

УДК 519.866:332.14

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СИСТЕМ

<sup>1</sup>Фомин Н.Ю., <sup>2</sup>Шинкевич А.И.

<sup>1</sup>Нижнекамский химико-технологический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
Нижнекамск, e-mail: ya.juventino@yandex.ru;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
Казань, e-mail: ashinkevich@mail.ru

Предметом исследования, освещенного в статье, является разработка методики оптимизационного моделирования параметров ресурсоэффективности территориально-производственной системы. Предложен результирующий показатель ресурсоэффективности предприятий, интегрированных в рамках различных форм производственной кооперации. Предложен алгоритм оптимизационного моделирования ресурсоэффективности на базе построения задачи линейного программирования на максимизацию результирующего показателя. Разработана типология уровней развития интегрированных производственных систем. Методика апробирована на примере территориальной производственной системы г. Нижнекамска, включающей крупные предприятия нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей. Выявлены факторы суммарного показателя ресурсоэффективности данных предприятий. Разработана регрессионная модель ресурсоэффективности Нижнекамской территориально-производственной системы. Определены интенсивные показатели, которые могут использоваться в качестве ограничений в задаче линейного программирования на максимизацию ресурсоэффективности. Сформирована оптимизационная модель ресурсоэффективности территориально-производственной системы г. Нижнекамска. Определены оптимальные значения результирующего показателя и его факторов для высокого, среднего и низкого уровней развития Нижнекамской производственной системы. Анализ полученных значений и их динамики позволил разработать рекомендации по развитию исследуемых предприятий и производственной системы в целом.

**Ключевые слова:** территориально-производственная система, ресурсоэффективность, оптимизация, производственные ресурсы, уровень развития

## MODELING AND FORECASTING THE PARAMETERS OF RESOURCE EFFICIENCY OF TERRITORIAL-PRODUCTION SYSTEMS

<sup>1</sup>Fomin N.Yu., <sup>2</sup>Shinkevich A.I.

<sup>1</sup>Nizhnekamsk Institute of Chemical Technology, Kazan National Research Technological University,  
Nizhnekamsk, e-mail: ya.juventino@yandex.ru;

<sup>2</sup>Kazan National Research Technological University, Kazan, e-mail: ashinkevich@mail.ru

The subject of the research, highlighted in the article, is the development of a methodology for optimizing control of the parameters of resource efficiency of the territorial production system. The resulting indicator of the resource efficiency of enterprises integrated into various forms of industrial cooperation is proposed. An algorithm is proposed for optimization modeling of resource efficiency based on the problems of constructing linear programming to maximize the resulting indicator. A typology of levels of development of integrated production systems has been developed. The method is tested on the example of the territorial production system of the city of Nizhnekamsk, which includes large enterprises of the oil refining and petrochemical regions. The total indicator of resource efficiency of these enterprises is revealed. A regression model of resource efficiency of the Nizhnekamsk territorial production system has been developed. Intensive indicators are determined that can be set as constraints in the linear programming problem to maximize resource efficiency. An optimization model of resource efficiency of the territorial-production system of the city of Nizhnekamsk has been formed. The optimal values of the resulting indicator and its factors for high, medium and low levels of development of the Nizhnekamsk production system have been determined. Analysis of indicators of values and their dynamics of capabilities and recommendations for the development of the studied enterprises and the production system as a whole.

**Keywords:** territorial production system, resource efficiency, optimization, production resources, level of development

Современная экономическая конъюнктура создает сложные условия функционирования для хозяйствующих субъектов. Это обусловлено колебаниями потребительского спроса, постоянно усиливающейся конкуренцией и научно-техническим прогрессом. Отдельным хозяйствующим субъектам для успешного развития за-

стую не хватает различных видов ресурсов. В этой связи возникает необходимость объединения усилий с другими предприятиями и организациями для достижения синергетического эффекта и реализации общих целей. Существует множество форм интеграции хозяйствующих субъектов. В настоящее время особое внимание

уделяется кластерной форме интеграции предприятий. Каждое предприятие кластер сохраняет свою имущественную независимость, а интеграция заключается в объединении ресурсов и знаний для реализации совместных проектов по развитию территории. Кремниевая Долина, автомобильный кластер Восточной Германии, французская Косметическая Долина и другие аналогичные интегрированные структуры давно зарекомендовали себя как лидеры в производстве инновационной продукции и примеры для подражания по части территориального сотрудничества.

