

DOI: 10.15838/ptd.2023.6.128.6

УДК 338.3+519.8 | ББК В18+П39+У05

© Алферьев Д.А., Гулин К.А.

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЦЕПОЧЕК ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА



ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ АЛФЕРЬЕВ

Вологодский научный центр Российской академии наук

Вологда, Российская Федерация

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Санкт-Петербург, Российская Федерация

e-mail: alferiev_1991@mail.ru

ORCID: [0000-0003-3511-7228](https://orcid.org/0000-0003-3511-7228); ResearcherID: [I-8333-2016](https://publons.com/urn:li:member:183332016)



КОНСТАНТИН АНАТОЛЬЕВИЧ ГУЛИН

Вологодский научный центр Российской академии наук

Вологда, Российская Федерация

Вологодский государственный университет

Вологда, Российская Федерация

e-mail: gulin_k@mail.ru

ORCID: [0000-0002-4336-6331](https://orcid.org/0000-0002-4336-6331); ResearcherID: [M-3075-2013](https://publons.com/urn:li:member:30752013)

Статья посвящена решению проблемы, связанной с расширением теоретико-методологических и прикладных основ обеспечения устойчивого социально-экономического развития регионов и укрепления их финансовой самостоятельности за счет повышения объема валовой добавленной стоимости продукции, производимой на их территории. Одним из актуальных вопросов в рамках этой проблемы является необходимость разработки методов и инструментов, с применением которых можно было бы моделировать конкретные цепочки добавленной стоимости в отраслях региональной экономики. Целью исследования стала разработка математического инструментария, позволяющего моделировать цепочки добавленной стоимости в региональном лесопромышленном комплексе. В результате был предложен соответствующий инструментарий, опирающийся на теорию и методологию межотраслевого баланса, а также технический анализ графов. Посредством этого инструментария можно рассчитать затраты, необходимые для производства заданного количества продукции, характеризующей какое-либо звено

Для цитирования: Алферьев Д.А., Гулин К.А. (2023). Разработка инструментов моделирования цепочек высокотехнологичной продукции лесного хозяйства // Проблемы развития территории. Т. 27. № 6. С. 83–103. DOI: 10.15838/ptd.2023.6.128.6

For citation: Alfer'ev D.A., Gulin K.A. (2023). Development of tools for modeling high-tech forestry product chains. *Problems of Territory's Development*, 27 (6), 83–103. DOI: 10.15838/ptd.2023.6.128.6

цепочек добавленной стоимости, оптимальным образом перераспределить не задействованные в хозяйстве ресурсы, а также выявить наиболее сильные и слабые узлы выстроенной сети. Показаны преимущества моделей гибридов по сравнению с их аналогами, построенными с помощью какого-либо одного узкопрофильного математического инструмента. Обозначены дальнейшие направления разработки за счет подключения к модели концепций и идей марковских цепей. Научная значимость полученных результатов заключается в развитии теоретических, методических и прикладных аспектов формирования цепочек добавленной стоимости в региональном лесопромышленном комплексе. С практической точки зрения материалы исследования могут применяться в процессах управления региональным лесопромышленным комплексом, направленных на рост эффективности его функционирования и вклада в повышение уровня экономической устойчивости и финансовой самостоятельности территорий.

Лесное хозяйство, лесопромышленный комплекс региона, цепочки добавленной стоимости, линейное программирование, межотраслевой баланс, теория графов, гибрид, моделирование.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-28-01940 (<http://rscf.ru/project/22-28-01940>).

Введение

Одним из способов обеспечения устойчивого социально-экономического развития регионов и укрепления их финансовой самостоятельности является повышение объема валовой добавленной стоимости продукции, производимой на их территории. Это может быть обеспечено как путем увеличения глубины переработки промежуточной продукции в рамках отдельных предприятий, так и на основе межфирменной кооперации, направленной на генерацию и развитие внешних по отношению к каждому отдельному предприятию цепочек добавленной стоимости. Создание благоприятных нормативно-правовых, административных, финансовых и иных условий для развития разнообразных цепочек добавленной стоимости (ЦДС) внутри региона с упором на расширение удельного веса производства высокотехнологичной продукции, на наш взгляд, целесообразно рассматривать в качестве одного из приоритетных направлений региональной экономической политики.

Межфирменные цепочки добавленной стоимости на территории региона могут формироваться тремя основными путями. Один из них – включение местных предприятий в цепочки поставок многонациональных корпораций (Акбулатов и др., 2019; Бочаров и др., 2019; Волкова, 2019; Хмелева и др., 2019; Esteves, Barclay, 2011; Lwesya, 2022). Близким

к этому также является второй путь, заключающийся во встраивании региональных производителей в национальные цепочки добавленной стоимости (Рахаев и др., 2015; Инисей и др., 2016) либо создании межрегиональных ЦДС (Лукин и др., 2020; Ильин и др., 2021; Лукин, 2022). Третий путь состоит в удлинении собственных региональных отраслевых и межотраслевых ЦДС, производящих товары и услуги для конечного использования (Ордов и др., 2014; Казакова, Голубева, 2016; Солдатова, Волошенко, 2016; Лукин, 2019). Потенциальный синергетический социально-экономический эффект для регионов в последнем случае может быть наиболее ощутим, однако это требует от региональных администраций проактивных системных действий по управлению формированием и развитием цепочек добавленной стоимости (Schubert, Bühler, 2009).

Отдельный аспект исследований связан с использованием цепочек добавленной стоимости в качестве инструмента для развития регионов, имеющих сырьевую специализацию, либо тех, в экономике которых собственные природные ресурсы играют существенную роль (Никитенко и др., 2017; Bentzen et al., 1997; Openshaw, 2010; Peura et al., 2018; Hoffman, 2019). К последним, в частности, относятся регионы, значительную часть природного ландшафта ко-

торых составляют леса, представляющие собой возобновляемый природный ресурс. Генерация цепочек добавленной стоимости в региональном лесопромышленном комплексе (ЛПК) с акцентом на расширение в них удельного веса современных высокотехнологичных производств может решить проблему увеличения глубины переработки лесных ресурсов в регионах их заготовки, а следовательно – повышения объема экономической выгоды для региона в расчете на единицу заготавливаемой древесины.

Для субъектов РФ актуальность этой проблемы обуславливается существенно более низкой, по сравнению с развитыми зарубежными странами, эффективностью использования лесных ресурсов (Шишелов, 2018). В связи с этим в качестве приоритета целесообразно рассматривать переориентацию ЛПК на производство продукции с высокой добавленной стоимостью, востребованной на рынке и конкурентоспособной по сравнению с зарубежными аналогами (Прядилина и др., 2017). Возникает потребность в научном обеспечении процессов формирования внутренних ЦДС в лесопромышленном комплексе (Румянцев, 2023), в том числе с использованием арсенала средств математического моделирования. С учетом сказанного целью нашего исследования является разработка конкретного инструментария моделирования ЦДС в ЛПК региона.

В последнее время отечественными и зарубежными учеными ведутся исследования в данном направлении. Так, например, в статьях (Lehtonen, Okkonen, 2016; Okkonen, Lehtonen, 2017) оценено прямое и косвенное социально-экономическое воздействие производства биоугля и бионефти на основе лесной биомассы на местную, региональную и национальную экономику с использованием анализа «затраты – выпуск». В работе (Karttunen et al., 2018) с помощью вычислимой модели общего равновесия (CGE-модели) произведен расчет прироста регионального социально-экономического благосостояния на основе более интенсивного внутренне-

го лесопользования. В статье (Рогулин, 2021) представлена математическая модель формирования ценовой политики и плана производственно-транспортной системы лесопромышленного предприятия. Важной работой для дальнейшего изучения затронутой темы является учебник П.Н. Коробова, где формализовано и переведено на язык линейного программирования большое количество экономических задач лесного хозяйства¹.

Нами в статье представлены результаты исследования, связанного с разработкой математического инструментария моделирования цепочки добавленной стоимости на основе методологии межотраслевого баланса, а также математического инструментария технического анализа цепочек добавленной стоимости на основе методологии центральности и кластеризации вершин графа. Научная значимость результатов заключается в развитии теоретических, методических и прикладных аспектов формирования ЦДС в региональном лесопромышленном комплексе. С практической точки зрения материалы исследования могут применяться в процессах управления региональным ЛПК, направленных на рост эффективности его функционирования и вклада в повышение уровня экономической устойчивости и финансовой самостоятельности территорий.

