

DOI: 10.37791/2687-0657-2023-17-6-61-76

Моделирование работы технологической цепи с вертикальными и горизонтальными взаимосвязями участников и учетом спроса

С. Н. Любященко^{1*}

¹ Новосибирский государственный университет экономики и управления (НГУЭУ), Новосибирск, Россия

* lubsofia@yandex.ru

Аннотация. Предметом статьи является исследование производственных структур, состоящих из совокупности самостоятельных фирм – предприятий, взаимодействующих друг с другом через поставки продукции по горизонтальным и вертикальным связям в единой производственно-технологической цепочке. Предполагается, что фирмы на разных уровнях цепи не только поставляют комплектующие вверх, но и реализуют их на рынке, организуя взаимодействие с оптовыми покупателями. Механизм взаимодействия учитывает экономические интересы, спрос на продукцию фирмы на рынке и отражает ситуацию равновесия. *Научной новизной исследования* является углубление методологической базы для описания взаимодействия участников технологической цепи с помощью матричного моделирования, основанного на принципах построения матриц межотраслевого баланса. Рассмотрены такие характеристики фирм и системы в целом, как конечный продукт, валовый продукт, объемы ресурсов. На основе полученных конечных формул установлены зависимости экономических характеристик деятельности фирм и системы в целом от снижения (повышения) цен на ресурсы, от изменения спроса. Предложенный подход к определению конечного продукта системы представляется вполне обоснованным: во-первых, объемы выпуска системы увязаны через взаимодействие производителя и продавца, учитывающих рыночный спрос, а, во-вторых, величина объема продаж отражает экономические интересы сторон. Соотношение «цена продукции на рынке – объем предложения» становится обоснованным со стороны функции спроса (конечный потребитель), продавца и изготовителя продукции. Такой оптимизационный подход к определению результатов взаимодействия оперативно учитывает изменения рыночной среды и корректирует показатели деятельности участников в направлении их согласованности, что позволяет повысить устойчивость функционирования системы. Установлено, что при ухудшении ситуации на рынке в результате роста цен на факторы производства или сокращения платежеспособного спроса наблюдается процентное снижение конечного выпуска продукции в стоимостном выражении, однако темпы его сокращения ниже. Случай снижения спроса имеет более негативное влияние на экономику фирмы и всей системы. Таким образом, темпы роста экономики и благосостояние населения определяются эффективностью работы сложных иерархических структур с горизонтальными и вертикальными взаимосвязями.

Ключевые слова: технологическая цепь, горизонтальные и вертикальные взаимосвязи, матричное моделирование, конечный продукт, валовый продукт, цена ресурсов, спрос

Для цитирования: Любященко С. Н. Моделирование работы технологической цепи с вертикальными и горизонтальными взаимосвязями участников и учетом спроса // Современная конкуренция. 2023. Т. 17. № 6. С. 61–76. DOI: 10.37791/2687-0657-2023-17-6-61-76

Modeling the Operation of a Technological Chain with Vertical and Horizontal Relationships of Participants and Taking into Account Demand

S. Lyubyashenko^{1*}

¹ Novosibirsk State University of Economics and Management (NSUEM), Novosibirsk, Russia

* lubsofia@yandex.ru

Abstract. The subject of the article is the study of production structures consisting of a set of independent firms (enterprises interacting with each other through the supply of products through horizontal and vertical links in a single production and technological chain. It is assumed that firms at different levels of the chain not only supply components up, but also sell them on the market, organizing interaction with wholesale buyers. The mechanism of interaction takes into account economic interests, the demand for the company's products in the market and reflects the situation of equilibrium. The scientific novelty of the study is the deepening of the methodological basis for describing the interaction of participants in the technological chain using matrix modeling based on the principles of constructing matrices of intersectoral balance. Such characteristics of firms and the system as a whole as: final product, gross product, resource volumes are considered. On the basis of the obtained final formulas, the dependences of the economic characteristics of the activity of firms and the system as a whole on the decrease (increase) in prices for resources, on changes in demand are established. The proposed approach to determining the final product of the system seems to be quite reasonable: firstly, the output volumes of the system are linked through the interaction of the manufacturer and seller, taking into account market demand, and, secondly, the volume of sales reflects the economic interests of the parties. The ratio "the price of products on the market – the volume of supply" becomes justified on the part of the demand function (the end consumer), the seller and the manufacturer of products. Such an optimization approach to determining the results of interaction promptly takes into account changes in the market environment and adjusts the performance indicators of participants in the direction of their consistency, which makes it possible to increase the stability of the system. It is established that when the market situation worsens as a result of rising prices for factors of production or a reduction in effective demand, there is a percentage decrease in final output in value terms, but the rate of its reduction is lower. The case of a decrease in demand has a more negative impact on the economy of the firm and the entire system. Thus, the growth rates of the economy and the well-being of the population are determined by the efficiency of complex hierarchical structures with horizontal and vertical relationships.

Keywords: technological chain, horizontal and vertical relationships, matrix modeling, final product, gross product, resource price, demand

For citation: Lyubyashenko S. Modeling the Operation of a Technological Chain with Vertical and Horizontal Relationships of Participants and Taking into Account Demand. *Sovremennaya konkurentsia*=Journal of Modern Competition, 2023, vol.17, no.6, pp.61-76 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0657-2023-17-6-61-76

Введение

Одной из наиболее приоритетных задач органов власти на разных уровнях управления является обеспечение экономической независимости страны,

которая включает в себя производственный и технологический суверенитет, нарушенный в результате введения ограничительных мер со стороны иностранных государств. Преодоление раздробленности производственно-технологических цепей возможно

в результате продуманной промышленной и антимонопольной политики. Необходимость проектирования эффективных структур с горизонтальными и вертикальными связями (далее – ГВС) в обрабатывающей промышленности не вызывает сомнений, поскольку способствует созданию конкурентоспособных предприятий, повышающих устойчивость экономики страны особенно в условиях текущих «вызовов и угроз». Перевооружение отечественной промышленности, восстановление разрушенных цепей поставок и создание новых организационных структур в промышленности требует дальнейшего совершенствования методологической базы к исследованию сложных горизонтально-вертикальных систем.

В рамках таких систем реализуется полный цикл создания конечной продукции наиболее эффективно, что способствует повышению конкурентоспособности отечественных предприятий на мировых рынках и восстановлению промышленных цепей.

Следует отметить достижения российских и зарубежных авторов, изучающих вопросы эффективности функционирования подобных объектов в промышленности.

В работе Г. В. Колесник [1] подобные формы организации производства относятся к мезоэкономическим системам и «содержат в себе качественно неоднородную структуру взаимоотношений агентов, включающих в себя как формальные и неформальные иерархические отношения, так и широкий спектр отношений конкуренции и кооперации, а также их сочетаний, что существенным образом влияет на эффективность функционирования указанных систем». Автор предлагает математические модели, описывающие конкурентные отношения фирм.

В работе В. А. Ильина [2] предлагается использование методологии межотраслевого баланса для построения вертикально интегрированных фирм как наиболее эффективной структуры за счет «более высокого значения коэффициента добавленной сто-

имости вновь образованной структуры по сравнению с суммой значений данного показателя для входящих в ее состав фирм».