Многие авторы посвящали свои исследования вопросам формирования и развития интегрированных производственных систем. Отдельные труды [1–3] использовались при проведении настоящего исследования. Значительно реже встречаются работы, посвященные разработке оптимизационных решений по развитию интегрированных структур. В процессе разработки управленческих решений целесообразно обращаться к математическим методам, с помощью которых можно выявить внутрисистемные зависимости. Готовые методики оптимизационного моделирования параметров производственных систем будут способствовать разработке стратегических и тактических планов и прогнозов. На решение данной проблемы направлено исследование авторов.

Целью представленного в статье исследования является разработка комплексной методики оптимизационного моделирования параметров ресурсоэффективности территориально-производственных систем. Разработанная методика должна способствовать разработке управленческих решений по развитию предприятий, входящих в исследуемую систему. Учитывая, что интегрированные структуры по своим производственным и экономическим параметрам существенно различаются в зависимости от масштабов деятельности и отраслевой принадлежности, следует в качестве критерия обозначить гибкость методики, подразумевающую вариативность результирующих показателей и их детерминант.

#### Материалы и методы исследования

Математическое моделирование и оптимизация параметров функционирования территориальных производственных систем является сложной методологической проблемой, которая освещается в научных трудах различных авторов. В частности, проводимое авторами исследование опирается на следующие работы [4–6].

Первым вопросом исследования является определение целевого показателя, определяющего эффективность функционирования территориально-производственной системы. В современных реалиях в поисках путей развития хозяйствующих субъектов во главу угла зачастую ставится ресурсосбережение. В частности, об этом свидетельствует паспорт Национального проекта «Производительность труда и поддержка занятости» [7], в рамках которого программы ресурсосбережения отечественных предприятий позиционируются в качестве приоритета государственной поддержки.

Математические методы моделирования требуют наличия конкретных параметров и показателей, поэтому результативность ресурсосбережения необходимо формализовывать. Предприятия и производственные системы, которые они образуют, потребляют различные виды ресурсов, в числе которых трудовые, материально-технические, финансовые, нематериальные и другие. В результате использования ресурсов предприятия производят продукцию, работы, услуги. Ввиду возможной широты ассортимента наиболее удобным для расчетов количественным выражением выпуска является денежное. Однако выручка от реализации продукции, работ, услуг не характеризует эффективность использования ресурсов, поскольку не учитывает их затрачиваемые объемы. В этой связи в качестве денежного выражения ресурсоэффективности производственной системы более корректно использовать сумму прибыли, поскольку именно данный показатель отражает разницу объема вырученных в результате использования ресурсов средств и издержек на их приобретение и использование.

Таким образом, в качестве суммарного показателя ресурсоэффективности производственной системы рассматривается суммарная годовая прибыль до налогообложения предприятий, образующих данную систему. Данный показатель предлагается рассчитывать по формуле

$$PЭ = \sum_{i=1}^n Пдн_i, \quad (1)$$

где PЭ – ресурсоэффективность исследуемой производственной системы в денежном выражении; Пдн<sub>*i*</sub> – годовая прибыль до налогообложения *i*-го предприятия исследуемой производственной системы; *n* – количество предприятий в исследуемой производственной системе.

Прибыль предприятия является результирующим показателем, который зависит

от огромного количества факторов. Поиск количественно измеримых параметров функционирования предприятия является следующим шагом в рамках предложенной методики. Поскольку исследование фокусируется на вопросах ресурсосбережения, то на наличие математических зависимостей следует исследовать количественные измерители различных ресурсов предприятия. Можно использовать абсолютные показатели, такие как численность персонала, суммарная стоимость определенных видов ресурсов, объемы затрат на НИОКР и другие. Однако более устойчивые модели получаются с применением относительных показателей, к которым можно отнести долю затрат на НИОКР в себестоимости продукции, соотношение управляющих кадров и исполнителей, доли определенных видов имущества в сумме активов предприятия и т.п.

После подготовки необходимых данных предполагается следующий алгоритм действий:

1. Расчет суммарной ресурсоэффективности производственной системы за определенный период времени. Следует понимать, что в целях повышения качества статистической модели необходимо максимизировать число наблюдений. В качестве единицы наблюдения может быть использована годовая суммарная прибыль или квартальная. Аналогичным образом следует подготовить значения предполагаемых детерминант прибыли. Далее методом корреляционно-регрессионного анализа определяются факторы ресурсоэффективности и разрабатывается регрессионная модель ресурсоэффективности исследуемой производственной системы.