Методология межотраслевого баланса

Балансовые модели линейного программирования служат для реализации оптимального распределения ресурсов, посредством которых изготавливается некий продукт, идущий как на конечное потребление, так и на обеспечение субъектов, его реализующих. Наиболее известным вариантом подобной модели является экономический межотраслевой баланс (МОБ), разработанный В.В. Леонтьевым (Леонтьев, 2006а). С позиции математики подобные модели можно назвать матричными, а они в свою очередь сформированы системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). Далее предста-

¹ Коробов П.Н. (2006). Математическое программирование и моделирование экономических процессов: учебник. Санкт-Петербург: ДНК. С. 307–359.

вим ее обобщенный формализованный вид, предложенный В.В. Леонтьевым²:

m – количество видов экономической деятельности (отраслей народного хозяйства), функционирующих в экономике;

\vec{x} = $\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_i \\ \dots \\ x_m \end{pmatrix}$ – количество продукции, произведенной видами экономической деятельности. Данный показатель может быть расписан более детально (ф. 1):

$$x_i = (A_i^1 x_1 + A_i^2 x_2 + \dots + A_i^j x_j + \dots + A_i^m x_m) + y_i = \sum_j A_i^j x_j + y_i, \quad (1)$$

где:

A_i^j – количество продукции i -го вида экономической деятельности, необходимое для производства 1-й ед. изделия j -й отрасли;

y_i – количество продукции i -го вида экономической деятельности, идущее на конечное потребление.

Исходя из обозначенного выше можно записать следующее выражение (ф. 2):

$$\vec{x} = A\vec{x} + \vec{y} \quad (2)$$

По сути, оно и является той самой исковой моделью. В ней параметр, который мы можем изменять в административно-командном режиме, характеризуется вектором \vec{y} . Задав его и зная матрицу межотраслевого взаимодействия (изначально для лучшей наглядности она может быть задана в виде графа), можно найти вектор \vec{x} .

Сделаем это, преобразовав наше выражение (ф. 2):

$$E\vec{x} - A\vec{x} = \vec{y}$$

где:

E – соответствующая единичная матрица.

$$(E - A)\vec{x} = \vec{y}, \quad (3)$$

$$\vec{x} = (E - A)^{-1} \cdot \vec{y}$$

Последователь и продолжатель идей В.В. Леонтьева Н.И. Ведута представил динамическую МОБ, учитывающую фактор «невидимой руки рынка» (Ведута, 1999). Из современников, развивающих математические идеи МОБ, стоит отметить Л.К. Суровцова, в работе которого изложен опыт решения социально-экономических задач оптимизации, поиска равновесия динамических систем и управления ими³.

Управленческое воздействие в МОБ, на наш взгляд, должно быть нацелено на воспроизводство и прирост рабочей силы, так как это основной ресурс в аспекте материального производства человеческой жизнедеятельности. В матрице межотраслевого взаимодействия это может быть выражено через строку-столбец некоего социального продукта.

Так как план является своеобразной оценкой будущего, которого может и не быть, то в случае его невыполнения урезание статей должно касаться прежде всего лага (подушки безопасности), который закладывается при планировании как раз для покрытия издержек в случае наступления форсмажора. Касательно вышеоговоренного социального продукта лаг может быть заложен через значение вектора \vec{y} .

Оно будет характеризовать естественный уровень безработицы ($y_{ест.б.}$), в рамках которой будут обеспечиваться специалисты, неявно задействованные в создании материального продукта (творческие профессии и ученые). Этот момент в свою очередь может быть смоделирован за счет регрессионной модели, представленной в работе О.О. Замкова и соавторов⁴, а также в статье (Алферьев, 2016). В указанной статье она была апробирована на статистических данных РФ. Рассмотрим ее более подробно (ф. 4):

² Бояршинов Б.С. (2014). Лекция 20. Модель Леонтьева многосекторной экономики // НОУ ИНТУИТ. URL: <http://youtube.com/watch?v=FLnPxaph6qI> (дата обращения 04.10.2023).

³ Суровцов Л.К. (2011). Математическая экономика: учебн. пособие. Москва: Экономика. 357 с.

⁴ Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. (2009). Математические методы в экономике: учебник. Москва: Дело и Сервис. С. 343–344.

$$INF = a(y_{\text{ест.б.}} - y) + b \cdot INF(-1), \quad (4)$$

где:

INF – уровень инфляции;

$INF(-1)$ – уровень инфляции в предыдущий период;

y – зафиксированный уровень безработицы;

a и b – неизвестные, искомые коэффициенты модели.

Если раскрыть скобки, то выражение (ф. 4) примет следующий вид (ф. 5):

$$INF = a \cdot y_{\text{ест.б.}} - a \cdot y + b \cdot INF(-1) \quad (5)$$

При известном уровне безработицы (y) и инфляции ($INF, INF(-1)$) может быть построено классическое уравнение множественной линейной регрессии, где ее свободный член будет не чем иным, как $a \cdot y_{\text{ест.б.}}$. В соответствии с этим можно найти естественный уровень безработицы ($y_{\text{ест.б.}}$), имеющий потенциал для использования в качестве управляющего звена МОБ. Таким образом, может быть получен модельный гибрид из двух классических моделей.

Результаты моделирования цепочки посредством МОБ

Хотя межотраслевой баланс прежде всего является макроэкономической моделью из-за его возможности описывать использование одного ресурса при создании другого, у него есть явный потенциал при воплощении рационального управления цепочками добавленной стоимости.

Пример реализации модели В.В. Леонтьева, базой которого выступила продукция отрасли лесного хозяйства, представлен далее (рис. 1, 2; табл. 1–4). Выбор направления обусловлен тем, что в РФ примерно половина территории покрыта лесами.

Лес является источником различных возобновляемых ресурсов, из которых возводят дома, делают мебель, создают лекарственные препараты, продукты питания, вещи обихода и многое др. Лесной ландшафт также нередко становится местом времяпрепровождения и отдыха.

Наша цепочка добавленной стоимости отражает взаимосвязь следующих элементов: древесина, мебель и комплексная деревянная конструкция (помещение, оборудованное и обставленное изделиями из дерева). Графовая модель совокупности всех этих элементов, которая по сути является цепочкой добавленной стоимости, представлена далее (см. рис. 1).

Имеющийся граф (см. рис. 1) можно перевести в матричный вид (см. табл. 1), который удобнее использовать для необходимых расчетов. Зададим вектор конечного потребления (\vec{y}): древесина – 1 млн руб., мебель – 5 млн руб. и комплексная конструкция – 2 млн руб. Также отметим, что универсальной единицей измерения для каждого из элементов экономической цепи может быть какая-либо денежная валюта (в нашем случае рубли), так как деньги выступают эквивалентом любых товаров и услуг.

Согласно имеющейся матрице взаимодействия (A) и заданному вектору остаточной продукции (\vec{y}) найден вектор, характеризующий денежные средства, необходимые на все производство в целом (см. табл. 1): древесина – 7987048,03 руб., мебель – 9179708,58 руб. и комплексные конструкции – 5725849,97 руб., общая сумма необходимых денежных средств – 22892606,58 руб.

Несложно увидеть, что продукция более высоких переделов требует больше всего затрат, так как помимо самого конечного продукта необходимо изготовить комплектующие, которые в нашем случае также выступают продукцией. Интересна ситуация, когда для создания несложных товаров и услуг, точнее для их массового производства, необходимы штучные высокие технологии. Соответственно, такие товары изготавливаются в ручном режиме, что обуславливает их высокую стоимость, которая впоследствии перетекает в цену выпускаемой продукции низкого передела.

Следовательно, инновационная продукция является наиболее затратной, так как зачастую связана с высоким переделом и слабо отлаженной технологией производства. В некоторой мере высокие затраты обус-

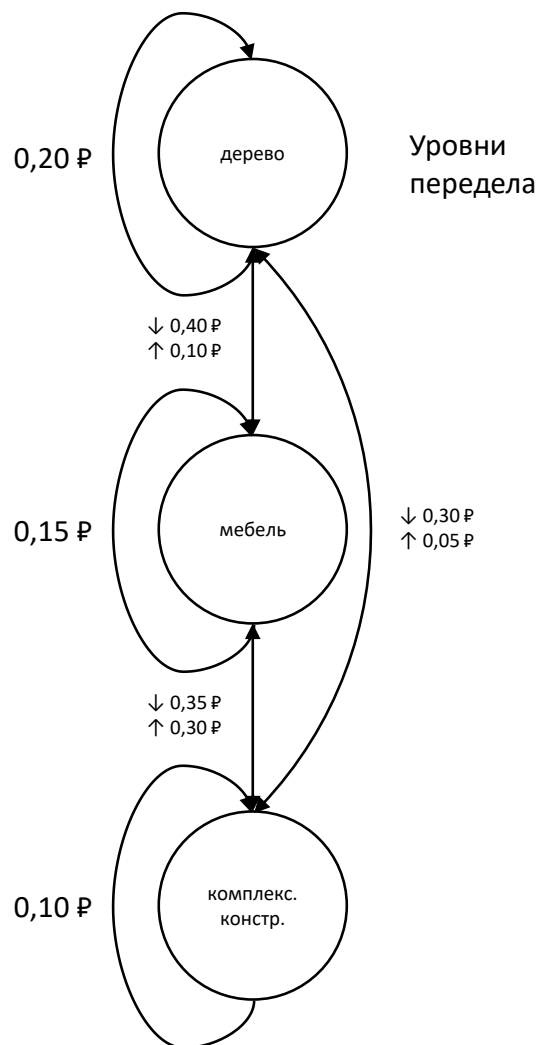


Рис. 1. Цепочка добавленной стоимости продукции лесной отрасли
 Источник: составлено авторами.

