировать тот факт, что государственные учреждения могут зарабатывать самостоятельно в части оказания платных услуг, которые являются существенным источником их финансирования. В этих условиях проведение анализа финансовой устойчивости, разработка адаптированной системы показателей становятся важнейшими задачами любого государственного учреждения.

Для разработки методических подходов к анализу финансовой устойчивости государственных учреждений необходимы исследования применяемых методик. В частности, для формирования системы показателей необходимо провести сравнение известных методик финансовой устойчивости организаций и учреждений. Так, в Методических рекомендациях по определению критериев изменения типа государственных учреждений (утверждены Распоряжением Правительства РФ от 7.09.2010 № 1505-р) приведены группы абсолютных и относительных показателей для оценки целесообразности принятия решения об изменении типа государственного учреждения, которые можно применять и в анализе финансовой устойчивости, в частности: наличие в текущем финансовом году просроченной кредиторской задолженности (оценивается положительно в случае отсутствия указанной задолженности) и доля профильных внебюджетных доходов, определяемая как отношение доходов от основной деятельности учреждения, полученных из внебюджетных источников, к объему финансового обеспечения учреждения за счет всех источников финансового обеспечения за отчетный финансовый год.

В настоящее время достаточно широко применяются методики анализа финансовой устойчивости для коммерческих организаций [2]. Для государственного учреждения, в силу специфики ведения бухгалтерского учета и формирования показателей бухгалтерской отчетности, применение данных методик должно осуществляться с определенными коррективами информационной базы. Следовательно, оценка финансовой устойчивости государ-

ственного учреждения требует корректировки методических подходов, используемых в традиционном анализе коммерческих организаций.

Приведенная система показателей может применяться для анализа финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений, при этом необходимо учитывать следующие особенности формирования задолженности. По своему экономическому содержанию представленная в балансе кредиторская задолженность перед учредителем означает обязательства, которые полностью обеспечены активами, закрепленными за учреждением на праве оперативного управления на длительный срок. Вместе с тем экономистами предлагается приравнивать к вкладу учредителей в уставный фонд (капитал), как в коммерческих организациях.

Независимость учреждения от внешних источников финансирования его текущей деятельности характеризуется такими показателями, как:

1. Коэффициент концентрации собственного капитала:

$$K_{\text{кск}} = \frac{\text{Средняя величина собственного капитала}}{\text{Средняя величина валюты баланса}} \quad (1)$$

При анализе финансовой устойчивости государственного учреждения под собственным капиталом целесообразно понимать финансирование в виде субсидии на финансовое обеспечение выполнения государственного (муниципального) задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) и средства от приносящей доход деятельности [3].

2. Коэффициент финансовой устойчивости:

$$K_{\text{уф}} = \frac{\text{Средняя величина собственного капитала и долгосрочных обязательств}}{\text{Средняя величина валюты баланса}} \quad (2)$$

3. Коэффициент финансового левериджа:

$$K_{\text{фл}} = \frac{\text{Средняя величина заемного капитала}}{\text{Средняя величина собственного капитала}} \quad (3)$$

Данный коэффициент показывает, какая часть деятельности финансируется за счет собственных средств, а какая – за счет привлеченных. Финансовые риски возрастают, если данный коэффициент превышает значение, равное единице.

Результатом финансовой устойчивости учреждения является его платежеспособность. Платежеспособность – это готовность учреждения погасить долги в случае одновременного предъявления требования о платежах со стороны всех кредиторов учреждения.

В классическом финансовом анализе рассчитывают три коэффициента (показатели платежеспособности):

- 1) текущей ликвидности:

$$K_{\text{тл}} = \frac{\text{Средняя величина финансовых активов}}{\text{Средняя величина краткосрочных обязательств}} \quad (4)$$

Пороговое значение – от 2.

Адаптируя данный метод для государственного учреждения, необходимо идентификацию обязательств проводить посредством выборки кратко-

срочных обязательств из раздела баланса, учитывая, что краткосрочные обязательства – это обязательства до одного года;

2) быстрой ликвидности:

$$K_{\text{бл}} = \text{Средняя величина дебиторской задолженности, денежных средств и их эквивалентов} / \text{Средняя величина краткосрочных обязательств.} \quad (5)$$

Пороговое значение – от 0,8;

3) абсолютной ликвидности:

$$K_{\text{ал}} = \text{Средняя величина денежных средств и их эквивалентов} / \text{Средняя величина краткосрочных обязательств.} \quad (6)$$

Пороговое значение – от 0,2.

Приведенные показатели платежеспособности имеют пороговые значения, но подобные ограничения могут не учитывать специфики государственного учреждения. В связи с этим и при оценке платежеспособности государственного учреждения необходимо учитывать факторы, влияющие на показатели финансово-хозяйственной деятельности учреждения.

В качестве информационной базы для проведения анализа финансовой устойчивости (на примере ГАУ ПО «Никольский лесхоз») были использованы баланс государственного (муниципального) учреждения (форма 0503730) и пояснительная записка к балансу учреждения (форма 0503760).

Для расчета эффективности деятельности государственного учреждения учитываются как средства учредителя, так и собственные средства учреждения, поскольку и те, и другие участвуют в приносящей доход деятельности. В соответствии с п. 36 стандарта информация об активах раскрывается в бухгалтерской (финансовой) отчетности в том случае, если учреждение их контролирует. Под контролем понимается возможность бюджетного учреждения:

– использовать актив с целью извлечения полезного потенциала или получения будущих экономических выгод;

– ограничивать доступ к полезному потенциалу и получение будущих экономических выгод.

В связи с этим методические разработки для проведения диагностики финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений отличаются от подходов, применяемых при анализе деятельности коммерческих организаций.

Невозможность банкротства автономного учреждения, как и всех прочих государственных (муниципальных) учреждений, закреплена в ст. 65 ГК РФ.

Согласно ч. 5 и 6 ст. 2 Закона № 174-ФЗ собственник имущества государственного автономного учреждения не несет ответственности по обязательствам учреждения, в свою очередь, последнее не отвечает по обязательствам собственника имущества.

Статус учреждения, хотя и защищает государственное автономное учреждение от банкротства, не исключает возникновения таких последствий, как обращение взыскания на заложенное имущество, судебные иски, блокировка счетов в связи с требованиями об оплате. В критических ситуациях

учредитель может пойти на выделение субсидии для погашения кредиторской задолженности для предотвращения указанных последствий.

Поскольку обязательства третьих лиц не могут быть покрыты за счет имущества собственника, считается, что в целях расчета финансовой устойчивости их учитывать нельзя.

Коэффициенты финансовой устойчивости требуют адаптации для проведения анализа финансового положения учреждений. Практически все основные средства закреплены за учреждением на праве оперативного управления, а принадлежат они учредителю на праве собственности.

Анализ динамики структуры и состава имущества применяется для определения уровня финансовой устойчивости и дает возможность установить размер абсолютного и относительного прироста или уменьшения всего имущества учреждения и отдельных его видов. Прирост (уменьшение) актива свидетельствует о расширении (сужении) деятельности учреждения.

При этом в структуре имущества учреждения выделяют две основные группы – нефинансовые и финансовые активы. В структуре пассива баланса государственного (муниципального) бюджетного и автономного учреждения, как и в структуре актива, выделены две основные группы – обязательства и финансовый результат.

В структуре имущества анализируемого государственного автономного учреждения наибольший удельный вес составляют основные средства (60,1 %) и произведенные активы (30,2 %). Финансирование на приобретение произведенных активов полностью осуществлялось за счет субсидий на выполнение государственного задания (рис. 1).

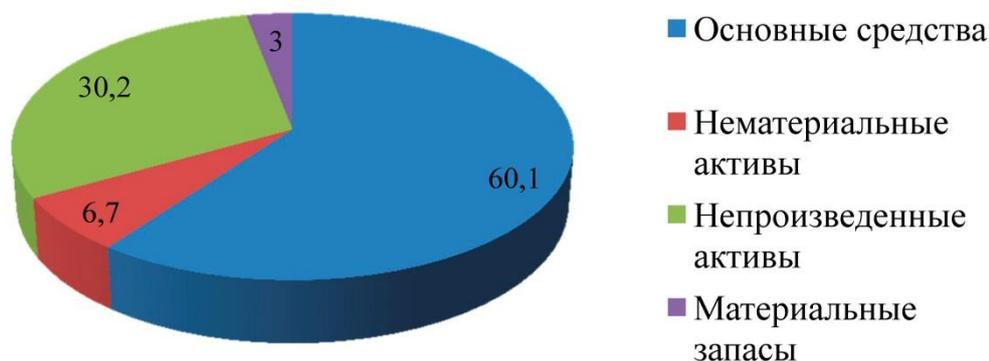


Рис. 1. Удельный вес нефинансовых активов за 2016 г.

В структуре источников формирования имущества государственного учреждения 89,4 % составляют обязательства перед учредителем по недвижимому и особо ценному движимому имуществу, закрепленному на праве оперативного управления. Доля собственных средств на конец отчетного периода (10,6 %), при этом обязательства перед кредиторами отсутствуют.

С позиции оценки финансовой устойчивости большое значение имеет определение обеспеченности основных средств и других внеоборотных активов, занимающих наибольший удельный вес в составе имущества учрежде-

ния, долгосрочными источниками финансирования – обязательствами перед учредителем и собственными средствами в виде полученного от операционной деятельности финансового результата, от начисленной амортизации и доходов будущих периодов (табл. 1).

Таблица 1

Обеспеченность основных средств и других внеоборотных активов
ГАУ ПО «Никольский лесхоз» долгосрочными источниками
финансирования за период 2014–2016 гг.

Показатель	2014 г.	2015 г.	2016 г.	Изменение 2014–2015	Изменение 2015–2016
1. Остаточная стоимость основных средств	10 282,2	10 364,7	9928,4	82,5	–436,3
2. Остаточная стоимость нематериальных активов	1303,5	1203,2	1102,9	–100,3	–100,3
3. Балансовая стоимость непроизведенных активов	–	4076,1	4994,9	4 076,1	918,8
4. Итого внеоборотных активов	11 585,7	15 644	16 026,2	4 058,3	382,2
5. Обязательства перед учредителем	13 207,1	17 861,1	14 775,9	4 654,0	–3085,2
6. Финансовый результат (собственные средства)	– 1129,2	–1719,1	1747,9	– 589,9	3467,0
7. Общая величина источников формирования внеоборотных активов (п. 6 + п. 7)	12 077,8	16 142,0	16 523,8	4 064,2	381,8
8. Коэффициент обеспеченности внеоборотных активов долгосрочными источниками финансирования, % (п. 7/п. 4)	104,2	103,2	103,1	–1	–0,1

На начало 2014 г. коэффициент обеспеченности основных средств и других внеоборотных активов у государственного учреждения составил 104,2 %. К концу отчетного периода недостаток в долгосрочных источниках финансирования снизился на 1,1 пункта, что неблагоприятно отражается на уровне финансовой устойчивости учреждения.

Перейдем к расчету коэффициентов финансовой устойчивости.

1. Коэффициент концентрации собственного капитала.

Коэффициент концентрации собственного капитала ГАУ ПО «Никольский лесхоз» в 2016 г. был равен

$$13\,988\,463,0 / 1\,747\,935,34 \cdot 100 \% = 8.$$

Пороговое значение $K(1) > 0,5$.

2. Коэффициент финансовой устойчивости.

Вследствие отсутствия долгосрочных обязательств у учреждения коэффициент финансовой устойчивости ГАУ ПО «Никольский лесхоз» также равен 8. Это говорит о высокой финансовой устойчивости учреждения.

3. Коэффициент финансового левериджа.

Коэффициент финансового левериджа (финансового рычага) дает представление о реальном соотношении собственных и заемных средств в учреждении. На основании данных о коэффициенте финансового левериджа можно судить об устойчивости экономического субъекта.

В ГАУ ПО «Никольский лесхоз» данный коэффициент рассчитать не представляется возможным из-за отсутствия кредиторской задолженности.

Для расчета эффективности деятельности ГАУ ПО «Никольский лесхоз» учитываются как средства учредителя, так и собственные средства учреждения, поскольку и те, и другие участвуют в приносящей доход деятельности. Что же касается оценки финансовой устойчивости автономного учреждения, ситуация здесь иная, нежели у коммерческих организаций, и заслуживает отдельного внимания.

Значимым аспектом анализа финансового состояния государственного учреждения является оценка его ликвидности, под которой следует понимать способность расплачиваться по своим обязательствам оборотными активами. Но проведение данного анализа невозможно при отсутствии кредиторской задолженности учреждения, как например в ГАУ ПО «Никольский лесхоз».

Проблемы применения информационной базы для определения финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений

Финансовая устойчивость бюджетных и автономных учреждений определяется на основе информационного обеспечения – бухгалтерской отчетности, поэтому важно раскрыть изменения и проблемы в связи с внедрением международных стандартов финансовой отчетности и федеральных стандартов бухгалтерского учета и отчетности для государственного сектора. Так, бухгалтерскую отчетность нужно будет формировать на основе новой концепции на основании утвержденного приказом Минфина России от 31 декабря 2016 г. № 256н федерального стандарта бухгалтерского учета о концептуальных основах бухгалтерского учета и отчетности для учреждений.

Вместе с тем в требованиях федерального стандарта «Представление бухгалтерской (финансовой) отчетности», утвержденного приказом Минфина от 31 декабря 2016 г. № 260н, одной из целей бухгалтерской (финансовой) отчетности представления информации, необходимой при принятии экономических решений пользователями бухгалтерской (финансовой) отчетности, является информация о финансовом положении субъекта отчетности и его изменениях, а также другой информации, необходимой для оценки результатов деятельности субъекта отчетности, в том числе в отношении издержек на ведение субъектом отчетности своей деятельности, эффективности такой деятельности, достигнутых результатов, соблюдения ограничений, предусмотренных бюджетным законодательством Российской Федерации.

В соответствии с п. 9 федерального стандарта бухгалтерского учета для организаций государственного сектора «Концептуальные основы бухгалтерского учета и отчетности организаций государственного сектора» информация о финансовом положении государственного учреждения (группы государственных учреждений) раскрывается в индивидуальной и консолидированной бухгалтерской (финансовой) отчетности. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема анализа финансово-хозяйственной деятельности бюджетных и автономных учреждений, в частности диагностики их финансовой устойчивости.

Информационной базой анализа финансовой устойчивости государственного учреждения (группы учреждений) является его индивидуальная или консолидированная бухгалтерская (финансовая) отчетность. Пункт 16 стандарта «Концептуальные основы бухгалтерского учета и отчетности организаций государственного сектора» предусматривает применение метода начисления при составлении бухгалтерской (финансовой) отчетности бюджетного учреждения.

Происходящие изменения в учете и отчетности бюджетных и автономных учреждений оказывают влияние на формирование показателей финансовой устойчивости и результаты анализа. Среди них можно привести следующие.

1. Изменение в показателе «Нефинансовые активы» баланса государственного (муниципального) учреждения:

– введение нового порядка учета на балансовых и забалансовых счетах: ряд объектов бухгалтерского учета (основные средства), ранее отражавшихся на забалансовых счетах, подлежат отражению в бухгалтерском учете на соответствующих балансовых счетах и, соответственно, в бухгалтерской отчетности;

– изменение кадастровой стоимости земельных участков, учитываемых в составе нефинансовых активов, в связи с изменением их кадастровой стоимости отражается в бухгалтерском учете финансового года, в котором произошли изменения, с отражением последних в бухгалтерской (финансовой) отчетности;

– включение стоимости ремонтов в первоначальную стоимость объектов основных средств;

– расчет остаточной стоимости основных средств с применением стандарта «Обесценение активов».

2. Отражение событий после отчетной даты, в частности, изменение после отчетной даты кадастровых оценок нефинансовых активов; принятие решения о реорганизации или ликвидации (упразднении) субъекта учета, о котором не было известно по состоянию на отчетную дату; существенное поступление или выбытие активов; изменение величины активов и (или) обязательств, произошедшее в результате изменения после отчетной даты курсов иностранных валют; начало судебного производства, связанного исключительно с событиями, произошедшими после отчетной даты, и др.

Таким образом, реформирование порядка бухгалтерской (финансовой) отчетности на основе утвержденных федеральных стандартов бухгалтерского учета для организаций государственного сектора, разработанных с учетом требований международных стандартов финансовой отчетности общественного сектора, существенно влияет на оценку финансовой устойчивости государственных учреждений.

Заключение

Информационная база бюджетного учреждения существенно отличается по содержанию ряда показателей бухгалтерского баланса от базы коммерческой организации. При этом следует отметить, что для улучшения финансовой устойчивости необходимо учитывать изменения в структуре имущества и источников, управлять ими с целью их оптимизации и применять методику анализа, адаптированную к показателям баланса государственного (муниципального) учреждения.

Подводя итог вышеизложенному, необходимо отметить, что современная организация бюджетного процесса, ориентированного на результат деятельности государственных учреждений, требует логики использования отчетной информации для последующего анализа не только эффективности их деятельности, но и финансовой устойчивости, что, в свою очередь, ведет к необходимости применения адаптированного аналитического инструментария к показателям, формируемым в соответствии с требованиями федеральных стандартов бухгалтерского учета и отчетности и международных стандартов финансовой отчетности для государственного сектора.

Библиографический список

1. Ендовицкий, Д. А. Комплексный анализ финансового состояния образовательной организации / Д. А. Ендовицкий, Т. А. Пожидаева // Экономический анализ: теория и практика. – 2014. – № 25. – С. 2–15.
2. Позднякова, В. С. Роль анализа бухгалтерской (финансовой) отчетности в системе управления учреждением / В. С. Позднякова // Консультант (Свердловская область). – 2015. – № 2. – URL: http://www.consultant-so.ru/news/show/category/journal/year/2015/month/02/alias/rol_analiza_buhg_finans_otchetnosti_v_sist_upravl_uchrezhdeniem
3. Филиппова, Л. В. Отчетность как индикатор эффективности бюджетного учреждения / Л. В. Филиппова // Новые технологии – 2015. – № 2. – С. 186–192.

Свиридова Нина Владимировна

доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой бухгалтерского
учета, налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: sviridovanv@rambler.ru

Sviridova Nina Vladimirovna

doctor of economic sciences, professor,
head of sub-department of accounting,
taxation and audit,
Penza State University

Акимов Андрей Александрович

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра бухгалтерского учета,
налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: andreiakimow@gmail.com

Akimov Andrey Alexandrovich

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of accounting,
taxation and audit,
Penza State University

Зайцева Лидия Сергеевна
магистрант,
Пензенский государственный
университет
E-mail: lidizay@mail.ru

Zaitseva Lydia Sergeyevna
master
Penza State University

УДК 336.6

Свиридова, Н. В.

Проблемы анализа финансовой устойчивости бюджетных и автономных учреждений / Н. В. Свиридова, А. А. Акимов, Л. С. Зайцева // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 88–98.

**МОНИТОРИНГ ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ
ОРГАНИЗАЦИЙ РАЗЛИЧНЫХ СФЕР
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Н. В. Свиридова, А. А. Акимов, Л. А. Осипова, К. В. Чуфистова

**MONITORING OF THE FINANCIAL CONDITION
OF ORGANIZATIONS IN VARIOUS SPHERES
OF ECONOMIC ACTIVITY**

N. V. Sviridova, A. A. Akimov, L. A. Osipova, K. V. Chufistova

Аннотация. Актуальность и цели. На современном этапе развитие бизнеса и потенциальных возможностей организаций различных сфер экономики, функционирующих на территории одного региона, федерального округа, должны отслеживаться на основании мониторинга финансового состояния организаций в группах или подгруппах, формируемых по объемам продаж продукции (выполнении работ, оказании услуг). В связи с этим требуется как решение проблем выбора и эффективной методологии и организации своевременного и регулярного мониторинга на основе официальной информации о финансовом состоянии организаций различных сфер экономической деятельности, так и оценка его влияния на развитие региона, пополнение бюджетов. Цель работы – создать информационную базу средних и крупных организаций различных сфер экономической деятельности на основе данных официальной бухгалтерской (финансовой) отчетности и результатов открытого рейтинга для проведения мониторинга на разных уровнях. *Материалы и методы.* Реализация цели исследования была достигнута посредством применения нормативных правовых актов, публикуемых рейтинговых методик, а также статистических данных по основным экономическим показателям развития регионов РФ. В качестве методов исследования в работе используются сравнительный анализ, метод группировки, контент-анализ. *Результаты.* В работе показано применение методологии построения открытого рейтинга финансового состояния организаций различных сфер экономической деятельности, позволяющей решить проблему сопоставимости показателей организаций и определить более точные их позиции. *Выводы.* Построение открытого рейтинга финансового состояния базируется на официальной бухгалтерской отчетности и проверяемой методике с неограниченным числом участников-организаций. При проведении мониторинга организаций разных сфер экономической деятельности, их сравнительной оценки также можно выявлять влияние финансового состояния организаций на экономическое развитие региона.

Ключевые слова: финансовое состояние, регион, субъект Российской Федерации, целевой рейтинг, открытый рейтинг.

Abstract. Background. At the current stage of the Russian economy, the development of business and potential opportunities for organizations in different economic sectors operating in the same region and the federal district should be monitored on the basis of monitoring the financial status of groups or subgroups of organizations. In this regard, the important problem is the problem of choosing and applying an effective methodology. Thus, timely and regular monitoring based on a rating analysis of the financial condition of

organizations is necessary to assess the impact on the development of the region, replenish budgets. The purpose of the work is to create an information base for medium and large organizations of various spheres of economic activity on the basis of official accounting (financial) reports and results of the open rating, as well as assess the impact of their potential on the economic development of regions and federal districts. *Materials and methods.* The goal of the research was achieved through the study of regulatory legal acts, published rating methods, as well as statistical data on the main economic indicators for the development of the regions of the Russian Federation. As methods of research, comparative analysis, grouping method, content analysis are used in the work. *Results.* The paper shows the application of the methodology for constructing an open rating of the financial condition of organizations in various spheres of economic activity, which makes it possible to solve the problem of comparability of the indicators of organizations and determine their more precise positions. *Conclusions.* An open financial rating can be used to monitor the organizations of different economic activities, to compare them, and to determine the impact of the financial condition of organizations on the economic development of the region.

Key words: financial condition, region, subject of the Russian Federation, target rating, open rating.

Введение

Основная цель проекта – создать информационную базу средних и крупных организаций различных сфер экономической деятельности на основе данных официальной бухгалтерской (финансовой) отчетности и результатов открытого рейтинга для заинтересованных пользователей на уровне регионов федеральных округов, межрегиональных сравнений.

Значимой группой пользователей являются региональные органы власти, принимающие решения по выработке экономической и финансовой политики, которым важно знать не только объем поступления налогов от организаций, но и их финансовое состояние: какие организации находятся в хорошем или отличном финансовом состоянии, а какие близки к банкротству.

Публикуемые открытые рейтинги крупных и средних организаций по сферам экономической деятельности, с одной стороны, будут формировать общедоступную информацию для всех заинтересованных пользователей, а с другой стороны, должны способствовать более точной оценке развития региональной экономики на основе выявления уровней финансового состояния организаций, функционирующих в различных сферах, и тем самым должны содействовать их росту, инвестиционной привлекательности.

Основой для построения открытых рейтингов является общедоступная бухгалтерская (финансовая) отчетность организаций различных видов экономической деятельности. Аналитические подразделения, формирующие рейтинг, могут проводить группировку в зависимости от целей заинтересованных пользователей.

В статье приведены примеры открытого рейтинга финансового состояния организаций по видам деятельности: 15.51 «Производство молочных продуктов и мороженого», 15.81 «Производство хлеба и мучных кондитерских изделий недлительного хранения», 15.82 «Производство сухих хлебобулочных изделий и мучных кондитерских изделий длительного хранения».

На уровне регионов необходимо формировать группы средних и крупных организаций, имеющих хороший потенциал финансового состояния и оказывающих влияние на развитие сфер деятельности и региона.

В кризисных экономических условиях важно применение открытых рейтингов финансового состояния организаций на основе доступной информации, результатом которого является наиболее точное определение места организаций внутри сфер деятельности, на уровне региона и федеральных округов. Кроме того, может обеспечиваться возможность использования полученных результатов для проведения мониторинга, планирования и прогнозирования показателей развития сфер экономической деятельности.

Организация проведения открытого рейтинга финансового состояния предприятий на различных уровнях

Позиция организаций чаще всего определяется с помощью применения основного инструментария сравнительного анализа – построенных рейтингов или ранжирований. Так как ранжирование это только ранжирование объектов, как правило, по убыванию какого-либо признака, показателя, характеристики, то представление аналитической информации в виде построенных рейтингов – приоритетный вариант.

Выделим задачи открытого рейтинга финансового состояния организаций на региональном уровне и уровне федеральных округов.

1. Выбор объектов сравнения в регионах, федеральных округах.
2. Получение официальных источников информации – данных бухгалтерской (финансовой) отчетности.
3. Выбор алгоритма построения открытого рейтинга, включая приведение информационной базы в сопоставимый вид и выбор информационных технологий.
4. Исследование экономических факторов, явлений, процессов, влияющих на финансовое состояние организаций в целях достижения взаимосвязи формирования факторных моделей и классификации показателей, используемых в них.
5. Применение системы критериальных показателей, имеющих пороговые значения и различающихся по сферам экономической деятельности.
6. Выявление тенденций и закономерностей в динамике финансового состояния организаций, а также влияния потенциала конкретных организаций на развитие экономики в регионах, федеральных округах.
7. Ранжирование организаций разных сфер экономической деятельности, обобщения, практические выводы для составления аналитического отчета.

Объекты исследования – крупные и средние организации разных сфер экономической деятельности.

Системный подход в рейтинговом анализе предполагает рассмотрение объекта исследования как совокупности организаций, объединенных по сферам деятельности для изучения общих закономерностей устойчивости каждой сферы деятельности; ранжирование организаций в результате построения целевых рейтингов по наиболее значимым показателям и сводных рейтингов, дающих обобщенную характеристику финансового состояния организаций на

основе исследуемых направлений деятельности; определение динамики их изменения по сравнению с другими периодами.

При проведении сравнительного анализа организаций, функционирующих в различных сферах экономической деятельности и отличающихся масштабами деятельности, должна быть решена основная проблема – это получение достоверных результатов сравнения, необходимых заинтересованным пользователям, и построение рейтингов на основе официальной информации (бухгалтерской отчетности) за отчетные периоды, дающей характеристику потенциала финансового состояния.

Главное в рейтинговом анализе финансового состояния организаций – системность: во-первых, нужно объединить рейтинговые индексы в итоговый показатель, в целом характеризующие финансовое состояние организации, во-вторых, рейтинговые показатели должны отражать окончательные характеристики финансового состояния при сопоставимости объемных показателей объектов исследования.

Целевые и сводные рейтинги финансового состояния организаций позволят оценить уровень платежеспособности организаций различных видов экономической деятельности и их инвестиционную привлекательность [2, с. 63]. С целью привлечения инвесторов необходимо включить целевые и сводные рейтинги финансового состояния в инвестиционные паспорта различных регионов России, что позволит лицам и организациям, заинтересованным в инвестировании в субъект РФ, выбрать оптимальный объект вложения средств. Результаты целевых и сводных рейтингов могут использоваться заинтересованными пользователями, в том числе региональными специализированными организациями по привлечению инвестиций и работе с инвесторами. Например, в Пензенской области для указанных целей создано АО «Корпорация развития Пензенской области».

Методика построения целевых и сводных рейтингов финансового состояния организаций

Соблюдение условий сопоставимости показателей организаций включает первичные группировки как по сферам экономической деятельности, так и по объемам продаж. Но прежде всего нужно определить граничные значения по объемному показателю при формировании групп средних и крупных организаций. В частности, при формировании первичной группировки средних организаций по объемам продаж и ее интервала можно применять предельные значения доходов, полученных от осуществления предпринимательской деятельности, утвержденных Постановлением Правительства РФ от 04.04.2016 № 265, от 800 млн руб. до 2 млрд руб.

При этом значения интервала группировки по объему продаж крупных организаций необходимо устанавливать экспертно, так как отсутствуют нормативные правовые акты, устанавливающие показатели дохода для крупных организаций.

Так, в приказе ФНС РФ от 16.05.07 № ММ-3-06/308@ (в ред. 26.10.2016) установлены показатели только к крупнейшим организациям, подлежащим налоговому администрированию на федеральном и региональ-

ном уровнях. В частности, на региональном уровне применяется предельное значение дохода, полученного от осуществления предпринимательской деятельности, как суммарный объем полученных доходов (Отчет о финансовых результатах годовой бухгалтерской отчетности, коды показателя 2110, 2310, 2320, 2340), который находится в пределах от 2 до 20 млрд руб. включительно.

Таким образом, можно констатировать, что группа крупных организаций в нормативных правовых актах не рассматривается, а сразу же осуществляется переход по объемному показателю от средних организаций к крупнейшим. Поэтому целесообразно в аналитических целях выделить интервалы объемных показателей для составления первичной группировки экспертно, соответственно, по крупным организациям доходы от 2 до 4 млрд руб., а по крупнейшим организациям – от 4 до 20 млрд руб.

При определении единых интервалов и уровней масштабов деятельности организаций в регионах, федеральных округах объемные значения можно использовать как граничные для группировки организаций в сравнительном анализе.

Данные объемные показатели достаточны для составления первичной группировки организаций различных сфер экономической деятельности, но следует отметить, что организации в группах «средние» и «крупные» могут быть одновременно несравнимы между собой, так как объемы продаж различаются в несколько раз, поэтому возникает необходимость в определении внутригрупповых интервалов и распределении организаций по подгруппам внутри групп средних и крупных организаций.

В дальнейшем при расчете показателей рейтинга для обеспечения сопоставимости данных целесообразно применять разные пороговые значения к показателям рейтинга в зависимости от сферы экономической деятельности.

Целевая направленность рейтингового анализа предполагает следующие принципиальные особенности его метода: системный и комплексный подход; ориентация на цели конкретных пользователей.

В рейтинговых методиках основным подходом должно быть не увеличение числа показателей, а установление более точных пороговых значений и выбор показателей, дающих окончательную характеристику финансовому состоянию организаций. Преимущества системы рейтингового анализа финансового состояния следующие:

- базовыми рейтингами являются целевые рейтинги, ориентированные на цели анализа заинтересованных пользователей, и в расчетах используется один рейтинговый индекс, дающий окончательную характеристику исследуемой области;

- сводные рейтинги включают три рейтинговых индекса с разной значимостью, один из индексов определен как основной с коэффициентом значимости, равным 50 %, существенно оказывающий влияние на итоговый рейтинговый индекс. Данный подход сведения к минимуму применяемых показателей с преобладанием приоритетного показателя в общей формуле решает проблемы точности расчета итогового результата и снижения риска ошибок в определении позиции каждой организации.

Система рейтингов, базирующихся на рейтинговых индексах, представлена на рис. 1.

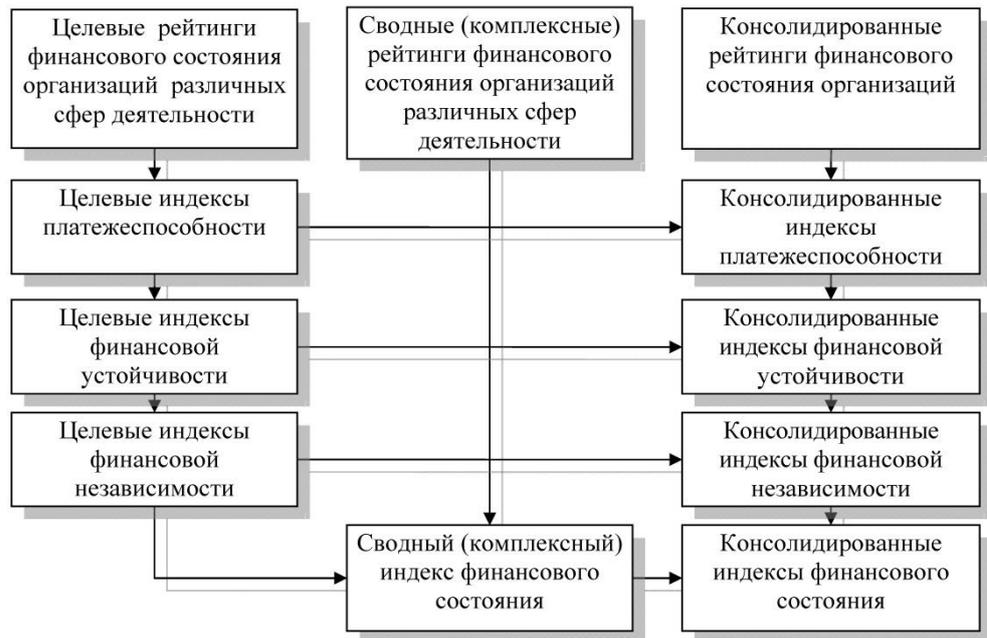


Рис. 1. Система и взаимосвязь рейтингов финансового состояния организаций

Приоритетным показателем может быть общий коэффициент покрытия или текущей ликвидности, который рассчитывается как отношение текущих активов к краткосрочным обязательствам. Очевидно, что чем выше значение коэффициента покрытия, тем лучше платежеспособность организации. При этом следует учитывать, что если значение этого коэффициента не достигает порогового значения (2–2,5), то это будет свидетельствовать о недостаточной степени платежеспособности организации.

Значение коэффициента покрытия дает характеристику платежным возможностям организации, но его фактическая величина может зависеть и от сферы экономической деятельности, в которой функционирует организация. Предполагается, что чем выше его значение, тем лучше финансовое состояние. Но завышенный коэффициент может свидетельствовать об отвлечении средств на различные виды оборотных активов.

Коэффициент покрытия или текущей ликвидности рассчитывается как отношение текущих активов к краткосрочным обязательствам.

В сравнительном анализе финансового состояния важно оценить финансовую устойчивость организации, способность маневрировать собственными оборотными средствами, достаточность финансовой обеспеченности непрерывного процесса ее деятельности, поэтому логично рассматривать в качестве промежуточного показателя коэффициент обеспеченности запасов собственными оборотными средствами (отношение собственных оборотных средств к величине запасов). Иными словами, это показатель того, в какой мере запасы покрыты собственными оборотными средствами.

Анализ финансовой устойчивости организаций, как правило, включает исследование сложившейся структуры капитала. При большой доле заемного капитала велик риск неплатежеспособности. Поэтому дополнительным показателем, включенным в эту группу, является коэффициент независимости, который определяется делением средней величины собственного капитала на среднюю величину валюты баланса.

Коэффициент независимости характеризует долю средств, вложенных собственниками в общую стоимость имущества организации. Считается, что если этот коэффициент больше порогового значения 0,5 или равен ему, то риск кредиторов минимален: реализовав половину имущества, сформированного за счет собственных средств, организация сможет погасить свои долговые обязательства.

Можно констатировать, что эти коэффициенты комплексно отражают финансовое состояние организаций, показывая степень обеспеченности запасов организации собственными оборотными средствами, платежеспособность, финансовую независимость.