2. Подготовка задачи математического программирования на максимизацию ресурсоэффективности. В качестве целевой модели используется ранее подготовленная регрессионная модель ресурсоэффективности. Возникает задача подготовки системы ограничений. Для этого необходимо опять обратиться к методу корреляционно-регрессионного анализа. Естественными ограничителями эффективности производственной системы являются ее экстенсивные и интенсивные возможности. Предприятие не может позволить себе нанимать персонал сверх необходимой нормы, не может вкладывать неограниченные объемы денежных средств в основные и оборотные фонды. Данные количественные ограничения определяют экстенсивные возможности предприятия. В то же время в определенные периоды предприятия характеризуются определен-

ным лимитом результативности использования ресурсов. Другими словами, предприятия не могут демонстрировать сколь угодно высокую фондоотдачу, рентабельность или выработку. Под этим следует понимать интенсивные возможности. Обозначенные показатели имеют количественное ограничение, что может быть использовано в системе ограничений задачи математического программирования. Для этого необходимо выявить статистические зависимости между показателями-ограничениями и факторами ресурсоэффективности и построить соответствующие регрессионные модели.

3. Обозначенные выше показатели-ограничения могут сильно отличаться в различные периоды функционирования производственной системы. Эти различия позволили предложить типологию уровней развития производственной системы. В этой связи предлагается находить не одно решение задачи математического программирования, а несколько, в зависимости от количества типов.

4. Полученные решения задачи математического программирования на максимизацию ресурсоэффективности анализируются и интерпретируются в виде оптимальных параметров производственной системы, на достижение которых должны быть направлены управленческие решения.

Как было обозначено выше, показатели-ограничения будут варьироваться от уровня развития производственной системы, в связи с чем предложена типология, представленная в табл. 1.

Предложенную методику предлагается апробировать на примере территориальной производственной системы г. Нижнекамска. Объектами исследования являются крупнейшие производственные предприятия города, к которым относятся ПАО «Нижнекамскнефтехим», ПАО «Нижнекамскшина», АО «ТАИФ-НК» и АО «ТАНЕКО». В первую очередь данные предприятия как производственную систему характеризует единство в рамках технологической цепочки. В частности, ПАО «Нижнекамскнефтехим» использует сырье (прямогонный бензин, ШФЛУ), поставляемое АО «ТАИФ-НК» и АО «ТАНЕКО», для производства широкого ассортимента нефтехимической продукции. В свою очередь, ПАО «Нижнекамскнефтехим» поставляет синтетический каучук для производства шин на ПАО «Нижнекамскшина». Более того, данные предприятия являются ядром производственной сферы всего города, что позволяет при взаимодействии с ними развиваться другим хозяйствующим субъектам.

Таблица 1

Типология уровней развития территориальной производственной системы

Уровень развития территориальной производственной системы	Значения показателей – ограничений задачи математического программирования	Краткое описание состояния
Высокий	Максимальные значения показателей в статистической выборке по исследуемым предприятиям	Высокий уровень отражает максимальную степень интенсификации использования производственных ресурсов предприятиями. Экономический эффект, генерируемый производственной системой, представляет собой предельный при существующей экономической конъюнктуре. Дальнейший рост возможен за только за счет экстенсивного расширения ресурсной базы и конъюнктурных сдвигов в экономике
Средний	Средние значения статистической выборки по исследуемым предприятиям	Отражает среднестатистический уровень эффективности производственной системы. В таком состоянии система находится большую часть времени. Если показатели предприятий идентифицируют средний уровень, то это свидетельствует о наличии резервов роста экономического эффекта за счет более эффективного использования человеческих, материальных и финансовых ресурсов производственной системы
Низкий	Минимальные значения статистической выборки по исследуемым предприятиям	Для низкого уровня характерны минимальные значения показателей производственной эффективности, которые были характерны для предприятий анализируемой территориальной производственной системы. Такое состояние свидетельствует о неоптимальном управлении ресурсами предприятий и требует разработки оперативных и стратегических мероприятий по повышению эффективности работы производственной системы