Таблица 1. Базовый пример моделирования стоимостной цепочки продукции лесной отрасли

A			\bar{x}	\bar{y}
Потребление при производстве 1 руб.				8 000 000,00
	древесины	мебели	Общее производство, руб.	Остаточное производство, руб.
Древесина, руб.	0,20	0,40	x_1	1 000 000,00
Мебель, руб.	0,10	0,15	x_2	5 000 000,00
Комплексная конструкция, руб.	0,05	0,30	x_3	2 000 000,00
\bar{x}			22 892 606,58	
7 987 048,03				
9 179 708,58				
5 725 849,97				
$A\bar{x}$			14 892 606,58	
Оборотное производство, руб.				
6 987 048,03				
4 179 708,58				
3 725 849,97				

Источник: составлено авторами.

ловливают высокий уровень риска реализации инноваций.

Еще одна парадоксальная ситуация определяется тем, что для поддержания высокого уровня конкурентоспособности предприятия ему необходимо реализовывать высокотехнологичную продукцию с уникальными характеристиками, за которые покупатель будет дополнительно платить. В то же время рост прибыли может быть достигнут за счет сокращения затрат посредством производства более простой продукции, требующей меньше материальных ресурсов.

Какой по итогу выбрать путь, вопрос во многом субъективный и зависит от текущей рыночной ситуации и управленческих навыков руководителя. Для снижения рисков можно придерживаться принципа диверсификации, но в какой пропорции – снова открытый вопрос.

Реализованная нами модель не только обсчитывает необходимый объем требуемых

ресурсов, но и успешно их перераспределяет в случае отказа от какой-либо продукции, изначально заданной в векторе конечного потребления (\bar{y}). Для примера рассмотрим ситуацию отказа от комплексных конструкций (2 млн руб.) в угоду товарам более низкого передела (см. табл. 2).

В результате отказа от производства дополнительных 2 млн руб. комплексных конструкций (см. табл. 2) высвободились ресурсы на изготовление 666666,67 руб. древесного сырья и 777777,78 руб. мебели. При этом общие затраты сократились на 2222222,22 руб. Соответственно, мы сократили издержки, но, согласно концептуальным идеям экономической безопасности, сделали производство более уязвимым.

При реализации расчетов (см. табл. 2) заслуживает внимания математическая составляющая. Теперь нам не нужно находить обратную матрицу, но следует решить систему линейных уравнений (ф. 6), которая мо-

Таблица 2. Перераспределение ресурсов при отказе от изготовления продукции наивысшего передела

A			\bar{x}	\bar{y}
Потребление при производстве 1 руб.			Общее производство, руб.	Остаточное производство, руб.
	древесины	мебели	комплексной конструкции	
Древесина, руб.	0,20	0,40	0,30	7 987 048,03
Мебель, руб.	0,10	0,15	0,35	9 179 708,58
Комплексная конструкция, руб.	0,05	0,30	0,10	x_3
$(E - A)\bar{x}$				
2 717 754,992-0,3 x_3				
7 004 047,491-0,35 x_3				
-3 153 264,976+0,9 x_3				
\bar{x}			20 670 384,36	
7 987 048,03				
9 179 708,58				
3 503 627,75				
$A\bar{x}$			13 225 939,92	
Оборотное производство, руб.				
6 320 381,36				
3 401 930,80				
3 503 627,75				
\bar{y}			7 444 444,44	
Остаточное производство, руб.				Перераспределение, руб.
1 666 666,67				666 666,67
5 777 777,78				777 777,78
0,00				0,00

Источник: составлено авторами.

жет быть получена из следующего матричного выражения $-(E - A)\bar{x} = \bar{y}$.

$$\begin{cases} 2717\,754,99 - 0,3x_3 = 1000000 + y_1, \\ 7004047,49 - 0,35x_3 = 5000000 + y_2, \\ -3153264,98 + 0,9x_3 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Техническая процедура моделирования усложнилась. Необходимо выделить и правильно выставить объект, от которого мы отказываемся и, соответственно, перенаправляем высвобожденные ресурсы по оставшимся направлениям. После этого решаем систему уравнений, которая будет становиться сложнее в зависимости от номенклатуры товаров и услуг, не производимых больше на продажу.

Пропадает доступная наглядность и интерпретируемость производимых расчетов. Чтобы продемонстрировать данный аспект,

откажемся от оставшегося уровня передела, представленного мебелью, и полностью перейдем на производство первичного материала – древесины (см. табл. 3).

Система уравнений, которую необходимо решить, будет выглядеть следующим образом (ф. 7):

$$\begin{cases} 6389638,42 - 0,4x_2 - 0,3x_3 = 1000000 + y_1, \\ -798704,8 + 0,85x_2 - 0,35x_3 = 0, \\ -399352,4 - 0,3x_2 + 0,9x_3 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

После нахождения в ней искомым корней на изготовление первичного древесного сырья в сравнении с расчетами, проделанными этапом ранее (см. табл. 2), высвободится еще 3939393,94 руб. Затраты на общее производство составят 10165333,86 руб. Это еще на 10505050,51 руб. меньше, если учитывать издержки, которые

Таблица 3. Перераспределение ресурсов в самое низкотехнологичное направление

A			\bar{x}	\bar{y}
Потребление при производстве 1 руб.			Общее производство, руб.	Остаточное производство, руб.
	древесины	мебели	комплексной конструкции	
Древесина, руб.	0,20	0,40	0,30	7 987 048,03
Мебель, руб.	0,10	0,15	0,35	x_2
Комплексная конструкция, руб.	0,05	0,30	0,10	x_3
$(E - A)\bar{x}$				
6 389 638,424 - 0,4 x_2 - 0,3 x_3				
-798 704,803 + 0,85 x_2 - 0,35 x_3				
-399 352,4015 - 0,3 x_2 + 0,9 x_3				
\bar{x}			10 165 333,86	
			7 987 048,03	
			1 300 920,70	
			877 365,12	
$A\bar{x}$			4 559 273,25	
Оборотное производство, руб.				
			2 380 987,42	
			1 300 920,70	
			877 365,12	
\bar{y}			7 444 444,44	
Остаточное производство, руб.				Перераспределение, руб.
			5 606 060,61	4 606 060,61
			0,00	0,00
			0,00	0,00

Источник: составлено авторами.

нам удалось сократить при отказе от производства мебели.

В целом можно отметить, что посредством модели В.В. Леонтьева можно эффективно перераспределять имеющиеся в нашем распоряжении ограниченные материальные ресурсы, тем самым выбирая менее убыточную и более прибыльную стратегию в краткосрочной перспективе, но, соответственно, менее устойчивую в случае появления на рынке сильных конкурентов. Рассмотрим еще один пример, изменив цепочку добавленной стоимости (см. рис. 1) за счет встраивания в нее дополнительного звена и несколько видоизменив в ней связи взаимодействия (см. рис. 2).

На одном из уровней переделов появилась продукция, характеризуемая как спе-

циализированная мебель. Уникальное свойство данного товара заключается в том, что он в большей мере подходит для организации производственного процесса, нежели мебель гражданского назначения. Также она дешевле в изготовлении. Убрав некоторые связи на графе, отразим этот момент в матрице взаимодействия на пересечении соответствующих строк и столбцов через 0. В нашем случае это изъятие мебели при производстве древесины и самой себя соответственно. На замену ей пошла мебель специализированная, функционально более пригодная для реализации технологических процедур и дополнительно к этому менее затратная.