Примеры целевых рейтингов платежеспособности, независимости организаций за 2014–2016 г. показаны на рис. 2–4. В выборке представлены организации с объемными показателями, которые сопоставимы и могут быть представлены в одной группе.

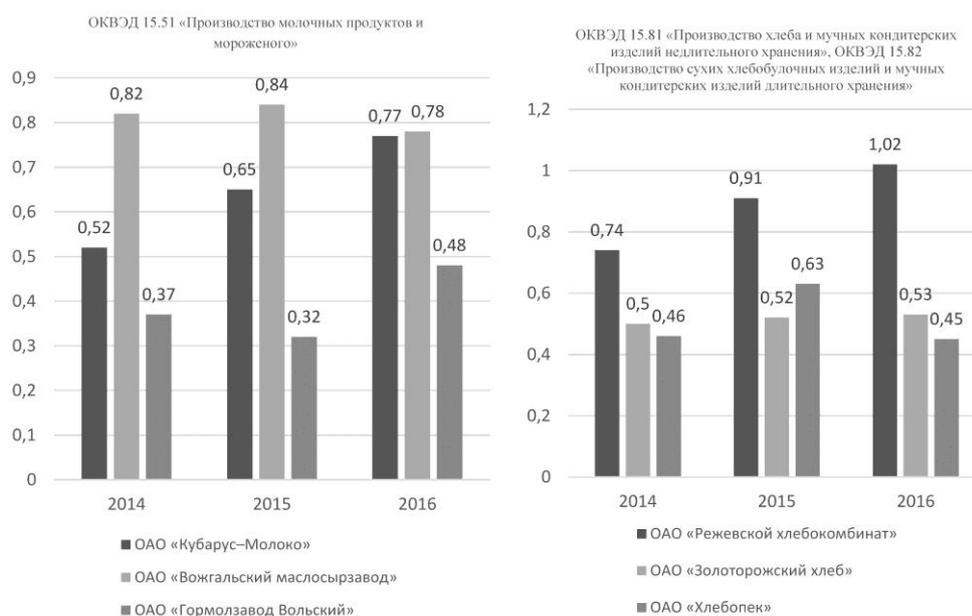


Рис. 2. Целевой индекс платежеспособности

За период с 2014 по 2016 г. у ОАО «Вожгальский маслосырзавод» наблюдаются стабильно высокие значения целевого индекса платежеспособности, что свидетельствует о способности организации своевременно погашать свои обязательства. В 2016 г. по сравнению с 2015 г. ОАО «Кубарус-Молоко» на 0,12 ед. улучшило свою рейтинговую позицию, что позволило

практически достигнуть показателя лидера – ОАО «Вожгальский маслосырзавод». Самые высокие показатели индекса платежеспособности (среди анализируемых организаций) наблюдаются у ОАО «Режецкий хлебокомбинат».

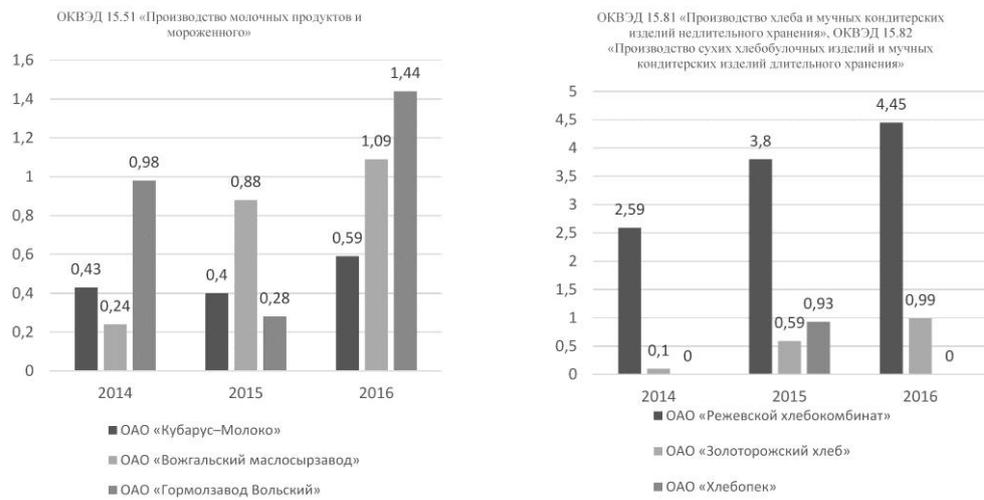


Рис. 3. Целевой индекс финансовой устойчивости

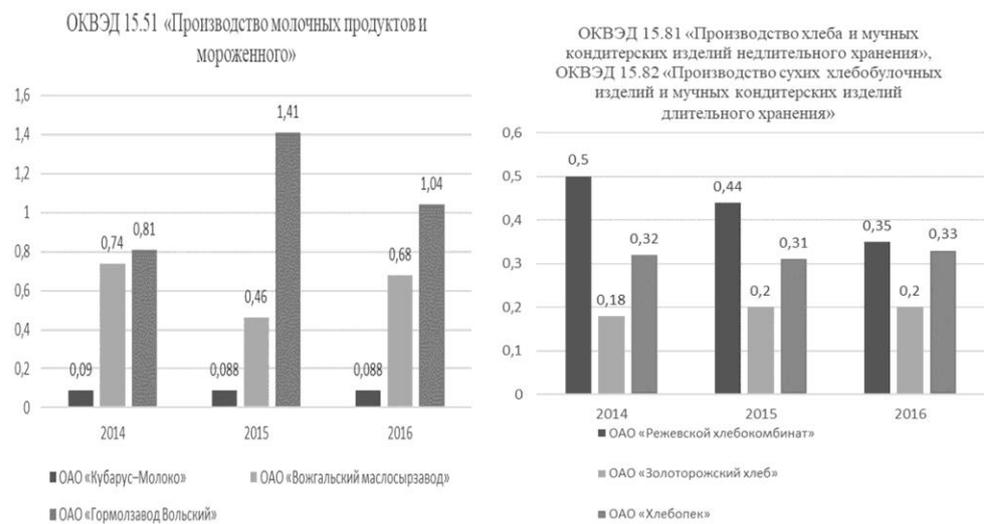


Рис. 4. Целевой индекс финансовой независимости

Значения целевого индекса финансовой устойчивости ОАО «Гормолзавод Вольский» и ОАО «Вожгальский маслосырзавод» характеризуются значительной изменчивостью, при этом в 2016 г. по сравнению с 2014 г. ОАО «Вожгальский маслосырзавод» в 4,5 раза улучшил свою рейтинговую позицию. Неудовлетворительные значения индекса финансовой устойчивости в 2014–2016 гг. наблюдаются у ОАО «Хлебопек».

За анализируемый период лучшие значения целевого индекса финансовой независимости наблюдаются у ОАО «Гормолзавод Вольский», что свидетельствует о достаточной высокой степени независимости от кредиторов.

Для составления общей формулы сводного рейтинга использованы показатели целевых рейтинговых индексов с разной значимостью [3, с. 28]. Гибкость сводного рейтинга достигается изменением значимости целевых индексов в зависимости от целей заинтересованных пользователей и приоритетном выстраивании показателей: основной, промежуточный и дополнительный [1].

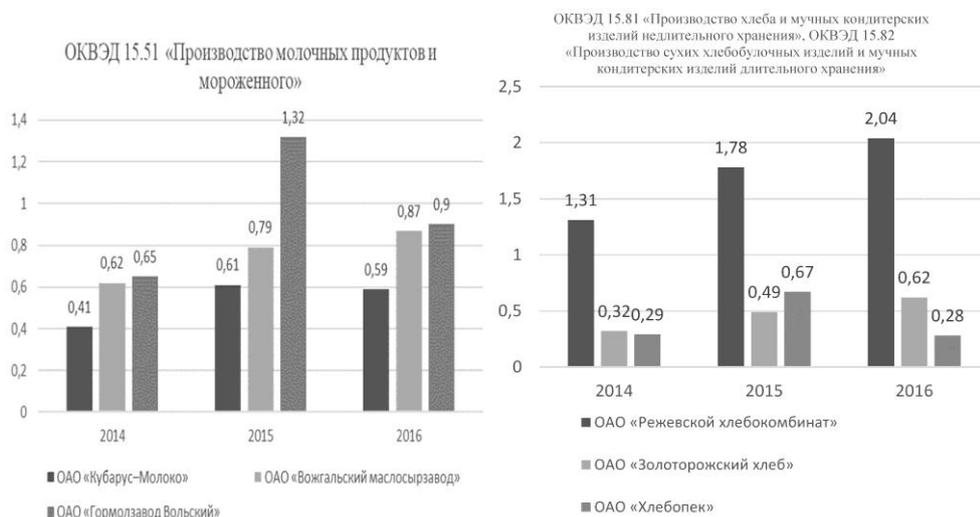


Рис. 5. Сводный индекс финансового состояния организаций

За период 2014–2016 гг. самые высокие значения сводного индекса финансового состояния наблюдаются у ОАО «Режевской хлебокомбинат», что свидетельствует о его конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности (рис. 5).

Проведение сравнительного анализа на всех уровнях позволит отслеживать фактическое финансовое состояние организаций и делать более точные прогнозы развития самих организаций с учетом собственной позиции в рейтинге, сфер деятельности и регионов.

При проведении мониторинга финансового состояния организаций разных сфер деятельности целесообразно проводить также и сравнительный анализ финансового состояния по аналитическим показателям угрозы банкротства с двух позиций:

1) отслеживать динамику объемов продаж товаров, продукции, работ, услуг в группах и подгруппах (их падение отрицательно отражается на финансовом состоянии);

2) выявлять факты, когда значения целевого индекса платежеспособности и сводного индекса финансового состояния находятся в последней («неудовлетворительная») или предпоследней («низкая») группах оценки отдельных сторон или в целом финансового состояния.

Динамика объемов продаж анализируется по их изменениям и колебаниям в подгруппах организаций.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что открытый рейтинг по каждой отдельно взятой группе организаций наглядно отражает реальную ситуацию в регионе и развитие сфер экономической деятельности, позволяет определить круг факторов, влияющих на финансовое состояние (табл. 1).

Таблица 1

Фрагмент группировки организаций по уровням платежеспособности
(по данным за 2016 г.)

Сфера деятельности (подкласс по ОКВЭД)	Наименование организации	Значение индекса платежеспособности	Место организации	Уровень и оценка платежеспособности
15.51 «Производство молочных продуктов и мороженого»	ОАО «Вожгальский маслозавод»	0,78	1	IY Не достигающая хорошего уровня
	ОАО «Кубарус–Молоко»	0,77	2	
	ОАО «Гормолокозавод Вольский»	0,48	3	YII Низкая
ОКВЭД 15.51 15.81 «Производство хлеба и мучных кондитерских изделий недлительного хранения» / ОКВЭД 15.82 «Производство сухих хлебобулочных изделий и мучных кондитерских изделий длительного хранения»	ОАО «Режевской хлебокомбинат»	1,02	1	I Отличная
	ОАО «Золоторожский хлеб»	0,53	2	YII Низкая
	ОАО «Хлебопек»	0,45	3	

Заключение

Оценка роли сравнительного анализа на микроуровне в управлении конкретной организацией имеет большое значение как с позиции решения задач повышения эффективности ее функционирования, улучшения финансового состояния, так и с позиции развития мониторинга.

Преимуществами методики построения открытого рейтинга являются анализ большого числа организаций с различными масштабами деятельности и достижение сопоставимости показателей при применении группировки по объему продаж.

Значение публикуемых открытых рейтингов может возрасти, так как итоговая оценка и определение места организации в регионе ориентированы на бизнес-сообщество с целью принятия ими обоснованных выводов о потенциале финансового состояния организаций и основывается на официальной отчетности.

Библиографический список

1. Свиридова, Н. В. Методология сравнительного анализа финансового состояния организаций : автореф. дис. ... д-ра экон. наук / Свиридова Н. В. – Саратов, 2009.
2. Свиридова, Н. В. Рейтинговый анализ в исследовании финансового состояния организаций / Н. В. Свиридова // Финансы. – 2007. – № 12. – С. 62–64.
3. Свиридова, Н. В. Система рейтингового анализа финансового состояния организаций / Н. В. Свиридова. – М. : Альфа-М, 2007. – 254 с.

Свиридова Нина Владимировна

доктор экономических наук, профессор,
заведующий кафедрой бухгалтерского
учета, налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: sviridovanv@rambler.ru

Sviridova Nina Vladimirovna

doctor of economic sciences, professor,
head of sub-department of accounting,
taxation and audit,
Penza State University

Акимов Андрей Александрович

кандидат экономических наук, доцент,
кафедра бухгалтерского учета,
налогообложения и аудита,
Пензенский государственный
университет
E-mail: andreiakimow@gmail.com

Akimov Andrey Alexandrovich

candidate of economic sciences,
associate professor,
sub-department of accounting,
taxation and audit,
Penza State University

Осипова Лилия Александровна

студентка,
Пензенский государственный
университет
E-mail: osipova-lili2508@yandex.ru

Osipova Lilia Alexandrovna

student,
Penza State University

Чуфистова Кристина Владиславовна

студентка,
Пензенский государственный
университет
E-mail: vlad_chu@mail.ru

Chufistova Kristina Vladislavovna

student,
Penza State University

УДК 336.6

Свиридова, Н. В.

Мониторинг финансового состояния организаций различных сфер экономической деятельности / Н. В. Свиридова, А. А. Акимов, Л. А. Осипова, К. В. Чуфистова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 99–109.

**РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ КАК ИНСТРУМЕНТ
ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ
ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Г. А. Солодимова, Н. Н. Мешалкина

**ACCOUNTING OF RISKS IN ACTIVITY
OF INDUSTRIAL COMPANY**

G. A. Solodimova, N. N. Meshalkina

Аннотация. Актуальность и цели. Рыночная среда, в которой действуют современные предприятия, носит вероятностный характер и отличается значительной степенью неопределенности. В настоящее время избежать риска в производственной деятельности практически невозможно. Руководители и собственники компаний все чаще приходят к пониманию необходимости учета и предвидения риска. Управление риском становится одним из ключевых конкурентных преимуществ предприятия. Цель исследования – анализ рискообразующих факторов промышленного предприятия и разработка процесса риск-менеджмента. *Материалы и методы.* Проведен анализ рисков промышленного предприятия, специализирующегося на разработке и выпуске продукции по государственному оборонному заказу. Рассмотрены методы оценки риска, позволяющие выявлять проблемные места и своевременно принимать управленческие решения по повышению эффективности деятельности предприятия. *Результаты.* Предложена методика анализа, оценки и мониторинга рисков промышленного предприятия, разработанная на основе метода анализа видов и последствий потенциальных дефектов. *Выводы.* Внедрение предложенной методики в функционирующую систему менеджмента качества предприятия позволит значительно повысить его конкурентоспособность и снизить издержки на обеспечение качества выпускаемой продукции.

Ключевые слова: конкурентоспособность, внешняя среда, внутренняя среда, риск-менеджмент, фактор риска, оценка риска, мониторинг риска.

Abstract. Background The market environment in which modern enterprises operate is of a probabilistic nature and differs to a considerable degree of uncertainty. At present, it is almost impossible to avoid risk in production activities. Leaders and owners of companies increasingly come to understand the need to take into account and anticipate the risk. Risk management becomes one of the key competitive advantages of the enterprise. The purpose of the study is to analyze the risk factors of the industrial enterprise and to develop the risk management process. *Materials and methods.* The work analyzes the risks of an industrial enterprise specializing in the development and production of products under the state defense order. The methods of risk assessment are considered, allowing to identify problem areas and make timely managerial decisions to improve the efficiency of the enterprise. *Results.* The methodology of analysis, assessment and monitoring of risks of an industrial enterprise, developed on the basis of a method for analyzing the types and consequences of potential defects, is proposed. *Conclusions.* The introduction of the proposed methodology into the functioning system of quality management of the enterprise will significantly increase its competitiveness and reduce the cost of ensuring the quality of the products.

Key words: competitiveness, external environment, internal environment, risk-management, risk factor, risk assessment, risk monitoring.

Введение

Деятельность любого предприятия, независимо от его формы собственности, неразрывно связана с понятием «риск»: банк, в котором предприятие держит свои денежные средства, может обанкротиться, деловой партнер, с которым заключена сделка, может оказаться недобросовестным, а сотрудник, принятый на работу, – некомпетентным. Не стоит забывать также о стихийных бедствиях, компьютерных вирусах, экономических кризисах и других явлениях, способных нанести урон предприятию. Сегодня отечественные предприятия подвержены рискам больше, чем, например, тридцать лет назад. Отчасти это связано с политической ситуацией в стране, развитием информационных технологий, глобализацией экономики. Чтобы сохранить свои позиции на рынке, не быть поглощенным крупными организациями и не стать банкротом, предприятие должно принимать меры для предотвращения угроз. Эффективным методом уменьшения влияния рисков может быть использование методов риск-менеджмента, под которым принято понимать выявление, оценку и расстановку приоритетов в области рисков с последующим проведением процедур, направленных на минимизацию их воздействия.

В настоящее время в России руководители большинства организаций традиционно считают риск-менеджмент специализированной и обоснованной деятельностью, которая касается управления страховыми и валютными рисками. Но с выходом в ноябре 2015 г. новой версии национального стандарта Российской Федерации ГОСТ Р ИСО 9001–2015 «Системы менеджмента качества. Требования» [1], принятого на основе международного стандарта ISO 9001:2015, вводится новый подход к риск-менеджменту, который заключается в применении риск-ориентированного мышления для всего состава служащих и менеджеров. Способность эффективно влиять на риски дает возможность успешно функционировать предприятию, иметь финансовую устойчивость, высокую конкурентоспособность и стабильную прибыльность.

Чтобы соответствовать требованиям новой версии стандарта, организациям необходимо планировать и осуществлять действия в ответ на риски и возможности. Согласно новой версии стандарта [1] организации должны будут систематически выявлять и эффективно устранять риски, которые могут повлиять на их способность поставлять соответствующие требованиям продукцию и услуги и удовлетворять потребности клиентов. В соответствии с новой версией стандарта организации должны будут идентифицировать риски и возможности, которые могут повлиять на результативность их системы менеджмента качества (СМК) или нарушить работу, а затем определять действия для уменьшения этих рисков и повышения возможностей. Также организации должны определить, как они собираются сделать эти действия частью своих процессов СМК и как они будут осуществлять контроль, оценку и анализ эффективности этих действий и процессов. Риск-менеджмент должен стать центральной частью стратегического управления предприятия, при

этом его основной задачей является идентификация рисков и управление ими (рис. 1).



Рис. 1. Схема процесса риск-менеджмента

При стратегическом планировании деятельности промышленного предприятия авторы предлагают руководствоваться следующими принципами:

- меры, принимаемые в отношении рисков, должны быть пропорциональны их возможному влиянию на соответствие продукции и услуг;
- варианты реагирования на риски могут включать избежание риска, допущение риска с тем, чтобы отследить возможности, устранение источника риска, изменение вероятности или последствий, разделение риска или сдерживание риска путем принятия решения, основанного на информации;
- возможности могут привести к принятию новых практик, запуску новой продукции, открытию новых рынков, появлению новых потребителей, построению партнерских отношений, использованию новых технологий и другим желаемых и реальных возможностей, чтобы учесть потребности организации или ее потребителей;

– установление для каждого опасного события действий по восстановлению деятельности предприятия, что способствует достижению целей;

– прогнозирование возможных неблагоприятных событий, позволяющее снизить их последствия, связанные с ними затраты, невыполнение графика работ и/или потери.

Риски бизнес-процессов могут быть идентифицированы как стратегические, проектные/тактические и операционные. Процесс управления рисками должен стать неотъемлемой частью как на стадии формирования концепции проектов, так и на всех стадиях фактической реализации конкретного проекта.

Анализ рисков промышленного предприятия

Объектом исследования в данной работе является деятельность промышленных предприятий, специализирующихся на разработке и выпуске продукции, изготавливаемой в рамках государственного оборонного заказа (предприятий, входящих в состав военно-промышленного комплекса – ВПК). Изменение формы собственности таких предприятий привело к снижению роли государства. Деятельность таких предприятий в последние годы сопряжена с наличием большого круга факторов риска и необходимостью принятия решений в условиях неопределенности, когда результат деятельности неизвестен заранее и носит вероятностный характер. Поэтому выявление зон рисков и их оценка позволит правильно оценить степень риска и выработать механизмы управления им.

Идентификация рисков представляет собой процесс выявления подверженности предприятия неизвестности, что предполагает наличие полной информации о предприятии, секторе рынка, социальном, культурном и политическом окружении предприятия, а также стратегии его развития и операционных процессах, включая информацию об угрозах и возможностях достижения поставленных целей. Для идентификации рисков необходимо выявить максимальное число рисков, которым подвержена организация во всех сферах деятельности, а также все возможные факторы изменений организации.

В табл. 1 приведены зоны и факторы риска, которым подвергаются российские предприятия ВПК. При этом под финансовыми рисками понимается риск, связанный с вероятностью потерь финансовых ресурсов (денежных средств). Под коммерческими рисками понимается риск, возникающий в процессе реализации товаров и услуг, производственных или купленных предпринимателем. Под производственными рисками понимаются форс-мажорные обстоятельства, возникшие во время производственного процесса, лабораторных исследований, разработок, реализации услуг в процессе обслуживания и транспортировки чего-либо. Под социальными рисками понимают процесс идентификации опасностей и оценки риска для предприятия. Анализ социального риска заключается в использовании всей доступной информации для идентификации (выявления) опасностей и оценки риска до наступления определенного события, обусловленного этими опасностями. Под рисками безопасности понимают систему обеспечения безопасности предприятия, обеспечивающую защиту деятельности предприятия от существующих либо прогнозируемых угроз.

Зоны и факторы риска

Зоны рисков	Факторы, приводящие к рискам
Финансовые	Недостаточный объем финансирования. Инвестиционный риск. Инфляционный риск. Снижение доходности. Рост цен на сырье и материалы. Упущенная финансовая выгода. Снижение оборачиваемости активов. Несвоевременная выплата аванса
Коммерческие	Колесания рыночной конъюнктуры. Невыполнение контрактных обязательств со стороны поставщиков, потребителей, партнеров. Несвоевременная закупка покупных и комплектующих изделий. Некорректный выбор поставщиков и соисполнителей. Поздние сроки заключения контракта
Производственные	Риск, связанный с изношенностью оборудования. Риск, связанный с отсутствием резерва производственных мощностей. Несвоевременный или некачественный ремонт оборудования. Внеплановые простои оборудования. Технологический риск. Недостаток квалифицированного персонала. Физическая нереализуемость требований технического задания. Низкое качество выполняемых работ. Сжатые сроки проведения работ
Экологические	Негативное воздействие деятельности предприятия на окружающую среду. Образование трудноликвидируемых отходов. Проявление стихийных сил природы
Безопасности	Нарушение условий охраны труда. Утрата коммерческой и технологической информации вследствие ее недостаточной защиты. Утрата имущества предприятия
Социальные	Социально-психологические конфликты в коллективе. Отсутствие необходимой мотивации персонала. Низкая корпоративная культура
Политические	Изменения законодательства в части налогообложения. Нестабильная ситуация в стране

Описание рисков служит основой для формирования «карты рисков» организации, которая дает взвешенную оценку рискам и расставляет приоритетность в отношении мероприятий по снижению степени риска. Карта риска позволяет выявить зоны бизнеса, подверженные тем или иным рискам, а также описать действующие методы контроля над рисками и определить необ-

ходимость внесения изменения по уменьшению, усилению контроля или пересмотру действующих механизмов. Формирование «карты рисков» позволяет определить зоны ответственности за рисками и распределить человеческие ресурсы соответствующим образом. Анализ рисков целесообразно проводить по подсистемам, совокупность которых может образовывать систему управления рисками. Общий вывод об уровне риска делается как на уровне подсистем, так и на уровне системы. Пример системы управления рисками предприятия приведен в табл. 2.

Таблица 2

Система управления рисками предприятия

Название	Функция	Цель
Подсистема планирования	Перспективное и оперативное планирование деятельности всех подсистем и предприятия в целом	Координация подсистем для обеспечения гарантии (приемлемого риска) выполнения: – плановых показателей, – требований контрактов
Подсистема сбыта	Заключение договоров на выполнение работ и организация работ в соответствии с условиями этих договоров	Координация между подсистемами и потребителем для предоставления потребителю гарантии (приемлемого риска) выполнения требований контрактов
Подсистема снабжения	Поставка материалов, комплектующих, оборудования и т.п.	Снабжение подсистем расходуемыми материалами для обеспечения гарантии (приемлемого риска) выполнения: – плановых показателей, – требований контрактов
Подсистема ресурсного обеспечения	Поставка энергоресурсов Обеспечение человеческими ресурсами	Снабжение подсистем энергоресурсами для обеспечения гарантии (приемлемого риска) выполнения: – плановых показателей, – требований контрактов. Обеспечение подразделений предприятий квалифицированными кадрами
Подсистема проектирования и разработки	Проектирование и разработка	Производство работ (услуг) для обеспечения гарантии (приемлемого риска) выполнения: – плановых показателей, – требований контрактов
Подсистема производства	Производство продукции	

Оценка риска

После того, как проведен анализ рисков, необходимо провести оценку рисков в соответствии с определенными критериями. Такие критерии могут включать в себя учетную политику, себестоимость продукции, социально-экономические вопросы, экологический аспект, ожидания акционеров и других заинтересованных лиц и т.д. Оценка риска необходима для принятия решения о значимости рисков для организации и их воздействия на нее, с тем чтобы определить мероприятия по управлению каждым конкретным риском. Оптимальным методом оценки риска, по мнению авторов, может быть метод анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA) [2, 3]. Метод FMEA был разработан в 50-х гг. XX в. и сначала применялся для авиационной и космической техники. С 80-х гг. FMEA широко применяется в автомобильной промышленности США, Европе и Японии.

Цель применения метода – изучение причин и механизмов возникновения несоответствий и предотвращение несоответствий (или максимальное снижение их негативных последствий), а следовательно, – повышение качества продукции и сокращение затрат на устранение несоответствий на последующих стадиях жизненного цикла продукции. Метод FMEA позволяет проанализировать потенциальные дефекты, их причины и последствия, оценить риски их появления и обнаружения на предприятии и принять меры для устранения или снижения вероятности и ущерба от их появления. Область применения метода FMEA охватывает все этапы жизненного цикла продукции и любые технологические или бизнес-процессы. Наибольший эффект дает применение данного метода на этапах разработки конструкции и бизнес-процессов.

Оценка риска должна проводиться силами специально подобранной многофункциональной команды экспертов, в состав которой могут входить как представители службы качества предприятия, так и ответственные за бизнес-процессы. Эффективность анализа напрямую зависит от профессионального уровня, практического опыта и согласованности действий специалистов. Исходя из оценки текущей ситуации, экспертная группа устанавливает балльные оценки:

- ранг (балл) значимости (S) – балльная оценка по шкале от 1 до 10 серьезности последствий несоответствия;
- ранг (балл) возникновения (O) – балльная оценка по шкале от 1 до 10 частоты возникновения причины несоответствия;
- ранг (балл) обнаружения (D) – балльная оценка по шкале от 1 до 10 способности существующих действий контроля обнаруживать потенциальные причины несоответствия.

Выбор значений показателей O , D , S производится с помощью табл. 3–5.

Таблица 3

Уровень возникновения

Оценка вероятности появления данного вида риска	Балл <i>O</i>
Очень высокая	10 9
Высокая	8 7
Умеренная	6 5
Относительно низкая	4 3
Низкая	2 1

Таблица 4

Уровень обнаружения

Оценка возможности обнаружения	Балл <i>D</i>
Метод отсутствует	10
Метод неэффективен	9
Плохие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	8
Очень ограниченные шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	7
Ограниченные шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	6
Умеренные шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	5
Умеренно хорошие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода данного вида	4
Высокие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	3
Очень высокие шансы обнаружения риска (угрозы) с помощью существующего метода	2
Метод почти наверняка позволит обнаружить данный вид риска (угрозы)	1

Таблица 5

Уровень значимости

Оценка значимости последствий данного вида риска	Балл <i>S</i>
1	2
Очень опасное	10
Опасное	9
Очень важное	8
Важное	7

1	2
Умеренное	6
Слабое	5
Очень слабое	4
Незначительное	3
Очень незначительное	2
Отсутствует	1

На основании выбранных показателей O , D , S производится расчет приоритетного числа риска (ПЧР) по формуле

$$\text{ПЧР} = ODS,$$

где O – вероятность возникновения; D – вероятность обнаружения; S – значимость.

Очевидно, что показатель ПЧР является обобщенной количественной характеристикой, учитывающей значимость и вероятности возникновения и обнаружения.

Исходя из величины ПЧР, экспертной группой принимается решение:

– если ПЧР меньше 40, то уровень данного вида риска низкий, в этом случае не требуется дополнительных мер;

– если ПЧР больше 40, но меньше 100, то уровень риска приемлемый, при этом возможно начать проработку предупреждающих действий по снижению риска;

– если ПЧР больше 100, то уровень риска высокий – в этом случае требуется незамедлительная разработка и принятие мер для снижения риска/угрозы.

Если для риска показатель ПЧР превысил число 100, экспертная группа определяет потенциальные причины такого уровня риска. Эти причины, в свою очередь, рассматриваются экспертной группой как нежелательные ситуации, и проводится оценка уровня возможности их появления с помощью показателей O , D , S и расчета ПЧР. В случае, если ПЧР для любой из причин превышает 100, экспертная группа формулирует предупреждающие действия, а затем оценивает уровень риска их невыполнения тем же способом. И так продолжается до тех пор, пока уровень риска не станет приемлемым и, следовательно, предупреждающие действия – результативными. Оценки всех рисков и угроз отражаются в «Протоколе оценки и анализа рисков и угроз» работником службы качества. Для рисков, ПЧР которых равно или больше 100 (неприемлемых рисков), работник службы качества ведет «Реестр неприемлемых рисков», меры для нейтрализации которых должны приниматься в первую очередь.

Управление рисками

Управление рисками представляет собой процесс выбора и применения методов изменения степени риска. В управление рисками входят такие мероприятия, как контроль риска, мероприятия по предупреждению риска, пере-

дача и финансирование риска и др. Управление рисками должно быть направлено на обеспечение следующих требований:

- надежность и эффективность работы организации;
- эффективность системы внутреннего контроля;
- соответствие законодательству.

Мероприятия по управлению рисками обеспечивают надежность и эффективность деятельности организации посредством определения тех рисков, которые требуют внимания руководства и определения приоритетов рисков с точки зрения целей организации. Эффективность системы внутреннего контроля определяется как степень снижения или предупреждения риска методами, предлагаемыми внутренним контролем. Эффективность системы внутреннего контроля оценивается путем сравнения расходов на мероприятия и ожидаемым положительным эффектом от снижения степени подверженности риску. Предлагаемые мероприятия внутреннего контроля должны быть оценены с точки зрения потенциального экономического эффекта, сравнивая ситуацию при отсутствии мероприятий с расходами на них, а также при необходимости дополнительной информации о риске с предположениями, которые имеются в распоряжении. В первую очередь необходимо определить расходы на мероприятия. Их подсчет должен быть весьма точным, так как это является основой оценки экономического эффекта от мероприятий. Необходимо также оценить размер возможного ущерба в случае неприменения мероприятий. Сравнение двух показателей дает возможность руководству организации принять решение в отношении конкретных мероприятий по управлению рисками. Действующая система внутреннего контроля должна быть направлена на соответствие законодательству, нормативам и требованиям.

Мониторинг должен обеспечить использование надлежащих методов внутреннего контроля, понимание и следование процедурам принятой программы управления рисками. Система постоянного мониторинга позволит:

- анализировать эффективность используемых мероприятий по изменению степени риска;
- обеспечить надлежащий уровень (достоверность) информации;
- накапливать необходимые знания (опыт) для последующих шагов (принятия решений) при анализе и оценке риска и, соответственно, методов и способов управления.

Различные уровни управления организацией требуют различной детализации информации о рисках.

Руководитель предприятия должен:

- знать наиболее важные риски организации;
- следить за соответствующим пониманием смысла и значения рисков для различных уровней в организации;
- знать антикризисную программу организации;
- понимать важность уверенности заинтересованных лиц в действиях организации;
- быть уверенным в эффективности системы управления рисками организации;

- быть готовым публично изложить информацию о политике организации в вопросах управления рисками, включая действующие в организации механизмы и зоны ответственности.

Руководитель структурного подразделения должен:

- четко знать риски, которые попадают в сферу непосредственной деятельности, понимать взаимосвязь с рисками других структурных единиц и эффект собственных действий на другие структурные единицы;

- иметь четкие индикаторы процесса, которые позволяют осуществлять постоянный мониторинг эффективности программы управления рисками;

- иметь систему обмена информацией о принятом бюджете, а также возможность вносить необходимые изменения в бюджет в установленных рамках в целях гибкости принятия решения по текущим вопросам управления рисками;

- систематично отчитываться перед руководством о работе в рамках выполнения программы управления рисками.

Каждый сотрудник организации должен:

- понимать свой вклад в общую программу управления рисками;

- понимать свой вклад в постоянное совершенствование системы управления рисками организации;

- понимать значение системы управления рисками для корпоративной культуры;

- своевременно докладывать своему непосредственному руководству о всех изменениях или отклонениях в программе управления рисками.

Большое значение на предприятии должно отводиться мониторингу рисков, который осуществляется в форме внутреннего аудита. Роль и значение внутреннего аудита могут различаться в организациях, но для обеспечения эффективного риск-менеджмента внутренний аудит должен:

- уделять внимание отдельным рискам в соответствии с общей программой управления рисками;

- проводить аудит системы управления рисками в организации в целом;

- осуществлять поддержку процесса риск-менеджмента в организации и активно в нем участвовать;

- содействовать процессу идентификации и анализа рисков, а также участвовать в процессе обучения персонала в вопросах управления рисками и системы внутреннего контроля;

- содействовать в подготовке и презентации отчетов для руководителя предприятия.

Определяя наиболее соответствующую форму вовлечения внутреннего аудита в процесс управления рисками организации, необходимо следовать принципам независимости и объективности.

Для управления рисками необходимо наличие ресурсов и их соответствующее распределение в организационной структуре. Функции сотрудников, вовлеченных в процесс управления рисками, должны быть четко определены и сформулированы. Кроме того, персоналу, занимающемуся вопросами аудита и мониторинга внутренней системы контроля, также должны быть

четко прописаны функциональные обязанности. Процесс риск-менеджмента должен быть интегрирован в организацию через стратегическое управление и бюджетный процесс. Вопросы риск-менеджмента должны быть учтены в общей программе обучения персонала, а также в вопросах операционного управления.

Эффективность управления рисками зависит от способов (методов) контроля и своевременного оповещения обо всех изменениях в программе управления рисками организации. Постоянный аудит как в самой системе управления рисками, так и в соответствии с принятыми стандартами, необходим для выявления вопросов, требующих дополнительного вмешательства.