М. Р. Сафиуллин подчеркивает важность промышленной кооперации на основе создания производственно-технологических цепей для повышения промышленного потенциала страны [3].

Большое количество работ посвящено оценке эффективности и влияния крупных фирм на результаты функционирования рынков: Н. М. Розанова, С. Б. Авдашева, В. И. Мамонов, В. А. Полуэктов, Ф. Шерер и Д. Росс, Ж. Тироль [4–9]. Авторы акцентируют внимание на конкурентных преимуществах вертикальных и горизонтальных структур на рынках, а также на их рыночной власти. Теория Р. Коуза содержит объяснение границ роста фирм на основе анализа транзакционных издержек [10]. В исследовании М. Ю. Шерешевой представлен комплексный анализ сетевого межфирменного взаимодействия фирм на реальных рынках, рассмотрены различные способы интеграции и особенности каждого из них [11].

В целом сходство работ заключается в рассмотрении вертикальной интеграции как необходимого факта функционирования в цепи поставок и выживания в условиях жесткой конкуренции на рынке. Однако практически отсутствуют исследования длинных и разветвленных по горизонтали и вертикали производственных цепей на основе модельных конструкций. В связи с этим *целью исследования* является разработка методологического подхода для изучения крупных промышленных объектов сложной структуры.

Методология и методы исследования

Методологию исследования формируют инструменты и методы анализа современных производственно-хозяйственных комплексов, находящиеся на стыке теории фирмы, отраслевых рынков, экономической

теории, математического анализа. Методологической базой эконометрических моделей является матричное моделирование.

В работе в качестве *объекта исследования* рассматривается производственно-технологическая цепь, которую замыкает головная фирма, включающая основное производство – изготовление сложных образцов конечного продукта. Технологическая цепь состоит из совокупности предприятий, производящих и поставляющих комплектующие и разной степени законченности изделия для производства продукта головной (фокусной) фирмой. Между всеми участниками системы существуют горизонтальные и вертикальные взаимосвязи, наличие которых определяется производственной необходимостью и целесообразностью, т. е. рассматривается система общего вида. Заметим, что фирмы могут организовывать работу по аутсорсингу. Следует отметить, что такую систему не предполагается здесь рассматривать как интегрированную на базе экономического механизма (пул прибыли, трансфертные цены и т. д.), однако такая система является глубоко интегрированной в единый производственный процесс создания сложных продуктов. Вместе с тем будем допускать, что фирмы любого уровня могут производить не только комплектующие, но и изделия для продажи на рынке оптовому покупателю.

Достаточное количество производственно-технологических цепей с вертикальной и горизонтальной интеграцией по производственному принципу получают объемы выпуска изделий в качестве установленных показателей деятельности. Однако большая часть хозяйствующих субъектов в экономике, входящих в производственно-технологические цепочки или нет, ориентированы на потребительский рынок, а потому в своей рыночной деятельности должны учитывать функцию спроса.

Систему, которая будет рассматриваться как объект изучения далее, можно представить графически (рис. 1).

Исследование системы, представленной на рисунке 1, с горизонтальными и вертикальными связями фирм предполагает решение следующих задач:

- предложить формальный аппарат и обосновать его применение для описания взаимосвязей и функционирования фирм и системы в целом;
- определить конечный и валовый продукты фирм и системы в целом, учитывая спрос на продукцию и экономические интересы участников;
- определить цену продажи продукции оптовым потребителям, цену продажи и количество товара на рынке, прибыли фирм с учетом спроса;
- ввести в рассмотрение ресурсы и установить связь между их количеством и конечным продуктом, определить полные затраты ресурсов на единицу конечного продукта каждого вида;
- установить зависимость изменения конечного продукта от изменения цен на ресурсы и от изменения спроса на продукцию системы.

Наименование изображенной на рисунке 1 схемы должно отражать сущностные элементы, поэтому ее можно воспринимать как пирамидальную производственно-технологическую цепь, как структуру с горизонтальными и вертикальными взаимосвязями фирм, как систему с произвольной производственной топологией взаимосвязей фирм.

Данные и методы

В качестве формального аппарата для описания горизонтальных и вертикальных взаимосвязей фирм в технологической цепочке используется матричное моделирование. Методика построения матрицы взаимосвязей, показатели валового и конечного продуктов, коэффициентов прямых и полных затрат заимствованы из методологии разработки экономико-математического моделирования межотраслевого баланса [12].

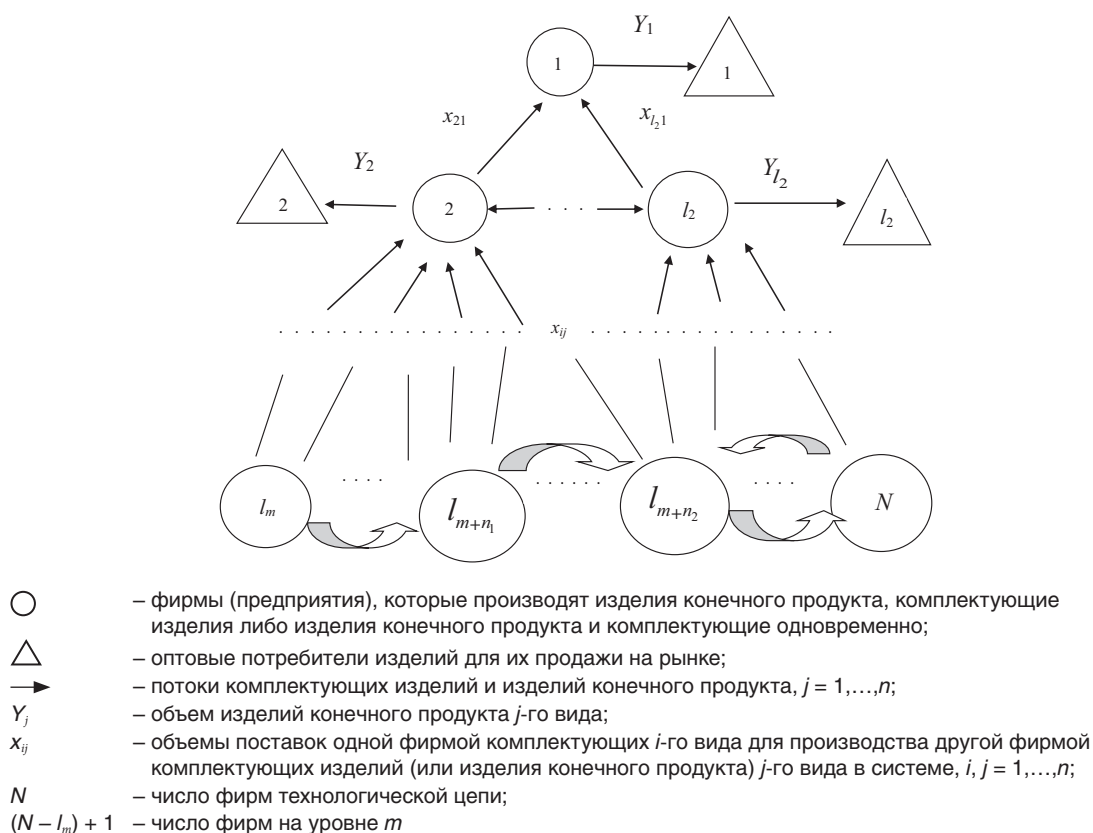


Рис. 1. Общая структура производственно-технологической цепи

Fig. 1. General structure of the production and technological chain

Вместе с тем, чтобы применить схему к такой производственно-технологической системе, следовало решить ряд задач.