При дальнейшей реализации моделирования, включающего создание более

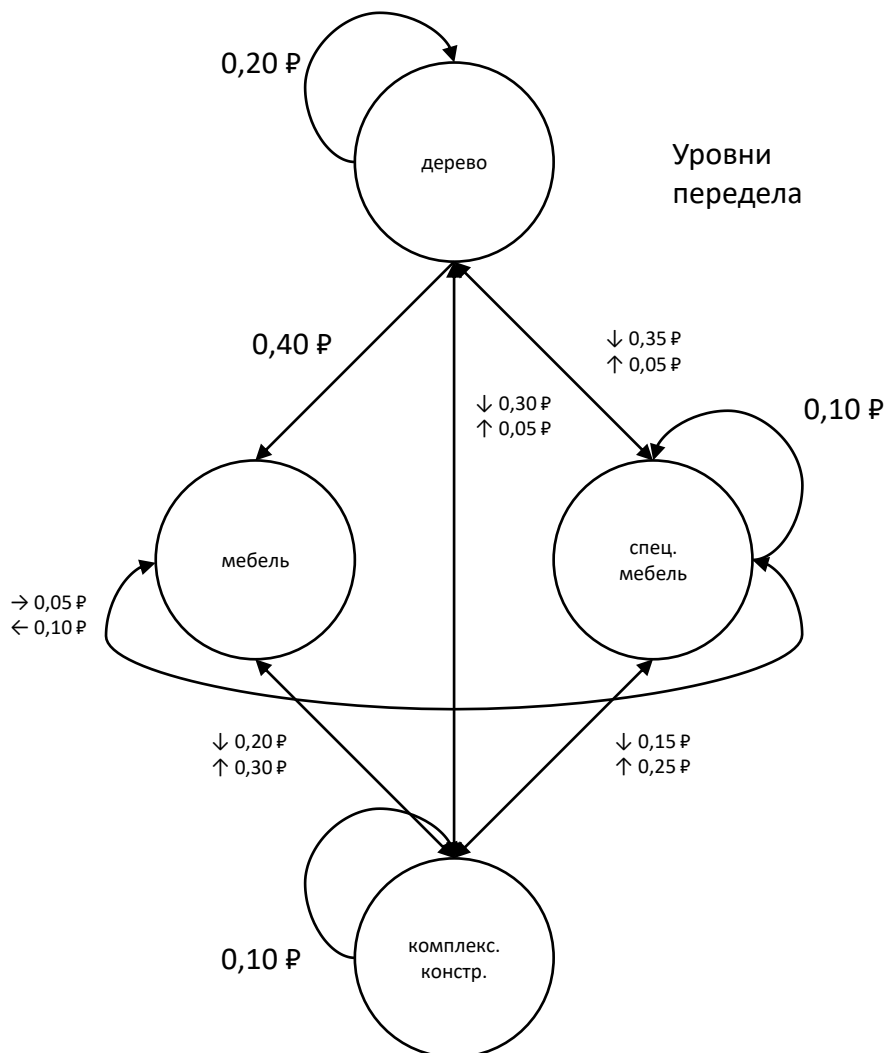


Рис. 2. Модифицированная цепочка добавленной стоимости продукции лесной отрасли

Источник: составлено авторами.

Таблица 4. Моделирование модифицированной стоимостной цепочки продукции лесной отрасли

A					\bar{x}	\bar{y} 8 000 000,00
Потребление при производстве 1 руб.					Общее производство, руб.	Остаточное производство, руб.
	древесины	мебели	спец. мебели	комплексной конструкции	x_1	x_2
Древесина, руб.	0,20	0,40	0,35	0,30	x_3	1 000 000,00
Мебель, руб.	0,00	0,00	0,05	0,20	x_4	5 000 000,00
Спец. мебель, руб.	0,05	0,10	0,10	0,15		0,00
Комплексная конструкция, руб.	0,05	0,30	0,25	0,10		2 000 000,00
\bar{x} 20 408 824,51						
7 121 551,44						
6 138 085,48						
1 945 013,58						
5 204 174,01						
$A\bar{x}$ 12 408 824,51						
Оборотное производство, руб.						
6 121 551,44						
1 138 085,48						
1 945 013,58						
3 204 174,01						

Источник: составлено авторами.

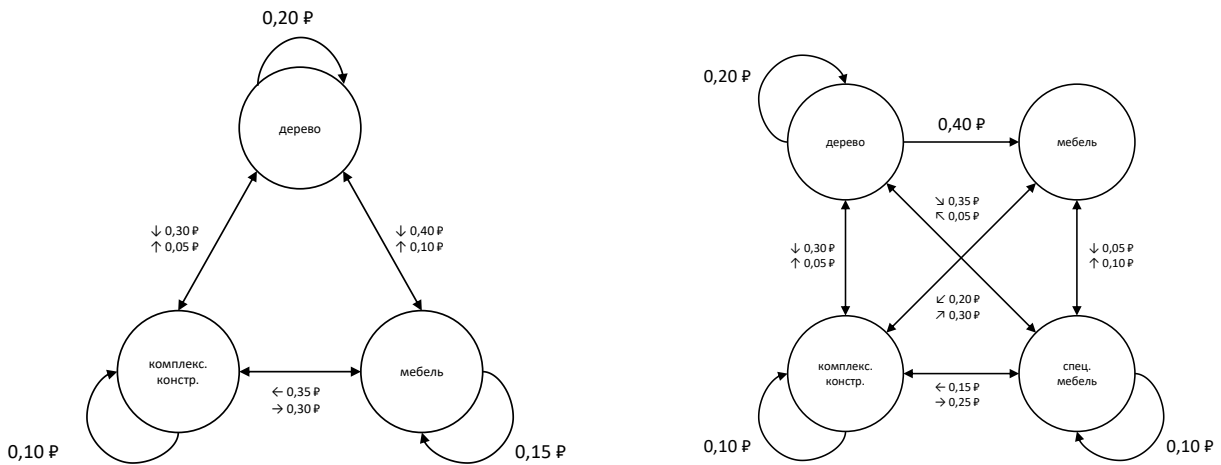


Рис. 3. Представление базовой цепочки добавленной стоимости и ее модификации для графового анализа

Источник: составлено авторами.

специализированного вида продукции (специализированная мебель), затраты на который меньше, и сохранение структуры конечного потребления, удалось в целом в рамках производства высвободить 2483782,07 руб. Диверсифицировав номенклатуру товара, помимо дополнительной устойчивости на рынке мы также в классическом ключе сделали нашу экономику эффективнее за счет снижения обычных расходов.

Методология центральности вершин графа

Рассматриваемые нами цепочки добавленной стоимости (см. рис. 1, 2), как уже отмечалось ранее, представляют собой граф, который можно различным образом проанализировать и выделить ключевые звенья в исследуемой сети. Прежде всего для этого подойдут различные индексы центральности вершин. Также для лучшей наглядности представим графы в несколько ином виде (рис. 3).

1. Степенная центральность вершины (степень связности). Служит для отображения количества и качества связей, присущих конкретному звену графа. Расчет подобной оценки может быть реализован довольно просто по следующей формуле (ф. 8):

$$C_i = \sum_j a_i^j, \quad (8)$$

где:

a_i^j – элемент матрицы смежности, характеризующий количество и качество ребер (исходящих, входящих) между вершинами i и j .

Соответствующие матрицы смежности (табл. 5–8) и степень связности для имеющих в графе вершин представлены далее.

2. Взвешенная степенная центральность. В данном случае связям предварительно присваиваются веса. Существуют различные подходы к тому, как это можно сделать (см., например, Newman, 2000). Мы реализуем взвешивание следующим образом (ф. 9):

$$w_i^j = \frac{1}{1 + l_i^j + n_i^j}, \quad (9)$$

где:

l_i^j – количество петель у i и j ;

n_i^j – количество вершин графа, с которыми есть связь у i и j , в виде исходящего и входящего ребра к каждому из двух перебираемых элементов.

Идея подобного взвешивания может быть следующей: чем больше вес между рассматриваемыми узлами, тем меньше они зависимы от других вершин графа. Формула может быть доработана, если более детально учитывать наличие исходящих и входящих ребер.

В соответствии с полученными весами элементы матрицы смежности примут следующий вид (ф. 10):

$$a_i^j = w_i^j a_i^j \quad (10)$$

Тогда взвешенную степенную центральность найдем как (ф. 11):

$$C_i^* = \sum_j a_i^{*j}$$

3. Центральность по собственному вектору (степень влияния). В соответствии с ней оценка вершины графа обуславливается степенями звеньев, с которыми она взаимодействует. Она может быть найдена из характеристического уравнения (ф. 12):

$$\begin{aligned} \lambda C &= AC \Rightarrow C = \lambda^{-1} AC \Rightarrow \\ \Rightarrow C_i &= \frac{1}{\lambda} \sum_j a_i^j C_j, \end{aligned} \quad (12)$$

где:

λ – наибольшее собственное значение матрицы смежности A .

В некоторой мере искомое значение λ может быть найдено посредством степенного метода, разработанного (Mises, Pollaczek-Geiringer, 1929). Реализация его средствами Excel изложена в методических указаниях Т.В. Слизневой⁵.