Заключение

Несмотря на большое количество работ, посвященных проблемам риск-менеджмента, вопросы адекватной оценки риска и механизма его нейтрализации не теряют своей актуальности. Предложенный в работе метод анализа, оценки и управления рисками позволит выявлять проблемные места и своевременно принимать управленческие решения по повышению эффективности деятельности предприятия и его конкурентоспособности.

Библиографический список

1. ИСО 9001-2015. Система менеджмента качества. Требования.
2. FMEA-анализ видов и последствий потенциальных отказов [Крайслер Корп., Форд Мотор Компани, Дженерал Моторс Корп] : руководство. – 4-е изд. – 2008.
3. ГОСТ 27.310–95. Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения. – М. : Госстандарт, 2005.

Солодимова Галина Анатольевна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный
университет
E-mail: solodimova@mail.ru

Solodimova Galina Anatolyevna

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of information
and measurement technology
and metrology,
Penza State University

Мешалкина Наталья Николаевна

магистрант,
кафедра информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный
университет,
E-mail: natusik-94_09@mail.ru

Meshalkina Natalia Nikolayevna

graduate student,
sub-department of information
and measurement technology
and metrology,
Penza State University

УДК 330.131.7

Солодимова, Г. А.

Риск-менеджмент как инструмент повышения конкурентоспособности промышленного предприятия / Г. А. Солодимова, Н. Н. Мешалкина // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 110–121.

**РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ И РЕГИОНАЛЬНАЯ
ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ
СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ – АЛАНИЯ**

В. А. Хамикоев

**RESOURCE POTENTIAL AND REGIONAL
ECONOMIC MODEL OF REPUBLIC
NORTH OSSETIA – ALANYA**

V. A. Khamikoev

Аннотация. Актуальность и цели. Эффективность функционирования региональной экономики во многом зависит от использования ресурсного потенциала, который является главнейшим фактором, влияющим на конструкцию региональной экономики, определяющим уровень и перспективы ее развития. В прямой зависимости от эффективности функционирования той или иной модели находится и уровень жизни населения региона. Данная статья посвящена изучению влияния ресурсного потенциала Республики Северная Осетия (РСО) – Алания на конструкцию региональной экономической модели. Исходя из этого, целью нашей статьи является обоснование теоретических и практических аспектов формирования и функционирования региональной экономической модели РСО – Алания. *Материалы и методы.* В качестве информационной базы при написании статьи нами использованы: учебная литература, монографии, статьи, диссертационные исследования по указанной тематике. Изучение различных аспектов проблемы проводилось с использованием методов абстракции, моделирования, статистического, монографического. *Результаты.* В статье на основе исследования статистических данных дана оценка качественных и количественных параметров ресурсного потенциала РСО – Алания. На основании анализа сделан вывод о том, что региональная экономическая модель РСО – Алания не в полной мере учитывает наличие ресурсного потенциала республики, в первую очередь в аграрном секторе. Кроме этого, не в полной мере используются запасы строительных материалов, полезных ископаемых, в частности полиметаллических руд – цинка, свинца, меди, серебра, кадмия и висмута. *Выводы.* Региональную экономическую модель РСО – Алания можно отнести к группе аграрно-сырьевых моделей, ориентированных на использование в основном собственного ресурсного потенциала. Сформулирована необходимость формирования кластеров современных технологичных производств, обеспечивающих соединение усилий и действенное внедрение на взаимовыгодной базе имеющегося в республике потенциала промышленности, науки, малого и среднего бизнеса. Их основу могли бы составить предприятия по переработке минеральных ресурсов, сельскохозяйственные предприятия по производству и переработке продукции, курортно-санаторные учреждения и т.д. Формирование таких кластеров может происходить как за счет частно-государственного партнерства с привлечением целевых инвестиций, так и за счет налаживания межрегиональных интеграционных связей. Ориентированная на максимизацию производства добавленного продукта региональная экономическая модель позволит обеспечить бюджетную самодостаточность и перейти к бездефицитному бюджету.

Ключевые слова: ресурсный потенциал, региональная экономика, региональная экономическая модель, эффективность региональной экономики.

Abstract. Background. The effectiveness of the functioning of the regional economy largely depends on the use of the resource potential, which is the main factor affecting the design of the regional economy, determining the level and prospects for its development. In direct dependence on the effectiveness of this or that model, the standard of living of the population of the region is also found. Given the importance of the problem, this article is devoted to the disclosure of the influence of the resource potential of North Ossetia – Alania on the design of the regional economic model. Proceeding from this, the purpose of our article is to substantiate the theoretical and practical aspects of the formation and functioning of the regional economic model of RNO – Alania. **Materials and methods.** As an information base, when writing an article we used: educational literature, monographs, articles, dissertational research on the above topics. Studies of various aspects of the problem were carried out using abstraction, modeling, statistical, monographic and other methods. **Results.** In the article, based on the study of statistical data, the resource potential of North Ossetia-Alania is estimated. Based on the analysis, it was concluded that the regional economic model of RNO – Alania does not fully take into account the availability of the republic's resource potential, primarily the agrarian potential. In addition, resources of building materials, minerals, in particular, polymetallic ores: zinc, lead, copper, silver, cadmium and bismuth are not fully utilized. **Conclusions.** The regional economic model of RNO – Alania can be attributed to the group of agrarian and raw materials models oriented to the use of their own resource potential. It is necessary to form clusters of modern technological productions and ensure connection of efforts and effective introduction of the potential of industry, science, and small and medium-sized businesses in the mutually advantageous base. Their basis could be formed by enterprises for the processing of mineral resources, agricultural enterprises for the production and processing of products, resort and sanatorium institutions, etc. The formation of such clusters can occur both at the expense of private-state partnership, with the involvement of targeted investments, and through the establishment of interregional integration ties. A regional economic model aimed at maximizing the production of the added product, will ensure budget self-sufficiency, and move to a deficit-free budget.

Key words: resource potential, regional economy, regional economic model, efficiency of regional economy.

Введение

Ресурсный потенциал признан наиболее значимым фактором формирования региональной экономической модели. В его состав включают «материальные, финансовые, трудовые и природные ресурсы, вовлекаемые обществом в хозяйственный оборот» [1]. Каждый отдельно взятый ресурс в процессе его использования формирует производственный потенциал и необходимую для его освоения инфраструктуру. Таким образом, формирование элементов региональной модели и механизмов взаимодействия между ними в полной мере зависит от наличия ресурсного потенциала. Для целей управления ресурсный потенциал определяет отраслевую структуру [2] региональной экономики, которая является основой формирования организационной и производственной структуры.

Содержание и оценка ресурсного потенциала РСО – Алания

Основным составляющим ресурсного потенциала принято считать природные ресурсы. Природный потенциал региона – это «часть совокупности

природных ресурсов, которые при данном уровне экономического и технологического развития общества и места исследования могут быть использованы в хозяйственной и других видах деятельности человека в настоящем и в будущем» [3].

Экспертные оценки показывают, что климатические условия и природный ресурсный потенциал республики РСО – Алания разнообразны. Наиболее значимым удельным весом среди них обладают ресурсы строительных материалов, водные ресурсы, агроклиматические и рекреационные ресурсы. Из полезных ископаемых в недрах республики выявлены и уже много лет добываются полиметаллические руды – цинк, свинец, медь, серебро, кадмий, висмут. Для развития строительной индустрии присутствуют инертные строительные материалы – глина, песок, щебень, гравий. Обнаружены также запасы нефти, которые оцениваются примерно в 10 млн тонн. Наряду с этим республика располагает значительным энергетическим потенциалом, обусловленным наличием горных рек и рельефом местности, позволяющим при относительно небольших затратах получать дешевую электроэнергию.

Другим важнейшим природным ресурсом республики являются различные по составу минеральные источники. Они создают базу для развития курортно-оздоровительных комплексов и производства столовых и лечебно-столовых минеральных вод. Наиболее известны в республике и за ее пределами Нижне-Кармадонское, Верхне-Кармадонское, Гибское, Тамискское, Зарамагское, Коринское, Заманкульское, Редантское, Раздольненское месторождения. Их суммарный объем добычи оценивается в 17 183 куб. м/сут.

Выгодное географическое положение, уникальные природно-климатические условия, богатые природные ресурсы, историко-культурное наследие, крупные туристско-рекреационные зоны, разнообразная развлекательная инфраструктура, богатая театрально-концертная сфера, а также высокий образовательный и культурный уровень [4] населения создают уникальные условия для развития внутрироссийского и международного туризма.

Наиболее значимым источником благосостояния для населения республики являются земельные ресурсы (рис. 1). По данным Роснедвижимости, по состоянию на 2016 г. общая земельная площадь РСО – Алания составляет 798,7 тыс. га. Из общей площади земли сельскохозяйственного назначения составляют 418,7 тыс. га, в том числе пашня – 200,1 тыс. га, многолетние насаждения – 7,7 тыс. га, залежи – 0,5 тыс. га, сенокосы – 23,0 тыс. га и пастбища – 169,8 тыс. га. Земли лесного фонда составляют 177,4 тыс. га, воды – 11,5 тыс. га, дороги – 12,0 тыс. га, другие земли – 168,1 тыс. га.

Состав и структура земельных ресурсов благоприятны для развития отраслей животноводства, в частности скотоводства и овцеводства в предгорных и горных районах. В равнинной части качество земель и природно-климатические условия позволяют развивать зерновое производство, овощеводство, производство технических культур.

Эффективность использования природных ресурсов во многом определяется тем, в какой степени экономически активное население участвует в хозяйственных процессах. Для успешного экономического развития региона и обеспечения самодостаточности все имеющиеся на территории РСО – Ала-

ния ресурсы должны быть максимально переработаны в готовый продукт на месте. Такая региональная экономическая политика позволяет обеспечить максимальную занятость населения и за счет этого повысить его благосостояние.



Рис. 1. Распределение земель по видам угодий в РСО – Алания (данные на 01.01.2016) [5]

Судя по данным табл. 1 за период с 2005 по 2015 г., общая численность экономически активного населения существенно увеличилась с 2005 по 2010 г. – с 331,0 тыс. чел. до 378,5 тыс. чел. После этого наблюдается его постепенное снижение до уровня 329,0 тыс. чел. в 2015 г.

Таблица 1

Численность экономически активного населения по материалам выборочных обследований населения по проблемам занятости, тыс. чел. [6]

	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Экономически активное население – всего	331,0	378,5	358,0	352	345	340	329
в том числе:							
занятые в экономике	302	341,7	328,5	324	317	311	298
безработные.	29,0	36,8	29,5	28	28	29	31
Мужчины	156,5	181,0	174,7	173	168	170	168
в том числе:							
занятые в экономике	144,0	163,3	159,4	160	158	158	153
безработные.	12,5	17,7	15,3	13	11	12	15
Женщины	174,5	197,5	183,3	179	177	170	161
в том числе:							
занятые в экономике	158,0	178,4	169,1	164	160	153	145
безработные	16,5	19,1	14,2	15	17	17	16

Аналогичные тенденции наблюдаются по уровню их занятости. Незначительное сокращение к 2015 г. занятых в экономике мужчин и женщин говорит о недостаточной активности проводимой экономической политики, соответственно, о неэффективном использовании ресурсного потенциала. Общеизвестно, что для того чтобы эти ресурсы приносили пользу региону на протяжении многих лет, необходимо рационально управлять природопользованием, используя инструменты экономического и административного регулирования, с максимальным использованием собственного трудового потенциала.

Наиболее эффективным инструментом создания эффективной системы управления на уровне региона является региональная экономическая модель как «формализованное описание экономического процесса или явления, структура которого определяется как его объективными свойствами, так и субъективным целевым характером исследования» [7].

При моделировании региональной экономической системы в составе ресурсного потенциала, на наш взгляд, следует выделять:

- природный ресурсный потенциал;
- трудовой потенциал;
- земельные ресурсы.

Этими видами ресурсов может обладать регион (его субъекты) на правах собственности, кроме этого, те же виды ресурсов могут поступать на территорию региона в качестве межрегиональных и международных обменов. Таким образом, совокупный ресурсный потенциал региона формируется из внутренних и внешних источников.

Кроме этого, при разработке и реализации долгосрочных стратегических планов регионов следует подразделять природные ресурсы как потенциальные запасы и объемы их добычи. При этом освоение природных ресурсов должно быть увязано с соблюдением строжайших экологических норм, не допускающих вредных воздействий на окружающую среду.

Оценка эффективности использования ресурсного потенциала РСО – Алания

Экономическая эффективность использования ресурсного потенциала РСО – Алания характеризуется системой социально-экономических показателей, представленных в табл. 2. Они наглядно показывают, что на протяжении исследуемого периода значительных изменений по всем показателям не наблюдается. В целом это говорит о стагнации экономики. Об этом свидетельствует незначительное сокращение населения, в том числе по причине недостаточности уровня доходов, среднедушевой уровень которых составил в 2015 г. 21 889,1 руб. в месяц, причем даже такой незначительный уровень доходов достигается в основном от прочих видов доходов, которые в систему статистического учета не подпадают.

Таблица 2

Основные социально-экономические показатели РСО – Алания* [8]

Годы	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Численность населения (на конец года), человек	704 351	706 896	712 481	709 032	706 123	703 977	705 270	703 745
Среднедушевые денежные доходы населения, руб. в месяц	1472,8	4668,8	13192,9	13757,0	16164,9	17788,1	19819,5	21889,1
Среднедушевые денежные расходы населения, руб. в месяц	1259,5	3815,9	10298,9	12166,2	13931,3	15428,0	17164,4	19420,0
Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата работников организаций, руб.	1166,7	4722,3	11817,6	13376,0	15896,7	18664,0	20310,6	21266,6
Средний размер назначенных пенсий (2000 г. – с учетом компенсации), руб.	760,4	2338,6	6873,1	7460,5	8246,1	9002,7	9739,3	10771,8
Валовой региональный продукт: всего, млн руб.	8363,2	31182,2	75327,4	85876,7	97448,8	118637,5	126827,2	127543,9
на душу населения, руб.	11 965	44 127	105 782	120 824	137 722	168 268	179 993	181236,0
Объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами по видам экономической деятельности, млн руб.: добыча полезных ископаемых	...	145	307	326	358	433	547	444

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Обрабатывающие производства	...	14 035	15 315	15 522	15 564	16 639	16 561	20 077
производство и распределение электроэнергии, газа и воды	...	2593	4817	7129	6555	7074	7556	5999
Продукция сельского хозяйства, млн руб.	2728,5	7639,3	17801,4	21464,0	23448,4	25876,5	25719,3	25767,0
в том числе: продукция растениеводства	1069,9	2792,4	6902,8	8348,7	8007,4	9579,6	7905,9	8208,3
продукция животноводства	1658,6	4846,9	10898,6	13115,3	15441,0	16296,9	17813,4	17558,7

П р и м е ч а н и е. * Данные в стоимостном выражении приведены в фактически действовавших ценах, в масштабе цен, действующем с 1 января 1998 г.

Примерно на одном уровне сохраняется производство валового регионального продукта, который в 2015 г. составил 127 543,9 млн руб. Но даже такое незначительное увеличение можно объяснить инфляцией, влияние которой при расчете может перекрыть сумму роста. Основными составляющими производства товаров и услуг являются сельское хозяйство – 25 767,0 млн руб. и обрабатывающие производства, связанные с обработкой в основном сельскохозяйственной продукции, их объем составляет 20 077 млн руб.

Такое состояние секторов реальной экономики не может обеспечить бюджетной самодостаточности региона. Как показывают данные табл. 3, расходы консолидированного бюджета систематически превышают доходы. На фоне отрицательного сальдированного финансового результата – 44,3 млн руб. – в 2015 г. сумма дефицита бюджета составила 846,1 млн руб. Пассивная экономическая политика со стороны руководства республики не позволяет привлечь достаточные инвестиции для придания импульса роста экономики. Так, сумма инвестиций в основной капитал в 2015 г. по сравнению с 2014 г. сократилась почти на 5 млрд руб. и составила в 2015 г. всего 26 091,6 млн руб.

Таблица 3

Показатели исполнения бюджета РСО – Алания

Годы	2000	2005	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Доходы консолидированного бюджета, млн руб.	2598,8	10626,6	17787,4	19860,6	22601,0	24351,0	25276,2	24852,1

Окончание табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
в процентах к валовому региональному продукту	25,8	34,1	23,8	24,3	23,2	20,5	19,9	19,5
Расходы консолидированного бюджета, млн руб.	2582,5	11029,4	19789,7	21228,8	21905,5	26321,9	27051,8	25698,2
в процентах к валовому региональному продукту	25,7	35,4	26,4	24,9	22,5	22,2	21,3	20,15
Профицит, дефицит (–) консолидированного бюджета, млн руб.	16,3	–402,8	–2002,3	–1368,1	695,6	–1970,9	–1775,6	–846,1
в процентах к валовому региональному продукту	0,2	–1,2	–2,7	–1,7	0,7	–1,7	–1,4	–0,66
Сальдированный финансовый результат (прибыль минус убыток) в экономике, млн руб.	244,0	–743,8	–996,9	–3229,6	–2498,6	–1128,1	–1832,4	–44,3
Инвестиции в основной капитал, млн руб.	1655,8	5958,5	16203,9	19926,6	21851,1	28808,0	31000,9	26091,6

Таким образом, на основании анализа можно сделать вывод о том, что региональную экономическую модель РСО – Алания можно отнести к группе аграрно-сырьевых моделей, ориентированную на использование в основном собственного ресурсного потенциала.

Заключение

В создавшейся ситуации нельзя не поддержать идею формирования «кластеров современных технологичных производств, обеспечивающих соединение усилий и действенное внедрение на взаимовыгодной базе имеюще-

гося в республике потенциала промышленности, науки, малого и среднего бизнеса» [9]. В состав таких кластеров могли бы войти предприятия по переработке минеральных ресурсов, сельскохозяйственные предприятия по производству и переработке продукции, курортно-санаторные учреждения и т.д.

С организационной точки зрения кластер представляет собой «сконцентрированную группу взаимосвязанных и взаимодополняющих друг друга хозяйствующих субъектов, находящихся в отношениях функциональной зависимости в процессе производства и реализации продукции» [10]. Из всех предложенных в Стратегии развития РСО – Алания кластеров [11] в соответствии с Постановлением Правительства Республики Северная Осетия – Алания от 12 декабря 2014 г. № 457 «Об утверждении стратегии инвестиционного развития Республики Северная Осетия – Алания до 2025 года» [12] к наиболее важным как для республики, так и для страны в целом можно отнести энергетический, туристический и агропромышленный кластеры. Несмотря на то, что потенциал энергетического, туристического и промышленного кластеров по прибыли считается выше, в то же время агропромышленный потенциал можно считать более важным, так как он охватывает более широкие слои незанятого населения. Этим определяется более высокая социальная значимость данного проекта. К сожалению, на данный момент времени проект будущей организационной структуры агропромышленного кластера РСО – Алания находится на стадии разработки. Показатели ресурсного потенциала республики ориентируют на то, что его системообразующими предприятиями должны стать предприятия по переработке зерна, мяса и молока. Кроме этого, на базе Горского аграрного университета с привлечением его специалистов могли бы развиваться кооперативные племенные и селекционные хозяйства. Такие кооперативные предприятия на территории республики более чем успешно функционировали вплоть до 1990-х гг.

Формирование такого кластера может происходить как за счет частно-государственного партнерства с привлечением целевых инвестиций, так и за счет налаживания межрегиональных интеграционных связей. Географическое местоположение и ресурсный потенциал позволяют республике стать региональным «интеграционным полем» [13].

Ориентированные на максимизацию производства добавленного продукта данные мероприятия обеспечили бы бюджетную самодостаточность и позволили перейти к бездефицитному бюджету.

Библиографический список

1. Румянцев, А. М. Экономическая энциклопедия. Политическая экономия / А. М. Румянцев и др. – М. : Сов. энциклопедия, 1979. – Т. 3. – С. 495.
2. Кумехов, К. К. Концепция отраслевой структуры в современной теории экономики / К. К. Кумехов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2014. – № 43 (280). – С. 38–49.
3. Дзасохов, Р. А. Природно-ресурсный потенциал РСО – А / Р. А. Дзасохов, Б. М. Бероев // Вестник регионального отделения русского географического общества в республике Северная Осетия – Алания. – 2011. – № 14. – С. 33–36.
4. Гуцаева, А. Б. Потенциал Республики Северная Осетия – Алания для формирования конкурентоспособного туристско-рекреационного комплекса в рамках Севе-

ро-Кавказского федерального округа / А. Б. Гуцаева // Молодой ученый. – 2013. – № 6. – С. 797–799.

5. Анализ состояния использования земель в РСО–Алания. – URL: <https://cyberpedia.su/6x7f44.html> (дата обращения 02.09.2017)
6. Прогноз баланса трудовых ресурсов на 2016 и на период до 2018 года. – URL: <http://www.trud15.ru/obshhestvennaja-priemnaja/balans-trudovyh-resursov/> (дата обращения: 02.09.2017).
7. Фролова, Т. А. Экономическая теория : конспект лекций / Т. А. Фролова. – URL: http://www.aup.ru/books/m202/1_5.htm (дата обращения: 10.09.2017).
8. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по РСО – Алания. – URL: <http://www.osestat.gks.ru/> (дата обращения: 02.09.2017).
9. Баликоев, В. Т. Предпринимательство в Республике Северная Осетия – Алания: состояние, проблемы и перспективы / В. Т. Баликоев, З. Л. Дзакоев, М. А. Кантемирова // Вестник университета. – 2016. – № 3. – С. 5–11.
10. Хубецова, З. Х. Организация и эффективность промышленного кластера Республики Северная Осетия – Алания / З. Х. Хубецова // Устойчивое развитие горных территорий. – Владикавказ : Северо-Кавказский горно-металлургический институт (Государственный технологический университет), 2010. – № 4. – С. 55–62.
11. Качмазов, Г. Э. Реализация кластерной политики на государственном и региональном уровне / Г. Э. Качмазов // Вестник Челябинского государственного университета. Экономические науки. – 2016. – № 2 (384), вып. 52. – С. 233–240.
12. Постановление Правительства Республики Северная Осетия – Алания от 12 декабря 2014 года № 457 «Об утверждении стратегии инвестиционного развития Республики Северная Осетия – Алания до 2025 года».
13. Кумехов, К. К. Интеграционные механизмы агропромышленного комплекса: методология и практика формирования и функционирования : автореф. дис. ... д-ра экон. наук / Кумехов К. К. – М., 2000.

Хамикоев Вадим Артурович
аспирант,
Российская академия народного
хозяйства и государственной службы
при Президенте РФ
E-mail: hamikoeff@yandex.ru

Khamikoev Vadim Arturovich
postgraduate student,
Russian Academy of national economy
and state service under the RF President

УДК 334

Хамикоев, В. А.

Ресурсный потенциал и региональная экономическая модель Республики Северная Осетия – Алания / В. А. Хамикоев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 122–131.

РАЗДЕЛ 2

МОДЕЛИ, СИСТЕМЫ, МЕХАНИЗМЫ В ТЕХНИКЕ

УДК 681.5

АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АВТОКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ФУНКЦИИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

А. А. Игнатьев, А. В. Гаврилова, В. А. Каракозова

ANALYTICAL MODEL AUTOCORRELATION FUNCTION VIBROACOUSTIC OSCILLATIONS IN DYNAMICAL SYSTEM OF GRINDING MACHINE

A.A. Ignatyev, A.V.Gavrilova, V.A. Karakozova

Аннотация. Актуальность и цели. Процесс резания сопровождается виброакустическими колебаниями динамической системы станка, которые оказывают существенное влияние на формирование геометрических параметров точности обрабатываемой поверхности (отклонение от круглости, волнистость, шероховатость) и физико-механических характеристик поверхностного слоя (однородность структуры, твердость). Поэтому важную роль играет выбор технологического режима, от которого зависит не только стойкость инструмента, но и качество обработки. На основе вычисления автокорреляционной функции (АКФ) виброакустических (ВА) колебаний на элементах формообразующей подсистемы станка можно идентифицировать передаточную функцию для вычисления запаса устойчивости динамической системы (ДС) шлифовального станка. По максимуму запаса устойчивости ДС устанавливается целесообразный режим резания с точки зрения качества обработки и производительности. *Материалы и методы.* В статье рассматривается вывод аналитического выражения для автокорреляционной функции ВА колебаний ДС станка для одного колебательного звена (шпиндельный узел круга) при незначительных силах резания и для параллельного соединения двух колебательных звеньев (шпиндельных узлов круга $W_1(p)$ и детали $W_2(p)$) при условии, что сила резания в стационарном режиме имеет стохастическую составляющую типа «белый шум». Вид и значения коэффициентов выражений для АКФ определяются по методу неопределенных коэффициентов. *Результаты.* Получено аналитическое выражение для АКФ ВА колебаний станка для ДС, содержащей одно колебательное звено при незначительных силах резания и параллельное соединение двух колебательных звеньев при значительных силах резания, при подаче на вход сигнала типа «белый шум». *Выводы.* АКФ для одного колебательного звена представлена в виде затухающей косинусоиды, причем она соответствует малым подачам круга. АКФ для случая параллельного соединения двух колебательных звеньев содержит две частотные составляющие, при этом вре-

менная зависимость АКФ представляет собой затухающую косинусоиду с модуляцией амплитуды. Установлена адекватность теоретических моделей и экспериментальных АКФ, которые используются для вычисления запаса устойчивости ДС шлифовального станка, что позволяет по его максимуму определить целесообразный технологический режим, обеспечивающий качество обработки и максимальную производительность.

Ключевые слова: виброакустические колебания, автокорреляционная функция, передаточная функция, колебательные звенья, металлорежущий станок, динамическая система.

Abstract. Background. The cutting process is accompanied by vibroacoustic vibrations by a dynamic system of the machine, which have a significant influence on the formation of geometrical parameters of the treated surface (deviation from roundness, waviness, roughness) and physico-mechanical properties of the surface layer (uniformity of structure, hardness). Therefore, an important role is played by the mode selection process, from which depends not only the tool life, but also the quality of processing. On the basis of computation of the autocorrelation function (ACF) vibroacoustic (VA) fluctuations on the elements of the molding subsystem of grinding machine to identify the transfer function to calculate the stability margin of the dynamic system (DS) of the grinding machine. By maximum stability margin DS set suitable cutting mode in terms of processing quality and performance. **Materials and methods.** The article considered conclusion of the analytical expressions for the autocorrelation function VA fluctuations DS grinding machine for one vibrational link (assemblies spindle of circle) for minor power cut and the parallel connection of two vibrational links (assemblies spindle of circle $W_1(p)$ and details of $W_2(p)$), provided that the cutting force is the stochastic steady state has component type of the "white noise". The type and value the coefficients of the expressions for the ACF are determined by the method of undetermined coefficients. **Results.** An analytical expression for ACF VA vibrations of grinding machine for DS, containing one oscillating link for minor power cut, and contains the parallel connection of two oscillating links with significant power cut, provided the input signal type of the "white noise". **Conclusions.** ACF for one vibrational link is presented in the form of a damped cosine, moreover it corresponds to a low feed range circle. ACF for the case of parallel connection of two oscillating links comprises two frequency components, moreover dependence of the ACF is damped cosine with amplitude modulation. Adequacy of theoretical models and experimental ACF, which is used to calculate the safety factor DS grinding machine allowing by maximum identify suitable technological regime, ensuring the quality of processing and maximum performance.

Key words: vibro-acoustic oscillations, autocorrelation function, transfer function, oscillatory links, metal-cutting machine, dynamical oscillations.

Введение

В процессе обработки металлов резанием взаимодействует большое число факторов (силовых, тепловых, вибрационных и ряд других), которые влияют на качество обработки, включающее как геометрические параметры точности, так и физико-механические характеристики поверхностного слоя деталей [1–3]. Непосредственный контроль этих факторов в большинстве случаев затруднен, в связи с чем необходимы выбор и обоснование одного или нескольких обобщенных параметров, на основе которых можно назна-

чать режим резания, обеспечивающий как качество обработки, так и высокую производительность.

При обработке материалов резанием в динамической системе станка возникают виброакустические колебания. Следует отметить, что уровень ВА колебаний, особенно в диапазоне до 4...5 кГц, не влияет не только на качество обработанной поверхности, но и на износ режущего инструмента [4–6]. Из этого следует, что ВА колебания можно рассматривать как косвенный информационный параметр, по которому можно определить технологический режим, наиболее эффективный с точки зрения качества и производительности обработки. Для обоснования назначения режима шлифования авторами ранее предложено использовать максимум запаса устойчивости ДС станка [6, 7], который вычисляется из передаточной функции (ПФ) ДС станка, определенной, в свою очередь, из автокорреляционной функции ВА колебаний, измеряемых при установившемся режиме шлифования. При этом принято допущение, что стохастическая составляющая силы резания, воздействующая на ДС, является сигналом типа «белый шум» [8, 9].

Построение аналитической модели автокорреляционной функции

Для получения передаточной функции можно воспользоваться соотношением, выведенным А. Н. Скляревичем [10] и связывающим ПФ ДС станка $W(p)$ с АКФ ВА колебаний $K(\tau)$:

$$W(p)W(-p) = K(p) + K(-p), \quad (1)$$

где $K(p)$ является изображением по Лапласу АКФ $K(\tau)$.

Из изложенного следует, что если определить аналитическое выражение для экспериментальной АКФ, то можно из формулы (1) получить выражение для ПФ и, следовательно, вычислить запас устойчивости ДС при шлифовании данной детали, например, кольца подшипника [6, 7]. При изменении режима резания или износа абразивного круга будет изменяться ПФ и, соответственно, запас устойчивости ДС. Отсюда следует, что запас устойчивости может служить для корректировки технологического режима.

Для сопоставительного анализа экспериментальной АКФ с теоретической целесообразно получить ее аналитическое выражение при условии, что ПФ ДС станка является, в частности, колебательным звеном с ПФ второго порядка [6, 9]:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\rho T p + 1}. \quad (2)$$

Это справедливо для случая внутришлифовальной обработки, когда шпиндельный узел детали моделируется безынерционным звеном, а шпиндельный узел круга – колебательным звеном, причем жесткость первого звена значительно больше жесткости второго.

Вычислив корни характеристического уравнения p_1 и p_2 , приведем формулу (2) к другому виду:

$$W(p) = \frac{k}{T^2} \frac{1}{(p-p_1)(p-p_2)}. \quad (3)$$

Выражение для $W(-p)$ будет иметь вид $W(p)$:

$$W(-p) = \frac{k}{T^2} \frac{1}{(-p-p_1)(-p-p_2)} = \frac{k}{T^2} \frac{1}{(p+p_1)(p+p_2)}. \quad (4)$$

Из формул (3) и (4) следует, что

$$W(p)W(-p) = \frac{k^2}{T^4} \frac{1}{(p-p_1)(p-p_2)(p+p_1)(p+p_2)}. \quad (5)$$

Для того чтобы воспользоваться формулой (1) и получить аналитическое выражение для $K(p)$ и $K(-p)$, разложим правую часть формулы (5) на два слагаемых:

$$\frac{1}{(p-p_1)(p-p_2)(p+p_1)(p+p_2)} = \frac{Ap+B}{(p-p_1)(p-p_2)} + \frac{Cp+D}{(p+p_1)(p+p_2)}. \quad (6)$$

Далее необходимо определить коэффициенты A, B, C, D по методу неопределенных коэффициентов, в соответствии с которым приведем к общему знаменателю правую часть формулы (6), преобразуем ее числитель и сравним коэффициенты при степенях оператора p числителей левой и правой частей. Выполнив указанное, получим четыре уравнения:

$$\left\{ \begin{array}{l} A+C=0; \\ (A-C)(p_1+p_2)+B+D=0; \\ (B-D)(p_1+p_2)+p_1p_2(A+C)=0; \\ p_1p_2(B+D)=1. \end{array} \right. \quad (7)$$

Из системы уравнений (7) следует, что

$$\left\{ \begin{array}{l} A = -\frac{1}{2p_1p_2(p_1+p_2)}; \\ C = \frac{1}{2p_1p_2(p_1+p_2)}; \\ B = D = \frac{1}{2p_1p_2}. \end{array} \right. \quad (8)$$

Подставляя значение коэффициентов из формулы (8) в выражение (6), получаем

$$\begin{aligned} & \frac{k^2}{T^4} \frac{1}{(p-p_1)(p-p_2)(p+p_1)(p+p_2)} = \\ & = \frac{k}{T^2} \frac{(Ap+B)}{(p-p_1)(p-p_2)} + \frac{k}{T^2} \frac{(-Ap+B)}{(p+p_1)(p+p_2)}. \end{aligned} \quad (9)$$

Из последней формулы следует, что слагаемое правой части соответствует изображению АКФ $K(p)$, а второе – изображению АКФ $K(-p)$.

Выражения для коэффициентов A, B, C, D через параметры ρ и T ПФ (1) можно получить, преобразовав знаменатель ПФ к виду

$$T^2 p + 2\rho T p + 1 = T^2 \left(p^2 + 2\frac{\rho}{T} p + \frac{1}{T^2} \right) = T^2 (p^2 + 2p\alpha + \omega^2), \quad (10)$$

где $\alpha = \frac{\rho}{T}$, $\omega = \frac{1}{T}$.

Приравняв к нулю выражение в скобках, получим два комплексных корня p_1 и p_2 характеристического уравнения:

$$p_1, p_2 = -\alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - \omega^2}. \quad (11)$$

При подстановке значений корней p_1 и p_2 в выражение (9) получим

$$\begin{cases} A = \frac{1}{4\alpha\omega^2}; \\ B = \frac{1}{2\omega^2}; \\ C = -\frac{1}{4\alpha\omega^2}; \\ D = \frac{1}{2\omega^2}. \end{cases} \quad (12)$$

Аналитическое выражение для $K(p)$ будет иметь вид

$$K(p) = \frac{k}{T^2} \frac{(p+2\alpha)}{4\alpha\omega^2((p+\alpha)^2 + \omega_1^2)}, \quad (13)$$

где $\omega_1 = \sqrt{\omega^2 - \alpha^2}$.

Выражение (13) разделим на два слагаемых:

$$\frac{(p+2\alpha)}{4\alpha\omega^2((p+\alpha)^2 + \omega_1^2)} = \frac{(p+\alpha)}{4\alpha\omega^2((p+\alpha)^2 + \omega_1^2)} + \frac{\alpha}{(p+\alpha)^2 + \omega_1^2}. \quad (14)$$

Воспользовавшись таблицами для обратного преобразования Лапласа [11], получим оригиналы для каждого из слагаемых:

$$\frac{p + \alpha}{(p + \alpha)^2 + \omega_1^2} \div e^{-\alpha\tau} (\cos \omega_1 \tau);$$

$$\frac{\alpha}{(p + \alpha)^2 + \omega_1^2} \div \frac{\alpha}{\omega_1} e^{-\alpha\tau} (\sin \omega_1 \tau).$$

Окончательно из последних формул следует, что аналитическое выражение АКФ имеет вид

$$K(\tau) = \frac{k}{4\alpha} e^{-\alpha\tau} \left(\cos \omega_1 \tau + \frac{\alpha}{\omega_1} \sin \omega_1 \tau \right). \quad (15)$$

Выше указывалось, что формула (2) справедлива для небольших сил резания. Для случая круглошлифовальной обработки ДС станка представляется параллельным соединением двух колебательных звеньев (шпиндельные узлы круга $W_1(p)$ и детали $W_2(p)$) [6]. По аналогии с изложенным выше получим аналитическое выражение АКФ для этого случая.