Прежде всего следовало учесть, что в действительности каждая фирма производит несколько изделий: часть из них является только комплектующими, другая часть – одновременно комплектующими и законченным изделием для рынка, а третья часть не выступает комплектующей продукцией, а изначально предназначена для рынка. Таким образом, далее будем считать, что каждая фирма, как участник горизонтально-вертикальной структуры, поставляет комплектующие не только вверх по технологической цепочке, но и производит их при достаточной производственной мощности для продажи оптовому покупателю, который

реализует продукцию на рынке конечному потребителю. Например, при производстве моторов как основного изделия ГВС, которые комплектуются генераторами, карбюраторами, топливными насосами, радиаторами и другими элементами, то последние на рынке выступают как конечные изделия и потребляются физическими лицами, СТО, многочисленными службами по эксплуатации автомобилей. Такое характерно и для других отраслей дискретного производства (приборостроение, производство электроинструментов и т. д.)

Потому при построении исходной матрицы взаимосвязей фирмы с другими в системе она должна быть представлена в виде нескольких производств, каждое из которых производит только комплектующие, изделия

двойного назначения, которые являются комплектующими и одновременно готовыми изделиями для продажи на рынке, а также изделия на рынок. Конечно, далеко не каждая фирма производит эти три «вида» изделий. В технологической цепочке всегда есть фирмы, которые производят только комплектующие, причем несколько видов и т.д. Итак, в модели общее количество наименований продукции равно $j = 1, \dots, n$, причем каждой производящей продукцию единице поставлено в соответствие одно наименование. Каждая фирма в системе может производить от одного до нескольких видов продукции. Из всех видов продукции фирмы выделим те, которые производятся и поставляются для продажи на рынке:

$$j \in J_u, u = 1, \dots, N.$$

Другая особенность состоит в том, что, рассматривая материальные потоки как движение изделий, измеряемое в натуральных физических единицах, при расчете коэффициентов прямых затрат матрицы следует учитывать коэффициенты входимости (когда на одно изделие требуется несколько единиц комплектующих). Основной документ, который используется для получения данной информации, – это схема сборочного состава изделия.

Экономическими результатами деятельности системы являются: вектор валовой продукции $X = (X_1, \dots, X_j, \dots, X_n)$, вектор конечного выпуска продукции $Y = (Y_1, \dots, Y_j, \dots, Y_n)$, где $Y_j \neq 0, j \in J_u, u = 1, \dots, N$, технологическая матрица A – матрица коэффициентов прямых затрат всех видов продукции системы на единицу продукции валового выпуска.

Общий вид технологической матрицы, описывающей взаимосвязи в системе, представлен в таблице 1.

Основное балансовое уравнение в матричной форме имеет вид

$$X - A \times X = Y \text{ или } (E - A)^{-1} \times X = Y, \\ (E - A)^{-1} = \{\alpha_{ij}\}, i, j = 1, \dots, n,$$

где α_{ij} – коэффициенты полных затрат.

В системе с горизонтальной и вертикальной интеграцией фирм существует два разных потока ресурсов. Первый – это поток материально-вещественных компонентов между фирмами в системе (комплектующие, комплекты изделий, изделия), которые по существу являются ресурсами для потребляющих их фирм с целью производства конечного продукта. Особенность этого потока заключается в том, что он формируется и функционирует внутри системы. Второй поток – это поток ресурсов, приобретаемых участниками системы во внешней среде и обеспечивающих организацию производственного процесса по созданию конечной продукции. В системе измерение потребляемых ресурсов производится в натуральных единицах. Матрица ресурсов $RM = \{r_{kj}\}, k = 1, \dots, K; j = 1, \dots, n$ состоит из элементов, каждый из которых характеризует норму расхода конкретного вида ресурса в натуральных единицах либо на единицу конкретного вида продукции, либо на условную единицу в зависимости от масштаба, принятого при расчете коэффициентов затрат матрицы A с учетом коэффициентов входимости.

Обратимся к матричному равенству $(E - A)^{-1} \times Y = X$. Умножим правую и левую части равенства на матрицу ресурсов RM :

$$RM (E - A)^{-1} \times Y = RM \times X.$$

Элемент b_{kj} матрицы $B = RM (E - A)^{-1} = \{b_{kj}\}, k = 1, \dots, K, j = 1, \dots, n$ есть норма расхода k -го вида ресурса (с учетом расхода на внутренний продукт) на единицу конечного продукта j -го вида. Умножая матрицу B на заданный конечный продукт покомпонентно, получаем соответствующий ему вектор ресурсов. Если системе требуется определить количество дополнительных ресурсов при установленных ею приростах продукции конечного выпуска, то из выражения

$$B (Y + \Delta Y) = RM (X + \Delta X) = (R + \Delta R)$$

количество дополнительных ресурсов равно

$$B \times \Delta Y = RM \times \Delta X = \Delta R,$$

где $R = (R_1, \dots, R_k, \dots, R_K)$ – вектор ресурсов в системе.

Таблица 1. Технологическая матрица коэффициентов прямых затрат $A = \{a_{ij}\}$, промежуточный, валовой и конечный продукты системы

Table 1. Technological matrix of direct cost coefficients $A = \{a_{ij}\}$, intermediate, gross and final products of the system

Производство изделий и комплектующих фирмами в системе <i>Production of products and components by companies in the system</i>	Фирмы <i>Companies</i>	Потребление комплектующих изделий в системе <i>Consumption of components in the system</i>				Промежуточный продукт <i>Intermediate product</i>	Конечный продукт <i>Final product</i>	Валовый продукт <i>Gross product</i>
		Фирма u / <i>Firm u</i>						
	Фирма 1 <i>Firm 1</i>	$J = n_{u-1} + 1$	...	$J = n_u$	...	...	...	...
	$J = 1$	...	$a_{1,n_{u-1}+1}$	a_{1,n_u}	...	$\sum_{j=1}^n a_{1j} X_j$	Y_1	X_1
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$J = n_1$	...	$a_{n_1,n_{u-1}+1}$	a_{n_1,n_u}	...	$\sum_{j=1}^n a_{n_1j} X_j$	Y_{n_1}	X_{n_1}
	...	...	...	...	...	...	...	...
	Фирма u <i>Firm u</i>	...	...	...	...	...	...	...
	$J = n_{u-1} + 1$	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...
Фирма N <i>Firm N</i>	$J = n_u$	...	...	...	...	...	...	...
	...	...	...	...	...	...	...	...
	$J = n_{N-1} + 1$	...	$a_{n_{N-1}+1,n_{u-1}+1}$	$a_{n_{N-1}+1,n_u}$	...	$\sum_{j=1}^n a_{n_{N-1}+1,j} X_j$	$Y_{n_{N-1}+1}$	$X_{n_{N-1}+1}$
	...	...	...	...	...	...	...	...
Фирма N <i>Firm N</i>	$J = n$	...	$a_{n,n_{u-1}+1}$	a_{n,n_u}	...	$\sum_{j=1}^n a_{nj} X_j$	Y_n	X_n
	...	...	...	...	...	...	...	...