4. Степень по посредничеству. Позволяет оценить, насколько эффективно конкретный узел выступает мостиком между другими звеньями цепи, т. е. как часто он является неким перевалочным пунктом для перехода от одной вершины графа к другой.

Покажем пример ручного расчета для одного из узлов (дерево) базовой цепочки добавленной стоимости. Остальные вершины будут обчислены аналогично, но уже без дополнительной демонстрации.

Отметим, что проблема расчета степени по посредничеству не является тривиальной. В частности, это указано в статье (Freeman, 1977), где представлено решение обозначенной дилеммы, однако в нашем случае оно не подходит. Возможный вектор дальнейшего поиска в этом направлении может быть обозначен публикацией (Brandes, 2001).

⁵ Слизнева Т.Е. (2010). Решение систем линейных уравнений и нахождение собственных значений и собственных векторов симметричной матрицы средствами Microsoft Excel: метод. указания. Иваново: ИГАСУ. С. 23–25.

Пример расчета степени по посредничеству для вершины графа базовой цепочки добавленной стоимости – дерево

$C^B_{\text{дерево}}$ – степень по посредничеству для вершины «дерево»;

$E_{i \rightarrow}$ – значение ребра графа, исходящего из вершины i и входящего в узел «дерево»;

$E_{\rightarrow i}$ – значение ребра графа, исходящего из вершины «дерево» и входящего в узел i .

$$\begin{aligned}
 C^B_{\text{дерево}} &= \left((E_{\text{дерево} \rightarrow} + E_{\text{мебель} \rightarrow}) + (E_{\text{дерево} \rightarrow} + E_{\text{комплекс. констр.} \rightarrow}) \right) + \\
 &+ \left((E_{\text{мебель} \rightarrow} + E_{\text{дерево} \rightarrow}) + (E_{\text{мебель} \rightarrow} + E_{\text{комплекс. констр.} \rightarrow}) \right) + \\
 &+ \left((E_{\text{комплекс. констр.} \rightarrow} + E_{\text{дерево} \rightarrow}) + (E_{\text{комплекс. констр.} \rightarrow} + E_{\text{мебель} \rightarrow}) \right) = \\
 &= ((0,2 + 0,4) + (0,2 + 0,3)) + ((0,1 + 0,2) + (0,1 + 0,3)) + \\
 &+ ((0,05 + 0,2) + (0,05 + 0,4)) = 2,5
 \end{aligned}$$

Результаты анализа центральности вершин

В нашей работе рассмотрены не все меры центральности вершин графа. Более подробно все их многообразие представлено в работе (Щербакова, 2015).

В соответствии с базовым графом ЦДС и мерами центральности вершин можно отметить, что при оценке исходящих ребер (см. табл. 5) ключевым звеном выступает «дерево», т. е. организованное нами производство в обязательном порядке берет свое начало в этом узле. Если рассматривать вершины в соответствии со степенью захода (см. табл. 6), то главным узлом выступает «мебель», т. к. в нем производство несет больше всего относительных затрат.

В модифицированной цепочке в разрезе исходящих ребер (см. табл. 7) за узлом «дерево» по-прежнему сохранилось лидерство. Наиболее затратной при производстве остается «мебель» (см. табл. 8). Но изменения все же появились.

В соответствии с идеей взвешивания структура связей между некоторыми узлами изменилась. Наиболее независимой в этом ключе является вершина «мебель». «Спец. мебель» и «комплекс. констр.» имеют наиболее сложную и разветвленную сеть взаимодействия. Центральность по посредничеству также свидетельствует, что «мебель» перестала быть связующим звеном между другими вершинами графа.

Таблица 5. Взвешенная матрица смежности цепочки добавленной стоимости для расчета полустепени исхода и центральностей вершин

	дерево	мебель	комплекс. констр.	C_i	C^*_i	$\lambda = 0,59$ C_i	C^B_i
дерево	$a_i^j = 0,2$ $1/(1 + 1 + 2) =$ $= 1/4 = w_i^j$	0,4 $1/(1 + 2 + 1) =$ $= 1/4 = w_i^j$	0,3 1/4	0,9	0,225	1	2,5
мебель	0,1 1/4	0,15 1/4	0,35 1/4	0,6	0,15	0,6108	2,9
комплекс. констр.	0,05 1/4	0,3 1/4	0,1 1/4	0,45	0,1125	0,4782	2,4

$0 \leq w_i^j \ll 1$

0

1

Источник: составлено авторами.

Таблица 6. Взвешенная матрица смежности цепочки добавленной стоимости для расчета полустепени захода и центральных вершин

	дерево	мебель	комплекс. констр.	C_i	C^*_i	$\lambda = 0,59$ C_i	C^B_i
дерево	0,2 1/4	0,1 1/4	0,05 1/4	0,35	0,0875	0,3806	2,5
мебель	0,4 1/4	0,15 1/4	0,3 1/4	0,85	0,2125	1	2,9
комплекс. констр.	0,3 1/4	0,35 1/4	0,1 1/4	0,75	0,1875	0,9517	2,4

$$0 \leq w_i^j \ll 1$$

0

1

Источник: составлено авторами.

Таблица 7. Взвешенная матрица смежности модифицированной цепочки добавленной стоимости для расчета полустепени исхода и центральных вершин

	дерево	мебель	спец. мебель	комплекс. констр.	C_i	C^*_i	$\lambda = 0,53$ C_i	C^B_i
дерево	0,2 1/4	0,4 1/4	0,35 1/4	0,3 1/4	1,25	0,3125	1	3,8
мебель	0 1/4	0 1/3	0,05 1/3	0,2 1/3	0,25	0,0833	0,2001	1,7
спец. мебель	0,05 1/4	0,1 1/3	0,1 1/5	0,15 1/5	0,4	0,0958	0,3212	3,45
комплекс. констр.	0,05 1/4	0,3 1/3	0,25 1/5	0,1 1/5	0,7	0,1825	0,4464	4,35

$$0 \leq w_i^j \ll 1$$

0

1

Источник: составлено авторами.

Таблица 8. Взвешенная матрица смежности модифицированной цепочки добавленной стоимости для расчета полустепени захода и центральных вершин

	дерево	мебель	спец. мебель	комплекс. констр.	C_i	C^*_i	$\lambda = 0,53$ C_i	C^B_i
дерево	0,2 1/4	0 1/4	0,05 1/4	0,05 1/4	0,3	0,075	0,298	3,8
мебель	0,4 1/4	0 1/3	0,1 1/3	0,3 1/3	0,8	0,2333	0,976	1,7
спец. мебель	0,35 1/4	0,05 1/3	0,1 1/5	0,25 1/5	0,75	0,1742	0,9454	3,45
комплекс. констр.	0,3 1/4	0,2 1/3	0,15 1/5	0,1 1/5	0,75	0,1917	1	4,35

$$0 \leq w_i^j \ll 1$$

0

1

Источник: составлено авторами.

Методология кластерного анализа графа

Еще одним важным аспектом при исследовании и анализе графов является оценка кластеризации имеющихся узлов. Она позволяет определить, насколько рассматриваемая вершина включена в деятельность всей исследуемой сети. Такая оценка тоже не является простой, особенно в рамках взвешенного ориентированного графа, которым выступает цепочка добавленной стоимости.

Формула локальной кластеризации для простого неориентированного графа через его матрицу смежности выглядит следующим образом (ф. 13):

$$K_i = \frac{1}{C_i(C_i - 1)} \sum_{j,k} a_{ij}a_{jk}a_{ki}, \quad (13)$$

где:

C_i – степенная центральность;

a – элемент матрицы смежности.

Для того чтобы применить формулу 13, упростим исходную модель цепочки добав-

ленной стоимости (см. рис. 3) и приведем к следующему виду (см. рис. 4).

По всей сети в целом также могут быть посчитаны кластерные оценки. Это глобальный (ф. 14) и средний (ф. 15) коэффициенты кластеризации:

$$K = \frac{\sum_{i,j,k} a_{ij}a_{jk}a_{ki}}{\sum_i C_i(C_i - 1)}, \quad (14)$$

$$\bar{K} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i \quad (15)$$

Расчет этих оценок (ф. 13–15) представлен далее (табл. 9, 10).

Результаты кластерного анализа

Исходя из расчетов, видим, что первичная цепочка добавленной стоимости является полноценным кластером (см. табл. 9). Узлы «спец. мебель» и «комплекс. констр.» связаны со всеми другими вершинами цепи, которые в свою очередь между собой взаимодействуют не всегда.