С учетом параллельного соединения шпиндельных узлов левая часть формулы (1) приобретает вид

$$W(p)W(-p) = [W_1(p) + W_2(p)][W_1(-p) + W_2(-p)], \quad (16)$$

причем

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1^2 p^2 + 2\rho_1 T_1 p + 1}; \quad (17)$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_2^2 p^2 + 2\rho_2 T_2 p + 1}. \quad (18)$$

Передаточные функции (17) и (18) следует представить в другом виде:

$$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1^2 (p - p_{11})(p - p_{12})}; \quad (19)$$

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_2^2 (p - p_{21})(p - p_{22})}, \quad (20)$$

где $p_{11} = \alpha_1 + j\beta_1$ и $p_{12} = \alpha_1 - j\beta_1$, $p_{21} = \alpha_2 + j\beta_2$ и $p_{22} = \alpha_2 - j\beta_2$ – пары комплексно-сопряженных корней характеристических уравнений ПФ $W_1(p)$ и $W_2(p)$.

При подстановке выражений (19) и (20) в формулу (16) будем иметь

$$[W_1(p) + W_2(p)][W_1(-p) + W_2(-p)] = \left[\frac{k_1}{T_1^2 (p - p_{11})(p - p_{12})} + \frac{k_2}{T_2^2 (p - p_{21})(p - p_{22})} \right] \times$$

$$\times \left[\frac{k_1}{T_1^2 (p + p_{11})(p + p_{12})} + \frac{k_2}{T_2^2 (p + p_{21})(p + p_{22})} \right] =$$

$$= \frac{k_1 T_2^2 (p - p_{21})(p - p_{22}) + k_2 T_1^2 (p - p_{11})(p - p_{12})}{T_1^2 T_2^2 (p - p_{11})(p - p_{12})(p - p_{21})(p - p_{22})} \times \\ \times \frac{k_1 T_2^2 (p + p_{21})(p + p_{22}) + k_2 T_1^2 (p + p_{11})(p + p_{12})}{T_1^2 T_2^2 (p + p_{11})(p + p_{12})(p + p_{21})(p + p_{22})}. \quad (21)$$

В формуле (21) общий знаменатель $N(p)$ равен произведению знаменателей сомножителей:

$$N(p) = T_1^4 T_2^4 (p - p_{11})(p - p_{12})(p - p_{21})(p - p_{22}) \times \\ \times (p + p_{11})(p + p_{12})(p + p_{21})(p + p_{22}). \quad (22)$$

Общий числитель $M(p)$ формулы (21) после преобразований имеет вид

$$M(p) = (k_1^2 T_2^4 + 2k_1 k_2 T_1^2 T_2^2 + k_2^2 T_1^4) p^4 + [-k_1^2 T_2^4 (p_{21}^2 + p_{22}^2) + 2k_1 k_2 T_1^2 T_2^2 p_{21} p_{22} - \\ - 2k_1 k_2 T_1^2 T_2^2 (p_{11} + p_{12})(p_{21} + p_{22}) + 2k_1 k_2 T_1^2 T_2^2 p_{11} p_{12} - k_2^2 T_1^4 (p_{11}^2 + p_{12}^2)] p^2 + \\ + (k_1^2 T_2^4 p_{21}^2 p_{22}^2 + 2k_1 k_2 T_1^2 T_2^2 p_{11} p_{12} p_{21} p_{22} + k_2^2 T_1^4 p_{11}^2 p_{12}^2), \quad (23)$$

или более компактно

$$M(p) = H_4 p^4 + H_2 p^2 + H_0, \quad (24)$$

где H_0, H_2, H_4 – полиномы при степенях p в формуле (23).

Преобразуем формулу (21) с учетом соотношений (22) и (24) по методу неопределенных коэффициентов и получим четыре слагаемых:

$$\frac{H_4 p^4 + H_2 p^2 + H_0}{T_1^4 T_2^4 (p - p_{11})(p - p_{12})(p - p_{21})(p - p_{22})(p + p_{11})(p + p_{12})(p + p_{21})(p + p_{22})} = \\ = \frac{1}{T_1^4 T_2^4} \left[\frac{Ap + B}{(p - p_{11})(p - p_{12})} + \frac{Cp + D}{(p - p_{21})(p - p_{22})} + \right. \\ \left. + \frac{-Ap + B}{(p + p_{11})(p + p_{12})} + \frac{-Cp + D}{(p + p_{21})(p + p_{22})} \right], \quad (25)$$

где A, B, C, D – неопределенные коэффициенты.

Общий знаменатель правой части выражения (25) совпадает с формулой (22). Числитель правой части выражения (25) представим в виде полинома по степеням p , а затем по методу неопределенных коэффициентов сравним коэффициенты при соответствующих степенях p числителя правой части формулы (25) и числителя левой части той же формулы:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{при } p^6 : 2A(p_{11} + p_{12}) + 2C(p_{21} + p_{22}) + 2B + 2D = 0, \\ \text{при } p^4 : 2[Bp_{11}p_{12} + Dp_{21}p_{22} - B(p_{21}^2 + p_{22}^2) - D(p_{11}^2 + p_{12}^2) - \\ \quad - A(p_{11} + p_{12})(p_{21}^2 + p_{22}^2) - C(p_{11}^2 + p_{12}^2)(p_{21} + p_{22})] = H_4, \\ \text{при } p^2 : 2[Bp_{21}^2p_{22}^2 - Bp_{11}p_{12}(p_{21}^2 + p_{22}^2) + A(p_{11} + p_{12})p_{21}^2p_{22}^2 + \\ \quad + C(p_{21} + p_{22})p_{11}^2p_{12}^2 + Dp_{11}^2p_{12}^2 - Dp_{21}p_{22}(p_{11}^2 + p_{12}^2)] = H_2, \\ \text{при } p^0 : 2p_{11}p_{12}p_{21}p_{22}(Bp_{21}p_{22} + Dp_{11}p_{12}) = H_0. \end{array} \right. \quad (26)$$

Имеем четыре уравнения для четырех неизвестных коэффициентов A, B, C, D . Система (26) имеет единственное решение, так как все известные коэффициенты уравнений выражаются через компоненты корней $\alpha_1, \beta_1, \alpha_2, \beta_2$ и полиномы H_0, H_2, H_4 . Выражения коэффициентов A, B, C, D достаточно громоздки и здесь не приводятся.

После того, как коэффициенты A, B, C, D определены, два первых слагаемых правой части формулы (25) можно отнести к изображению АКФ $K(p)$, а два оставшихся – к изображению АКФ $K(-p)$, что соответствует формуле (1). Тогда, используя обратное преобразование Лапласа [11] по аналогии с формулой (3), можно получить общий вид АКФ:

$$K(\tau) = k_1 e^{-\beta_1 \tau} (A_1 \cos \omega_1 \tau + B_1 \sin \omega_1 \tau) + k_2 e^{-\beta_2 \tau} (A_2 \cos \omega_2 \tau + B_2 \sin \omega_2 \tau).$$

Следовательно, АКФ для случая параллельного соединения двух колебательных звеньев содержит две частотные составляющие, определяемые параметрами звеньев T_1, ρ_1, T_2, ρ_2 . Аналитическая модель АКФ для ДС в виде одного колебательного звена представлена на рис. 1.

Временная зависимость АКФ, полученная по модели (16), представляет собой затухающую косинусоиду с модуляцией амплитуды, представленную на рис. 2, что соответствует ранее полученным в работе [6] экспериментальным данным и свидетельствует о ее адекватности.

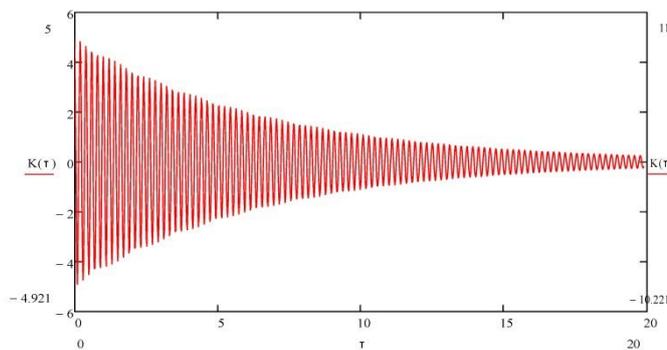


Рис. 1. Вид аналитической АКФ для ДС в виде одного колебательного звена 0,1–0,2 мм/мин

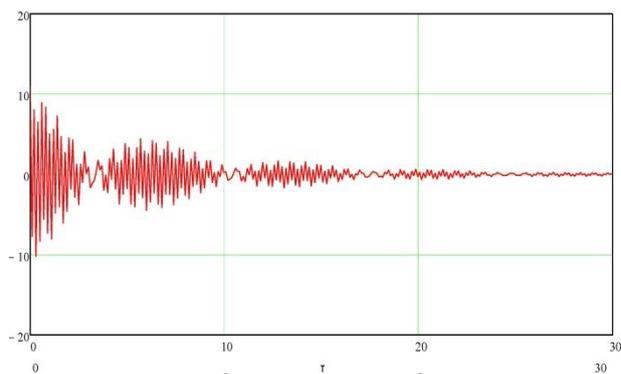


Рис. 2. Вид аналитической АКФ для ДС в виде двух колебательных звеньев 0,3–0,5 мм/мин

Экспериментальные исследования

Экспериментальные АКФ получены при обработке записей ВА колебаний в ДС круглошлифовального станка модели SWaAGL-50 для внутренних колец подшипников типа 308.02, 208.02, 256907.02, а также внутришлифовального станка модели SIW-5 при шлифовании дорожки качения колец подшипников типов 232726/01, 12318/01, 32413/01, 2222/01 [6]. Датчик виброизмерителя ВШВ-003М3 устанавливается на шпиндельный узел станка вблизи зоны резания с помощью магнитного основания. Обработка результатов выполняется компьютером типа Notebook. Вычисления АКФ и ПФ, а также последующая оценка запаса устойчивости выполнялись с помощью программного продукта MathLab.

Правомерность вычисления ПФ для каждого кольца обусловлена тем, что износ круга при обработке одного кольца незначителен, переходный процесс при врезании круга в заготовку является кратковременным, т.е. АКФ рассчитывается для стационарного режима резания.

Типичный вид экспериментальной АКФ в виде затухающей косинусоиды представлен на рис. 3, причем он соответствует малым подачам круга (0,2 мм/мин и менее). При больших подачах круга (0,3 мм/мин и более) наблюдается модуляция амплитуды в экспериментальной АКФ (рис. 4) [6], что требует дополнительного физического обоснования.

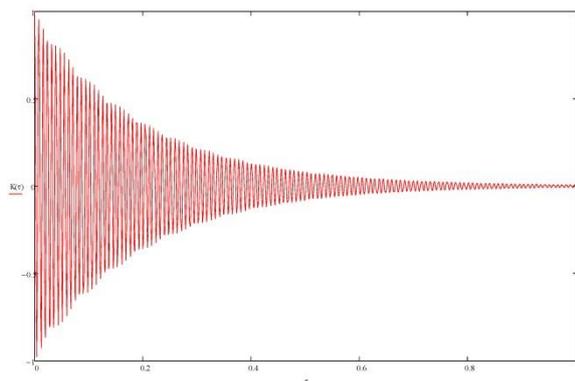


Рис. 3. Вид экспериментальной АКФ в устойчивой ДС станка при малых подачах

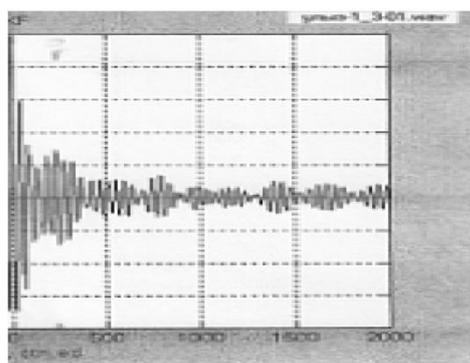


Рис. 4. Вид экспериментальной АКФ в устойчивой ДС станка при больших подачах

Заключение

Получены аналитические выражения для автокорреляционных функций виброакустических колебаний динамической системы круглошлифовального станка при обработке колец подшипников. Общий вид теоретических АКФ соответствует виду экспериментальных АКФ, на основе которых вычисляются передаточные функции ДС станка, а затем ее запас устойчивости, служащий для последующего определения по его максимуму технологического режима с наибольшей эффективностью.

Таким образом, установлена адекватность теоретических моделей (16) и экспериментальных АКФ, которые используются для вычисления запаса устойчивости ДС шлифовального станка, что позволяет по его максимуму определить целесообразный технологический режим с точки зрения качества обработки и максимальной производительности.

Библиографический список

1. Колев, К. С. Точность обработки и режимы резания / К. С. Колев, Д. М. Горчаков. – М. : Машиностроение, 1976. – 146 с.
2. Klingauf, W. Methods to achieve precision grinding / W. Klingauf // DIMA (Die Maschine). – 2006. – № 6, vol. 60. – P. 28–30.
3. Проников, А. С. Точность и надежность станков с ЧПУ / А. С. Проников, В. С. Стародубов, М. С. Уколов, Б. М. Дмитриев. – М. : Машиностроение, 1982. – 256 с.

4. Бармин, Б. П. Вибрация и режимы резания / Б. П. Бармин. – М. : Машиностроение, 1972. – 72 с.
5. Аршанский, М. М. Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках / М. М. Аршанский, В. П. Щербаков. – М. : Машиностроение, 1988. – 124 с.
6. Игнатъев, А. А. Стохастические методы идентификации в динамике станков / А. А. Игнатъев, В. А. Каракозова, С. А. Игнатъев. – Саратов : Изд-во СГТУ, 2013. – 92 с.
7. Игнатъев, А. А. Анализ информативности виброакустических параметров при контроле динамического состояния станков / А. А. Игнатъев, А. В. Каракозова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 1 (33). – С. 108–120.
8. Lin, Z. H. In-process measurement and assessment of dynamic characteristics of machine tool structures / Z. H. Lin, D. C. Hodson // Int. J. Mach. Tool Manufact. – 1988. – V. 28, n 2. – P. 93–101.
9. Попов, В. И. Динамика станков / В. И. Попов, В. И. Локтев. – Киев : Техника, 1975. – 136 с.
10. Складчев, В. А. Операторные методы в статистической динамике автоматических систем / В. А. Складчев. – М. : Наука, 1965. – 475 с.
11. Никулин, Е. А. Основы теории автоматического управления : учеб. пособие / Е. А. Никулин. – СПб : БХВ-Петербург, 2004. – 640 с.

Игнатъев Александр Анатольевич

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

Гаврилова Анна Владимировна

аспирант,
Саратовский государственный
технический университет
им. Ю. А. Гагарина
E-mail: anchutca08@mail.ru

Каракозова Вера Алексеевна

кандидат технических наук, доцент,
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

Gavrilova Anna Vladimirovna

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

Karakozova Vera Alekseyevna

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

УДК 681.5

Игнатъев, А. А.

Аналитическая модель автокорреляционной функции виброакустических колебаний динамической системы шлифовального станка / А. А. Игнатъев, А. В. Гаврилова, В. А. Каракозова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 132–142.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СТАНОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТИ**

А. В. Липов, Г. С. Большаков, П. Г. Павловский, Р. И. Мамин

**COMPUTER MODELING OF MACHINE TOOLS
FOR THE EVALUATION OF ITS EFFICIENCY**

A. V. Lipov, G. S. Bolshakov, P. G. Pavlovski, R. I. Mamin

Аннотация. *Актуальность и цели.* Применение компьютерного моделирования станочного оборудования позволяет на стадии его проектирования без изготовления опытного образца определять недостатки его конструкции и разрабатывать мероприятия по их устранению. Цель – повышение эффективности проектирования станочного оборудования. *Материалы и методы.* Предложено для компьютерного моделирования станочного оборудования использовать программное обеспечение *SolidWorks* с различными приложениями. Приняты обоснованные допущения при разработке трехмерных моделей узлов, позволяющих проводить оценку величин их упругих и температурных деформаций, динамические смещения элементов, а также тепловые и прочностные расчеты. *Результаты.* Разработаны трехмерные модели узлов конкретных станков и проведены соответствующие расчеты. *Выводы.* Полученные результаты позволяют на стадии проектирования станочного оборудования оценивать их работоспособность, а в случае необходимости разрабатывать мероприятия по совершенствованию конструкции их узлов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, станочное оборудование, трехмерные модели, упругие и температурные деформации, динамические смещения, тепловые и прочностные расчеты.

Abstract. *Background.* The use of computer simulation of machining equipment allows at the stage of its design, without manufacturing a prototype, to determine the limitations of its design and to develop actions to eliminate them. The aim is to increase the productivity of machine tools. *Materials and methods.* Proposed for computer simulation of machine equipment to use the *SolidWorks* software with a variety of applications. Adopted reasonable assumptions in the development of three-dimensional models of nodes, allowing to assess the values of their elastic, temperature deformations, dynamic displacement elements as well as thermal and strength calculations. *Results.* Developed 3D models of host specific machine and appropriate calculations. *Conclusions.* The results obtained in the design stage of machine-tool equipment to evaluate their performance, and, if necessary, to develop actions for improving the design of their sites.

Key words: computer simulation, machine tool equipment, 3D models, elastic and thermal deformation, dynamic bias, thermal and strength calculations.

Введение

Использование станочного оборудования на машиностроительных предприятиях в современных условиях характеризуется некоторыми его особенностями, присущими ему как при проектировании, так и при эксплуата-

ции. При проектировании необходимо не только учитывать наличие в конструкции оборудования вспомогательных механизмов (магазинных инструментов, столов-палет, манипуляторов и др.), но и расширение его технологических возможностей, например, применение многооперационной обработки (сверлильно-фрезерно-расточные станки, токарно-фрезерные и др.). Высокая стоимость, а также необходимость оперативного ввода в эксплуатацию не позволяют изготавливать опытные образцы такого оборудования, проводить их эксплуатационные испытания и на основе их результатов разрабатывать рекомендации по совершенствованию конструкций.

Все вышеуказанное требует необходимости проведения сложных расчетов как на стадии проектирования, так и на стадии эксплуатации. Такие расчеты по общеизвестным методикам с использованием аналитических зависимостей являются весьма приближенными, а в некоторых случаях и невозможными.

Наиболее распространенные программные средства для компьютерного моделирования станочного оборудования

Для оценки влияния условий работы станочного оборудования на такие показатели, как точность, производительность и др., в современных условиях можно использовать программные средства *SolidWorks*, КОМПАС-3D, ANSYS и др., в основе которых лежит метод конечных элементов. Эти программные средства относятся к современным системам автоматизированного проектирования и имеют в своем составе различные приложения, которые применяются для проектирования, технологической подготовки производства и возможного электронного управления и создания технической документации.

Одним из наиболее распространенных программных средств, которое используется при проектировании и анализе работы станочного оборудования, является *SolidWorks*. Входящие в его состав приложения *SolidWorks Simulation*, *SolidWorks Motion*, *SolidWorks Routing* и др. позволяют выполнять силовые, тепловые, динамические расчеты узлов станочного оборудования, расчет их гидравлических и пневматических схем, а также прокладывать трубопроводы и оптимизировать их конструкции. Одним из основных этапов проведения таких расчетов является разработка трехмерной компьютерной модели станочного оборудования или его узлов. При разработке такой модели принимаются определенные допущения, которые не должны влиять на результаты требуемых расчетов.

Станочное оборудование отличается от других видов технологического оборудования сложностью конструкции и высокими требованиями к точности взаимного расположения узлов, несущих инструмент и заготовку, что определяет точность обработки деталей. При работе станочного оборудования появляются упругие и температурные деформации, а также динамические смещения его узлов, которые могут значительно влиять на точность и качество обработки. Упругие деформации возникают под действием силы резания, усилий от приводных элементов и т.д., температурные – от различных источников тепла (процесса резания, электродвигателей, механических пере-

дач, подшипников и т.д.), динамические смещения – от колебательных процессов, возникающих в станочном оборудовании при его работе.

Оценка возможности расчета упругих и температурных деформаций элементов станков

Была проведена оценка возможности применения приложения *Solid-Works Simulation* для расчета упругих и температурных деформаций, а также динамических смещений узлов станочного оборудования, возникающих при его работе. При разработке трехмерной компьютерной модели станочное оборудование или его узлы представляются в виде сборки трехмерных твердотельных деталей, к которым добавляются различные ограничения (крепления, соединения и др.) и прикладываются внешние возмущения (усилия резания, нагрузки от приводных элементов, тепловая мощность источников тепла, исследуемый частотный диапазон и т.д.) [1].

При расчете упругих деформаций узлов станочного оборудования были приняты следующие допущения: действующие нагрузки от силы резания, а также нагрузки, возникающие от вращения неуравновешенных элементов приводов, принимаются статическими, при этом не учитываются деформации, связанные с нагревом деталей. Исходными данными для расчета являются: величины вышеуказанных нагрузок, геометрические размеры исследуемых узлов, материалы нагружаемых деталей, виды шпиндельных опор, коэффициенты трения и контактной податливости.

В качестве примера был проведен расчет упругих деформаций вершины резца и заготовки, закрепленной в трехкулачковом патроне, при обработке на малогабаритном токарном станке [2]. Расчет деформаций проводился относительно продольных направляющих станка в направлении осей X, Y и Z. Трехмерные модели шпиндельной бабки с заготовкой и суппорта приведены на рис. 1.

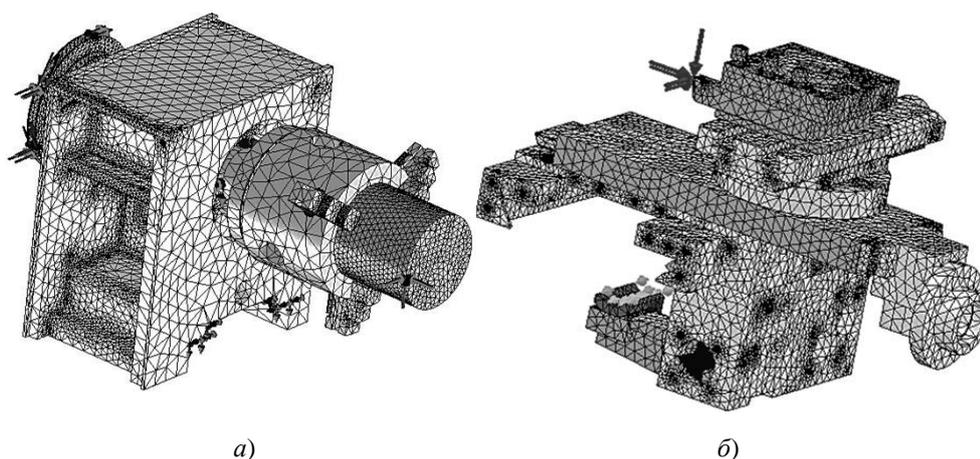


Рис. 1. Трехмерные модели шпиндельной бабки (а) и суппорта (б) малогабаритного токарного станка

При токарной обработке наибольшее влияние на точность оказывают деформации в направлении оси X . На рис. 2 в виде эпюры приведены результаты расчетов в этом направлении и ее характерные участки. При этом участок 1 характеризует смещение заготовки в трехкулачковом патроне и ее деформацию; 2 – смещение и деформацию патрона; 3 – деформацию шпинделя; 4 – смещение шпинделя в результате податливости опор и корпуса шпиндельной бабки; 5 – деформацию шпинделя от приводного элемента (ременной передачи). На участках 1 и 2 смещение составляет 4,5 мкм, на участке 3 – 12 мкм, на участке 4 – 2 мкм. Участок 5 не оказывает влияния на точность обработки. Общая величина деформации переднего конца заготовки составляет 18,5 мкм. Из результатов расчетов видно, что наибольшее влияние на точность обработки оказывает деформация шпинделя (около 64 % от общего смещения), величина которой может быть снижена за счет повышения его жесткости.

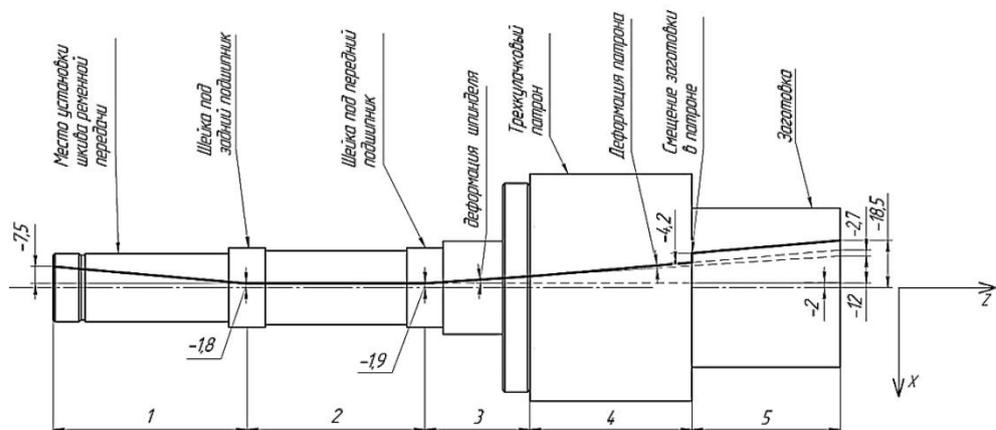


Рис. 2. Эпюра распределения деформаций шпинделя, патрона и заготовки по оси X

По оси Y происходит деформация заготовки вверх на величину 73,18 мкм.

На рис. 3 приведена схема упругих деформаций элементов исполнительного узла привода подач с закрепленным инструментом (резцом) в направлении оси X под действием радиальной и касательной составляющих усилия резания. Общая величина деформаций вершины резца в этом направлении составляет 1,4 мкм. В направлении оси Y происходит ее деформация вниз на величину 2,8 мкм.

На рис. 4 приведена схема для определения суммарных упругих деформаций заготовки и инструмента от начального положения в процессе обработки. Установлено, что погрешность обработки в радиальном направлении, вызванная упругими деформациями элементов технологической системы, составляет величину 24,9 мкм. При этом большая часть возникающей погрешности обусловлена податливостью шпиндельного узла и может быть уменьшена повышением его жесткости.

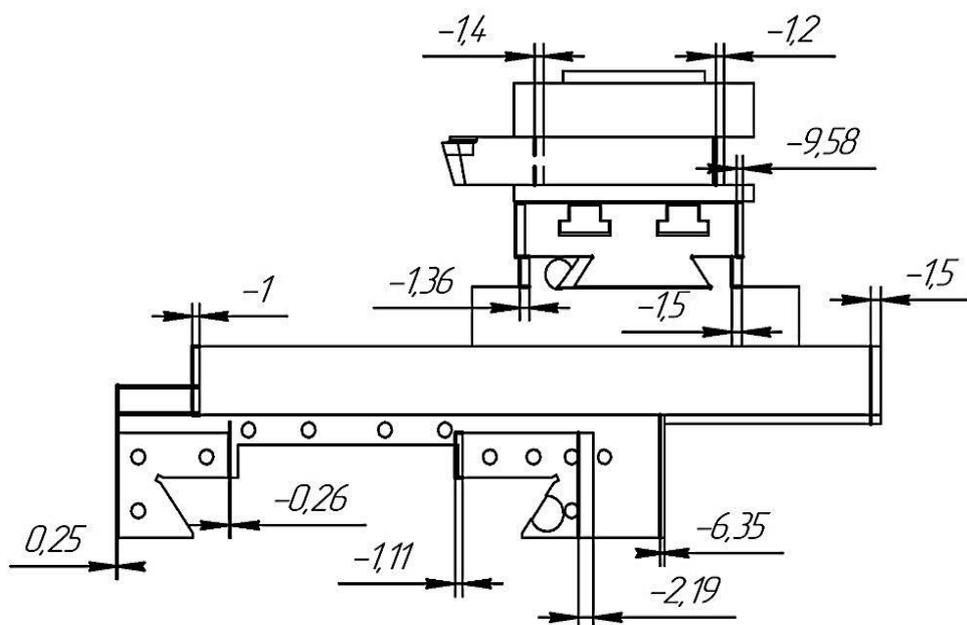


Рис. 3. Деформации элементов исполнительного узла привода подач по оси X

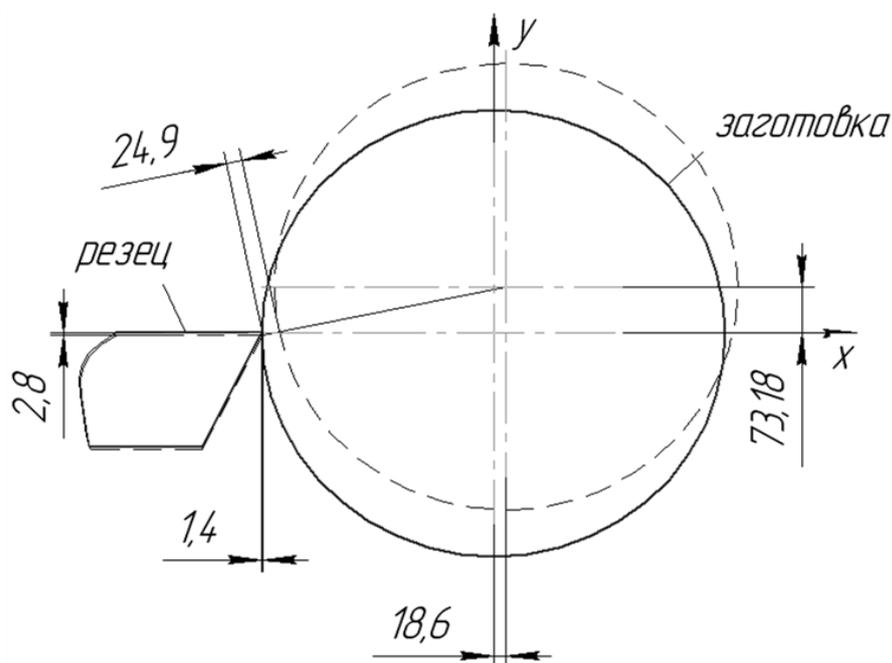


Рис. 4. Деформации заготовки и резца под действием силы резания по оси X

Температурные деформации элементов узлов могут оказывать значительное влияние на точность обработки на станочном оборудовании, особенно на прецизионном и автоматизированном. Эти деформации возникают и изменяются при работе до наступления установившегося теплового режима, т.е. до состояния, при котором температура элементов оборудования не из-

меняется, а следовательно, не изменяются и температурные деформации. При этом, зная величину таких деформаций, можно вводить автоматическую коррекцию на положение инструмента или заготовки при обработке.

При расчете температурных деформаций принимается допущение о том, что узлы оборудования подвержены только воздействию тепловой энергии от источников тепла, которая определяется через потери передаваемой мощности привода или по известным методикам. При этом задаются способы отвода тепла (конвекция и излучение), которые характеризуются температурой окружающей среды и коэффициентами интенсивности протекания этих процессов. Исходными данными для расчетов являются: величины потерь в приводах узлов, их геометрические размеры, материалы деталей и характеристики способов отвода тепла. Расчеты могут проводиться как для переходного, так и установившегося тепловых режимов.

В качестве примера был проведен расчет температурных деформаций элементов шпиндельного узла сверлильно-расточного станка при его работе [3]. Трехмерная модель этого узла приведена на рис. 5.

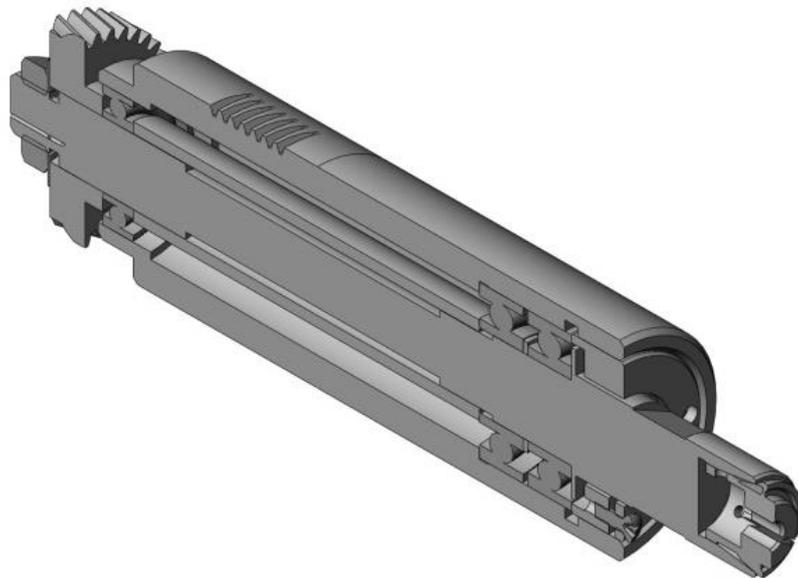


Рис. 5. Трехмерная модель шпиндельного узла сверлильно-расточного станка

Расчет деформаций проводился для переднего конца шпинделя в направлении вдоль его оси, как наиболее влияющего на точность обработки на данном станке. Источниками тепла в узле являются зубчатое зацепление и подшипники. В качестве начальной принималась температура 20 °С.

Расчет при установившемся режиме работы шпинделя показал, что температура его отдельных участков может достигать 100 °С, а деформация его переднего конца составляет 115 мкм.

На рис. 6 приведена зависимость величины деформации переднего конца шпинделя от времени работы в переходном режиме. Время расчета составляло 240 с при шаге 30 с.