Описание производственных связей фирм, образующих структуру горизонтально-вертикальной интеграции, на основе модельной конструкции межотраслевого баланса позволяет давать экономическую оценку значению и роли каждого участника системы в приращении конечного и валового продуктов.

Моделирование неинтегрированно-го взаимодействия фирмы-производителя и фирмы-потребителя (оптового продавца) с учетом функции спроса и получение ком-

промиссного решения рассмотрено автором в статье [13]. Здесь используем конечные формульные зависимости и сохраним обозначения экзогенных и эндогенных переменных. При получении результатов рассматривалась линейная обратная функция спроса

$$P_j = a_j - b_j \times Y_j,$$

где a_j, b_j – параметры;
 P_j, Y_j – количество и цена продукции, по которой последняя продается конечному потребителю;

π_{jj}, π_j – прибыли фирмы-производителя продукта j -го вида и фирмы оптового покупателя соответственно;

P_{jj} – цена продукции, по которой последняя продается фирмой-производителем оптовой фирме-продавцу.

В этих обозначениях запишем задачи максимизации прибыли каждым из участников:

- оптовый продавец решает задачу максимизации своей прибыли на потребительском рынке:

$$(P_j - P_{jj}) \times Y_j \rightarrow \max_{Y_j}, j \in J_u, u = 1, \dots, n; \quad (1)$$

- фирма максимизирует свою прибыль, продавая оптовому продавцу изделие, предназначенное для рынка:

$$(P_{jj} - c_j) \times Y_j \rightarrow \max_{P_{jj}}, j \in J_u, u = 1, \dots, n. \quad (2)$$

Процесс сходится к равновесному решению, при котором увеличение прибыли у одного невозможно без уменьшения прибыли у другого. Таким образом, производственная фирма и оптовая фирма-продавец в результате экономического взаимодействия совместно определяют объемы производства (продаж), цену товара для фирмы-продавца и цену товара для конечного потребителя.

Заметим, что такое сотрудничество фирм может принимать форму полной интеграции.

Приведем конечные формулы решения системы (1) – (2):

$$Y_j = \frac{a_j - c_j}{4b_j}, P_{jj} = \frac{a_j + c_j}{2}, P_j = \frac{3a_j + c_j}{4}, \quad (3)$$

$$\pi_{jj} = \frac{(a_j - c_j)^2}{8b_j}, \pi_j = \frac{(a_j - c_j)^2}{16b_j}, j \in J_u, u = 1, \dots, N,$$

где c_j – полные затраты по производству единицы продукции j -го вида,

$$c_j = \sum_{k=1}^K z_k \times b_{kj}, j \in J_u, u = 1, \dots, N, \quad (4)$$

где z_k – цена единицы ресурса k -го вида, $k = 1, \dots, K$.

Сделаем необходимое замечание. Изменение цен на ресурсы в равной степени относится ко всем изделиям системы: и комплектующим, и тем, которые представляют собой конечный продукт. Но здесь не ставится задача определения общего изменения стоимостных затрат на ресурсы, а рассматривается влияние изменения цен на ресурсы на стоимостное значение конечного выпуска. Поэтому в выражении (4) индексы обозначают лишь ту продукцию фирм, которая предназначена для продажи на рынке. Отметим также, что стоимостное значение конечных выпусков продукции будет определяться с помощью цен P_{jj} , то есть цен, по которым продукция фирм передается оптовым фирмам-покупателям.

Методика оценки влияния цен на ресурсы и изменений в спросе на результаты работы фирмы и горизонтально-вертикальной системы в целом

Анализируя выражения (3) и (4), отметим, что значения конечного продукта у фирм и в системе зависят от цен на ресурсы и их норм расхода, от параметров функций спроса на продукцию фирм. Такая связь между конечным продуктом системы и экономическим поведением фирм, учитывающем спрос на потребительском рынке, предоставляет исследователю большие возможности для проведения качественного анализа взаимосвязей экономических характеристик системы. Заметим, что изменение величины издержек (4) может происходить из-за изменения цен на ресурсы, изменения нормы расхода ресурсов или из-за их совместного изменения. Интересным представляется получение оценки влияния изменения спроса на значения конечного продукта и экономические показатели деятельности фирм и системы в целом.

Не обсуждая возможные варианты изменения издержек, рассмотрим такой фактор, как, например, цена ресурсов. Сразу отметим, что изменение цен на ресурсы касается

каждой фирмы в структуре вертикально-горизонтальных взаимосвязей, а следовательно, и экономических результатов системы в целом. В данном случае важно выявить, как повлияет изменение цен на ресурсы на величину прироста (сокращения) конечного продукта и дополнительных ресурсов, на величину прибыли фирмы, продающей продукт фирме-покупателю для продажи на рынке, на количество продукта для конечного потребителя и его цену.

Выражения (3) – (4) позволяют провести количественный анализ влияния изменения цен и изменения спроса на экономические показатели деятельности фирм и системы в целом, а полученные результаты дадут возможность сформулировать качественные выводы.

Введем в рассмотрение коэффициент $s_k \times 100\%$ – процент изменения цены за единицу k -го ресурса, $s_k < 1$. Заметим, что изменение цен может происходить не по всем ресурсам. Тогда изменение затрат за счет изменения цен на ресурсы определяется выражением

$$\Delta c_j = \sum_{k=1}^K s_k \times z_k \times b_{kj}, j \in J_u, u = 1, \dots, N. \quad (5)$$

Рассмотрим вначале случай *роста цен на ресурсы*.

Легко показать, что при росте цен на ресурсы происходит сокращение объема выпуска конечной продукции в натуральном выражении (6) и, несмотря на рост цены на продукцию, происходит уменьшение конечного продукта в стоимостном выражении. Оставим выкладки и сразу запишем формульное выражение для определения процента снижения базового уровня объема конечного продукта в стоимостном выражении:

$$P_{c^+}(j) = \frac{\Delta(P_{ff} Y_j)}{P_{ff} Y_j} \times 100\% = \frac{\sum_{k=1}^K s_k \times z_k \times b_{kj} \times (2 \times \sum_{k=1}^K z_k \times b_{kj} + \sum_{k=1}^K s_k \times z_k \times b_{kj})}{8 \times b_j \times P_{ff} \times Y_j} \times 100\%, j \in J_u, u = 1, \dots, N,$$

где c^+ – рост цен на ресурсы.