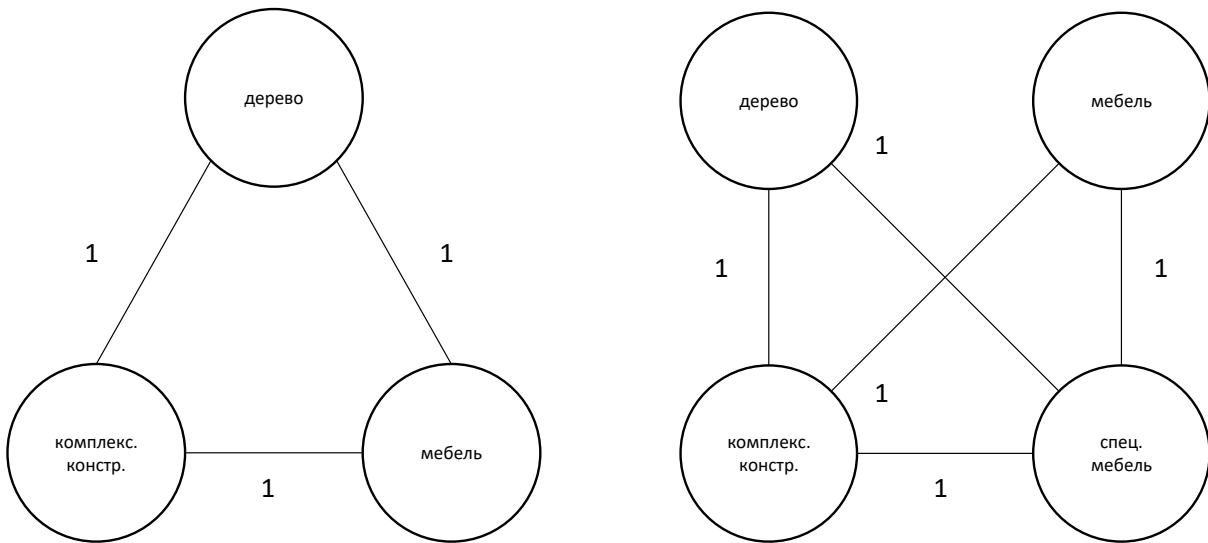


Рис. 4. Упрощение цепочек добавленной стоимости для оценки кластеризации

Источник: составлено авторами.

Таблица 9. Матрица смежности цепочки добавленной стоимости и оценки кластеризации

	дерево	мебель	комплекс. констр.	C_i	K_i
дерево	0	1	1	2	1
мебель	1	0	1	2	1
комплекс. констр.	1	1	0	2	1
					$K = 1$
					$\bar{K} = 1$

Источник: составлено авторами.

Таблица 10. Матрица смежности модифицированной цепочки добавленной стоимости и оценки кластеризации

	дерево	мебель	спец. мебель	комплекс. констр.	C_i	K_i
дерево	0	0	1	1	2	1
мебель	0	0	1	1	2	1
спец. мебель	1	1	0	1	3	0,66
комплекс. констр.	1	1	1	0	3	0,66
						$K = 0,75$
						$\bar{K} = 0,83$

Источник: составлено авторами.

Замечания и размышления

Отметим, что при анализе большого графа будет получено очень много различных оценок, всю совокупность которых интерпретировать непросто. Успешно описываются наибольшие или наименьшие значения, или те, которые в рамках всех расчетов по разным аспектам имеют больше всего совпадений. К аналогичным выводам мы пришли при сравнении сложных гуманитарных категорий (мировоззрения) методом попарных сравнений, когда были выделены и описаны лидеры и аутсайдеры, но в стороне остались все остальные (Алферьев, 2022).

В результате проделанной работы можно видеть, что экономические цепочки добавленной стоимости эффективно моделируются посредством аппарата линейного программирования (МОБ) и теории графов, а наилучшим образом при совместном использовании этих двух инструментов, т. к. они очень хорошо дополняют друг друга.

Дальнейшим развитием представленной модели может стать подключение к ней аппарата марковских цепей. Различные аспекты реальной человеческой жизни описываются вероятностно, соответственно, цепочки добавленной стоимости также не всегда заведомо и точно известны нам в каких-либо своих проявлениях и нюансах. Для изучения данной тематики можно обратиться к работе (Зейфман и др., 2008).

Так как при моделировании ЦДС был задействован инструментарий из разных разделов математики, который имеет потенциал к подключению другого специфического

математического аппарата, то можно сказать, что данная модель представляет собой гибрид. Хотя сильная взаимосвязь различных направлений математики выявлена давно (см., например, Канин, 2014), решение прикладных социально-экономических задач по-прежнему пытаются свести к какому-либо одному узкопрофильному специфическому инструментарию.

Взаимосвязь между теорией графов и линейным программированием отмечается в книге (Альсина, 2014), где, в частности, указано на использование графов для визуализации выпуклого многогранника, вершины которого находятся в гиперпространстве, который в свою очередь применяется в универсальном алгоритме для решения задач линейного программирования – симплекс-методе (Данциг, 1966).

Рассмотренный в работе инструментарий также может использоваться в современных агентных моделях, причем как в качестве механизма взаимодействия агентов, так и в рамках анализа компьютерной эмуляции агентной системы.

На наш взгляд, парадигма решения социально-экономических задач посредством гибридных моделей будет развиваться и дальше, так как объекты гуманитарного характера крайне сложны в своем проявлении. Чтобы достоверно воспроизвести их функционирование, необходимо создавать и реализовывать не менее сложные математические и компьютерные модели, работающие как некий организм, состоящий из различных органов и частей.

Заключение

В рамках исследования получены следующие результаты.

1. Разработан математический инструментарий моделирования ЦДС на основе методологии межотраслевого баланса, позволяющий планировать производство конечной продукции, а также оптимальным образом перераспределять имеющийся ограниченный ресурс, используемый при создании соответствующей товарной номенклатуры. Пример реализации показан на товарах и продукции лесного хозяйства.
2. Разработан математический инструментарий технического анализа ЦДС на

основе методологии центральности и кластеризации вершин графа, позволяющий выявлять в исследуемой сети ключевые и незначимые элементы и структуры. Пример реализации продемонстрирован на товарах и продукции лесного хозяйства.

3. Обозначена парадигма гибридного моделирования, представляющая закономерное развитие в управлении сложных систем (к ним может быть отнесено большинство социально-экономических процессов и явлений), и постепенный уход от мономоделей. Предложено дальнейшее развитие разработанных моделей на основе регрессионной модели и марковских цепей.

ЛИТЕРАТУРА

- Акбулатов Э.Ш., Ерыгин Ю.В., Волкова М.А. (2019). Оценка степени интенсивности интеграции региональной экономики в глобальные цепочки создания стоимости // Менеджмент социальных и экономических систем. Т. 13. № 1. С. 34–43.
- Алферьев Д.А. (2016). Модель прогнозирования темпов индекса потребительских цен (инфляции) на примере РФ // Социальное пространство. Т. 3. № 1.
- Алферьев Д.А. (2022). Позиционирование картин мироустройства в рамках трансгуманизма эвристическими методами // KANT. Т. 43. № 2. С. 8–14. DOI: 10.24923/2222-243x.2022-43.2
- Альсина К. (2014). Мир математики: в 40 т. Т. XI. Карты метро и нейронные сети. Теория графов. Москва: Де Агостини. 144 с.
- Бочаров С.Н., Беляев В.И., Бутакова М.М. [и др.] (2019). Глобальные цепочки создания добавленной стоимости как фактор повышения эффективности экономики региона. Барнаул: АлтГУ. 216 с.
- Ведута Н.И. (1999). Социально эффективная экономика. Москва: РЭА. 254 с.
- Волкова М.А. (2019). Стратегии локализации процессов формирования добавленной стоимости в рамках интеграции региональной экономики в глобальные цепочки создания стоимости // Вестник ВГУ. Сер.: Экономика и управление. № 4. С. 82–92.
- Данциг Дж. (1966). Линейное программирование, его применения и обобщения. Москва: Прогресс. 600 с.
- Зейфман А.И., Бенинг В.Е., Соколов И.А. (2008). Марковские цепи и модели с непрерывным временем. Москва: Элекс-КМ. 167 с.
- Ильин В.А., Ускова Т.В., Лукин Е.В. [и др.] (2021). Трансформация межрегиональных цепочек создания стоимости: проблемы и перспективы. Вологда: ВолНИЦ РАН. 244 с.
- Инисей Ф.М., Карчаев Х.Ж., Кушхова Б.А. (2016). Проектирование национальных цепочек добавленной стоимости как направление росторазвития региональных экономик // Европейский журнал социальных наук. № 2. С. 88–94.
- Казакова Н.А., Голубева Г.Ф. (2016). Анализ показателей региональной экономики и поиск резервов роста валовой добавленной стоимости в регионе // Международный бухгалтерский учет. Т. 19. № 19. С. 48–64.
- Канин Е.С. (2014). Возбуждение и развитие у учащихся интереса к математике // История и педагогика естествознания. № 1. С. 17–22.
- Леонтьев В.В. (2006а). Избранные произведения: в 3 т. Т. I. Общеэкономические проблемы межотраслевого анализа. Москва: Экономика. 406 с.