### Результаты исследования и их обсуждение

Согласно изложенному алгоритму в первую очередь была разработана регрессионная модель ресурсоэффективности территориальной производственной системы г. Нижнекамска. Для этого были использованы статистические данные по исследуемым предприятиям за 2010–2019 гг. Анализ выявил сильную связь между суммарной прибылью предприятий и относительной долей отдельных видов оборотных активов в их общей сумме. Разработанная регрессионная модель имеет вид формулы

$$PЭ = 457 * X_1 + 416 * X_2 - 52, \quad (2)$$

где  $X_1$  – средняя доля производственных запасов на балансе исследуемых предприятий;  $X_2$  – средняя доля денежных средств на балансе исследуемых предприятий.

Для внесения большей ясности следует раскрыть формулы расчета выявленных

факторов ресурсоэффективности. Показатель  $x_1$  рассчитывается по формуле

$$x_1 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ПЗ_{ср.г.i}}{Аср.г.i}}{n}, \quad (3)$$

где  $ПЗ_{ср.г.i}$  – среднегодовая стоимость производственных запасов  $i$ -го предприятия территориальной производственной системы;  $Аср.г.i$  – среднегодовая стоимость всех производственных активов  $i$ -го предприятия территориальной производственной системы;  $n$  – количество анализируемых предприятий территориальной производственной системы.

Аналогичным образом представим показатель  $x_2$  в рамках формулы

$$x_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{ДСр.г.i}{Аср.г.i}}{n}, \quad (4)$$

где  $ПЗ_{ср.г.i}$  – среднегодовая стоимость денежных средств на балансе  $i$ -го предпри-

ятия территориальной производственной системы;  $Asp.g_i$  – среднегодовая стоимость всех производственных активов  $i$ -го предприятия территориальной производственной системы;  $n$  – количество анализируемых предприятий территориальной производственной системы.

Далее были разработаны регрессионные модели показателей-ограничений для территориально-производственной системы города Нижнекамска. В результате была построена задача линейного программирования на максимизацию ресурсоэффективности, имеющая вид формулы

$$PЭ = 457*x_1 + 416*x_2 - 52,$$

$$\begin{cases} 26*x_1 + 13*x_2 - 0,39 \leq b_1, \\ 1,95 + 23*x_1 - 9,21*x_2 \leq b_2, \\ 8348 - 42281*x_1 + 166027*x_2 \leq b_3, \\ 0,35*x_1 - 0,73*x_2 - 0,008 \leq b_4, \\ 0 \leq x_1 \leq 1, \\ 0 \leq x_2 \leq 1, \end{cases} \quad (5)$$

где  $b_1$  – среднее значение фондоотдачи предприятия территориально-производственной системы г. Нижнекамска;  $b_2$  – среднее значение коэффициента оборачиваемости оборотных активов территориально-производственной системы г. Нижнекамска;  $b_3$  – среднее значение выработки на одного работника территориально-производственной системы г. Нижнекамска;  $b_4$  – среднее значение коэффициента рентабельности активов территориально-производственной системы г. Нижнекамска.

ной системы г. Нижнекамска;  $b_4$  – среднее значение коэффициента рентабельности активов территориально-производственной системы г. Нижнекамска.

Представленная задача была решена в трех вариациях значений показателей-ограничений согласно трем уровням развития территориальной производственной системы, представленным в табл. 1. Решения и значения параметров представлены в табл. 2.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что по мере повышения уровня развития системы нижнекамским предприятиям целесообразно наращивать долю производственных запасов и денежных средств в структуре производственного имущества. Данные указывают на то, что консервативная стратегия управления текущими активами является оптимальной для исследуемой территориально-производственной системы. Другими словами, по мере улучшения ситуации на сбытовых рынках и повышения эффективности производственной системы предприятиям следует увеличивать оборотный капитал, чтобы обеспечивать бесперебойные поставки продукции, тем самым максимизируя ресурсоэффективность. Представленные в табл. 2 значения долей производственных запасов и денежных средств могут быть рекомендованы предприятиям территориально-производственной системы г. Нижнекамска в качестве нормативных.