С целью упрощения записи выражения (6) и его использования для установления взаимосвязи между переменными без ущерба для содержания положим одинаковым для всех видов ресурсов процент повышения цен на ресурсы: $s_k \times 100\% = s \times 100\%$, $k = 1, \dots, K$. Тогда выражение (6) примет вид

$$P_{c^+}(j) = \frac{s(2+s) \times (\sum_{k=1}^K z_k \times b_{kj})^2}{8 \times b_j \times P_{ff} \times Y_j} \times 100\% = s(2+s) \times \rho_j \times 100\%, j \in J_u, u = 1, \dots, N,$$

где коэффициент $\rho_j = \frac{(\sum_{k=1}^K z_k \times b_{kj})^2}{8 \times b_j \times P_{ff} \times Y_j} > 0$,

численное значение которого зависит от соотношения значения параметра a_j в функции спроса и величины затрат c_j . Например, $\rho_j = 0,190$, когда $c_j \cong 0,40a_j$, $j \in J_u$, $u = 1, \dots, N$. Выражение (7) есть возрастающая выпуклая вниз функция. Если коэффициент $\rho_j > 1,0$, то наблюдается более интенсивное снижение конечного продукта на каждый процент увеличения цен на ресурсы в сравнении, когда коэффициент меньше единицы.

По нашему предположению, всякая фирма в системе может производить и продавать на рынке более чем один продукт. Поэтому процентное снижение конечного выпуска фирмы в стоимостном выражении определяем с учетом всего количества таких продуктов:

$$P_{c^+}(J_u) = \frac{\sum_{j \in J_u} P_{c^+}(j) \times P_{ff} \times Y_j}{\sum_{j \in J_u} P_{ff} \times Y_j}, \quad (8)$$

а по системе ГВС в целом процент снижения конечного выпуска в денежном выражении есть

$$P_{c^+}(N) = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{j \in J_u} P_{c^+}(j) \times P_{ff} \times Y_j}{\sum_{j=1}^n P_{ff} \times Y_j}. \quad (9)$$

Рассмотрим ситуацию, когда *цены на ресурсы снижаются*.

В данном случае легко убедиться в том, что величина изменения конечного продукта $\Delta(P_{ff} Y_j)$ есть величина строго положительная. Процент роста базового уровня объема конечного продукта в стоимостном выражении равен

$$P_c^-(j) = \frac{\Delta(P_{ff} Y_j)}{P_{ff} Y_j} \times 100\% = \frac{\sum_{k=1}^K s_k \times z_k \times b_{kj} \times (2 \times \sum_{k=1}^K z_k \times b_{kj} + \sum_{k=1}^K s_k \times z_k \times b_{kj})}{8 \times b_j \times P_{ff} \times Y_j} \times 100\%, j \in J_u, u = 1, \dots, N, \quad (10)$$

где s^- – снижение цен на ресурсы.

Как и в предыдущем случае, примем процент снижения цен на ресурсы одинаковым для всех видов. Тогда

$$P_c^-(j) = \frac{s(2-s) \times (\sum_{k=1}^K z_k \times b_{kj})^2}{8 \times b_j \times P_{ff} \times Y_j} \times 100\% = s(2-s) \times p_j \times 100\%, j \in J_u, u = 1, \dots, N. \quad (11)$$

Для всех возможных значений $s \in (0, 1)$ выражение является возрастающей выпуклой вверх функцией.

Аналогично выражениям (8) и (9) запишем расчетные формулы для определения численных значений приростов по фирме и системе в целом:

- по фирме:

$$P_c^-(J_u) = \frac{\sum_{j \in J_u} P_c^-(j) \times P_{ff} \times Y_j}{\sum_{j \in J_u} P_{ff} \times Y_j};$$

- по системе:

$$P_c^-(N) = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{j \in J_u} P_c^-(j) \times P_{ff} \times Y_j}{\sum_{j=1}^n P_{ff} \times Y_j}.$$

Полученные зависимости между показателем процентного изменения конечного продукта в стоимостных выражениях (7) и (11) для рассмотренных случаев изменения цен на потребляемые ресурсы позволяют при сделанных предположениях провести численные расчеты и проиллюстрировать их графически. В дополнение к предположению о допустимости одинакового изменения цен

всех ресурсов примем для всех рассматриваемых случаев следующее: цены на ресурсы изменяются на 1%, затем на 2% и на 3%; расчеты выполняются для следующих произвольно выбранных значений соотношения $c_j/a_j = (0,40; 0,60; 0,80)$. Заметим, что коэффициент p_j , содержащийся в выражениях (7) и (11), определяется на основе значений отмеченного выше соотношения. Итак, используя формулу (7), заполним таблицу 2.

Из приведенных данных следует, что, например, при повышении цены на ресурсы на 3% и при достаточно высоких затратах на производство продукции $c_j/a_j = 0,80$ снижение базового уровня $P_{ff} Y_j$ конечного продукта j -го вида в стоимостном выражении составит 10,82%.

Так же как и в предыдущем случае, используя формулу (11), рассчитаем процентный рост базового уровня $P_{ff} Y_j$ конечного продукта j -го вида, сохранив все остальные численные значения соотношений и коэффициентов для сопоставимости получаемых результатов.

Анализируя данные таблицы 2, убеждаемся, что чем больше издержки фокусной фирмы c_j приближаются к параметру функции спроса a_j , тем больше процент снижения базового уровня $P_{ff} Y_j$ конечного продукта j -го вида в стоимостном выражении (анализ по столбцам).

По мере роста цен на ресурсы (от 1 до 3% по строкам) происходит сокращение производства конечного продукта, но в меньшей степени, приблизительно на 50%. Так производитель приспосабливается к ухудшению ситуации на рынке и пытается сохранить объем производства на максимально возможном уровне, что объясняется желанием сохранить прежнюю структуру себестоимости продукции (прежнее соотношение переменных и постоянных затрат на единицу выпуска продукции при небольшом сокращении производства).

Для случая повышения цен на ресурсы проиллюстрируем снижение прироста конечного продукта графически (рис. 2).

Таблица 2. Процентное снижение (рост) базового уровня P_{fj} Y_j конечного продукта j -го вида в стоимостном выражении

Table 2. Percentage decrease (increase) of the base level P_{fj} Y_j of the final product of the j th type in value terms

$s_k \times 100\%$	$P_{c^+}(j)$		
	1	2	3
1	0,38	1,13	3,57
2	0,76	2,27	7,18
3	1,15	3,42	10,82
$s_k \times 100\%$	$P_{c^-}(j)$		
	1	2	3
1	0,37	1,12	3,53
2	0,75	2,22	7,04
3	1,12	3,32	10,50
Значение соотношения c_j/a_j , % The value of the ratio c_j/a_j , %	40	60	80
Значение коэффициента ρ_j Coefficient value ρ_j	0,190	0,563	1,778