- Леонтьев В.В. (2006b). Избранные произведения: в 3 т. Т. II. Специальные исследования на основе методологии «затраты-выпуск». Москва: Экономика. 542 с.
- Лукин Е.В. (2019). Отраслевая и территориальная специфика цепочек добавленной стоимости в России: межотраслевой подход // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 12. № 6. С. 129–149. DOI: 10.15838/esc.2019.6.66.7
- Лукин Е.В. (2022). Регулирование межрегиональных цепочек добавленной стоимости: проблемы анализа и моделирования // Проблемы прогнозирования. Т. 190. № 1. С. 19–33. DOI: 10.47711/0868-6351-190-19-33
- Лукин Е.В., Аносова Т.С., Мельников А.Е., Сидоров М.А. (2020). Опыт агент-ориентированного моделирования межрегиональных цепочек создания стоимости // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 13. № 6. С. 101–116. DOI: 10.15838/esc.2020.6.72.6
- Никитенко С.М., Гоосен Е.В., Пахомова Е.О., Колеватова А.В. (2017). Цепочки добавленной стоимости как инструмент развития экономики региона сырьевой специализации // Фундаментальные исследования. № 10 (2). С. 375–380.
- Ордов К.В., Болвачев А.И., Екимова К.В. [и др.] (2014). Анализ и оценка перспектив роста валовой добавленной стоимости и повышения конкурентоспособности региональной экономики Калининградской области // Плехановский научный бюллетень: научный бюллетень Российского экон. ун-та им. Г.В. Плеханова. Т. 6. № 2. С. 9–30.
- Прядилина Н.К., Стариков Е.Н., Мезенцева Е.С. (2017). Современное состояние и перспективы развития лесопромышленного комплекса Свердловской области // Лесотехнический журнал. Т. 26. № 2. С. 193–204. DOI: 10.12737/article_5967eafe996de7.27358174
- Рахаев Б.М., Карчаев Х.Ж., Кушхова Б.А. (2015). Проектирование национальных цепочек добавленной стоимости как направление росто-развития региональных экономик // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. № 4. С. 71–78.
- Роголин Р.С. (2021). Математическая модель формирования ценовой политики и плана производственно-транспортной системы лесопромышленного предприятия // Бизнес-информатика. Т. 15. № 3. С. 60–77. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.3.60.77
- Румянцев Н.М. (2023). Репозиционирование экономики региона в цепочках создания стоимости на основе поиска перспективных специализаций: кейс лесопромышленного комплекса Вологодской области // Проблемы развития территории. Т. 27. № 2. С. 10–22. DOI: 10.15838/ptd.2023.2.124.2
- Солдатова С.Э., Волошенко К.Ю. (2016). Идентификация и моделирование участия предприятий регионального АПК в цепочках создания стоимости // Управленческое консультирование. Т. 94. № 10. С. 83–92.
- Хмелева Г.А., Федоренко Р.В., Асанова С.С., Кулик А.А. (2019). Факторы, благоприятствующие встраиванию региональных предприятий в глобальные цепочки создания стоимости инновационной продукции // Вестник Самарского муниципального института управления. № 3. С. 67–77.
- Шишелов М.А. (2018). Проблемы и направления модернизации лесного комплекса северного региона (на примере Республики Коми) // Север и рынок: формирование экономического порядка. Т. 58. № 2. С. 57–67. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X-2-2018-58-57-67
- Щербакова Н.Г. (2015). Меры центральности в сетях // Проблемы информатики. Т. 27. № 2. С. 18–30.
- Bentzen J., Smith V., Dilling-Hansen M. (1997). Regional income effects and renewable fuels: Increased usage of renewable energy sources in Danish rural areas and its impact of regional incomes. *Energy Policy*, 25 (2), 185–191. DOI: 10.1016/S0301-4215(96)00142-5
- Brandes U. (2001). A faster algorithm for betweenness centrality. *The Journal of Mathematical Sociology*, 25 (2), 163–177. DOI: 10.1080/0022250X.2001.9990249
- Esteves A.M., Barclay M.-A. (2011). Enhancing the benefits of local content: Integrating social and economic impact assessment into procurement strategies. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 29 (3), 205–215. DOI: 10.3152/146155111X12959673796128

- Freeman L.C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40 (1), 35–41. DOI: 10.2307/3033543
- Hoffman D. (2019). Creation of regional added value by regional bioenergy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 (9), 2419–2429. DOI: 10.1016/j.rser.2009.04.001
- Karttunen K., Ahtikoski A., Kujala S. [et al.] (2018). Regional socio-economic impacts of intensive forest management, a CGE approach. *Biomass and Bioenergy*, 118, 8–15. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.07.024
- Lehtonen O., Okkonen L. (2016). Socio-economic impacts of a local bioenergy-based development strategy – The case of Pielinen Karelia, Finland. *Renewable Energy*, 85, 610–619. DOI: 10.1016/j.renene.2015.07.006
- Lwesya F. (2022). Integration into regional or global value chains and economic upgrading prospects: An analysis of the East African Community (EAC) bloc. *Future Business Journal*, 8. DOI: 10.1186/s43093-022-00141-9
- Mises R.V., Pollaczek-Geiringer H. (1929). Praktische verfahren der gleichungsauflösung. *ZAMM*, 9 (2), 152–164. DOI: 10.1002/zamm.19290090206
- Newman M.E.J. (2004). Who is the best connected scientist? A study of scientific coauthorship networks. *Lecture Notes in Physics*, 650, 337–370. DOI: 10.1007/978-3-540-44485-5_16
- Okkonen L., Lehtonen O. (2017). Local, regional and national level of the socioeconomic impacts of a bio-oil production system – A case in Lieksa, Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 103–111. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.003
- Openshaw K. (2010). Biomass energy: Employment generation and its contribution to poverty alleviation. *Biomass and Bioenergy*, 34 (3), 365–378. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.11.008
- Peura P., Haapanen A., Reini K., Törmä H. (2018). Regional impacts of sustainable energy in Western Finland. *Journal of Cleaner Production*, 187, 85–97. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.194
- Schubert D., Bühler J. (2009). *A Guideline for the Management of Regional Value Added Partnerships*. Salzwedel: Regional Planning Authority Altmark.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитрий Александрович Алферьев – кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а); доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29); e-mail: alferev_1991@mail.ru

Константин Анатольевич Гулин – кандидат исторических наук, доктор экономических наук, ведущий научный сотрудник, Вологодский научный центр Российской академии наук (Российская Федерация, 160014, г. Вологда, ул. Горького, д. 56а); профессор, Вологодский государственный университет (Российская Федерация, 160000, г. Вологда, ул. Ленина, д. 15); e-mail: gulin_k@mail.ru

Alfer'ev D.A., Gulin K.A.

DEVELOPMENT OF TOOLS FOR MODELING HIGH-TECH FORESTRY PRODUCT CHAINS

The article is devoted to solving the problem associated with the expansion of theoretical, methodological and applied bases for ensuring sustainable socio-economic development of regions and strengthening their financial independence by increasing the volume of gross value added of products manufactured on their territory. One of the topical issues within this problem is the need

to develop methods and tools that could be used to model specific value chains in the sectors of the regional economy. The aim of the research is to work out a mathematical toolkit to model value chains in the regional timber industry complex. As a result, we proposed an appropriate toolkit based on the theory and methodology of inter-sectoral balance and technical graph analysis. Through this toolkit, it is possible to calculate the costs required to produce a given number of products characterizing a link in value chains, to optimally reallocate resources not involved in the economy, and to identify the strongest and weakest nodes of the constructed network. We presented the advantages of hybrid models in comparison with their counterparts built with the help of a single narrow-profile mathematical tool. We outlined further directions of development by connecting the concepts and ideas of Markov chains to the model. The scientific significance of the obtained results lies in the development of theoretical, methodological and applied aspects of the formation of value chains in the regional timber industry complex. From a practical point of view, the research materials can be applied in the management processes of the regional timber industry complex, aimed at increasing the efficiency of its functioning and contribution to improving the level of economic sustainability and financial independence of territories.

Forestry, regional forestry complex, value chains, linear programming, intersectoral balance, graph theory, hybrid, modeling.