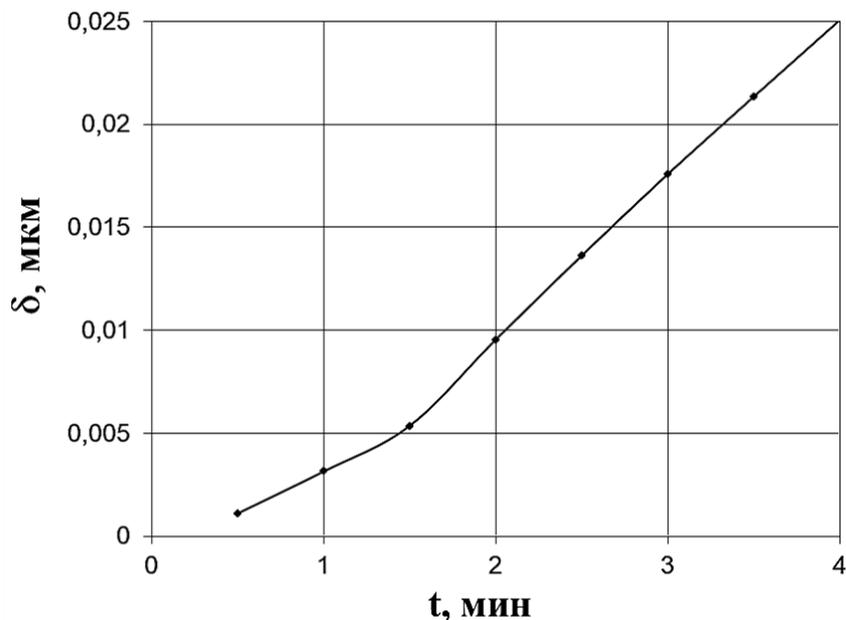


Рис. 6. Зависимость деформации переднего конца шпинделя вдоль его оси (δ) от времени работы сверлильно-расточного станка (t)

Из приведенной зависимости видно, что при работе станка в течение 4 минут величина анализируемой деформации составляет 25 мкм и его шпиндель не выходит на установившийся тепловой режим. Однако через 1,5 минуты исследуемая зависимость становится линейной, что позволяет вводить автоматическую коррекцию положения инструмента или заготовки при обработке. Следует отметить, что расчет времени выхода станка на установившийся тепловой режим является специфической задачей, поскольку его величина зависит от конкретных условий работы оборудования (чередования различных видов и режимов обработки, времени его простоя, связанного со сменой инструмента и заготовки, и др.).

Динамические смещения узлов станочного оборудования при его работе могут оказывать существенное влияние как на точность, так и на качество обрабатываемых поверхностей. Предложено их расчет проводить в два этапа: на первом определять собственную частоту колебаний узлов, на втором – наибольшие амплитуды их колебаний.

Расчет динамических смещений с использованием программного приложения *SolidWorks Simulation* был проведен на примере шпиндельного узла токарного станка [4]. При расчетах были приняты следующие допущения: не учитываются приводные элементы и передаваемая от них нагрузка на шпиндель; шпиндельные опоры задаются их радиальной и осевой жесткостями; не учитывается наличие патрона; шпиндель считается неподвижным, а действующая на него нагрузка от сил резания изменяется по гармоническому закону. Исходными данными для расчета являлись геометрические размеры шпиндельного узла и его элементов, их материал, действующие нагрузки и исследуемый частотный диапазон.

Установлено, что собственная частота шпинделя составляет 432 Гц. На такой частоте в станочном оборудовании обычно не возникает интенсивных динамических нагрузок [5]. Наибольшие динамические смещения возникают на частоте в 1 Гц, и их амплитуда составляет 4,3 мкм.

При использовании программного средства *SolidWorks* можно определять не только погрешности положения инструмента и заготовки, оказывающие влияние на точность обработки, но и другие параметры станочного оборудования, которые влияют на такие показатели его работоспособности, как надежность, производительность и др.

При проведении тепловых расчетов шпиндельной бабки сверлильно-расточного станка установлено, что при его работе происходит изменение диаметров посадочных отверстий под подшипники шпиндельного узла [3]. Под передний подшипник диаметр шпинделя увеличивается на 31 мкм, а диаметр его корпуса – на 13 мкм, для заднего подшипника соответственно – на 26 мкм и 22 мкм, что необходимо учитывать при назначении величин предварительных натягов при проектировании шпиндельного узла. При этом чрезмерное увеличение величины натяга в подшипнике может привести к его заклиниванию и созданию аварийной ситуации, а ее снижение – к увеличению податливости шпиндельного узла и потере точности станочного оборудования.

Оценка возможности проведения прочностных расчетов элементов станков

Использование патронов с термозажимом для крепления инструмента обеспечивает более высокую точность обработки. Обычно патрон представляет собой оправку, устанавливаемую в шпинделе, с отверстием для базирования и зажима инструмента. Предварительно патрон нагревают и выдерживают при определенной температуре, обеспечивающей возможность установки хвостовика инструмента в отверстие. Затем патрон вместе с инструментом охлаждают для создания натяга, определяющего величину усилия зажима. При этом недостаточная ее величина может привести к аварии при обработке, а чрезмерная – к пластическим деформациям на поверхности хвостовика и, соответственно, проблематичности дальнейшего использования инструмента.

Современные индукционные машины с различными видами охлаждения (воздушным, водяным, с применением хладагента) и системами управления и коррекции температур позволяют избежать указанные недостатки, но значительная их стоимость и широкая номенклатура инструмента и оснастки ограничивают их применение.

Предложено для определения необходимых режимов нагрева и охлаждения (времени и температуры) использовать приложение *SolidWorks Simulation* и расчет проводить в два соответствующих этапа с температурным исследованием переходных процессов [6].

Исходными данными для расчетов являются: геометрические размеры инструмента и патрона с допусками на посадочные размеры, их материалы и

температуры помещений, где закрепляют инструмент и применяют его при обработке.

После температурных расчетов выполняется статическое исследование, в результате которого определяются контактные давления в стыке между патроном и хвостовиком инструмента. На рис. 7 приведена векторная эпюра распределения контактного давления в стыке между хвостовиком инструмента и патроном. После этого проводится расчет полученного усилия зажима, величину которого сравнивают с требуемой. В том случае, когда эта величина отличается от требуемой в большую или меньшую сторону, переходят к повторению расчетов с определенным шагом, уменьшая или увеличивая температуру и (или) время нагрева.

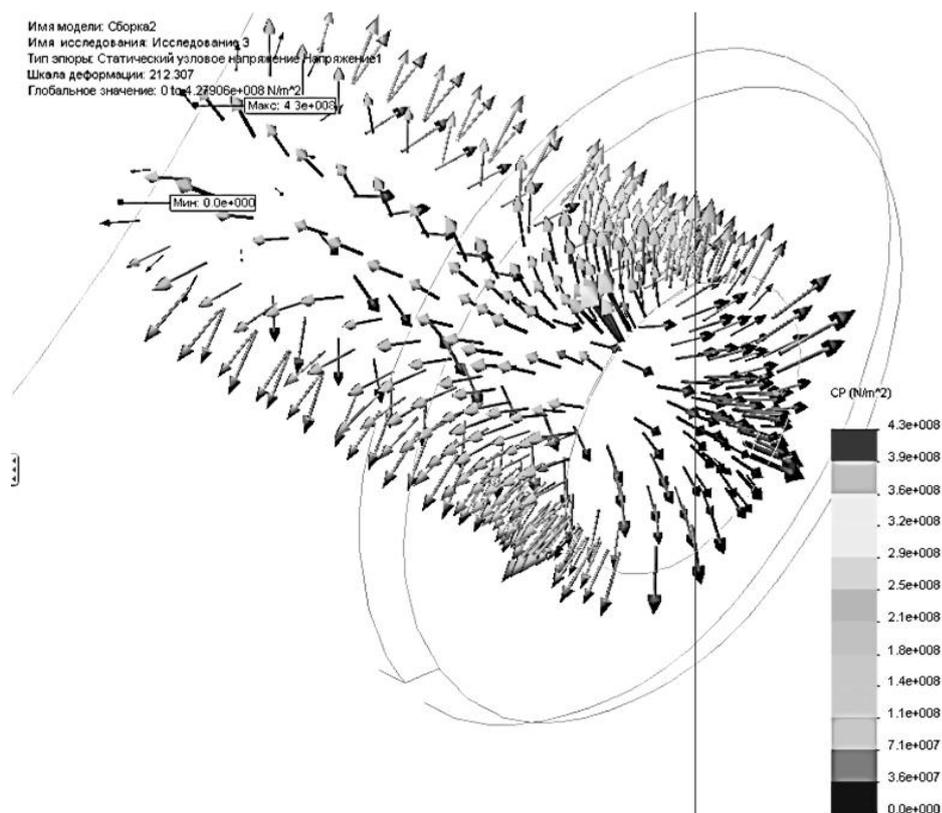


Рис. 7. Векторная эпюра распределения контактного давления в стыке между хвостовиком инструмента и патроном

Проведенные расчеты усилия зажима для сверла $\varnothing 6h6$ показали, что на основании рекомендаций по использованию конкретной модели индукционной машины создаваемые усилия могут в десятки раз превышать величины, необходимые для предельно возможных режимов резания данного инструмента.

Одним из резервов повышения производительности автоматизированного станочного оборудования является повышение скорости перемещения его узлов на холостых ходах. Однако это приводит к увеличению динамиче-

ских нагрузок, действующих на его элементы и стыки между ними, которые могут привести к преждевременному ремонту оборудования.

Для оценки работоспособности оборудования при динамическом режиме можно использовать приложение *SolidWorks Motion*. При этом расчеты проводятся в несколько этапов. На предварительном этапе в *SolidWorks* разрабатывается трехмерная модель узла с учетом вышеприведенных рекомендаций и допущений, которая передается в приложение *SolidWorks Motion*. На следующем этапе определяются параметры работы узла (положение, скорость, ускорение отдельных его элементов, силы, действующие на них во время работы, а также нагрузки на приводном двигателе) для каждого шага расчета, которые отображаются в виде зависимости определенного параметра от времени. При этом действующие на каждый элемент нагрузки определяются путем перерасчета характеристик приводного двигателя. На следующем этапе выполняется расчет на прочность отдельных элементов узла. Результатом расчета являются величины напряжений и деформаций, по которым анализируется работоспособность узла.

В качестве примера был проведен расчет работоспособности револьверной головки с мальтийским крестом для ее переключения [7]. Исходными данными для расчета являлись геометрические размеры узла и его элементов, их материалы, время переключения револьверной головки для смены инструмента и характеристики приводного двигателя.

Установлено, что наиболее нагруженным элементом является мальтийский крест. При этом наибольшие напряжения в нем возникают во время отвода револьверной головки, т.е. когда кривошип попадает в паз мальтийского креста.

На рис. 8 приведено распределение напряжений в детали в этот момент.

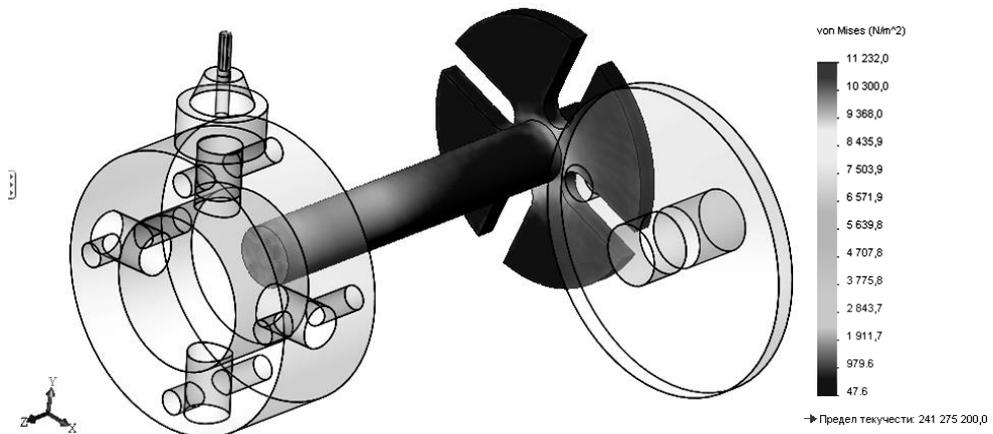


Рис. 8. Распределение напряжений в мальтийском кресте револьверной головки

Из рисунка видно, что возникающие напряжения в мальтийском кресте значительно меньше предела текучести ее материала. Данная конструкция и габаритные размеры револьверной головки с учетом применяемых значений коэффициентов запаса 2–3 позволяют уменьшить время ее переключения на 30–40 %. Кроме того, разработанная модель револьверной головки позво-

ляет при ее проектировании для конкретного оборудования выбирать материал деталей и их геометрические размеры с позиций уменьшения габаритов и материалоемкости узла.

Заключение

Результаты компьютерного моделирования станочного оборудования позволяют сравнивать между собой различные компоновки станков и их узлов на стадии проектирования и выбирать лучшие варианты по требуемым показателям.

Однако численные значения деформаций, смещений, температур и других характеристик требуют экспериментальных проверок. Это связано с тем, что при расчетах принимаются некоторые данные, имеющие широкий диапазон изменений (жесткостные, температурные и другие характеристики).

Библиографический список

1. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в *SolidWorks Simulation* / А. А. Алямовский. – 2-е изд. – М. : Изд-во ДМК Пресс, 2015. – 464 с.
2. Большаков, Г. С. Модель упругих деформаций токарного станка в системе *SolidWorks* / Г. С. Большаков, П. Г. Павловский, А. Д. Агеев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2012. – № 1 (2). – С. 129–133.
3. Липов, А. В. Исследование влияния упругих и температурных деформаций шпиндельной бабки на ее работоспособность / А. В. Липов, Г. С. Большаков, Д. А. Матвеев // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами *CAD/CAM/CAE/PDM* : сб. ст. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : ПДЗ, 2015. – С. 55–59.
4. Липов, А. В. Динамический анализ шпиндельного узла токарного станка / А. В. Липов, Г. С. Большаков // Системы проектирования, моделирования, подготовки производства и управление проектами *CAD/CAM/CAE/PDM* : сб. ст. VII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : ПДЗ, 2013.
5. Станочное оборудование автоматизированного производства : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / А. А. Аврамов, В. В. Бушуев, Н. Н. Верейкин ; под ред. В. В. Бушуева. – М. : Станкин, 1993. – Т. 1. – 584 с.
6. Липов, А. В. Методика определения условий крепления инструмента в патронах с термозажимом / А. В. Липов, Г. С. Большаков, В. В. Панчурин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2014. – № 4 (12). – С. 124–128.
7. Липов, А. В. Компьютерная модель револьверной головки токарного автомата / А. В. Липов, Г. С. Большаков, В. В. Панчурин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. – № 2 (6). – С. 160–163.

Липов Александр Викторович

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

Lipov Alexander Viktorovich

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

Большаков Герман Сергеевич

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

Bolshakov German Sergeyevich

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

Павловский Павел Геннадьевич

старший преподаватель,
кафедра компьютерного проектирования
технологического оборудования,
Пензенский государственный университет
E-mail: mrs@pnzgu.ru

Pavlovski Pavel Gennadyevich

senior lecturer,
sub-department of computer aided design
of technological equipment,
Penza State University

Мамин Ринат Исмаилович

студент,
Пензенский государственный университет
E-mail: mrs@pnzgu.ru

Mamin Rinat Ismailovich

student,
Penza State University

УДК 621.9.06 (07)

Липов, А. В.

Компьютерное моделирование станочного оборудования для оценки его работоспособности / А. В. Липов, Г. С. Большаков, П. Г. Павловский, Р. И. Мамин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 143–154.

АКТИВНЫЙ МОДУЛЬ МЕДИЦИНСКОГО ЭКЗОСКЕЛЕТА С СИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ И СИСТЕМОЙ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ

М. Н. Николенко, Д. А. Котин

ACTIVE MODULES OF THE MEDICAL EXOSKELETON WITH PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE AND FIELD ORIENTED CONTROL SYSTEM

M. N. Nikolenko, D. A. Kotin

Аннотация. *Актуальность и цели.* Модульный принцип построения обеспечит доступность экзоскелетов для применения в медицинских целях в качестве устройств реабилитации. Цель проводимого исследования – предложить общий алгоритм проектирования активных модулей медицинского экзоскелета, выполнить расчет электромеханической части экзоскелета коленного сустава и разработать систему управления данным экзоскелетом. *Материалы и методы.* Для проверки работы экзоскелета коленного сустава была составлена его математическая модель, проведен комплекс исследований в среде виртуального моделирования MatLab-Simulink. *Результаты.* С учетом анализа результатов цифрового моделирования экзоскелет коленного сустава с синхронным электроприводом и векторным принципом управления полностью обрабатывает шаг человека по прямой поверхности. *Выводы.* Рассмотрены подходы к проектированию модульных экзоскелетов, даны рекомендации к выбору электрооборудования. Представлен вариант системы управления, основанный на векторном подходе к проектированию структуры регулирования координат электропривода. Разработанная электромеханическая часть модуля коленного сустава может быть применена для построения медицинского экзоскелета нижних конечностей человека.

Ключевые слова: экзоскелет, медицинский экзоскелет, экзоскелет коленного сустава, векторное управление синхронным электроприводом.

Abstract. *Background.* The modular construction principle will ensure the availability of exoskeletons for medical applications as rehabilitation devices. The aim of the research work is proposing a general algorithm for designing active modules of modular medical exoskeletons, calculation the electromechanical part of the exoskeleton of the knee joint and designing a control system for this exoskeleton. *Materials and methods.* Mathematical model of knee joint exoskeleton was composed to suite of studies the work of the exoskeleton in the virtual simulation environment of MatLab-Simulink. *Results.* According to the results of digital model's research, the knee joint exoskeleton with permanent magnet synchronous electric drive and field oriented control strategy achieve the human step on a straight surface. *Conclusions.* The design approaches of modular exoskeletons are considered and the recommendations for electrical equipment choice are provided. The algorithm of control system based on field oriented approach to the designing of electric drive coordinates regulating is presented. The developed electromechanical part of the knee joint module can be used to build a medical exoskeleton of the human lower extremities.

Key words: exoskeleton, medical exoskeleton, exoskeleton of the knee joint, vector control of the permanent magnet synchronous electric drive.

Введение

В последнее время повышенное внимание в биоинженерной отрасли уделяется разработкам в сфере построения экзоскелетов. Несмотря на то, что подходы к их проектированию находятся в начале своего развития и перед исследователями стоит множество задач по обеспечению наиболее эффективного и удобного объединения человеческих возможностей и преимуществ внешнего механического каркаса, уже сейчас очевидно, что в будущем экзоскелеты станут важной частью жизни человека.

На сегодняшний день действующие образцы производятся в Израиле – экзоскелет ReWalk, Новой Зеландии – экзоскелет REX, Японии – экзоскелет HAL и России – экзоскелет ЭкзоАтлет [1–4]. Их предлагают использовать для реабилитации пациентов с проблемами опорно-двигательной системы. Исследования в данной области показали, что при использовании экзоскелета нижних конечностей восстановление мышечных функций ног проходит быстрее. Вертикальное положение тела помогает нормализовать работу внутренних органов, таких как легкие и выделительная система, нормализовать артериальное давление, предотвратить дегенерацию опорно-двигательной системы [5]. Также медицинские экзоскелеты применяются для социальной реабилитации людей, которым современный этап развития медицины не способен осуществить восстановление двигательных функций. В этом случае экзоскелет применяется для длительного ношения и должен обеспечить движение неработающих конечностей.

Таким образом, существующие прототипы направлены на широкий класс задач – как на реабилитацию пациентов, утративших возможность перемещения, так и на послеоперационное восстановление. Кроме того, при проектировании закладывается возможность их промышленного применения для увеличения физических способностей здорового человека. Такой подход приводит к ряду негативных последствий [6]. В частности, масса и размеры экзоскелета завышены для послеоперационного восстановления, а функциональность недостаточна для повседневного ношения. При этом стоимость существующих устройств высока для применения в муниципальных стационарах.

Предполагается, что направленное проектирование экзоскелета нижних конечностей для применения в медицинской сфере для реабилитации и абилитации пациентов, не утративших способность ходить после курса лечения, сократит капитальные затраты медицинских учреждений и позволит более качественно выполнять процессы выздоровления больных.

Авторами принято решение о реализации модульного принципа построения медицинских экзоскелетов, предполагающего создание локальных экзоскелетов для каждого сустава. Такой принцип построения дает возможность подбирать конфигурацию экзоскелета в зависимости от вида патологии пациента, варьируя такими параметрами, как масса, функциональность и цена, для каждого отдельного случая. Наличие всего нескольких комплектов модулей в медицинском учреждении позволит осуществлять реабилитационные процедуры для большего числа пациентов, чем при использовании неразборных экзоскелетов при аналогичных финансовых затратах.

На первом этапе реализации модульного медицинского экзоскелета перед авторами возникли следующие задачи:

- 1) рассмотреть общие принципы проектирования модульного экзоскелета;
- 2) выбрать систему управления для активных модулей.

Последующие разделы статьи посвящены рассмотрению данных вопросов. В качестве примера активного модуля рассматривается экзоскелет коленного сустава.

Вопросы проектирования активных модулей медицинского экзоскелета

Как было отмечено во введении, авторами предлагается модульный принцип построения медицинского экзоскелета, состоящего из активных (снабженных электрическим приводом) и пассивных модулей. Применение одного активного локального экзоскелета для реабилитации пациентов является недопустимым, так как смещаются локальные центры масс частей тела, на которые воздействует экзоскелет, и увеличивается нагрузка на здоровые части тела, что неблагоприятно сказывается на процессе реабилитации. Пассивный модуль (без привода) не может осуществлять корректировку движений человека. Совместное применение взаимозаменяемых активных и пассивных модулей позволит скорректировать и поддержать движения человека, не увеличивая нагрузку на здоровые части тела. Взаимозаменяемость пассивных и активных модулей позволит подбирать конфигурацию экзоскелета, варьируя такими параметрами, как масса, функциональность и цена устройства для каждого пациента в отдельности.

Рассмотрим общие принципы построения активного модуля. При проектировании активных экзоскелетов возникает ряд задач: выбрать электродвигатель, конфигурацию механической части, элементы питания и разработать систему управления. Среди микромашин двигатель с большим механическим моментом требует большего напряжения питания, что непременно приводит к увеличению массы элементов питания. Редуктор с большим передаточным числом решает эту проблему, но сильно снижает число оборотов вала двигателя. Упрощенная механика сковывает человека, а развитая имеет слишком большие габариты.

Для обеспечения наименьших массогабаритных показателей предлагается следующий алгоритм проектирования активного модуля медицинского экзоскелета:

- 1) выбрать пару «волновой редуктор–электрический двигатель» с наименьшими массогабаритными показателями, обеспечивающую необходимый момент;
- 2) ограничить напряжение питания двигателя уровнем, достаточным для получения наибольшей требуемой частоты вращения вала двигателя;
- 3) разработать систему автоматического управления электроприводом экзоскелета;
- 4) выбрать источники питания для модульной системы;
- 5) рассмотреть вопросы доработки механической части;
- 6) рассмотреть работу электротехнической системы в целом.

В качестве приводного элемента предлагается использовать электро-механический привод. Работа пневмопривода зависит от температуры окружающей среды, потому его применение нежелательно. Гидроприводы развивают большие моменты, но требуют дополнительных элементов, что понижает надежность и увеличивает вес конструкции. Также гидроприводы сильно ограничивают углы вращения исполнительного органа. Вследствие линейного характера движения наибольшую эффективность гидропривод будет развивать при удаленном креплении от сустава, но такое расположение плохо вписывается в концепцию модульного построения. Гидроприводы подходят для военных и промышленных экзоскелетов, но не применимы в медицинских целях, одной из задач которых является доведение сустава до требуемого положения. Электропривод с вращательным движением не имеет указанных недостатков, но при этом развивает меньший механический момент. Однако в медицинских экзоскелетах для реабилитации требования по моменту не столь велики. Следовательно, применение электропривода наиболее перспективно.

Среди электроприводов требуемыми характеристиками обладают бесколлекторные электродвигатели постоянного тока (*brushless DC electric motor*), по сути представляющие собой синхронный электродвигатель с постоянными магнитами. В паре с ним предлагается использовать волновые редукторы, так как они обладают высоким передаточным числом при малых габаритах. Типовая механическая характеристика такого двигателя представлена на рис. 1 [7].

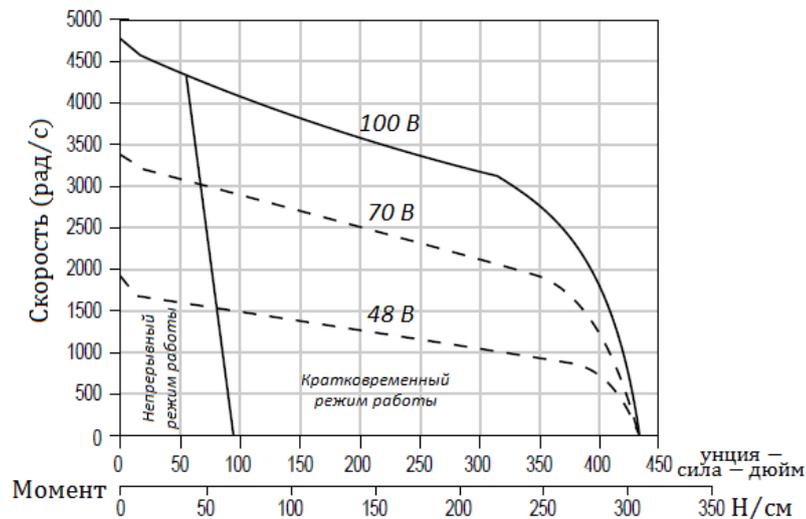


Рис. 1. Механические характеристики двигателя RBE-01215-B00 (производитель Kollmorgen)

Как видно из рис. 1, напряжение питания влияет на развиваемую скорость и практически не влияет на максимальный момент. Поэтому мы можем ограничить напряжение питания экзоскелета для уменьшения массы элементов питания на уровне, необходимом для обеспечения максимальной требуемой скорости.

Активный экзоскелет коленного сустава

В качестве первого модуля было решено спроектировать активный экзоскелет коленного сустава [8]. Было принято решение использовать электродвигатель BLDM RBEH 01211 (152 Вт) производителя Kollmorgen и редуктор CSG size 17 производителя Harmonic Drive AC с передаточным числом 100. В табл. 1 приведены основные параметры выбранной пары. Следует отметить, что емкость аккумуляторных батарей, применяемых в качестве источника питания в разрабатываемой электромеханической системе, должна обеспечивать среднее время работы устройства не менее двух часов.

Таблица 1

Основные показатели выбранной пары «редуктор – двигатель»

Показатели	Требуемые	Полученные
Номинальный момент	14,72 Нм	22,3 Нм
Максимальный момент	37,88 Нм	80,6 Нм
Максимальная скорость	67,3 об/мин	97,5 об/мин
Вес	Минимальный	0,552 кг
Ширина	Минимальная	83,54 мм

Центр вращения коленного сустава перемещается во время движения [9]. В экзоскелетах коленного сустава, в отличие от поддерживающих устройств реабилитации, широко используется упрощенная механика одноосевого вращения. Но так как разрабатываемое устройство будет применяться в медицинских целях, актуальной является задача проектирования более сложной механики, наиболее точно повторяющей движения человека. Для повторения полицентрического вращения коленного сустава будет использован четырехзвенный механизм, работу над которым предполагается выполнять после построения системы управления.

Разработка системы управления экзоскелета коленного сустава

Теория систем управления электроприводами предполагает два способа регулирования синхронных двигателей с постоянными магнитами: трапецеидальным полем статора, переключая обмотки по встроенным в электрическую машину датчикам Холла, или синусоидальным полем, используя алгоритмы векторного управления [7]. В первом случае переключение обмоток будет производиться каждые 60 электрических градусов, что неизбежно приведет к возникновению колебаний момента двигателя. Во втором случае достигается плавное регулирование момента и частоты вращения, но требуется наличие в электромеханической системе инкрементального энкодера, что значительно сказывается на массе и габаритах устройства. В данной работе мы рассмотрим систему векторного управления электроприводом, оценим ее работу и сделаем выводы о возможности перехода к управлению посредством импульсов со встроенных в электрическую машину датчиков Холла.

Функциональная схема исследуемого электропривода приведена на рис. 2. Она включает в себя задающее устройство (ЗУ), которое анализирует

желаемое движение человека и формирует входной сигнал для системы управления (СУ). Система управления осуществляет коммутацию транзисторных ключей автономного инвертора напряжения (АИН), который, в свою очередь, питает обмотки синхронного двигателя с постоянными магнитами (СД). Датчики (Д) передают сигналы обратной связи в СУ. Вал двигателя совмещен с механической частью экзоскелета (Мех), которая представлена редуктором и четырехзвенным механизмом.

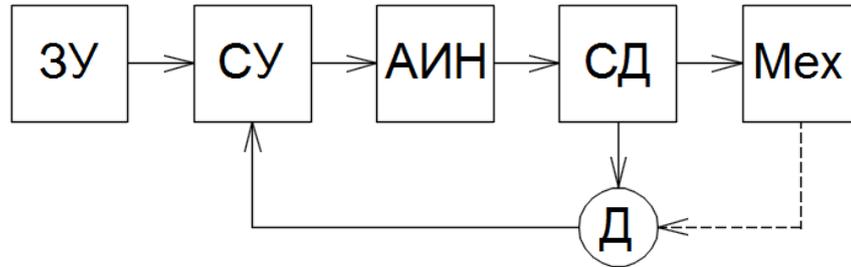


Рис. 2. Функциональная схема экзоскелета коленного сустава

Данная работа посвящена проектированию электромеханической (исполнительной) части экзоскелета коленного сустава без рассмотрения особенностей построения внешнего задающего сигнала. Предполагается, что данное воздействие формируется системой управления более высокого, относительно системы управления электроприводом, уровня.

Синхронный двигатель с постоянными магнитами опишем известной математической моделью во вращающихся синхронно с полем от постоянных магнитов координатных осях (d, q) . Основным допущением при составлении математического описания двигателя является утверждение о том, что фазные обмотки статора симметричны и расположены относительно друг друга на 120 электрических градусов [10]:

$$\begin{aligned}
 U_{sd} &= R_s (T_s p + 1) I_{sd} - R_s Z_p \omega_e T_s I_{sq}; \\
 U_{sq} &= R_s (T_s p + 1) I_{sq} + R_s Z_p \omega_e T_s I_{sd} + \omega_e \Psi_f; \\
 M &= \frac{m}{2} Z_p I_{sq} \Psi_f,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

где U_{sd} , U_{sq} – проекции вектора напряжения статора на оси d и q ; I_{sd} , I_{sq} – проекции вектора тока статора на оси d и q ; R_s – активное сопротивление обмотки статора; T_s – электромагнитная постоянная времени статорной цепи; Z_p – число пар полюсов обмотки статора; Ψ_f – магнитный поток от постоянных магнитов; ω_e – электрическая (приведенная к частоте вращения поля в обмотке статора) частота вращения ротора двигателя; m – число фаз обмотки статора.

АИН рассмотрим как линейный усилитель мощности с коэффициентом усиления k_i и постоянной времени T_i , равной величине периода широтно-

импульсной модуляции. Тогда с учетом координатных преобразований математическое описание автономного инвертора напряжений имеет вид

$$\begin{aligned} U_{sd} &= (k_i U_{sdz} + Z_p \omega_e T_i U_{sq}) / (Tp + 1); \\ U_{sq} &= (k_i U_{sqz} - Z_p \omega_e T_i U_{sd}) / (Tp + 1); \end{aligned} \quad (2)$$

где U_{sdz} , U_{sqz} – сигналы задания на напряжения статора по осям d и q .

Систему управления построим на основе классических принципов систем подчиненного регулирования [10]. Организуем три контура регулирования по оси q : контуры регулирования проекции тока по оси q , скорости и положения вала двигателя. По оси d организуем только контур регулирования тока, задачей которого будет приравнивание нулю проекции тока статора по оси d . На рис. 3 представлена функциональная схема системы управления, где приняты следующие обозначения: PT_d , PT_q – регуляторы проекции тока на оси d и q соответственно; PC – регулятор скорости; PP – регулятор положения исполнительного механизма; U_3^0, U_{oc}^0 – сигналы задания и обратной связи по положению; $U_3^\omega, U_{oc}^\omega$ – сигналы задания и обратной связи по частоте вращения; $U_3^{I_d}, U_{oc}^{I_d}$ – сигналы задания и обратной связи проекции тока на ось d ; $U_3^{I_q}, U_{oc}^{I_q}$ – сигналы задания и обратной связи проекции тока на ось q .

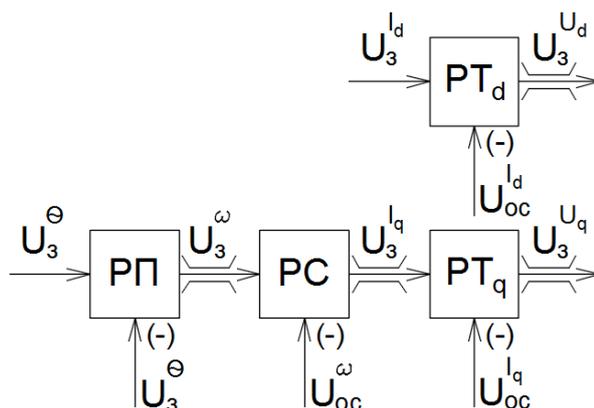


Рис. 3. Функциональная схема системы управления

Контур регулирования тока настроим на модульный оптимум [10, 11] и получим ПИ-регуляторы с передаточной функцией:

$$W_{cl}(p) = \frac{L_s}{2K_i K_I T_i} + \frac{R_s}{2K_i K_I T_i} \frac{1}{p}, \quad (3)$$

где K_I – коэффициент обратной связи по току; L_s – индуктивность обмотки статора двигателя.

Контур регулирования скорости настроим на симметричный оптимум [10, 11] и получим ПИ-регулятор с передаточной функцией:

$$W_{\omega}(p) = \frac{K_f J}{3T_{\omega} \psi_f Z_p K_{\omega}} + \frac{K_f J}{3T_{\omega}^2 \psi_f Z_p K_{\omega}} \frac{1}{p}, \quad (4)$$

где $T_{\omega} = 2T_i$ – постоянная времени контура регулирования скорости; J – суммарный момент инерции редуктора и двигателя; K_{ω} – коэффициент обратной связи по частоте вращения двигателя.

Контур регулирования положения механизма настроим на модульный оптимум и получим пропорциональный регулятор с передаточной функцией [11]:

$$W_{\theta} = \frac{K_{\theta}}{aT_{\theta} K_{\theta}} \frac{1}{p}, \quad (5)$$

где K_{θ} – коэффициент обратной связи по положению вала; $T_{\theta} = 2T_{\omega}$ – постоянная времени контура положения; a – коэффициент, определяющий вид переходного процесса, примем $a = 4$ для получения монотонного процесса.

Настройка регулятора положения на «средние» (регулятор тока находится в насыщении) и «большие» (регуляторы тока и скорости находятся в насыщении) перемещения не требуется, так как человек является более медленной подсистемой относительно экзоскелета – механическая постоянная времени пары «редуктор–двигатель» равняется 0,021 с, а время совершения человеком одного шага по ровной поверхности согласно экспериментальным данным составляет 1,029 с [12, 13]. Учитывая тот факт, что сигнал задания на желаемое положение сустава должен изменяться плавно, для того чтобы человек не двигался рывками, система автоматического управления всегда будет находиться в режиме «малых» перемещений (ни один регулятор не уходит в насыщение).

Дополним полученные выражения уравнением механики:

$$M_e - M_f = J \frac{d\omega}{dt}, \quad (6)$$

где M_e – момент двигателя; M_f – момент сопротивления перемещению.