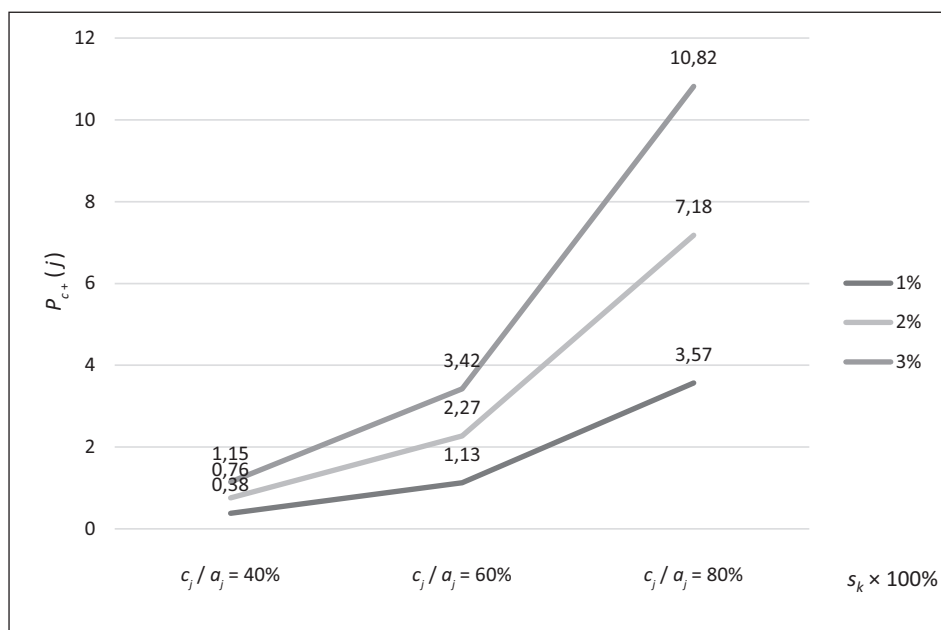


Рис. 2. Зависимость процента снижения $P_{c^+}(j)$ конечного продукта от повышения цен на ресурсы и значений соотношения c_j/a_j ; ряд 1: $c_j/a_j = 40\%$; ряд 2: $c_j/a_j = 60\%$; ряд 3: $c_j/a_j = 80\%$

Fig. 2. Dependence of the percentage of reduction $P_{c^+}(j)$ of the final product on the increase in resource prices and the values of the ratio c_j/a_j ; row 1: $c_j/a_j = 40\%$; row 2: $c_j/a_j = 60\%$; row 3: $c_j/a_j = 80\%$

Изменение цен на ресурсы, потребляемые системой, можно рассматривать как один из производственных факторов, определяющих условия производства. Вместе с тем система на рынке встречает вторую сторону – сферу потребления. Рыночные детерминанты этой стороны рынка также оказывают воздействие на экономические характеристики работы фирм и горизонтально-вертикальной системы в целом. Многие факторы в сфере потребления действуют в направлении изменения спроса. Изменение спроса будем описывать как перемещение функции спроса с одного уровня на другой путем изменения значения свободного члена в линейной функции спроса.

Рассмотрим случай, когда изменение спроса таково, что при сохранении прежней цены объем потребления сокращается, или когда остается тот же объем продаж, но по существенно меньшей цене. Такое изменение спроса приведет к ухудшению экономических показателей деятельности фирм и системы в целом. Приведем выражение, определяющее процент снижения конечного продукта j -го вида в стоимостном выражении по отношению к базовому уровню:

$$P_{a-}(j) = \frac{\Delta(P_{\text{ф}}Y_j)}{P_{\text{ф}}Y_j} \times 100\% = \beta_j \times \delta_j (2 - \delta_j) \times 100\%, \quad (12)$$

$$j \in J_u, u = 1, \dots, N,$$

где $\beta_j = \frac{a_j^2}{a_j^2 - c_j^2} > 1$, $0 < \delta_j < 1$, где δ_j есть доля, на которую уменьшается параметр a_j обратной функции спроса.

При таком характере изменения спроса уменьшение конечного продукта фирмы есть

$$P_{a-}(J_u) = \frac{\sum_{j \in J_u} \Delta(P_{\text{ф}}Y_j)}{\sum_{j \in J_u} P_{\text{ф}}Y_j} \times 100\%, u = 1, \dots, N,$$

по системе в целом –

$$P_{a-}(N) = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{j \in J_u} \Delta(P_{\text{ф}}Y_j)}{\sum_{j=1}^n P_{\text{ф}}Y_j}.$$

Наконец, рассмотрим *случай расширяющегося спроса*, которому соответствует увеличение бюджетного ограничения потребителя.

Запишем конечные выражения:

$$P_{a+}(j) = \frac{\Delta(P_{\text{ф}}Y_j)}{P_{\text{ф}}Y_j} \times 100\% = \beta_j \times \delta_j (2 + \delta_j) \times 100\%, \quad (13)$$

$$j \in J_u, u = 1, \dots, N.$$

Как и в предыдущем случае, $\beta_j = \frac{a_j^2}{a_j^2 - c_j^2} > 1$,

$0 < \delta_j < 1$, где δ_j есть доля, на которую увеличивается параметр a_j обратной функции спроса.

При расширении спроса увеличение конечного продукта фирмы есть

$$P_{a+}(J_u) = \frac{\sum_{j \in J_u} \Delta(P_{\text{ф}}Y_j)}{\sum_{j \in J_u} P_{\text{ф}}Y_j} \times 100\%, u = 1, \dots, N, \quad (14)$$

по системе в целом –

$$P_{a+}(N) = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{j \in J_u} \Delta(P_{\text{ф}}Y_j)}{\sum_{j=1}^n P_{\text{ф}}Y_j}.$$

Используя формулы (12) и (13), заполним таблицу 3 при соблюдении для этих случаев прежних значений соотношения c_j/a_j .

Рост коэффициента β_j соответствует увеличению доли затрат на производство продукции в параметре a_j обратной функции спроса, соответственно: $c_j = 0,40a_j$, $c_j = 0,60a_j$, $c_j = 0,80a_j$. Это объясняется тем, что чем больше затраты, тем меньший объем продукции производится фирмой (6) и даже небольшое сокращение объема выпуска при изменении спроса вызывает заметное про-

Таблица 3. Процентное снижение (рост) конечного выпуска по продукции j -го вида при уменьшении параметра a_j обратной функции спроса и задаваемых значениях соотношения c_j/a_j

Table 3. Percentage decrease (increase) in final output for products of the j th type with a decrease in the parameter a_j of the inverse demand function and the specified values of the ratio c_j/a_j

$\delta_j \times 100\%$	$P_{a^-}(j)$		
	1	2	3
1	2,36	3,11	5,52
2	4,71	6,18	11,00
3	7,03	9,23	16,41
$\delta_j \times 100\%$	$P_{a^+}(j)$		
	1	2	3
1	2,39	3,14	5,58
2	4,80	6,31	11,22
3	7,24	9,51	16,91
Значение соотношения c_j/a_j , % The value of the ratio c_j/a_j , %	40	60	80
Значение коэффициента β_j Coefficient value β_j	1,190	1,563	2,778

центное значение отношения «уменьшение выпуска – уровень базового выпуска».

Для случая уменьшения параметра a_j обратной функции спроса проиллюстрируем графически процентное снижение конечного выпуска по продукции j -го вида (рис. 3).