Таблица 2

Решения задачи линейного программирования на максимизацию ресурсоэффективности территориально-производственной системы г. Нижнекамска

Показатель	Оптимальное значение	Допустимое значение
Низкий уровень развития территориально-производственной системы		
Целевой показатель задачи линейного программирования	Ресурсоэффективность (РЭ) – суммарная прибыль предприятий территориально-производственной системы, млн руб.	6 359 РЭ → max
Аргументы целевой функции задачи линейного программирования	$x_1$ – средняя доля производственных запасов в структуре имущества предприятия территориально-производственной системы	0,08 $0 \leq x_1 \leq 1$
	$x_2$ – средняя доля денежных средств в структуре имущества предприятия территориально-производственной системы	0,05 $0 \leq x_2 \leq 1$
Показатели – ограничения задачи линейного программирования	$b_1$ – среднее значение фондоотдачи предприятия территориально-производственной системы	2,47 $b_1 \leq 2,47$
	$b_2$ – среднее значение коэффициента оборачиваемости оборотных активов предприятия территориально-производственной системы	3,63 $b_2 \leq 3,65$
	$b_3$ – среднее значение выработки на одного работника предприятия территориально-производственной системы, млн руб./чел.	14,3 $b_3 \leq 14,4$
	$b_4$ – среднее значение коэффициента рентабельности активов предприятия территориально-производственной системы	0,056 $b_4 \leq 0,056$

<b>Окончание табл. 2</b>			
Показатель		Оптимальное значение	Допустимое значение
<b>Средний уровень развития территориально-производственной системы</b>			
Целевой показатель ЗЛП	ЭЭ	33 371	РЭ → max
Аргументы целевой функции ЗЛП	$x_1$	0,12	$0 \leq x_1 \leq 1$
	$x_2$	0,07	$0 \leq x_2 \leq 1$
Показатели – ограничения ЗЛП	$b_1$	3,7	$b_1 \leq 3,79$
	$b_2$	4	$b_2 \leq 4$
	$b_3$	15,6	$b_3 \leq 15,6$
	$b_4$	0,09	$b_4 \leq 0,09$
<b>Высокий уровень развития территориально-производственной системы</b>			
Целевой показатель ЗЛП	ЭЭ	53 898	РЭ → max
Аргументы целевой функции ЗЛП	$x_1$	0,15	$0 \leq x_1 \leq 1$
	$x_2$	0,09	$0 \leq x_2 \leq 1$
Показатели – ограничения ЗЛП	$b_1$	5,12	$b_1 \leq 5,14$
	$b_2$	4,67	$b_2 \leq 4,67$
	$b_3$	16,2	$b_3 \leq 16,2$
	$b_4$	0,13	$b_4 \leq 0,13$

### Заключение

Разработанная методика адекватна поставленной цели, что подтверждают результаты апробации. Полученные значения параметров территориально-производственной системы позволили определить оптимальную стратегию управления текущими активами, направленную на максимизацию уровня ресурсоэффективности. Следует отметить определенную гибкость методики, поскольку в рамках предложенных алгоритмов может быть проанализирован и спрогнозирован широкий ряд производственно-экономических параметров для существенного числа предприятий, объединенных в рамках единой территориально-производственной системы.

*Исследование выполнено в рамках гранта Президента РФ по государственной поддержке ведущих научных школ РФ № НШ-2600.2020.6.*

### Список литературы

1. Дырдонова А.Н. Экономическая эффективность кластерных образований в регионе: методологический подход // Научное обозрение. 2015. № 7. С. 331–334.
2. Лубнина А.А. Инновационное развитие машиностроительного комплекса на основе модели соконкуренции // Экономический вестник Республики Татарстан. 2009. № 3. С. 104–109.
3. Шинкевич М.В., Барсегян Н.В. Роль предпринимательских инициатив в совершенствовании организации производства предприятий нефтехимического комплекса // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. 2019. № 2. С. 358–369.
4. Марков Л.С. Теоретико-методологические основы кластерного подхода. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2015. 300 с.
5. Ресурсная модель модернизации экономики: возможности и ограничения / Под ред. В.Б. Кондратьева. М.: ИМЭМО РАН, 2016. 328 с.
6. Куценко Е.С. Экономическая логика формирования, развития и упадка кластеров: в кн. Кластерные политики и кластерные инициативы: теория, методология, практика. Пенза: ИП Тугушев С.Ю., 2013. С. 6–66.
7. Национальный проект «Производительность труда и поддержка занятости». Сайт Правительства Российской Федерации. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/865/events> (дата обращения: 05.09.2020).