Обозначим коэффициент передачи редуктора как K_G . Для упрощения примем, что четырехзвенный механизм не оказывает влияния на характер вращения, т.е. представляет собой механизм с центрическим вращением и передаточным числом, равным единице. Также отбросим влияние анатомической параметризации на систему управления, оценка которой невозможна до окончательного обоснования пары «редуктор–двигатель», выявления функциональных особенностей системы управления и подбора элементов, необходимых для ее реализации. Тогда передаточная функция механической части будет иметь вид

$$W_G(p) = K_G. \quad (7)$$

Выражения (1)–(7) полностью описывают исполнительную часть исследуемой системы.

Оценим качество работы спроектированной системы управления методом цифрового моделирования в программном пакете MatLab–Simulink. В качестве задающего и возмущающего воздействия используем экспериментально полученные геометрические функции, описывающие перемещение коленного сустава человека при движении по прямой ровной поверхности [12, 13]:

– функция, описывающая зависимость угла сгибания коленного сустава:

$$\theta(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega_h t) + A_2 \cos(2\omega_h t) + A_3 \cos(3\omega_h t) + A_4 \cos(4\omega_h t) + A_5 \cos(5\omega_h t) + A_6 \cos(6\omega_h t) + B_1 \sin(\omega_h t) + B_2 \sin(2\omega_h t) + B_3 \sin(3\omega_h t) + B_4 \sin(4\omega_h t) + B_5 \sin(5\omega_h t) + B_6 \sin(6\omega_h t) \text{ (град.)};$$

– функция, описывающая зависимость приведенного момента коленного сустава:

$$M_c(t) = A_0 t_0 + A_1 t_1 \cos(\omega_h t) + A_2 t_2 \cos(2\omega_h t) + A_3 t_3 \cos(3\omega_h t) + A_4 t_4 \cos(4\omega_h t) + A_5 t_5 \cos(5\omega_h t) + A_6 t_6 \cos(6\omega_h t) + B_1 t_1 \sin(\omega_h t) + B_2 t_2 \sin(2\omega_h t) + B_3 t_3 \sin(3\omega_h t) + B_4 t_4 \sin(4\omega_h t) + B_5 t_5 \sin(5\omega_h t) + B_6 t_6 \sin(6\omega_h t) \text{ (Н·м)},$$

где значения коэффициентов приведены в табл. 2; $\omega_h = 6,464$ рад/с.

Таблица 2

Коэффициенты полиномов, описывающих движение человека

Соотношения для полинома	Коэффициент полинома	Значение коэффициента									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	
$\theta(t)$	A_k	22,49	-6,24	-15,67	-0,66	-1,36	-0,64	0,18	-	-	
	B_k	-	-22,48	8,65	4,16	0,72	0,54	0,28	-	-	
$M_c(t)$	$A_k t_k$	-2,63	0,8	6,67	6,99	4,77	4,06	0,77	0,38	0,74	
	$B_k t_k$	-	-6,4	-12,95	-0,36	2,99	2,99	0,19	1,83	0,53	

Также приведем функцию, приближенно описывающую желаемую скорость перемещения:

$$\omega(t) = -A_1 \sin(\omega_h t) - 2A_2 \sin(2\omega_h t) - 3A_3 \sin(3\omega_h t) - A_4 \sin(4\omega_h t) - A_5 \sin(5\omega_h t) - 6A_6 \sin(6\omega_h t) + B_1 \cos(\omega_h t) + 2B_2 \cos(2\omega_h t) + B_3 \cos(3\omega_h t) + B_4 \cos(4\omega_h t) + B_5 \cos(5\omega_h t) + 6B_6 \cos(6\omega_h t) \text{ (град/с)}.$$

Приведенные функции построены на экспериментальных данных, полученных Дэвидом Винтером [12] при исследовании походки здорового человека с весом 56,7 кг по прямой ровной поверхности, и не могут считаться абсолютно достоверными. Однако они являются достаточными в данной работе для проведения оценочного моделирования.

Полученные графики перемещения, угловой скорости вращения и моментов системы автоматического управления представлены на рис. 4–6.

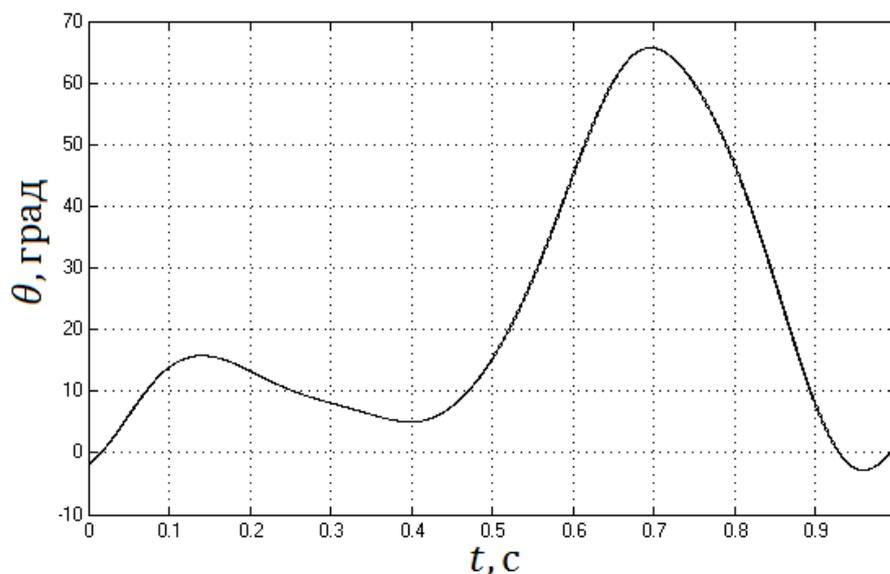


Рис. 4. Желаемое и полученное угловое перемещение коленного сустава

На рис. 4 изображено желаемое и полученное угловое перемещение коленного сустава. Как видно из рисунка, перемещение обрабатывается максимально точно. На рис. 5 также изображены желаемое и полученное значения угловой скорости перемещения коленного сустава. Графики также совпадают. На рис. 6 представлены графики момента электродвигателя и момента сопротивления, использованного для моделирования возмущающего воздействия. Они различаются динамической составляющей, что соответствует теоретическим рассуждениям. Колебание момента двигателя в начальный момент времени объясняется тем, что желаемые графики описывают человека уже в процессе ходьбы (в начальный момент времени механический момент и скорость при ходьбе не равны нулю), а математическая модель системы еще только запускается в работу – идет компенсация влияния собственных перекрестных связей. На практике экзоскелет вступает в работу с нулевой скорости с подготовленными контурами регулирования, поэтому такого явления наблюдаться не будет. Отсюда можно сделать вывод, что система векторного управления полностью справляется с поставленной задачей.

Напряжение, при котором выбранный двигатель развивает скорость холостого хода, равняется 24 В. Для обеспечения ходьбы по ровной поверхности без рассогласования по положению вала двигателя потребовалось 14 В. Таким образом, выполняется предположение о возможности питания обмоток двигателя напряжением меньше номинального.

Так как система векторного управления справляется с поставленной задачей и обеспечивает приемлемое качество регулировочных характеристик, следующим шагом становится анализ системы электропривода с трапецидальным распределением поля в обмотке статора синхронного двигателя с постоянными магнитами. Выбранный двигатель имеет четыре пары полюсов. Тогда мы будем получать импульс со встроенных в электрическую машину

датчиков Холла каждые 15 градусов (60 электрических градусов делятся на число пар полюсов, равное 4). За это время колено человека повернется на 0,15 геометрического градуса (15 градусов поворота вала двигателя через передаточное число редуктора, равное 100). Данная погрешность не является критической при перемещении человека. Таким образом система с трапецидальным распределением поля статора также может обеспечить приемлемое перемещение.

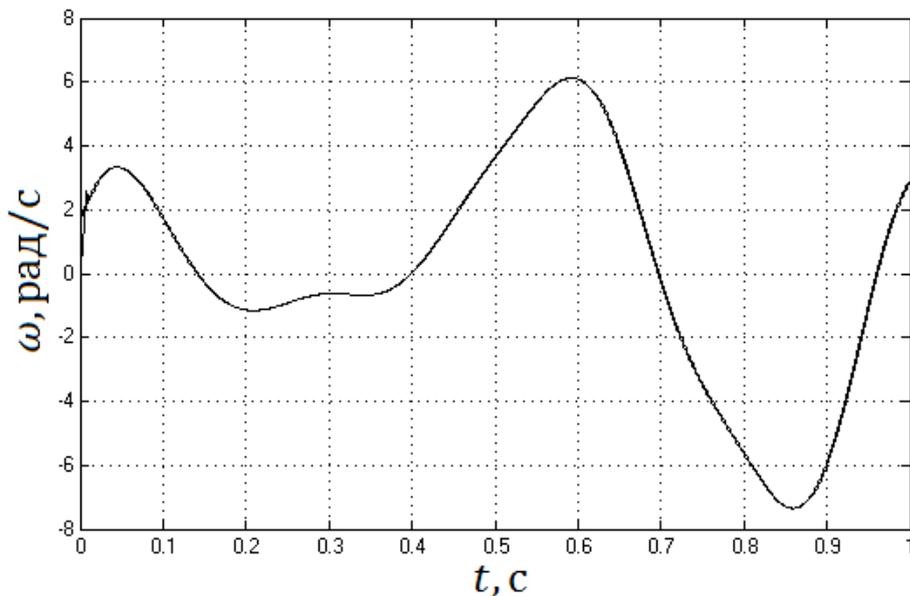


Рис. 5. Желаемая и полученная угловая скорости перемещения коленного сустава

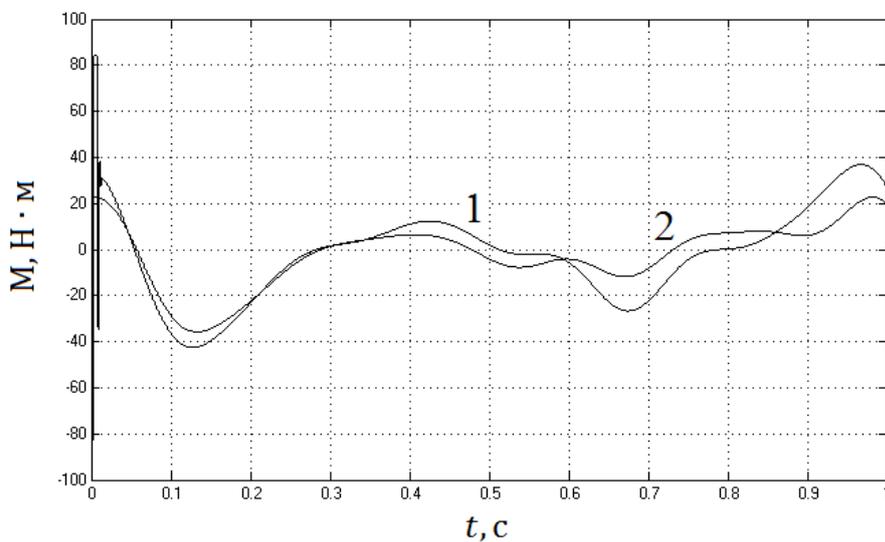


Рис. 6. Момент на выходном валу редуктора (1) и момент сопротивления коленного сустава (2)

Заключение

В данной статье освещены общие недостатки существующих активных медицинских экзоскелетов. Рассмотрены вопросы проектирования активных модулей медицинских экзоскелетов с электромеханическим приводом. Представлены результаты проектирования активного экзоскелета коленного сустава с синхронным электроприводом и системой векторного управления.

Согласно результатам моделирования экзоскелет коленного сустава с разработанным типом электропривода полностью отрабатывает шаг человека по прямой поверхности.

Следующим этапом исследования будет проектирование системы управления с трапецеидальным распределением поля в статоре электродвигателя с обратной связью от датчиков Холла, установленных непосредственно в обмотках выбранного электродвигателя, и последующие сопоставления работы такой системы управления с разработанной ранее системой векторного управления.

Библиографический список

1. What's HAL? [Электронный ресурс]: HAL's motion principle. – URL: <http://www.cyberdyne.jp/english/products/HAL/>
2. REX is a hands-free robotics mobility device for rehabilitation: REX, info, testimonial. – URL: <http://www.rexbionics.com/rex-for-clinic-use/>
3. ReWalk – More than Walking. – URL: <http://www.rewalk.com/>
4. ЭкзоАтлет. Медицинский экзоскелет для реабилитации. – URL: <http://www.exoatlet.ru/>
5. Экзоскелет как новое средство в абилитации и реабилитации инвалидов (обзор) / А. А. Воробьев, А. А. Петрухин, О. А. Засыпкина, П. С. Кривоножкина, А. М. Поздняков // Современные технологии в медицине. – 2015. – № 2, т. 7. – С. 185–197.
6. Nikolenko, M. N. Reasonability of modular motion maintaining device / M. N. Nikolenko, P. O. Beketov; research advisers: D. A. Kotin, E. V. Prohorenko // *Aspire to Science* : тез. городской науч.-практ. конф. студентов, магистрантов и аспирантов, (Новосибирск, 7 апреля 2016 г.). – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. – С. 29–30.
7. RBE Series Motors Brochure (Электронный каталог). Производитель Kollmorgen. 2003.
8. Николенко, М. Н. Подходы к разработке электромеханического узла медицинского экзоскелета коленного сустава / М. Н. Николенко, Д. А. Котин // Автоматизированный электропривод и промышленная электроника : тр. 7 Всерос. науч.-практ. конф. (Новокузнецк, 23–24 нояб. 2016 г.). – Новокузнецк : Изд-во СибГИУ, 2016. – С. 187–192.
9. Design of knee exoskeleton using foot pressure and knee torque sensors / Jung-Hoom Kim, Myounghoon Shim, Dong Hyun Ahn, Byoung Jong Son, Suk-Young Kim, Deog Young Kim, Yoon Su Baek, Baek-Kyu Cho // *International Journal of Advanced Robotic Systems*. – 2015. – Vol. 12, № 8. – P. 112.
10. Виноградов, А. Б. Векторное управление приводами переменного тока / А. Б. Виноградов. – Иваново : Изд-во Ивановск. гос. энергетич. ун-та им. В. И. Ленина, 2008. – 298 с.
11. Панкратов, В. В. Автоматическое управление электроприводами : учеб. пособие / В. В. Панкратов. – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. – Часть I. Регулирование координат электроприводов постоянного тока. – 215 с.

12. Winter, David A. Biomechanics and motor control of human movement / David A. Winter. – 4th ed. – New Jersey, 2009. – 370 p.
13. Труханов, К. А. Анализ кинематики коленного модуля с гидравлическим исполнительным механизмом и сопоставление результатов расчета с поведением коленного сустава человека при ходьбе / К. А. Труханов, Р. А. Прокопенко // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана (Электронный журнал). – 2014. – № 11. – С. 52–71.
-

Николенко Максим Николаевич
аспирант,
Новосибирский государственный
технический университет
E-mail: kinik33@mail.ru

Nikolenko Maxim Nikolayevich
postgraduate student,
Novosibirsk State Technical University

Котин Денис Алексеевич
кандидат технических наук, доцент,
кафедра электропривода
и автоматизации промышленных
установок,
Новосибирский государственный
технический университет
E-mail: d.kotin@corp.nstu.ru

Kotin Denis Alekseyevich
candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of electric drive and
industry automation,
Novosibirsk State Technical University

УДК 621.316

Николенко, М. Н.

Активный модуль медицинского экзоскелета с синхронным электроприводом и системой векторного управления / М. Н. Николенко, Д. А. Котин // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 155–167.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЬЕЗОМАТЕРИАЛОВ¹

А. В. Светлов, А. В. Князьков, М. Ю. Паршуков, Н. В. Родионова

AUTOMATED MEASURING SYSTEM FOR TESTING PARAMETERS OF PIEZOELECTRIC MATERIALS

A. V. Svetlov, A. V. Knyazkov, M. Yu. Parshukov, N. V. Rodionova

Аннотация. *Актуальность и цели.* Изделия из пьезоматериалов широко применяются в качестве первичных измерительных преобразователей для контроля параметров промышленного оборудования в различных областях техники. Работая в жестких условиях эксплуатации, изделия из пьезоматериалов должны максимально сохранять свои параметрические характеристики. Это обуславливает необходимость разработки измерителей, способных осуществлять контроль и анализ параметров изделий из пьезоматериалов. *Материалы и методы.* В статье рассмотрена структура аппаратной части автоматизированного измерителя параметров изделий из пьезоматериалов. *Результаты.* Было проведено моделирование измерительной схемы, получены графики АЧХ и определены электрические параметры для модели пьезокерамического элемента. *Выводы.* Автоматизированный измеритель параметров изделий из пьезоматериалов позволяет определять резонансные частоты, добротность и электрические параметры пьезокерамических элементов в соответствии с четырехэлементной эквивалентной электрической схемой.

Ключевые слова: пьезоматериалы, автоматизированный измеритель, программное обеспечение.

Abstract. *Background.* Products from piezomaterials are widely used as primary measuring converters for monitoring the parameters of industrial equipment in various fields of technology. Working in harsh operating conditions, products from piezomaterials should preserve their parametric characteristics as much as possible. This necessitates the development of measuring system for monitoring and analyzing the parameters of piezomaterials. *Materials and methods.* The article describes the structure of the hardware of the automated meter piezomaterials parameters. *Results.* The simulation of the measuring circuit was made, the AFC curves were obtained and the electrical parameters for the model of the piezoceramic element were determined. *Conclusions.* Automated measuring instrument of piezomaterial products allows to determine the resonance frequencies, quality factor and electrical parameters of piezoceramic elements in accordance with the four-element equivalent electrical circuit.

Key words: piezoelectric materials, automated meter, software.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00233 «Аппаратно-программные комплексы для автоматизированного измерения частотных и временных параметров аналоговых микросхем и пьезокерамических элементов».

Введение

Многие современные электронные устройства как бытового, так и промышленного и военного назначения, используют в своем составе изделия из пьезоматериалов. Пьезокерамические элементы (ПКЭ) находят широкое применение в измерительной технике, акустоэлектронике, медицине и являются основой датчиков различных физических величин и преобразователей [1].

Создание новых пьезоматериалов, а также ПКЭ с заданными электрическими и физическими параметрами требует новых методов контроля их параметров при производстве.

Данная работа посвящена разработке измерителя параметров изделий из пьезоматериалов, отличающегося автоматизацией процессов подготовки и проведения измерительного эксперимента за счет использования в аппаратной части измерителя программно-управляемых модулей.

Структура автоматизированного измерителя параметров изделий из пьезоматериалов

Предлагаемый измерительный комплекс производит измерения согласно четырехэлементной эквивалентной электрической схеме [2]. Электрические параметры ПКЭ определяются методом совокупных измерений с использованием нескольких тестовых сигналов и последующим решением системы уравнений, описывающих выходные сигналы измерительной схемы, в которую включается исследуемый ПКЭ [3]. В данной работе используется методика совокупных измерений параметров ПКЭ с несколькими тестовыми синусоидальными сигналами, частоты которых соответствуют характерным точкам амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) измерительной схемы.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства.

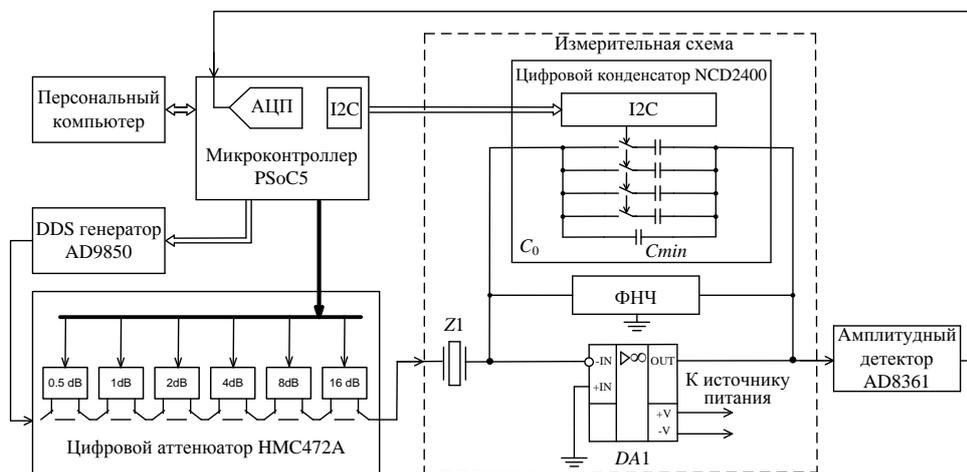


Рис. 1. Структурная схема автоматизированного измерителя параметров изделий из пьезоматериалов

Исследуемый ПКЭ включается во входной цепи измерительной схемы на основе быстродействующего операционного усилителя (ОУ), в цепи отрицательной обратной связи которого включен опорный конденсатор.

Для исключения влияния на точность измерения в измерительной схеме необходимо использовать быстродействующий операционный усилитель с полевыми транзисторами во входном дифференциальном каскаде. Усилители с входным каскадом на полевых транзисторах с управляющим р–п-переходом JFET (Junction-Field-Effect-Transistors) обеспечивают высокое входное сопротивление и сверхнизкий входной ток смещения, что позволяет применять их в схемах, требующих высокого быстродействия.

К числу таких усилителей относится ОУ ОРА656 компании Texas Instruments [4]. Микросхема ОРА656 обладает полосой пропускания 500 МГц, весьма низким уровнем шума ($7 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$), малыми нелинейными искажениями, высоким коэффициентом усиления (65 дБ) и малым выходным сопротивлением (0,01 Ом), что позволяет на практике рассматривать эти ОУ как близкие к идеальным.

Емкость опорного конденсатора в цепи обратной связи ОУ выбирается приблизительно равной сумме ожидаемых значений емкостей эквивалентной схемы ПКЭ и зависит от типа материала и геометрических размеров.

В качестве опорного конденсатора используется программно-управляемый конденсатор переменной емкости с энергонезависимой памятью NCD2400 [5], построенный по схеме цифровой программируемой матрицы конденсаторов, выполненных на одном кристалле с интерфейсной и управляющей логикой. Емкость конденсатора может изменяться в диапазоне от 1,7 пФ до 194 пФ с шагом 0,376 пФ. Значение запрограммированной емкости хранится в энергонезависимой памяти. Установка требуемого значения емкости производится через двухпроводный последовательный интерфейс в соответствии с управляющими командами микроконтроллера. Применение данной микросхемы позволяет не только значительно сократить число компонентов на печатной плате, но и дает возможность разработать автоматизированный аппаратно-программный комплекс.

Для стабилизации режима работы ОУ измерительной схемы по постоянному току в цепи обратной связи ОУ параллельно емкости C_0 включен Т-образный фильтр нижних частот.

Для формирования синусоидальных тестовых сигналов различных частот используется программно-управляемый генератор AD9850, обладающий высоким разрешением и быстрой перестройкой частоты. Частота синусоидального напряжения генератора изменяется с целью определения резонансных частот и добротности исследуемого ПКЭ.

Поиск резонансной частоты осуществляется в соответствии с разработанной авторами методикой при итерационном сужении диапазона поиска. По мере приближения к резонансу необходимо уменьшать амплитуду выходного сигнала генератора, чтобы не допустить превышения максимального допустимого значения выходного напряжения ОУ измерительной схемы. Регулирование амплитуды сигнала осуществляется с помощью аттенюатора, ослабляющего выходной сигнал в необходимое количество раз. На практике

получили распространение резистивные аттенюаторы с использованием резисторов постоянного сопротивления на основе Т- или П-образных звеньев.

Так как разработанный измеритель представляет аппаратно-программный комплекс, он не предполагает наличие внешних органов управления, а все управление осуществляется микроконтроллером путем подачи команд из управляющей программы на персональном компьютере.

В качестве аттенюатора была выбрана микросхема НМС472А [6] с цифровым управлением, представляющая собой сборку из сверхминиатюрных резистивных СВЧ-аттенюаторов микрополосковой конструкции с полосой частот от постоянного тока до десятков гигагерц. Аттенюатор позволяет осуществлять регулирование амплитуды сигнала в диапазоне значений от 0 до 31,5 дБ с шагом 0,5 дБ.

Огибающая выходного напряжения измерительной схемы выделяется линейным амплитудным детектором AD8361, обладающим большим коэффициентом передачи в широкой полосе рабочих частот.

Оцифровка выходного сигнала детектора, управление DDS-генератором и программно-управляемыми конденсатором и аттенюатором, а также взаимодействие аппаратной части с персональным компьютером осуществляются с помощью программируемой системы на кристалле PSoC 5.

Моделирование измерительной схемы на ОУ

Было проведено моделирование измерительной схемы на ОУ ОРА656. На рис. 2 приведена принципиальная схема измерительной части на ОУ, моделирование которой осуществлялось с применением программы PSpice пакета OrCAD. Согласно схеме замещения C_1 , L_1 , R_1 – динамические емкость, индуктивность и сопротивление; C_2 – параллельная емкость.

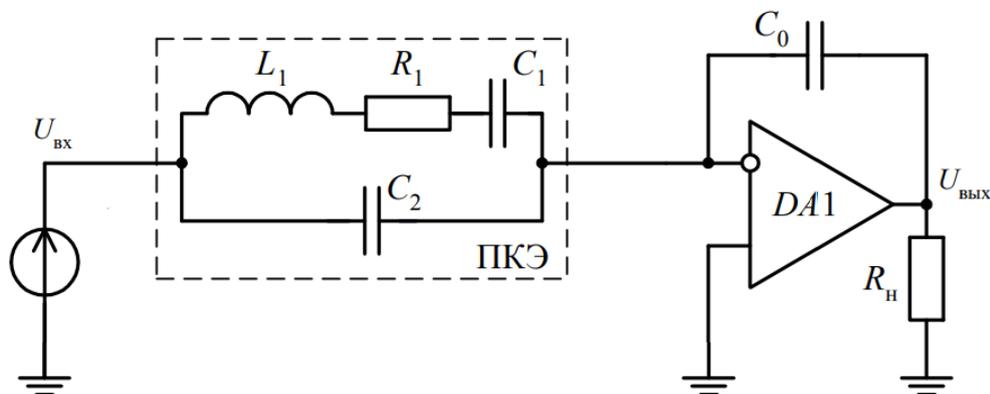


Рис. 2. Модель измерительной схемы в OrCAD

Моделирование проводилось с использованием модели ОУ ОРА656 [7] при следующих значениях параметров четырехкомпонентной эквивалентной схемы замещения: $C_1 = 5$ пФ; $L_1 = 0,5$ Гн; $R_1 = 1$ кОм; $C_2 = 20$ пФ. Емкость конденсатора C_0 выбрана равной 25 пФ, а амплитуда входного синусоидального напряжения установлена равной 50 мВ.

На вход измерительной схемы подавалось синусоидальное напряжение с идеального источника сигнала. Частота синусоидального напряжения изменялась в диапазоне ожидаемых значений частоты последовательного резонанса. На рис. 3 показана амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) измерительной схемы.

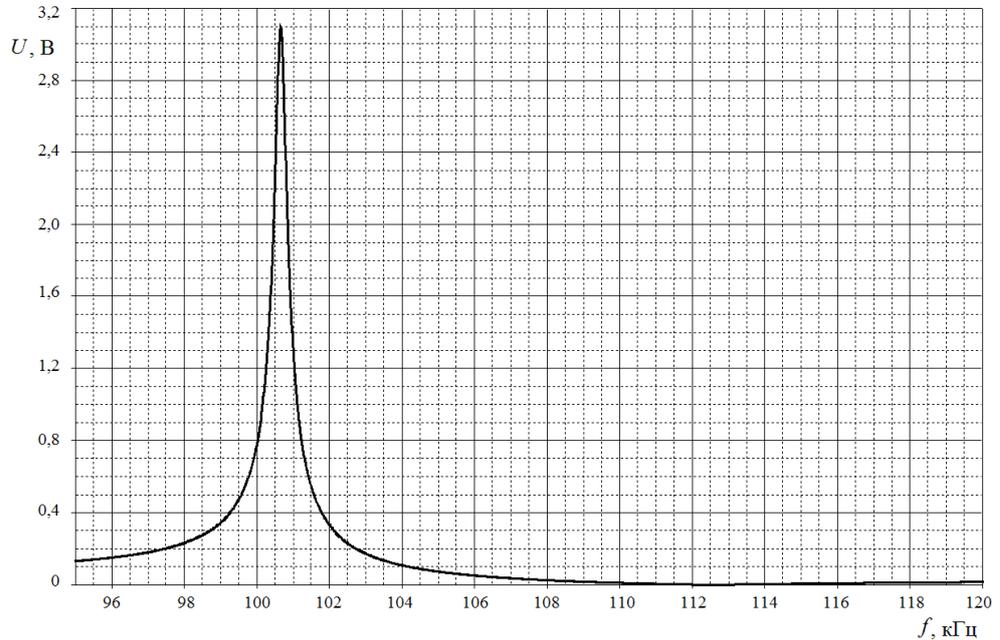


Рис. 3. АЧХ измерительной схемы

Далее производилось измерение частоты последовательного резонанса f_0 и амплитуды $U_{\text{макс}}$ выходного напряжения на этой частоте. Затем измерялись частоты f' и f'' выше и ниже резонансной частоты, при которых амплитуда выходного напряжения составляла $0,707 \cdot U_{\text{макс}}$. АЧХ измерительной схемы в области резонанса приведена на рис. 4.

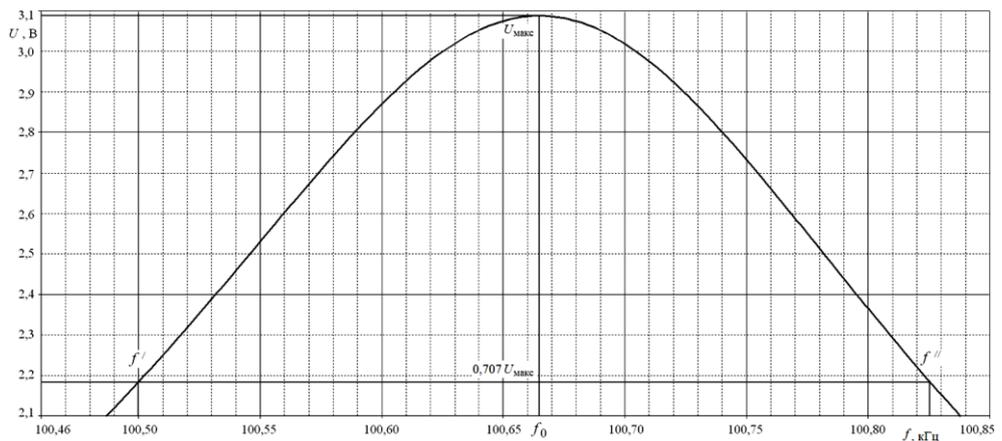


Рис. 4. АЧХ измерительной схемы в области резонанса

Значения резонансных частот и добротности соответственно равны $f_0 = 100,6584$ кГц; $f_1 = 112,5395$ кГц; $Q = 316,2278$.

По измеренным значениям частот f_0 , f' и f'' определялись расстройка $2\Delta = f'' - f'$ и добротность $Q = f_0/2\Delta f$, измерялась частота параллельного резонанса (антирезонанса) f_1 . АЧХ измерительной схемы в области антирезонанса приведена на рис. 5.

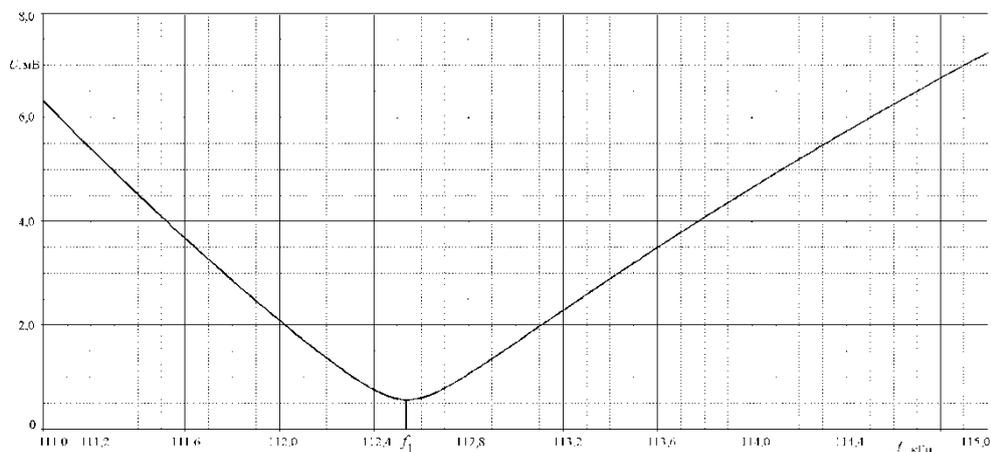


Рис. 5. АЧХ измерительной схемы в области антирезонанса

В рассматриваемом примере получены следующие измеренные значения резонансных частот, расстройки и добротности: $f_{0\text{изм}} = 100,665$ кГц; $f_{1\text{изм}} = 112,538$ кГц, $2\Delta f_{\text{изм}} = 0,325$ кГц; $Q_{\text{изм}} = 309,74$.

Программное обеспечение разработанного автоматизированного измерителя параметров изделий из пьезоматериалов составлено в среде графического программирования LabVIEW с применением дополнительного пакета LINX, который представляет собой слой аппаратных абстракций, что позволяет иметь единый интерфейс LabVIEW для множества различных аппаратных устройств и микроконтроллеров.

Для ввода исходных данных и представления результатов измерений разработан соответствующий виртуальный прибор, на лицевой панели которого отображаются измеренные значения частот резонанса и антирезонанса, добротности и параметров пьезоматериалов в соответствии с принятой для измерения четырехэлементной эквивалентной электрической схемой.

Заключение

Изготовлен действующий макет автоматизированного измерителя параметров изделий из пьезоматериалов. Отличительной особенностью предлагаемого измерителя является высокое быстродействие, которое достигается за счет использования в аппаратной части современной элементной базы: программно-управляемого DDS-генератора, быстродействующего операционного усилителя для построения измерительной схемы, аналого-цифрового преобразователя с программно-управляемым разрешением, программно-

управляемого аттенюатора с регулируемым коэффициентом усиления. Для управления автоматизированным измерителем в среде LabVIEW разработаны виртуальные приборы, позволяющие проводить измерения параметров ПКЭ в автоматизированном режиме с высоким быстродействием.