Установлено, что при ухудшении ситуации на рынке в результате роста цен на факторы производства или сокращения платежеспособного спроса наблюдается процентное снижение конечного выпуска по продукции j -го вида в стоимостном выражении. Однако темпы его сокращения и темпы изменения цен на ресурсы (спроса) неодинаковые. Фирмы стремятся поддерживать новый уровень производства ближе к уровню базового периода с целью сохранения структуры себестоимости и трудового коллектива.

Случай снижения спроса имеет большее негативное влияние на экономику фирмы и всей системы, поскольку показатели сокращения выпуска в таблице 2 почти в 2 раза превосходят значения в таблице 1. В таком случае кейнсианская политика, направленная на поддержание стабильного

уровня расходов (спроса), имеет большее значение, чем политика снижения инфляции издержек. Таким образом, темпы роста экономики и благосостояние населения определяются эффективностью работы сложных иерархических структур с горизонтальными и вертикальными взаимосвязями.

Анализ изменения основных экономических характеристик системы в целом и фирм, составляющих ГВС, во всех рассмотренных случаях включает расчеты и графическое представление динамики изменения объема продаж Y_j , валового выпуска продукции системой, цен P_{fj} , P_j , прибыли фирм, показателей изменения объемов используемых ресурсов в системе.

Остановимся на некоторых из них. Учитывая (14), запишем выражение для прироста количества конечной продукции j -го вида в форме

$$\Delta Y_j = \frac{\delta_j \times a_j + \Delta c_j}{4b_j}, \quad (15)$$

где коэффициент $\delta_j > 0$, если при изменении спроса осуществляется переход на линию

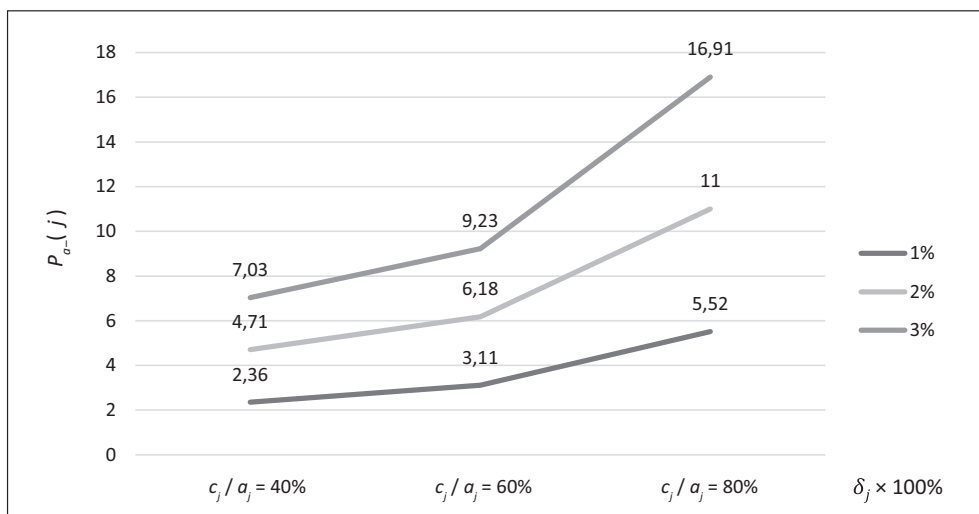


Рис. 3. Зависимость процента снижения конечного продукта $P_a(j)$ от снижения спроса и значений соотношения c_j/a_j ; ряд 1: $c_j/a_j = 40\%$; ряд 2: $c_j/a_j = 60\%$; ряд 3: $c_j/a_j = 80\%$

Fig. 3. Dependence of the percentage of reduction the final product $P_a(j)$ from a decrease in demand and the ratio values c_j/a_j ; row 1: $c_j/a_j = 40\%$; row 2: $c_j/a_j = 60\%$; row 3: $c_j/a_j = 80\%$

спроса более высокого уровня, и $\delta_j < 0$ – в противном случае, $j = 1, \dots, n$; при расчете значения Δs_j (5) коэффициенты $s_k > 0$ в случае снижения цены на ресурс k -го вида и $s_k < 0$, $k = 1, \dots, K$ в противном случае. Таким образом, величина (15) может быть с отрицательным или положительным знаком.

Изменения значений валового продукта системы равны

$$\Delta X_j = \sum_{j=1}^n a_{ij} \times \Delta Y_j, j \in J_u, u = 1, \dots, N,$$

где a_{ij} – элементы матрицы $(E - A)^{-1}$.

Изменения в потреблении ресурсов системой определяем так:

$$\Delta R_k = \sum_{j=1}^n b_{kj} \times \Delta Y_j, k = 1, \dots, K.$$

Сумма прибыли фирмы есть

$$\pi_u = \sum_{j \in J_u} \pi_j = \sum_{j \in J_u} \frac{\left[(1 + \delta_j) a_j - \sum_{k=1}^K (1 - s_k) \times z_k \times b_{kj} \right]^2}{8b_j}, u = 1, \dots, N.$$

Заключение

Рассмотренная структура производственно-технологической цепи с горизонтальными и вертикальными связями входящих в систему фирм фактически основана на схеме сборочного состава изделия. Практика изготовления сложных изделий в отраслях с дискретным характером производства демонстрирует пирамидальный вид производственно-технологической цепи: концерны по производству автомобилей, авиастроение, станкостроение и другие.

Представляется вполне обоснованным предложенный подход к определению конечного продукта системы: во-первых, объемы выпуска системы увязаны через взаимодействие производителя и продавца, учитывающих рыночный спрос, а, во-вторых, величина объема продаж отражает экономические интересы сторон. Соотношение «цена продукции на рынке – объем предложения» становится обоснованным со стороны функции спроса (конечный потребитель), продавца и изготовителя продукции. Такой оптимизационный подход к опреде-

лению результатов взаимодействия оперативно учитывает изменения рыночной среды и корректирует показатели деятельности участников в направлении их согласованности, что позволяет повысить устойчивость функционирования системы.

Моделирование взаимодействия фирм в производственно-технологической цепи на основе матричного аппарата с использованием методологии построения технологической матрицы межотраслевого баланса является конструктивным. Предложенный подход не имеет ограничений при модельном описании системы от количества и разнообразия технологических взаимосвязей. Подход обеспечивает установление взаимосвязи между конечным продуктом системы и валовым выпуском, объемом требуемых ресурсов, предоставляет возможность исчисления прямых, косвенных и полных затрат в системе.

Установленные зависимости между экономическими показателями системы в це-

лом и фирм и изменением цен на ресурсы, изменением спроса предоставляют исследователю большие возможности для проведения содержательного экономико-математического анализа работы системы. Рассмотрение изменения спроса и предложенный способ измерения его влияния на экономические показатели работы системы можно рассматривать как изучение проблемы взаимосвязи благосостояния и динамики развития экономики систем, комплексов и т. д. Следует отметить, что в работе не рассмотрены другие важные вопросы деятельности системы, например такой важный элемент механизма взаимодействия фирм в системе, как трансфертные цены. Для проведения исследований в этом направлении следует дополнить условия (1) – (2) на каждом уровне технологической цепи полученными решениями на предыдущих уровнях, т. е. решать оптимизационные задачи не локально, а системно.