Библиографический список

1. Земляков, В. Л. Методы и средства измерений в пьезоэлектрическом приборостроении : монография / В. Л. Земляков. – Ростов н/Д : Изд-во ЮФУ, 2009. – Т. 5. Пьезоэлектрическое приборостроение. – 180 с.
2. Светлов, А. В. Определение электрических параметров пьезокерамических элементов, представляемых четырехэлементной эквивалентной схемой / Н. В. Родионова, А. С. Колдов, А. В. Светлов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та, 2015. – № 04 (26). – С. 106–114. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23636629>
3. Князьков, А. В. Измерительный стенд для исследования пьезокерамических элементов / А. В. Князьков, А. С. Колдов, Н. В. Родионова, А. В. Светлов // сб. тр. XV Международ. конф. NIDays-2016 (Москва, 25 ноября 2016 г.). – М. : ДМК Пресс, 2016. – С. 157–160. – URL: http://www.labview.ru/conference/Sbornik_NIDays2016.pdf
4. OPA656 Wideband, Unity Gain Stable, FET-Input Operational Amplifier. – Texas Instruments. – URL: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa656.pdf>
5. Цифровой программируемый конденсатор NCD2400. – URL: <https://www.ixysiss.com/ncd2400>
6. Цифровой аттенюатор HMC472A. – URL: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/hmc472a.pdf>
7. OPA656 PSpice Model (Rev. B). Texas Instruments (NASDAQ: TXN). – URL: <http://www.ti.com/product/OPA656/toolssoftware>

Светлов Анатолий Вильевич

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой радиотехники
и радиоэлектронных систем,
Пензенский государственный
университет
E-mail: rtech@pnzgu.ru

Svetlov Anatoly Vilyevich

doctor of technical sciences, professor,
head of sub-department of radio engineering
and radio electronic systems,
Penza State University

Князьков Александр Владимирович

аспирант,
Пензенский государственный
университет
E-mail: rtech@pnzgu.ru

Knyazkov Aleksander Vladimirovich

postgraduate student,
Penza State University

Паршуков Максим Юрьевич

кандидат технических наук, инженер,
Пензенский государственный
университет
E-mail: rtech@pnzgu.ru

Parshukov Maxim Yuryevich

candidate of technical sciences, engineer,
Penza State University

Родионова Нина Владимировна
аспирант,
Пензенский государственный
университет
E-mail: rtech@pnzgu.ru

Rodionova Nina Vladimirovna
postgraduate student,
Penza State University

УДК 621.317.3

Светлов, А. В.

Автоматизированный измеритель параметров изделий из пьезоматериалов / А. В. Светлов, А. В. Князьков, М. Ю. Паршуков, Н. В. Родионова // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 168–175.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ДИАГРАММЫ
РАБОЧЕГО ЦИКЛА ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Д. А. Тарасов, Г. С. Большаков, А. В. Липов, К. А. Носков

**OPTIMIZATION OF PARAMETERS
OF WORK CYCLE DIAGRAM FREQUENCY-REGULATED
ASYNCHRONOUS MOTOR**

D. A. Tarasov, G. S. Bolshakov, A. V. Lipov, K. A. Noskov

Аннотация. Актуальность и цели. В настоящее время широкое распространение в приводах различных машин и механизмов получили частотно-регулируемые асинхронные двигатели с управлением от программируемых контроллеров, которые позволяют гибко настраивать систему в соответствии с требуемыми параметрами движения. Выбор компонентов электропривода, как правило, осуществляется по требуемому усилию в режиме установившейся скорости. Однако существуют механизмы и устройства, в которых нагрузкой в установившихся режимах является только сила трения, которая несопоставимо мала по сравнению с инерционными нагрузками в переходных режимах. При этом характеристикой движения таких устройств является только время позиционирования, а скорость перемещения и ускорения при пуске и торможении, не являясь выходными характеристиками, оказывают существенное влияние на проектирование узлов устройства, так как определяют инерционные нагрузки и работу пар трения. *Материалы и методы.* Основаны на теории математического моделирования с использованием аппарата дифференциального и интегрального исчисления функций одной и нескольких переменных, положениях теоретической механики и электропривода, а также методах математического программирования. *Результаты.* Предложен метод оптимизации параметров диаграммы рабочего цикла частотно-регулируемого асинхронного электропривода механизмов с преобладающей инерционной нагрузкой. *Выводы.* Разработанный метод оптимизации позволит по заданным массогабаритным характеристикам устройства и времени рабочего цикла подбирать элементы электропривода, такие как редуктор, электродвигатель и преобразователь частоты с минимальными мощностями.

Ключевые слова: оптимизация, циклограмма, электропривод, противотаранное устройство.

Abstract. Background. Currently, a wide distribution in the drives of various machines and mechanisms has received frequency-controlled asynchronous motors with control from programmable controllers, which allow flexible adjustment of the system in accordance with the required parameters of motion. The choice of the components of the electric drive, as a rule, is carried out according to the required force in the steady-state speed mode. However, there are mechanisms and devices in which the load in steady-state conditions is only the friction force, which is incommensurably small in comparison with the inertial loads in the transient regimes. In this case, only the time of positioning is the characteristic of the movement of such devices, and the speed of movement and acceleration during start-up and braking are not the output characteristics, have a significant influence on the design of the device nodes, since they determine the inertial loads and the work of friction pairs. *Materials and methods.* They are based on the theory of mathematical

modeling using the apparatus of differential and integral calculus of functions of one and several variables, the positions of theoretical mechanics and electric drive, as well as methods of mathematical programming. *Results.* A method for optimizing the parameters of a working cycle diagram of a frequency-controlled asynchronous electric drive of mechanisms with a predominant inertial load is proposed. *Conclusions.* The developed optimization method will allow to select the elements of the electric drive, such as a reducer, an electric motor and a frequency converter with minimum powers, according to the specified mass-size characteristics of the device and the operating time.

Key words: optimization, cyclogram, electric drive, antitouch device.

Введение

В настоящее время широко распространены механизмы, приводимые в движение автоматизированными электромеханическими системами. Одним из основных элементов таких систем является электродвигатель, который непосредственно преобразует электрическую энергию в механическую работу. С помощью соответствующих преобразовательных и управляющих устройств формируются требуемые динамические характеристики перемещения исполнительного органа технологического механизма.

Рассмотрим в качестве примера противотаранное управляемое устройство (барьер) с конструктивным исполнением в виде шлагбаума [1, 2, 3], представленное на рис. 1. Данное изделие предназначено для защиты охраняемых объектов путем создания физического препятствия несанкционированному въезду или выезду транспортных средств и принудительной их остановки.

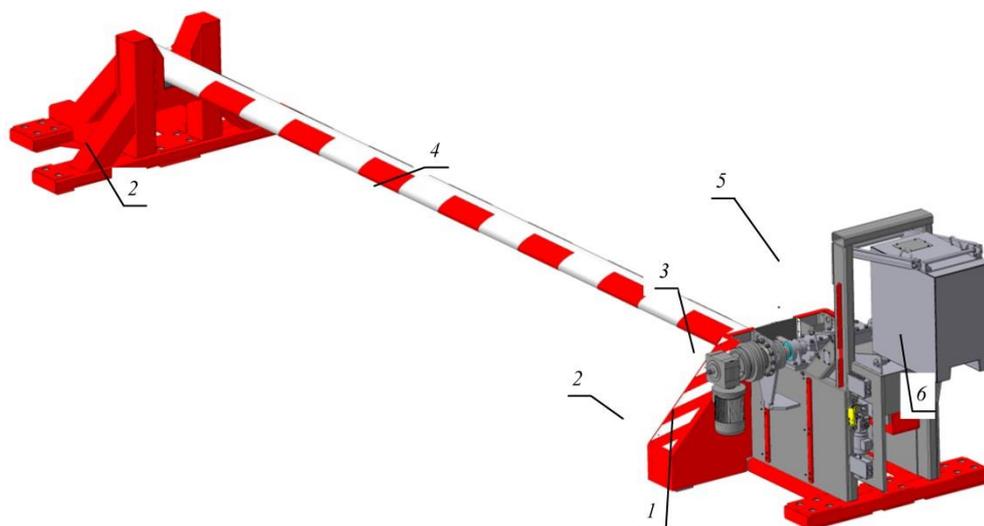


Рис. 1. Общий вид противотаранного управляемого устройства:
1 – электродвигатель; 2 – силовая опора; 3 – планетарный редуктор;
4 – стрела; 5 – рама; 6 – противовес

Принцип действия противотаранных устройств данного конструктивного исполнения заключен в быстром перекрытии проезжей части дорожного полотна перемещающейся стрелой барьера в вертикальной плоскости.

Согласно терминам и определениям, принятым в нормативной литературе [2], положение стрелы, зафиксированной на силовых опорах шлагбаума в горизонтальной плоскости, называется рабочим. В свою очередь, стрела, уравновешенная противовесом, на валу, установленном на раме барьера, перемещается из рабочего в нейтральное положение посредством мотора-редуктора. Нейтральным положением называется состояние противотаранного устройства, при котором стрела находится в крайнем верхнем положении и не препятствует продвижению транспортных средств через перекрываемый проезд.

Постановка задачи

Следуя терминам и определениям нормативного документа [4], типичное исполнительное устройство рассматриваемого изделия включает в себя электродвигатель, механический редуктор, преобразователь частоты и контроллер, предназначенные для приведения в движение и управления стрелой барьера.

Речь идет не только о сообщении стреле противотаранного устройства вращательного движения, но главным образом об обеспечении оптимального режима работы системы в целом, при котором за минимально возможное время стрела, перекрывающая проезд, перемещается из одного крайнего положения в другое. При этом оптимальной циклограммой работы будет та, у которой во время режима разгона достигается максимально допустимый крутящий момент, развиваемый мотором-редуктором. Это позволяет сократить время разгона и, соответственно, общее время работы электропривода, а значит, время перемещения стрелы барьера из нейтрального в рабочее положение, что является основным показателем готовности к работе противотаранного устройства в целом. В свою очередь, в режиме торможения мощность, выделяемая электродвигателем, работающим в генераторном режиме, не должна превышать той мощности, которую может рассеять преобразователь частоты за счет собственной конструкции, не используя дорогостоящее дополнительное оборудование в виде тормозного модуля и резистора. При этом время торможения так же, как и время разгона, должно быть минимальным.

Оптимизация параметров диаграммы рабочего цикла электропривода

Теперь детально рассмотрим электромеханическую систему переменного тока, использующую короткозамкнутый асинхронный двигатель с присоединенным планетарным редуктором, питающийся от преобразователя частоты.

Все преобразователи частоты имеют функции изменения характеристик разгона и торможения, обеспечивающих динамические параметры электродвигателя.

Характеристика разгона показывает темп, с которым происходит увеличение скорости вращения, и задается в виде времени разгона. В свою очередь характеристика торможения показывает, насколько быстро снижается скорость. Она задается в виде времени торможения. Эти параметры можно

изменять, тем самым увеличивая или уменьшая скорость в определенном интервале.

Длительность разгона можно установить такой малой величиной, что в некоторых случаях электродвигатель не сможет обеспечить разгон за заданное время.

Это приводит к увеличению тока электродвигателя до тех пор, пока не будет достигнут предел по току. Система контроля работы преобразователя частоты устроена таким образом, что при возникновении перегрузки по току преобразователь отключается.

В свою очередь, когда сигнал задания скорости снижается, электродвигатель переходит в режим частотного торможения. Замедление при торможении зависит от величины нагрузки электродвигателя.

Электродвигатель, работающий от преобразователя частоты, сохраняет энергию торможения в цепи постоянного тока последнего. Если мощность, выделяемая при торможении, велика и преобразователь частоты не может рассеять ее за счет собственной конструкции, напряжение цепи постоянного тока возрастает.

Напряжение цепи постоянного тока может расти до тех пор, пока преобразователь частоты не будет отключен средствами защиты.

Из всего этого следует, что очень важно сделать правильный выбор преобразователя частоты. От него будут зависеть эффективность и ресурс работы преобразователя и всего электропривода в целом. При выборе преобразователя частоты следует руководствоваться не только мощностью подключаемого электродвигателя, но и диапазоном рабочих скоростей двигателя, диапазоном рабочих моментов вращения, характером нагрузки и циклограммой работы механизма.

Исходными данными для построения диаграммы рабочего цикла служит режим эксплуатации механизма перемещения стрелы противотаранного устройства, его скорости и временные интервалы движения. На рис. 2 представлена такая диаграмма, на которой можно выделить три участка работы электропривода: разгон, рабочий ход, или установившееся движение, на котором скорость постоянна, и торможение.

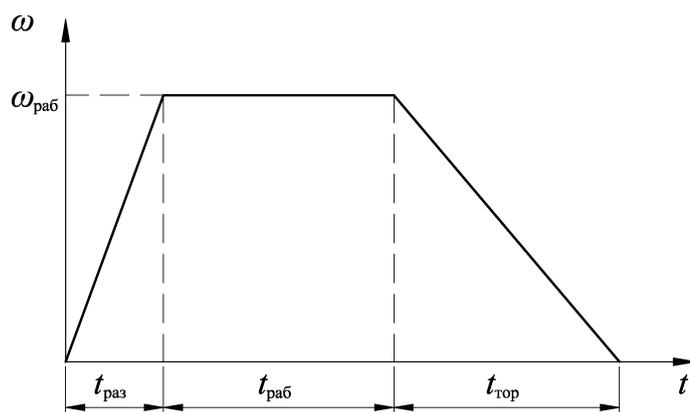


Рис. 2. Диаграмма рабочего цикла

Крутящий момент, требуемый для разгона, определяется из выражения

$$M_{\text{раз}} = \varepsilon_{\text{раз}} J, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{\text{раз}}$ – угловое ускорение при разгоне, рад/с²; J – момент инерции нагрузки, кг·м².

В свою очередь, угловое ускорение при разгоне определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{раз}} = \frac{\omega_{\text{раб}}}{t_{\text{раз}}}, \quad (2)$$

где $\omega_{\text{раб}}$ – угловая скорость при рабочем ходе, рад/с; $t_{\text{раз}}$ – время разгона, с.

Подставив выражение (2) в формулу (1), выразим время разгона:

$$t_{\text{раз}} = \frac{\omega_{\text{раб}} J}{M_{\text{раз}}}. \quad (3)$$

Мощность, выделяемая при торможении, характеризуется максимальной (пиковой) мощностью, получаемой в начальный момент времени торможения, которая, в свою очередь, уменьшается до нуля пропорционально угловой скорости:

$$P_{\text{тор}} = M_{\text{тор}} \omega_{\text{раб}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{тор}}$ – момент силы торможения, Н·м.

Момент силы торможения определяется из выражения

$$M_{\text{тор}} = \varepsilon_{\text{тор}} J, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\text{тор}}$ – угловое замедление при торможении, рад/с².

В свою очередь, угловое замедление при торможении равно

$$\varepsilon_{\text{тор}} = \frac{\omega_{\text{раб}}}{t_{\text{тор}}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{тор}}$ – время торможения, с.

Подставив формулы (6) и (5) в выражение (4), выразим время торможения:

$$t_{\text{тор}} = \frac{\omega_{\text{раб}}^2 J}{P_{\text{тор}}}. \quad (7)$$

Из физического смысла задачи угол поворота стрелы барьера из одного крайнего положения в другое составляет $\pi/2$ рад и является суммой углов, пройденных при разгоне, рабочем ходе и торможении. Математически это записывается так:

$$\varphi_{\text{раз}} + \varphi_{\text{раб}} + \varphi_{\text{тор}} = \frac{\pi}{2}. \quad (8)$$

Угол поворота при разгоне равен

$$\varphi_{\text{раз}} = \frac{\varepsilon_{\text{раз}} t_{\text{раз}}^2}{2}. \quad (9)$$

Формула по нахождению угла поворота, пройденного с постоянной угловой скоростью, имеет вид

$$\varphi_{\text{раб}} = \omega_{\text{раб}} t_{\text{раб}}, \quad (10)$$

где $t_{\text{раб}}$ – время рабочего хода, с.

Угол поворота при торможении

$$\varphi_{\text{тор}} = \frac{\varepsilon_{\text{тор}} t_{\text{тор}}^2}{2}. \quad (11)$$

Подставив уравнения (11), (10) и (9) в выражение (8) и зная, что $\varepsilon_{\text{тор}}$ определяется по формуле (6), а $\varepsilon_{\text{раз}}$ – по формуле (2), после сокращения получим:

$$\frac{\omega_{\text{раб}} t_{\text{раз}}}{2} + \omega_{\text{раб}} t_{\text{раб}} + \frac{\omega_{\text{раб}} t_{\text{тор}}}{2} = \frac{\pi}{2}. \quad (12)$$

Подставив в полученное выражение (12) ранее найденные по формуле (3) и (7) соответственно время разгона и торможения, запишем:

$$\frac{\omega_{\text{раб}}^2 J}{2M_{\text{раз}}} + \omega_{\text{раб}} t_{\text{раб}} + \frac{\omega_{\text{раб}}^3 J}{2P_{\text{тор}}} = \frac{\pi}{2}. \quad (13)$$

Из физического смысла задачи общее время работы состоит из времени разгона, рабочего хода и торможения и, в свою очередь, из постановки задачи должно быть минимальным:

$$t_{\text{раз}} + t_{\text{раб}} + t_{\text{тор}} = t_{\text{общ}}. \quad (14)$$

Подставив выражения (3) и (7) в формулу (14), получим уравнение вида

$$\frac{\omega_{\text{раб}} J}{M_{\text{раз}}} + t_{\text{раб}} + \frac{\omega_{\text{раб}}^2 J}{P_{\text{тор}}} = t_{\text{общ}}. \quad (15)$$

Для решения задачи по построению оптимальной диаграммы рабочего цикла частотно-регулируемого асинхронного двигателя необходимо найти вектор значений аргументов, при которых целевая функция достигает минимума. В качестве целевой функции будем использовать общее время работы электропривода. Угловая скорость и время ее действия на участке установившегося движения являются аргументами, по которым производится минимизация.

Таким образом, целевая функция примет вид

$$f(\omega_{\text{раб}}, t_{\text{раб}}) = \frac{\omega_{\text{раб}} J}{M_{\text{раз}}} + t_{\text{раб}} + \frac{\omega_{\text{раб}}^2 J}{P_{\text{тор}}}. \quad (16)$$

При этом задача оптимизации содержит ограничение. Это ограничение задается некоторой функцией и следует из равенства девяноста градусам угла, пройденного из одного крайнего положения в другое стрелой барьера, приводимой в движение электроприводом:

$$g(\omega_{\text{раб}}, t_{\text{раб}}) = \frac{\omega_{\text{раб}}^2 J}{2M_{\text{раз}}} + \omega_{\text{раб}} t_{\text{раб}} + \frac{\omega_{\text{раб}}^3 J}{2P_{\text{тор}}} - \frac{\pi}{2} = 0. \quad (17)$$

Решение рассматриваемой задачи условной минимизации можно получить, используя аналитический метод – метод множителей Лагранжа [5, 6].

После того как определена установившаяся угловая скорость вращения стрелы барьера, измеряемая в радианах, появляется возможность по следующей формуле перейти к частоте вращения ротора электродвигателя, измеряемой в оборотах в минуту:

$$n_{\text{раб}} = \frac{60}{2\pi} \omega_{\text{раб}} i, \quad (18)$$

где i – передаточное число редуктора.

Частота напряжения, питающего обмотки статора электродвигателя, связана с частотой вращения его ротора зависимостью

$$f_{\text{раб}} = \frac{n_{\text{раб}} p}{60}, \quad (19)$$

где p – число пар полюсов статора электродвигателя.

Таким образом, частота вращения ротора электродвигателя зависит от частоты напряжения питания. На этой зависимости и основан метод частотного регулирования. Изменяя с помощью преобразователя частоту на входе электродвигателя, можно регулировать частоту вращения ротора.

Для построения нагрузочных диаграмм, характеризующих работу электропривода и представляющих собой зависимости угловой скорости, вращающего момента, мощности и угла поворота от времени, необходимо иметь аналитическое выражение диаграммы рабочего цикла, для этого выполним линейную аппроксимацию данного графика.

В качестве примера с диаграммы рабочего цикла, представленной на рис. 2, в координатах «частота напряжения питания на входе электродвигателя – время» снимем значения абсцисс и ординат нескольких характерных точек: начала и конца площадки установившегося движения, точек, соответствующих общему времени работы и началу координат.

Вектор частоты питающего напряжения электродвигателя запишем следующим образом:

$$\vec{f} = \begin{bmatrix} 0 \\ f_{\text{раб}} \\ f_{\text{раб}} \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Вектор значений, расположенных на оси абсцисс, примет вид

$$\vec{t} = \begin{bmatrix} 0 \\ t_{\text{раз}} \\ t_{\text{раз}} + t_{\text{раб}} \\ t_{\text{раз}} + t_{\text{раб}} + t_{\text{тор}} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

После получения уравнения кривой частоты питающего напряжения электродвигателя от времени можно построить тахограмму движения стрелы барьера по выражению

$$\omega(t) = \frac{2\pi f(t)}{pi}. \quad (22)$$

Формулу для определения угла поворота стрелы барьера в любой момент времени получим путем интегрирования выражения (22):

$$\varphi(t) = \frac{180}{\pi} \int_0^t \omega(t) dt. \quad (23)$$

В уравнении (23) за знак интеграла вынесен коэффициент перевода в градусы величины угла, измеряемой в радианах.

Момент определяется величиной инерционной массы, приводимой в движение. Противотаранное управляемое устройство с конструктивным исполнением в виде шлагбаума рассматривается как одномассовая динамическая система с приведением момента инерции вращающейся стрелы барьера, уравновешенной противовесом, к валу мотора-редуктора.

Момент, обусловленный изменением кинетической энергии за счет изменения угловой скорости, определяется по формуле

$$M(t) = J \frac{d}{dt} \omega(t). \quad (24)$$

Зависимость мощности от момента основана на выражении

$$P(t) = M(t) \omega(t). \quad (25)$$

Проверка адекватности предложенного метода оптимизации

В качестве оценки адекватности разработанного метода оптимизации параметров циклограммы частотно-регулируемого электропривода проведем сравнительный анализ диаграмм, представляющих собой зависимость частоты питающего напряжения электродвигателя от времени. Данные диаграммы получим с помощью вычислительного и натурального экспериментов. Для этого рассмотрим противотаранное управляемое устройство, представленное на рис. 1.

Указанное изделие содержит планетарный мотор-редуктор с передаточным отношением $i = 260,4$, крутящим моментом $M = 4000$ Н·м и электродвигателем с двумя парами полюсов $p = 2$, а также преобразователь частоты, способный

рассеять за счет собственной конструкции мощность, выделяемую электродвигателем в генераторном режиме, равную $P = 1000$ Вт. Момент инерции нагрузки, приведенный к ротору электродвигателя, равен $J = 16\,000$ кг·м². Время перемещения стрелы устройства из одного крайнего положения в другое не должно превышать 7 с.

В результате вычислительного эксперимента, проведенного с помощью математического пакета *MathCad*, реализующего предложенный метод оптимизации, получена зависимость частоты напряжения, питающего обмотки статора электродвигателя от времени. Из рис. 3 видно, что значение частоты на участке установившегося движения составило $f_{\text{раб}} = 22$ Гц.

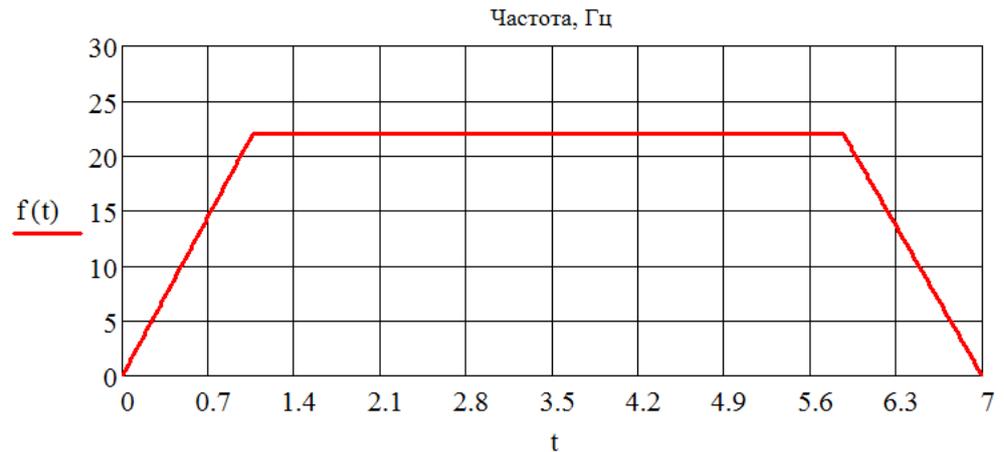


Рис. 3. Диаграмма рабочего цикла

В ходе натурального эксперимента с помощью цифрового осциллографа АКТАКОМ ADS-2102 с многофункционального аналогового выхода преобразователя частоты в режиме реального масштаба времени получена диаграмма выходной частоты питающего напряжения электродвигателя.

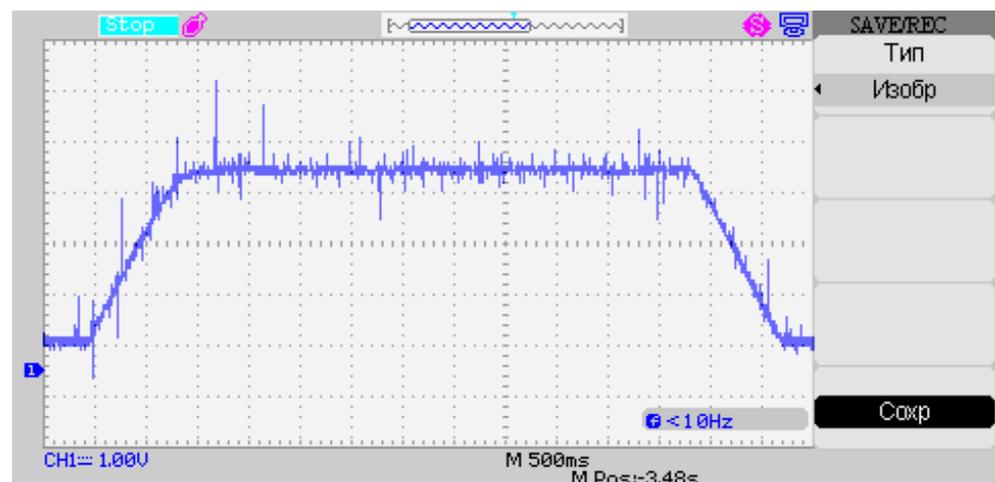


Рис. 4. Диаграмма рабочего цикла

Многофункциональный аналоговый выход выводит постоянное напряжение в диапазоне от 0 до 7,5 В. Значение напряжения в 7,5 В соответствует номинальной частоте в 50 Гц.

Из рис. 4 видно, что значение частоты на рабочей скорости, полученное в ходе натурального эксперимента, составило порядка $f_{\text{раб}} = 23$ Гц. При этом время работы зафиксировано в районе 6,8 с. Расхождение значений параметров, характеризующих диаграмму рабочего цикла в координатах «частота питающего напряжения – время», составляет менее 5 %, что подтверждает адекватность разработанного метода оптимизации.

Заключение

Анализируя получаемые нагрузочные диаграммы, можно сделать вывод о правильности предварительного выбора электродвигателя, передаточного механизма и преобразователя частоты.

Максимально допустимый момент, развиваемый мотором-редуктором, должен быть больше или равен максимальному моменту, определенному по нагрузочной диаграмме механизма перемещения стрелы противотаранного устройства.

В процессе перемещения стрелы барьера из одного крайнего положения в другое электродвигатель имеет участок работы в тормозном режиме. Для обеспечения такого режима работы необходимо выполнить следующее условие: рассеиваемая в режиме рекуперации мощность должна быть меньше указанной в параметрах преобразователя частоты номинальной мощности и соответствующего времени ее действия.

Предложенный метод параметрической оптимизации циклограммы работы частотно-регулируемого асинхронного двигателя может получить дальнейшее развитие в виде численных алгоритмов с последующей реализацией в форме комплекса проблемно-ориентированных программ [7, 8].

Данный комплекс программ позволит по заданным массогабаритным характеристикам противотаранного устройства, выполненного в виде шлагбаума, и временному интервалу приведения его в рабочее положение подбирать элементы электропривода, такие как редуктор, электродвигатель и преобразователь частоты с минимальными мощностями, а следовательно, и стоимостью.

Вместе с тем рассматриваемый комплекс программ сможет решать и обратную задачу, в частности, по характеристикам имеющегося электропривода позволит определять максимальное быстродействие электромеханической системы перемещения стрелы барьера, а также настраиваемые параметры преобразователя частоты, обеспечивающие такое быстродействие. При этом может накладываться ограничение по мощности, рассеиваемой преобразователем частоты без использования тормозного резистора, что также снижает стоимость электропривода в целом.

Кроме того, комплекс программ может найти применение в виде виртуальных лабораторий для проведения подготовки инженерного персонала по

настройке противотаранных управляемых устройств с конструктивным исполнением в виде шлагбаума, а именно, обеспечение требуемых динамических характеристик перемещения стрелы барьера путем ввода настраиваемых параметров преобразователя частоты.

Еще одно возможное применение заключается в создании на базе комплекса программ системы мониторинга и контроля технического состояния противотаранных управляемых устройств. Принцип работы такой системы основан на сравнении истинных нагрузочных диаграмм, получаемых в режиме реального масштаба времени с преобразователя частоты, с нагрузочными диаграммами, построенными в результате работы программного комплекса. Значительное расхождение в пиковых значениях контролируемых параметров может свидетельствовать о наличии механических неисправностей.

Библиографический список

1. Тарасов, Д. А. Конструкция защитного сооружения от удара для железнодорожных поездов / Д. А. Тарасов, В. В. Коновалов, В. Ю. Зайцев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1 (18). – С. 111–117.
2. Тарасов, Д. А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния стальных канатов / Д. А. Тарасов, В. В. Коновалов, В. Ю. Зайцев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – № 4 (73). – С. 215–221.
3. Коновалов, В. В. Компьютерное моделирование определения реакций опор гибких барьеров / В. В. Коновалов, Д. А. Тарасов, В. Ю. Зайцев, Н. В. Байкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 72–79.
4. ГОСТ Р 57362-2016. Устройства противотаранные управляемые. Классификация. Термины и определения; введ. 16.12.16. – М. : СТАНДАРТИНФОРМ, 2017. – 7 с.
5. Тарасов, Д. А. Параметрическая оптимизация стальных канатов при действии поперечного удара / Д. А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 02 (24). – С. 56–62.
6. Тарасов, Д. А. Математическое моделирование оптимизации параметров несущих элементов, выполненных из стальных канатов / Д. А. Тарасов, В. В. Коновалов, В. Ю. Зайцев // Интеграл. – 2012. – № 6. – С. 118–120.
7. Тарасов, Д. А. Комплекс программ моделирования напряженно-деформированного состояния стальных канатов / Д. А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 12 (16). – С. 114–120.
8. Тарасов, Д. А. Комплекс программ моделирования работы стальных канатов при действии поперечной динамической нагрузки / Д. А. Тарасов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2015. – № 02 (24). – С. 48–55.

Тарасов Денис Александрович
кандидат технических наук,
начальник отдела инженерного анализа
конструкций и защиты
интеллектуальной собственности,
ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ»
E-mail: den517375@ya.ru

Tarasov Denis Alexandrovich
candidate of technical sciences,
head of engineering analysis of structures
and protection of intellectual property,
Closed Joint-stock company
«Center of special engineering
constructions of research and design
Institute of radio electronic technology»

Большаков Герман Сергеевич

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

Bolshakov German Sergeevich

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

Липов Александр Викторович

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

Lipov Alexander Viktorovich

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

Носков Кирилл Андреевич

магистр,
инженер-конструктор отдела
приводной и специальной техники,
ЗАО «ЦеСИС НИКИРЭТ»
E-mail: kb@cesis.ru

Noskov Kirill Andreyevich

master, engineer-designer,
department of driving
and special equipment,
Closed Joint-stock company
«Center of special engineering
constructions of research and design
Institute of radio electronic technology»

УДК 621.3

Тарасов, Д. А.

Оптимизация параметров диаграммы рабочего цикла частотно-регулируемого асинхронного двигателя / Д. А. Тарасов, Г. С. Большаков, А. В. Липов, К. А. Носков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 176–187.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ХАРАКТЕРИСТИК
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ**

М. В. Чкалова, В. Д. Павлидис, О. А. Капустина

**DETERMINATION OF PARAMETERS AND CHARACTERISTICS
OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE PROCESS
OF GRAIN RAW STUFF CRUSHING**

M. V. Chkalova, V. D. Pavlidis, O. A. Kapustina

Аннотация. Актуальность и цели. Целью работы является получение параметра, характеризующего гранулометрический состав воздушно-продуктового слоя (ВПС) и определение конкретных числовых выражений корреляционных функций и спектральных плотностей, однозначно описывающих поведение ВПС в рабочей камере измельчителя. *Материалы и методы.* Анализ и верификация модели измельчения зернового сырья проводились с использованием авторских методик определения величины ударного импульса видов частиц и обработки опытных данных на запатентованной лабораторной установке «Центробежно-ударная мельница». *Результаты.* Авторами установлены закономерности изменения параметров исследуемой модели, дающие возможность управления ВПС и регулирования однородности выходного продукта. *Выводы.* В результате проведения исследований достоверно установлено, что величина ударного импульса есть параметр модели, однозначно характеризующий дисперсный состав ВПС; определены числовые значения передаточных функций изучаемых динамических систем; верифицирована математическая модель измельчения зернового сырья.

Ключевые слова: измельчение, воздушно-продуктовый слой, величина ударного импульса, гранулометрический состав, корреляционная функция, передаточная функция, динамическая система.

Abstract. Background. The purpose of the research was to obtain the parameters, characterizing the granulometric composition of the air-product layer (APL) and to determine definite numerical expressions of correlation functions and spectral densities, exactly describing the behavior of the APL in the working chamber of the crusher. *Materials and methods.* The analysis and verification of the grain raw stuff crushing model was carried out using the author's methods for determining the magnitude of the impact pulse of various particles. The experimental data obtained were processed on the patented laboratory installation "centrifugal-impact mill". *Results.* As result of studies conducted the authors have established the principles of the above model parameters changing, which make it possible to control the APL and regulate the homogeneity of the output product. *Conclusions.* As a result of research, it is reliably established that the magnitude of the shock pulse is a parameter of the model that uniquely characterizes the dispersed composition; the numerical values of the transfer functions of dynamical systems under study are determined; the mathematical model of grinding of grain raw materials is verified.

Key words: crushing, air-product layer, impact pulse magnitude, ganulometric composition, correlation function, transfer function, dynamic system.

Введение

Базовым элементом системы развития современного сельскохозяйственного производства, в том числе и кормоприготовления как важнейшей из его отраслей, является переход к инновационным моделям, адекватно описывающим реально протекающие процессы.

Технологии производства кормов должны в полной мере удовлетворять критериям энерго- и ресурсосбережения. Основой улучшения качества выходного продукта и снижения энергозатрат может служить моделирование процессов кормоприготовления, удовлетворяющее требованиям общности, универсальности и информационной емкости. Комплексная разработка практических решений, экономически выгодных для хозяйств любой формы собственности, не будет обеспечена без учета возможностей управления реально протекающими технологическими процессами и регулирования их параметров.

Наиболее широкие перспективы, по мнению авторов, открывает стохастическое моделирование реальных процессов кормоприготовления, что подтверждается результатами теоретических и экспериментальных исследований процесса измельчения зернового сырья.