Список литературы

1. Колесник Г. В. Экономико-математическое моделирование конкуренции в иерархических социально-экономических системах: дис. ... докт. экон. наук. – М., 2013. – 365 с.
2. Анализ и моделирование экономики на основе межотраслевого баланса: монография / В. А. Ильин, Т. В. Ускова, Е. В. Лукин, С. А. Кожевников; под науч. рук. чл.-корр. РАН В. А. Ильина. – Вологда: ФГБУН ВолНЦ РАН, 2017. – 158 с.
3. Сафиуллин М. Р., Сафина А. А. Построение и экономическая оценка производственно-технологических цепочек (на примере нефтегазохимического комплекса Республики Татарстан). – Казань: Казан. ун-т, 2013. – 148 с.
4. Розанова Н. М. Экономика отраслевых рынков: учебное пособие для бакалавров. – М.: Издательство Юрайт, 2013. – 906 с.
5. Авдашева С. Б., Дзагурова Н. Б. Вертикальные ограничивающие контракты и их интерпретация в антимонопольном законодательстве // Вопросы экономики. 2010. № 5. С. 110–122. DOI: 10.32609/0042-8736-2010-5-110-122.
6. Мамонов В. И., Полуэктов В. А. Определение объема поставки продукции в цепи поставок // Бизнес. Образование. Право. 2019. № 2 (47). С. 142–147. DOI: 10.25683/VOLBI.2019.47.220.
7. Полуэктов В. А. Анализ влияния транспортных издержек на экономические показатели деятельности участников цепи поставок // Организатор производства. 2022. Т. 30. № 4. С. 129–136. DOI: 10.36622/VSTU.2022.30.4.012.
8. Шерер Ф., Росс Д. Структура отраслевых рынков / пер. с англ. – М.: Инфра-М, 1997. – 697 с.
9. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности / под ред. В. М. Гальперина, Л. С. Тарасевича. – СПб.: Экон. шк., 1996. – 745 с.
10. Коуз Р. Фирма, рынок и право / пер. с англ. – М.: Новое издательство, 2007. – 224 с.
11. Шерешева М. Ю. Межорганизационные сети в системе форм функционирования современных отраслевых рынков: автореф. дис. ... докт. экон. наук. – М., 2006. – 34 с.
12. Аганбегян А. Г., Гранберг А. Г. Экономико-математический анализ межотраслевого баланса СССР. – М.: Мысль, 1968. – 357 с.
13. Любашенко С. Н. Стратегия взаимодействия фокусной фирмы с поставщиком и потребителем в цепи поставок // Современная конкуренция. 2023. Т. 17. № 3. С. 44–58. DOI: 10.37791/2687-0649-2023-17-3-44-58.

Сведения об авторе

Любашенко София Николаевна, ORCID 0000-0002-8484-5232, канд. экон. наук, доцент, кафедра экономической теории, Новосибирский государственный университет экономики и управления (НГУЭУ), Новосибирск, Россия, lubsofia@yandex.ru

Статья поступила 25.10.2023, рассмотрена 08.11.2023, принята 17.11.2023

References

1. Kolesnik G.V. *Jekonomiko-matematicheskoe modelirovanie konkurencii v ierarhicheskikh social'no-jekonomicheskikh sistemah*. Dis. dokt. jekon. nauk [Economic and mathematical modeling of competition in hierarchical socio-economic systems. Dr. econ. sci. dis.]. Moscow, 2013, 365 p.
2. *Analiz i modelirovanie jekonomiki na osnove mezhotraslevogo balansa: monografija* [Analysis and modeling of the economy on the basis of intersectoral balance: monograph]. V.A. Ilyin, T.V. Uskova, E.V. Lukin, S.A. Kozhevnikov. Sci. ed. by corresp. member RAS V.A. Ilyina. Vologda, FSBIS VolSC RAS, 2017, 158 p.
3. Safiullin M. R., Safina A. A. *Postroenie i jekonomicheskaja ocenka proizvodstvenno-tehnologicheskikh cepochek (na primere neftegazohimicheskogo kompleksa Respubliki Tatarstan)* [Construction and economic evaluation of production and technological chains (on the example of the petrochemical complex of the Republic of Tatarstan)]. Kazan, Kazan University, 2013, 148 p.
4. Rozanova N.M. *Jekonomika otraslevykh rynkov: uchebnoe posobie dlja bakalavrov* [Economics of industry markets: a textbook for bachelors]. Moscow, Jurajt Publ., 2013, 906 p.
5. Avdasheva S. B., Dzagurova N.B. Vertical Restrictions: Development of Theory, Antitrust Legislation and Enforcement. *Voprosy Ekonomiki*, 2010, no.5, pp.110-122 (in Russian). DOI: 10.32609/0042-8736-2010-5-110-122.
6. Mamonov V. I., Poluektov V.A. Determining the scope of supply of products in the supply chain. *Biznes. Obrazovanie. Pravo*=Business. Education. Law, 2019, no.2(47), pp.142-147 (in Russian). DOI: 10.25683/VOLBI.2019.47.220.
7. Poluektov V.A. Analysis of the impact of transportation costs on the economic performance of the supply chain participants. *Organizator proizvodstva*=Organizer of Production, 2022, vol.30, no.4, pp.129-136 (in Russian). DOI: 10.36622/VSTU.2022.30.4.012.
8. Scherer F., Ross D. *Struktura otraslevykh rynkov* [Structure of industry markets]. Transl. from English. Moscow, Infra-M Publ., 1997, 697 p.
9. Tyrol J. *Rynki i rynochnaya vlast': teoriya organizatsii promyshlennosti* [Markets and market power: theory of industrial organization]. Ed. by V.M. Galperin, L.S. Tarasevich. St. Petersburg, Ekon. shk. Publ., 1996, 745 p.
10. Kose R. *Firma, rynek i pravo* [Firm, market and law]. Transl. from English. Moscow, Novoe izdatel'stvo Publ., 2007, 224 p.
11. Sheresheva M. Yu. *Mezhorganizacionnye seti v sisteme form funkcionirovaniya sovremennykh otraslevykh rynkov*. Avtoref. dis. dokt. jekon. nauk [Interorganizational networks in the system of forms of functioning of modern industrial markets. Dr. econ. sci. abstract dis.]. Moscow, 2006, 34 p.
12. Aganbegyan A. G., Granberg A. G. *Jekonomiko-matematicheskij analiz mezhotraslevogo balansa SSSR* [Economic and mathematical analysis of the intersectoral balance of the USSR]. Moscow, Mysl' Publ., 1968, 357 p.
13. Lyubyashchenko S.N. The strategy of interaction of a focused firm with supplier and consumer in the supply chain. *Sovremennaya konkurenciya*=Journal of Modern Competition, 2023, vol.17, no.3, pp.44-58 (in Russian). DOI: 10.37791/2687-0649-2023-17-3-44-58.

About the author

Sofia N. Lyubyashenko, ORCID 0000-0002-8484-5232, Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Economic Theory Department, Novosibirsk State University of Economics and Management (NSUEM), Novosibirsk, Russia, lubsofia@yandex.ru

Received 25.10.2023, reviewed 08.11.2023, accepted 17.11.2023