Анализ внутренней структуры процесса измельчения зернового сырья подтвердил неравномерность свойств [1–3] воздушно-продуктового слоя (ВПС) в разных частях рабочей камеры стандартного измельчителя (молотковой дробилки закрытого типа). Всестороннее изучение поведения ВПС и факторов, влияющих на эффективность процесса измельчения, позволило выдвинуть гипотезу о наличии внутри рабочей камеры измельчителя условных зон относительной равномерности слоя и относительной стабильности его характеристик, которые связаны с конструктивными особенностями рабочей камеры. Были выделены зона входной горловины α , зона нижней деки β_1 , зона решета γ , зона верхней деки β_2 .

Процесс, протекающий в рабочей камере при установившемся режиме работы, рассматривался как непрерывный случайный процесс размножения (измельчения) и гибели (переизмельчение, уход через решето) частиц (зерновок) некой исходной совокупности. Этот случайный процесс, обозначенный $X(t)$, был классифицирован как марковский процесс гибели и размножения с дискретными состояниями и непрерывным временем [3].

Под состоянием будем понимать полученное в конкретный момент времени (соответствующий данному состоянию) число частиц, среди которых есть готовые к дальнейшему размножению и к гибели. В установившемся режиме работы дробилки исследуемый случайный процесс $X(t)$ является стационарным и обладает эргодическим свойством (нет состояний без выхода и без входа).

В установившемся режиме работы измельчителя свойства ВПС, следовательно, и его характеристики претерпевают значительные изменения при переходе через границы условных зон, но в каждой условной зоне ВПС ведет себя относительно стабильно [1–3]. Таким образом, процесс размножения и гибели частиц ВПС в разных зонах будет протекать со своими особенностями, а интенсивности процессов размножения и гибели в пределах одной зоны

будут оставаться постоянными, что должно найти отражение в модели процесса измельчения.

Рассмотрим влияние граничных эффектов на характеристики ВПС. Общий случайный процесс гибели и размножения $X(t)$ разделим на составляющие, соответствующие условным зонам $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$, $X_4(t)$, и рассмотрим две соседние условные зоны, разделенные границей.

Достаточно малую окрестность границы будем считать динамической системой, входным воздействием для которой служит случайный процесс $X_i(t)$, а реакцией на выходе является случайный процесс $X_{i+1=j}(t)$. Каждый случайный процесс $X_i(t)$ ($i = 1, 2, 3, 4$), как и общий процесс в рабочей камере, обладает эргодическим свойством, так как протекает однородно и множество состояний его конечно. Следовательно, любая реализация процесса достаточно большой продолжительности может заменить собой всю возможную совокупность реализаций, что будет иметь большое практическое значение в ходе проведения экспериментов и последующей обработки опытных данных.

Преобразование стационарного случайного процесса $X_i(t)$ стационарной динамической системой зададим линейным дифференциальным уравнением с постоянными коэффициентами [4, 5]:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n}{dt^n} X_j(t) + a_{n-1} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} X_j(t) + \dots + a_1 \frac{d}{dt} X_j(t) + a_0 X_j(t) = \\ = b_m \frac{d^m}{dt^m} X_i(t) + b_{m-1} \frac{d^{m-1}}{dt^{m-1}} X_i(t) + \dots + b_1 \frac{d}{dt} X_i(t) + b_0 X_i(t), \end{aligned} \quad (1)$$

где $X_i(t)$ – стационарный процесс на входе; $X_j(t)$ – стационарный процесс на выходе.

Запишем уравнение в операторной форме:

$$A_n(p, t), X_j(t) = B_m(p, t) X_i(t). \quad (2)$$

Следовательно, процесс измельчения в рабочей камере может быть описан операторным уравнением (2), однако с точки зрения практической применимости этот процесс удобнее описать с помощью системы передаточных функций:

$$\begin{cases} G(i\omega)_{1 \rightarrow 2}; \\ G(i\omega)_{2 \rightarrow 3}; \\ G(i\omega)_{3 \rightarrow 4}; \\ G(i\omega)_{4 \rightarrow 1}. \end{cases}$$

Таким образом, система передаточных функций

$$|G(i\omega)_{i \rightarrow i+1=j}|^2 = \frac{\tilde{s}_x^{*j}(\omega)}{\tilde{s}_x^{*i}(\omega)},$$

где $\tilde{s}_x^{*i}(\omega)$, $\tilde{s}_x^{*j}(\omega)$ – эмпирические оценки соответствующих спектральных плотностей [6], определяет математическую модель процесса измельчения зернового сырья в рабочей камере, а моделями поведения ВПС в условных

зонах измельчителя будет служить система корреляционных функций $\tilde{k}_x^1(\tau)$, $\tilde{k}_x^2(\tau)$, $\tilde{k}_x^3(\tau)$, $\tilde{k}_x^4(\tau)$ вида

$$k_x(\tau) = 2\alpha^2(2\cos\beta\tau - 1) \frac{\sin\beta\tau}{\tau}. \quad (3)$$

Полученная стохастическая модель процесса измельчения зернового сырья учитывает все многообразие факторов, влияющих на эффективность процесса, и позволяет не рассматривать воздействие каждого фактора в отдельности.

Постановка задачи

На основании дискретизированных данных лабораторных и производственных экспериментов охарактеризуем процесс измельчения зернового сырья в рабочей камере молотковой дробилки системой численных параметров, покажем перспективы управления процессом и установим возможности регулирования его внутренней структуры, а также выделим наиболее практически значимые факторы, влияющие на эффективность управления реальным процессом измельчения.

Методика определения численной характеристики структурных составляющих воздушно-продуктового слоя

Задачи исследования внутренней структуры процесса в рабочей камере стандартного измельчителя (молотковой дробилки) потребовали особенной характеристики, обладающей универсальностью, четкостью, точностью и информативностью. Теоретический анализ и серия экспериментов на патентованной лабораторной установке «Центробежно-ударная мельница» [7–9] позволили получить такую характеристику, как величина ударного импульса каждого вида частиц в потоках «размножающихся» (дробящихся) и «гибнущих» (уходящих через решето, переизмельченных) частиц ВПС.

Эта характеристика является универсальной, так как «свободна» от всех внешних влияний (техническое устройство измельчителя, технологические и иные условия протекания процесса, вид и качество исходного сырья). Вместе с тем она является четкой и точной, так как соответствует каждому виду частиц и может быть получена в любом сечении ВПС, обладает свойством информативности, поскольку реагирует на любые изменения в ходе конкретной реализации случайного процесса.

В каждой условной зоне рабочей камеры молотковой дробилки устанавливались датчики авторской конструкции, способные воспринимать воздействие ВПС. Схема расположения датчиков внутри рабочей камеры обуславливалась требованием полноты информации во всех зонах: впускная горловина (α), нижняя дека (β_1), решето (γ), верхняя дека (β_2) (рис. 1).

В качестве материала измельчения использовали зерновой материал средней сухости: ячмень сорта «Донецкий-8», пшеницу мягкую сорта «Саратовская-42», рожь сорта «Саратовская-7». В результате проведения экспериментов с использованием лабораторной установки «центробежно-ударная мельница» [7–9] и пьезодатчиков авторской конструкции были получены ос-

циллограммы величины сигнала от датчиков для «погибших частиц» и целых зерновок, соответствующие условным зонам рабочей камеры молотковой дробилки. При анализе была выделена среднemasштабная составляющая сигнала посредством полосовой фильтрации на основе последовательного скользящего усреднения.

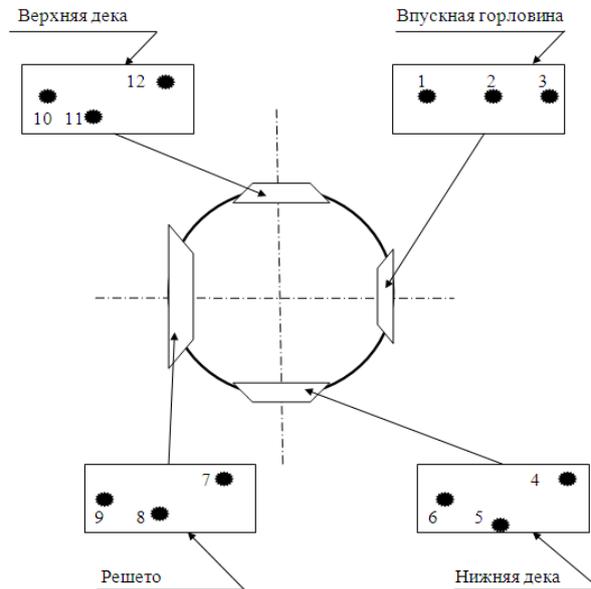


Рис. 1. Схема установки датчиков в рабочей камере молотковой дробилки

В программе «Электронный осциллограф» сигнал автоматически дискретизировался и полученные таким образом дискретные значения величины ударного импульса соответствующих видов частиц подвергались дальнейшей статистической обработке. Методом доверительных интервалов по сериям экспериментов были установлены границы интервалов значений величины ударного импульса «погибших» частиц и целых зерновок. Полученные статистические оценки границ интервалов величины ударного импульса по видам частиц (табл. 1) сопоставлялись с дискретизированными данными производственных экспериментов.

Таблица 1

Интервалы значений величины ударного импульса различных видов частиц по условным зонам (полная загрузка дробильной камеры)

Виды частиц	Зона входной горловины α	Зона нижней деки β_1	Зона решета γ	Зона верхней деки β_2
Целые зерновки	7850–30000*	9500–30000	16400–30000	18300–30000
«Размножающиеся» частицы	2300–7850	6350–9500	11950–16400	13500–18300
«Погибшие» частицы: переизмельченные готовый продукт	0–1600 1600–2300	0–4500 4500–6350	0–6400 6400–11950	0–12000 12000–13500

П р и м е ч а н и е. * – значения величины ударного импульса, мкВ.

Оценки границ интервалов «размножающихся» частиц составлены методом исключения и имеют вид

$$R^+(0; \varepsilon_1)U(\varepsilon_2; 30000),$$

где $(0; \varepsilon_1)$ – интервал «погибших» частиц; $(\varepsilon_2; 30\ 000)$ – интервал целых зерновок.

Таким образом, получен безусловный параметр, который с достаточной статистической точностью (не требующей специальных оценок вычислительных погрешностей) четко соответствует видам частиц ВПС.

Определение фракционного состава ВПС по условным зонам в режиме реального времени

В ходе производственных экспериментов показания датчиков дискретизировались, сглаживались инструментом Moving Average для получения более отчетливого представления об основной тенденции и передавались в программные среды Mathcad и Excel для дальнейшей обработки. Рассматривались показания датчиков, установленных в центральной части каждой условной зоны, поскольку датчики, расположенные ближе к границам, реагировали на влияние соседних зон.

На обработанные и ранжированные данные накладывались интервалы значений величины ударного импульса для «погибших», «размножающихся» частиц и целых зерновок. В результате удалось получить процентные соотношения видов частиц («погибших», «размножающихся» и целых) в совокупном значении величины ударного импульса для каждой условной зоны в режиме реального времени (табл. 2). Таким способом может быть определен фракционный состав ВПС в разных частях рабочей камеры молотковой дробилки. Изменение вклада каждого вида частиц в совокупном импульсе по условным зонам наглядно иллюстрируют данные табл. 2.

Таблица 2

Процентные соотношения различных видов частиц по условным зонам (полная загрузка дробильной камеры)

Виды частиц	Условные зоны дробильной камеры			
	Зона входной горловины α	Зона нижней деки β_1	Зона решета γ	Зона верхней деки β_2
Целые зерновки	57 %	44 %	23 %	32 %
«Размножающиеся» (дробящиеся)	35 %	45 %	23 %	32 %
«Погибшие» (готовый продукт)	3 %	6 %	41 %	27 %
«Погибшие» (переизмельченные)	5 %	5 %	13 %	9 %

Их анализ позволяет нам сделать вывод о том, что соотношения видов частиц по зонам остаются примерно постоянными при многократной циркуляции ВПС и работе измельчителя в установившемся режиме, а это подтверждает универсальность введенного параметра.

**Определение характеристик случайного процесса
и параметров моделей при полной загрузке рабочей камеры**

Реализация случайного процесса в каждой условной зоне рабочей камеры (осциллограмма показаний конкретного датчика) на достаточно длительном промежутке времени вполне подходила для определения характеристик процесса. Одна такая реализация достаточной продолжительности по объему информации практически эквивалентна множеству реализаций той же общей продолжительности, а это позволило характеристики случайной функции определять не как средние по множеству наблюдений, а как средние по времени.

Для того, чтобы математическое ожидание m_x^i и корреляционная функция $k_x^i(\tau)$ (где $i = 1-12$ – номера установленных датчиков) были определены с удовлетворительной точностью, дискретных данных должно быть порядка сотни.

При этом обязательно должен быть учтен частотный состав колебаний, образующих случайную функцию [4, 5]. Программа «Электронный осциллограф», которая использовалась для записи показаний датчиков, автоматически осуществляла выбор опорных точек и длину промежутка времени, ориентируясь на характер изменения случайной функции.

Характеристики случайных процессов в каждой условной зоне (табл. 3) были получены как результат статистической обработки реализаций соответствующих датчиков в среде MathCAD. Таким же образом определялись экспериментальные значения корреляционных функций.

Таблица 3

Характеристики случайного процесса в каждой условной зоне

Характеристики случайного процесса	Зона входной горловины α			Зона нижней деки β_1		
	Датчик 1	Датчик 2	Датчик 3	Датчик 4	Датчик 5	Датчик 6
m_x^i	$8,377 \cdot 10^3$	$9,116 \cdot 10^3$	$8,845 \cdot 10^3$	$1,04 \cdot 10^4$	$1,066 \cdot 10^4$	$1,007 \cdot 10^4$
D_x^i	$2,216 \cdot 10^7$	$2,76 \cdot 10^7$	$1,803 \cdot 10^7$	$1,73 \cdot 10^7$	$1,06 \cdot 10^7$	$2,237 \cdot 10^7$
σ_x^i	$4,708 \cdot 10^3$	$5,253 \cdot 10^3$	$4,246 \cdot 10^3$	$4,16 \cdot 10^3$	$3,255 \cdot 10^3$	$4,73 \cdot 10^3$
Характеристики случайного процесса	Зона решета γ			Зона верхней деки β_2		
	Датчик 7	Датчик 8	Датчик 9	Датчик 10	Датчик 11	Датчик 12
m_x^i	$9,705 \cdot 10^3$	$1,216 \cdot 10^4$	$8,789 \cdot 10^3$	$1,026 \cdot 10^4$	$1,224 \cdot 10^5$	$1,022 \cdot 10^4$
D_x^i	$2,394 \cdot 10^7$	$5,064 \cdot 10^7$	$2,419 \cdot 10^7$	$2,234 \cdot 10^7$	$4,311 \cdot 10^9$	$5,365 \cdot 10^6$
σ_x^i	$4,892 \cdot 10^3$	$7,116 \cdot 10^3$	$4,919 \cdot 10^3$	$4,727 \cdot 10^3$	$6,566 \cdot 10^4$	$2,316 \cdot 10^3$

Незакономерные колебания экспериментальных корреляционных функций $k_x^i(\tau)$ сглаживала аналитическая функция следующего вида:

$$k_x(\tau) = 2a^2(2\cos\beta\tau - 1)\sin\beta\tau / \tau.$$

Она была выбрана из перечня корреляционных функций, наиболее часто используемых в инженерных приложениях [5] по следующим соображениям: функция не должна содержать множитель вида $e^{-\alpha|\tau|}$, приводящий к монотонности, и во избежание частных случаев должна включать в себя обе гармоники. Коэффициенты α и β подбирались методом наименьших квадратов (табл. 4.).

Таблица 4

Коэффициенты аппроксимирующей корреляционной функции по условным зонам

Значения коэффициентов	Зона входной горловины α			Зона нижней деки β_1		
	Датчик 1	Датчик 2	Датчик 3	Датчик 4	Датчик 5	Датчик 6
α	$3,487 \cdot 10^3$	$4,487 \cdot 10^3$	$7,55 \cdot 10^3$	$7,15 \cdot 10^3$	$3,25 \cdot 10^3$	$4,41 \cdot 10^3$
β	0,569	0,692	0,178	0,213	0,655	0,250
Значения коэффициентов	Зона решета γ			Зона верхней деки β_2		
	Датчик 7	Датчик 8	Датчик 9	Датчик 10	Датчик 11	Датчик 12
α	$4,205 \cdot 10^3$	$4,787 \cdot 10^3$	$2,901 \cdot 10^3$	$2,815 \cdot 10^3$	$3,676 \cdot 10^4$	$3,55 \cdot 10^3$
β	1,866	3,301	0,999	1,780	1,327	1,472

Подставляя значения коэффициентов α и β в аналитическое выражение корреляционной функции, можно получить локальные математические модели эргодических стационарных случайных процессов в каждой условной зоне:

$$k_x(\tau) = 2(4,487 \cdot 10^3)^2 (2\cos 0,692\tau - 1) \sin 0,692\tau / \tau \quad (\text{зона входной горловины});$$

$$k_x(\tau) = 2(3,25 \cdot 10^3)^2 (2\cos 0,655\tau - 1) \sin 0,655\tau / \tau \quad (\text{зона нижней деки});$$

$$k_x(\tau) = 2(4,787 \cdot 10^3)^2 (2\cos 3,301\tau - 1) \sin 3,301\tau / \tau \quad (\text{зона решета});$$

$$k_x(\tau) = 2(3,676 \cdot 10^4)^2 (2\cos 1,327\tau - 1) \sin 1,327\tau / \tau \quad (\text{зона верхней деки}).$$

Выбор аналитической корреляционной функции определил вид соответствующей ей спектральной плотности [4]:

$$k_x(\tau) = 2a^2(2\cos\beta\tau - 1)\sin\beta\tau / \tau \leftrightarrow S_x^*(\omega) = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq |\omega| \leq \beta; \\ \alpha^2, & \text{при } \beta < |\omega| < 2\beta; \\ 0, & \text{при } 2\beta < |\omega|. \end{cases}$$

Используя найденные спектральные плотности (табл. 5), можно получить конкретные числовые выражения передаточных функций для каждой из динамических систем (окрестностей границ между условными зонами). Ошибку функционирования каждой системы, которая вполне может являться показателем верификации математической модели границы, определим следующим образом: $\varepsilon_x(\omega) = 1 - G(i\omega)$.

Коэффициенты спектральных плотностей
случайных процессов в условных зонах

Датчик, фиксирующий воздействие ВПС		Выражение для спектральной плотности	Интервал изменения аргумента ω
Зона входной горловины	1	$S_x^{*1}(\omega) = (3,487 \cdot 10^3)^2$	$0,569 < \omega \leq 1,138$
	2	$S_x^{*2}(\omega) = (4,487 \cdot 10^3)^2$	$0,692 < \omega \leq 1,384$
	3	$S_x^{*3}(\omega) = (7,55 \cdot 10^3)^2$	$0,178 < \omega \leq 0,356$
Зона нижней деки	4	$S_x^{*4}(\omega) = (7,15 \cdot 10^3)^2$	$0,213 < \omega \leq 0,426$
	5	$S_x^{*5}(\omega) = (3,25 \cdot 10^3)^2$	$0,655 < \omega \leq 1,31$
	6	$S_x^{*6}(\omega) = (4,41 \cdot 10^3)^2$	$0,250 < \omega \leq 0,5$
Зона решета	7	$S_x^{*7}(\omega) = (4,205 \cdot 10^3)^2$	$1,866 < \omega \leq 3,73$
	8	$S_x^{*8}(\omega) = (4,787 \cdot 10^3)^2$	$3,301 < \omega \leq 6,602$
	9	$S_x^{*9}(\omega) = (2,901 \cdot 10^3)^2$	$0,999 < \omega \leq 1,998$
Зона верхней деки	10	$S_x^{*10}(\omega) = (2,815 \cdot 10^3)^2$	$1,780 < \omega \leq 3,56$
	11	$S_x^{*11}(\omega) = (3,676 \cdot 10^4)^2$	$1,327 < \omega \leq 2,654$
	12	$S_x^{*12}(\omega) = (3,55 \cdot 10^3)^2$	$1,472 < \omega \leq 2,944$

Найденные ошибки функционирования динамических систем не выходят за пределы 5 %, что говорит о достаточно хорошей адекватности построенных моделей реальному процессу измельчения зернового сырья молотковой дробилкой закрытого типа.

Случайные стационарные процессы в условных зонах имеют постоянную спектральную плотность в определенных диапазонах частот (табл. 6), т.е. близки к так называемому «белому шуму». Близость спектральных плотностей в условных зонах к стационарному «белому шуму» (абсолютно случайному процессу) открывает широкие перспективы в поисках методов управления ВПС внутри рабочей камеры и разработке схем «регуляторов» однородности потока зернового материала.

Для подтверждения 95 % адекватности прогнозирования фракционных характеристик измельченного материала по значениям изучаемого параметра рассчитаем стандартную ошибку параметра $\varepsilon_x(\omega)$ (ошибки функционирования динамических систем):

– зона входной горловины $\alpha \leftrightarrow$ зона нижней деки β_1 :

$$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{7,15}{7,55} \approx 0,053, \quad m(\varepsilon_x) = \sqrt{\frac{1 - \varepsilon^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 53^2 \cdot 10^{-6}}{1000 - 2}} \approx 0,032;$$

– зона нижней деки $\beta_1 \leftrightarrow$ зона решета γ :

$$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{4,205}{4,41} \approx 0,046, \quad m(\varepsilon_x) = \sqrt{\frac{1 - \varepsilon^2}{n - 2}} = \sqrt{\frac{1 - 46^2 \cdot 10^{-6}}{1000 - 2}} \approx 0,032;$$

– зона решета $\gamma \leftrightarrow$ зона верхней деки β_2 :

$$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{2,815}{2,901} \approx 0,0296, \quad m(\varepsilon_x) = \sqrt{\frac{1-\varepsilon^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{1-29,6^2 \cdot 10^{-6}}{1000-2}} \approx 0,0316;$$

– зона верхней деки $\beta_2 \leftrightarrow$ зона входной горловины α :

$$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{3,487}{3,55} \approx 0,018, \quad m(\varepsilon_x) = \sqrt{\frac{1-\varepsilon^2}{n-2}} = \sqrt{\frac{1-18^2 \cdot 10^{-6}}{1000-2}} \approx 0,0316.$$

Вычисленные значения свидетельствуют о том, что не более 3, 2 % выборок из массива экспериментальных данных дадут отклонение от расчетной ошибки функционирования систем случайных процессов.

Таблица 6

Передаточные функции и ошибки функционирования систем случайных процессов в условных зонах

<p>Зона входной горловины $\alpha \leftrightarrow$ зона нижней деки β_1 :</p> $G(i\omega)_{1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{\tilde{s}_x^{*4}(\omega)}{\tilde{s}_x^{*3}(\omega)}} = 7,15/7,55, \quad \varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{7,15}{7,55} \approx 0,053$
<p>Зона нижней деки $\beta_1 \leftrightarrow$ зона решета γ :</p> $G(i\omega)_{1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{\tilde{s}_x^{*7}(\omega)}{\tilde{s}_x^{*6}(\omega)}} = 4,205/4,41, \quad \varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{4,205}{4,41} \approx 0,046$
<p>Зона решета $\gamma \leftrightarrow$ зона верхней деки β_2 :</p> $G(i\omega)_{1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{\tilde{s}_x^{*10}(\omega)}{\tilde{s}_x^{*9}(\omega)}} = 2,815/2,901, \quad \varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{2,815}{2,901} \approx 0,0296$
<p>Зона верхней деки $\beta_2 \leftrightarrow$ зона входной горловины α :</p> $G(i\omega)_{1 \rightarrow 2} = \sqrt{\frac{\tilde{s}_x^{*1}(\omega)}{\tilde{s}_x^{*12}(\omega)}} = 3,487/3,55, \quad \varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{3,487}{3,55} \approx 0,018$

Изменение потока подачи зернового сырья и величины загрузки рабочей камеры

Во всех молотковых дробилках важнейшую роль играет воздушный поток, который вместе с продуктами измельчения и образует ВПС. Анализ теоретических и экспериментальных исследований поведения и характеристик ВПС, в разное время проведенных многими учеными [1–3], позволил установить зависимость характеристик однородности ВПС от величины и способов загрузки рабочей камеры молотковой дробилки.

В специальной серии производственных экспериментов изучалось влияние величины загрузки рабочей камеры и способа подачи зернового материала на однородность ВПС. В результате построена авторская классификация способов организации технологического процесса измельчения по их влия-

нию на характеристики ВПС (для универсальных молотковых дробилок закрытого типа) (табл.7).

Таблица 7

Авторская классификация способов организации технологического процесса измельчения

Способ организации технологического процесса		Характер влияния на однородность ВПС	
Положение вала	Вертикальное с горизонтальным валом	Не оказывает влияния на характеристики ВПС	
	Горизонтальное с вертикальным валом		
Способ подачи продукта	Самотеком	Радиальная подача	Способствует выравниванию характеристик ВПС
		Тангенциальная подача	Увеличивает неравномерность ВПС
	Принудительно	Центральная подача	Увеличивает неравномерность ВПС
		Боковая подача	Увеличивает неравномерность ВПС
Способ отвода продукта	Самотеком	Способствует выравниванию характеристик ВПС	
	Принудительно	Воздушным потоком барабана	Способствует выравниванию характеристик ВПС
		Воздушным потоком дополнительного вентилятора	Увеличивает неравномерность характеристик ВПС
		Транспортируется шнеком	Способствует выравниванию характеристик ВПС
	С незамкнутым воздушным потоком	Без циркуляции материала	Увеличивает неравномерность характеристик ВПС
	С замкнутым воздушным потоком	С циркуляцией материала	Способствует выравниванию характеристик ВПС

Сравнительный анализ осциллограмм от датчиков показал, что даже незначительное уменьшение величины подачи зернового материала, а следовательно, и загрузки рабочей камеры (до 75 % от оптимальной) приводит к снижению разброса значений величины ударного импульса.

Если же величина потока зернового материала соответствовала загрузке камеры на 25 % от оптимальной, осциллограммы показывали хорошую выравненность характеристик ВПС на микроуровне, что, в свою очередь, от-

ражалось на однородности выходного продукта. Однако существенное снижение величины загрузки рабочей камеры в производственных условиях нежелательно, так как это отрицательно сказывается на эффективности работы измельчителя в целом [2].

Таким образом, целесообразность регулирования этого технологического параметра для отыскания его оптимального значения после производственных экспериментов доказана. Появилась перспектива улучшения гранулометрического состава измельченного продукта без значительного снижения производительности дробилки и существенных материальных затрат на конструктивные изменения рабочей камеры.

Определение характеристик случайного процесса и параметров моделей при изменении величины загрузки рабочей камеры

В результате проведения специальной серии производственных экспериментов были получены дискретные значения величины ударного импульса при изменении загрузки рабочей камеры (75 %, 50 %, 25 % от оптимальной). Характеристики случайных процессов в условных зонах и коэффициенты математических моделей при уменьшении величины загрузки рабочей камеры были найдены по авторской методике, примененной для условий полной загрузки рабочей камеры измельчителя (табл. 8, 9).

Таблица 8

Характеристики случайных процессов в условных зонах при изменении величины загрузки рабочей камеры

Характеристики	Зона входной горловины α (датчик 3)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
m_x^i	$8,845 \cdot 10^3$	$8,387 \cdot 10^3$	$9,423 \cdot 10^3$	$9,153 \cdot 10^3$
σ_x^i	$4,246 \cdot 10^3$	$1,509 \cdot 10^3$	$0,975 \cdot 10^3$	$1,034 \cdot 10^3$
Характеристики	Зона нижней деки β_1 (датчик 4)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
m_x^i	$1,04 \cdot 10^4$	$9,302 \cdot 10^3$	$8,363 \cdot 10^3$	$8,586 \cdot 10^3$
σ_x^i	$4,16 \cdot 10^3$	$0,394 \cdot 10^3$	$0,253 \cdot 10^3$	$0,29 \cdot 10^3$
Характеристики	Зона решета γ (датчик 9)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
m_x^i	$8,789 \cdot 10^3$	$8,998 \cdot 10^3$	$9,237 \cdot 10^3$	$9,509 \cdot 10^3$
σ_x^i	$4,919 \cdot 10^3$	$0,406 \cdot 10^3$	$0,099 \cdot 10^3$	$0,313 \cdot 10^3$
Характеристики	Зона верхней деки β_2 (датчик 10)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
m_x^i	$1,026 \cdot 10^4$	$8,767 \cdot 10^3$	$9,357 \cdot 10^3$	$8,834 \cdot 10^3$
σ_x^i	$4,727 \cdot 10^3$	$0,968 \cdot 10^3$	$2,401 \cdot 10^3$	$0,287 \cdot 10^3$

Действительно, при снижении величины загрузки рабочей камеры до 75 % от оптимальной эмпирическая оценка среднего квадратического отклонения σ_x^i ($i = 3, 4, 9, 10$) показывает значительное уменьшение разброса зна-

чений величины ударного импульса. Характеристики ВПС по всему периметру рабочей камеры «выравниваются», границы между условными зонами «стираются».

Таблица 9

Коэффициенты математических моделей процессов в условных зонах при изменении величины загрузки рабочей камеры

Коэффициенты	Зона входной горловины α (датчик 3)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
α	$7,55 \cdot 10^3$	$3,887 \cdot 10^3$	$1,587 \cdot 10^3$	$3,75 \cdot 10^3$
β	0,178	0,066	0,18	0,039
Коэффициенты	Зона нижней деки β_1 (датчик 4)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
α	$7,15 \cdot 10^3$	357	647	320
β	0,213	0,392	0,08	0,855
Коэффициенты	Зона решета γ (датчик 9)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
α	$2,901 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^3$	140	858
β	0,999	0,069	0,18	0,06
Коэффициенты	Зона верхней деки β_2 (датчик 10)			
	100 %	75 %	50 %	25 %
α	$2,815 \cdot 10^3$	857	$1,648 \cdot 10^3$	785
β	1,78	0,779	1,66	0,065

Достоверный вывод об адекватности математической модели реальному процессу измельчения зернового сырья при уменьшении величины загрузки рабочей камеры дает ошибка функционирования динамических систем (табл. 10).

Таблица 10

Ошибки функционирования динамических систем случайных процессов в условных зонах (на примере двух границ)

Зона входной горловины α ↔ зона нижней деки β_1	
Загрузка 75 %	$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{357}{3887} \approx 0,91$
Загрузка 50 %	$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{647}{1587} \approx 0,59$
Загрузка 25 %	$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{320}{3750} \approx 0,91$
Зона решета γ ↔ зона верхней деки β_2	
Загрузка 75 %	$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{857}{1020} \approx 0,16$
Загрузка 50 %	$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{1648}{140} \approx -10,77$
Загрузка 25 %	$\varepsilon_x(\omega) = 1 - \frac{785}{858} \approx 0,09$

Анализ значений ошибки функционирования динамических систем при уменьшении величины загрузки рабочей камеры показывает необходимость замены вида корреляционной функции для аппроксимации опытных данных, следовательно, использование другой спектральной плотности.

Стационарный процесс внутри рабочей камеры утрачивает характер «белого шума», что позволяет использовать изменение величины подачи зернового сырья через впускную горловину или величины загрузки рабочей камеры (величины коррелированы) для улучшения однородности ВПС.

Заключение

Анализ результатов лабораторных и производственных экспериментов позволил достоверно установить, что величина ударного импульса каждого вида измельчаемых частиц является параметром, обладающим свойствами универсальности, точности, четкости, информативности и однозначно характеризующим гранулометрический состав ВПС.

Авторские методики, примененные в процессе исследования, предоставили возможность оценить «массовый» состав измельчаемого материала в рабочей камере измельчителя в реальном времени и в любом сечении ВПС.

Используя ранее введенные теоретические положения, удалось получить конкретные числовые выражения передаточных функций для каждой из динамических систем, вычислить ошибки их функционирования и тем самым верифицировать рабочую математическую модель.

Установленные закономерности изменения параметров математической модели выводят на методы управления ВПС с целью улучшения однородности потока измельчаемого материала.

Проведенные исследования показали, что величина загрузки рабочей камеры является одним из наиболее значимых и доступных для регулирования факторов управления ВПС, который может быть использован для улучшения энергетических и технологических показателей процесса измельчения зернового сырья.

Библиографический список

1. Мельников, С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л. : Колос, 1978. – 560 с.
2. Кукта, Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М. : Агропромиздат, 1987. – 303 с.
3. Бурлуцкий, Е. М. Пути совершенствования процесса дробления зернового материала и их анализ инженерно-математическими методами / Е. М. Бурлуцкий, В. Д. Павлидис, М. В. Чкалова // Агропанорама. – 2015. – № 5 (111). – С. 17–21.
4. Вентцель, Е. С. Исследование операций / Е. С. Вентцель. – М. : Высш. шк., 2000.
5. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М. : Академия, 2003. – 432 с.
6. Пугачев, В. С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В. С. Пугачев. – М. : Гостехиздат, 1957. – 659 с.
7. Пат. 2232641 Российская Федерация. Центробежно-ударная мельница / Филатов М. И., Хлынин П. П., Чкалова М. В. – Заявл. 29.07.2002; опубл. 20.07.2004, Бюл. № 20.

8. Пат. 2232638 Российская Федерация. Центробежно-ударная мельница / Филатов М. И., Хлынин П. П., Чкалова М. В. – Заявл. 29.07.2002; опубл. 20.07.2004, Бюл. № 20.
9. Пат. 2568754 Российская Федерация. Дробилка зерна / Бурлуцкий Е. М., Павлидис В. Д., Чкалова М. В. – Заявл. 04.12.2013; опубл. 10.06.2015, Бюл. № 16.
-

Чкалова Марина Викторовна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информатики и прикладной
математики,
Институт управления рисками
и комплексной безопасности,
Оренбургский государственный
аграрный университет
E-mail: chkalovamv@mail.ru

Chkalova Marina Viktorovna

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of informatics
and applied mathematics,
Institute for Risk Management
and Integrated Security,
Orenburg State Agrarian University

Павлидис Виктория Дмитриевна

кандидат физико-математических наук,
профессор, кафедра информатики
и прикладной математики,
Институт управления рисками
и комплексной безопасности,
Оренбургский государственный
аграрный университет
E-mail: pavlidis@mail.ru

Pavlidis Victoria Dmitryevna

candidate of physical and mathematical
sciences, professor,
sub-department of informatics
and applied mathematics,
Institute for Risk Management
and Integrated Security,
Orenburg State Agrarian University

Капустина Оксана Александровна

кандидат технических наук, доцент,
кафедра автоматизированных систем
обработки информации и управления,
Институт управления рисками
и комплексной безопасности,
Оренбургский государственный
аграрный университет
E-mail: onical@yandex.ru

Kapustina Oksana Alexandrovna

candidate of technical sciences,
associate professor,
sub-department of automated information
processing and management systems,
Institute for Risk Management
and Integrated Security,
Orenburg State Agrarian University

УДК 51-74

Чкалова, М. В.

Определение параметров и характеристик математической модели процесса измельчения зернового сырья / М. В. Чкалова, В. Д. Павлидис, О. А. Капустина // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2017. – № 4 (24). – С. 188–202.