REFERENCES

- Akbulatov E.Sh., Erygin Yu.V., Volkova M.A. (2019). Valuation of intensity of regional economy integration into global value chains. *Menedzhment sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistem=Social and Economic System Management*, 13(1), 34–43 (in Russian).
- Al'sina K. (2014). *Mir matematiki: v 40 t. T. XI. Karty metro i neironnye seti. Teoriya grafov* [The World of Mathematics: In 40 Volumes. Volume 11. Metro Maps and Neural Networks. Graph Theory]. Moscow: De Agostini.
- Alfer'ev D.A. (2016). A model for forecasting the rate of consumer price index (inflation): Case study of the Russian Federation. *Sotsial'noe prostranstvo=Social Area*, 3(1) (in Russian).
- Alfer'ev D.A. (2022). Positioning pictures of the world order within the framework of transhumanism by heuristic methods. *KANT*, 43(2), 8–14. DOI: 10.24923/2222-243x.2022-43.2 (in Russian).
- Bentzen J., Smith V., Dilling-Hansen M. (1997). Regional income effects and renewable fuels: Increased usage of renewable energy sources in Danish rural areas and its impact of regional incomes. *Energy Policy*, 25(2), 185–191. DOI: 10.1016/S0301-4215(96)00142-5
- Bocharov S.N., Belyaev V.I., Butakova M.M. et al. (2019). *Global'nye tsepochniki sozdaniya dobavlennoi stoimosti kak faktor povysheniya effektivnosti ekonomiki regiona* [Global Value Chains as a Factor of Increasing the Efficiency of the Region's Economy]. Barnaul: AltGU.
- Brandes U. (2001). A faster algorithm for betweenness centrality. *The Journal of Mathematical Sociology*, 25(2), 163–177. DOI: 10.1080/0022250X.2001.9990249
- Dantzig G. (1966). *Lineinoe programmirovaniye, ego primeneniya i obobshcheniya* [Linear Programming, Its Generalization and Application]. Moscow: Progress.
- Esteves A.M., Barclay M.-A. (2011). Enhancing the benefits of local content: Integrating social and economic impact assessment into procurement strategies. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 29(3), 205–215. DOI: 10.3152/146155111X12959673796128
- Freeman L.C. (1977). A set of measures of centrality based on betweenness. *Sociometry*, 40(1), 35–41. DOI: 10.2307/3033543
- Hoffman D. (2019). Creation of regional added value by regional bioenergy resources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2419–2429. DOI: 10.1016/j.rser.2009.04.001

- Ilyin V.A., Uskova T.V., Lukin E.V. et al. (2021). *Transformatsiya mezhregional'nykh tsepochek sozdaniya stoimosti: problemy i perspektivy* [Transformation of Interregional Value Chains: Problems and Prospects]. Vologda: VolRC RAS.
- Inisei F.M., Karchaev Kh.Zh., Kushkhova B.A. (2016). Designing national value chains as a direction of growth development of regional economies. *Evropeiskii zhurnal sotcialnykh nauk*, 2, 88–94 (in Russian).
- Kanin E.S. (2014). Excitation and development of students' interest in mathematics. *Istoriia i pedagogika estestvoznaniia*, 1, 17–22 (in Russian).
- Karttunen K., Ahtikoski A., Kujala S. et al. (2018). Regional socio-economic impacts of intensive forest management, a CGE approach. *Biomass and Bioenergy*, 118, 8–15. DOI: 10.1016/j.biombioe.2018.07.024
- Kazakova N.A., Golubeva G.F. (2016). An analysis of regional economy and the search for reserves of the cross-value-added growth in the region. *Mezhdunarodnyi bukhgalterskii uchet=International Accounting*, 19(19), 48–64 (in Russian).
- Khmeleva G.A., Fedorenko R.V., Asanova S.S., Kulik A.A. (2019). Factors favoring the integration of regional enterprises in the global value chains of innovative products. *Vestnik Samarskogo munitcipalnogo instituta upravleniia*, 3, 67–77 (in Russian).
- Lehtonen O., Okkonen L. (2016). Socio-economic impacts of a local bioenergy-based development strategy – The case of Pielinen Karelia, Finland. *Renewable Energy*, 85, 610–619. DOI: 10.1016/j.renene.2015.07.006
- Leontev V.V. (2006a). *Izbrannye proizvedeniia: v 3 t. T. I. Obshcheekonomicheskie problemy mezhotraslevogo analiza* [Selected Works: In 3 Volumes. Volume 1. General Economic Problems of Intersectoral Analysis]. Moscow: Ekonomika.
- Leontev V.V. (2006b). *Izbrannye proizvedeniia: v 3 t. T. II. Spetsialnye issledovaniia na osnove metodologii "zatraty-vypusk"* [Selected Works: In 3 Volumes. Volume 2. Special Studies Based on Input-Output Methodology]. Moscow: Ekonomika.
- Lukin E.V. (2019). Sectoral and territorial specifics of value-added chains in Russia: The input-output approach. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz=Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 12(6), 129–149. DOI: 10.15838/esc.2019.6.66.7 (in Russian).
- Lukin E.V. (2022). Regulation of interregional value chains: Problems of analysis and modeling. *Problemy razvitiya territorii=Problems of Territory's Development*, 190(1), 19–33. DOI: 10.47711/0868-6351-190-19-33 (in Russian).
- Lukin E.V., Anosova T.S., Melnikov A.E., Sidorov M.A. (2020). Experience in agent-based modeling of interregional value chains. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz=Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 13(6), 101–116. DOI: 10.15838/esc.2020.6.72.6 (in Russian).
- Lwesya F. (2022). Integration into regional or global value chains and economic upgrading prospects: An analysis of the East African Community (EAC) bloc. *Future Business Journal*, 8. DOI: 10.1186/s43093-022-00141-9
- Mises R.V., Pollaczek-Geiringer H. (1929). Praktische verfahren der gleichungsaufloesung. *ZAMM*, 9 (2), 152–164. DOI: 10.1002/zamm.19290090206
- Newman M.E.J. (2004). Who is the best connected scientist? A study of scientific coauthorship networks. *Lecture Notes in Physics*, 650, 337–370. DOI: 10.1007/978-3-540-44485-5_16
- Nikitenko S.M., Goosen E.V., Pakhomova E.O., Kolevatova A.V. (2017). Value chains as a tool for economic development in the region of raw material specialization. *Fundamentalnye issledovaniia=Fundamental Research*, 10(2), 375–380 (in Russian).
- Okkonen L., Lehtonen O. (2017). Local, regional and national level of the socioeconomic impacts of a bio-oil production system – A case in Lieksa, Finland. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 103–111. DOI: 10.1016/j.rser.2017.01.003

- Openshaw K. (2010). Biomass energy: Employment generation and its contribution to poverty alleviation. *Biomass and Bioenergy*, 34(3), 365–378. DOI: 10.1016/j.biombioe.2009.11.008
- Ordov K.V., Bolvachev A.I., Ekimova K.V. et al. (2014). Analysis and assessment of prospects for growth of gross value added and increasing competitiveness of the regional economy of the Kaliningrad Oblast. *Plekhanovskii nauchnyi biulleten: nauchnyi biulleten Rossiiskogo ekon. un-ta im. G.V. Plekhanova*, 6(2), 9–30 (in Russian).
- Peura P., Haapanen A., Reini K., Törmä H. (2018). Regional impacts of sustainable energy in Western Finland. *Journal of Cleaner Production*, 187, 85–97. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.03.194
- Priadilina N.K., Starikov E.N., Mezentceva E.S. (2017). Current state and prospects of development of timber industry complex of Sverdlovsk region. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 26(2), 193–204. DOI: 10.12737/article_5967eafe996de7.27358174 (in Russian).
- Rakhaev B.M., Karchaev Kh.Zh., Kushkhova B.A. (2015). Designing national value chains as a direction of growth development of regional economies. *Konkurentosposobnost v globalnom mire: ekonomika, nauka, tekhnologii*, 4, 71–78 (in Russian).
- Rogulin R.S. (2021). A mathematical model for the formation of the pricing policy and the plan of the production and transport system in a timber-processing enterprise. *Biznes-informatika=Business Informatics*, 15(3), 60–77. DOI: 10.17323/2587-814X.2021.3.60.77 (in Russian).
- Rumyantsev N.M. (2023). Repositioning of the regional economy in value chains based on the search for promising specializations: The case of the timber industry complex of the Vologda Oblast. *Problemy razvitiya territorii=Problems of Territory's Development*, 27(2), 10–22. DOI: 10.15838/ptd.2023.2.124.2 (in Russian).
- Schubert D., Bühler J. (2009). *A Guideline for the Management of Regional Value Added Partnerships*. Salzwedel: Regional Planning Authority Altmark.
- Shcherbakova N.G. (2015). Measures of centrality in networks. *Problemy informatiki*, 27(2), 18–30 (in Russian).
- Shishelov M.A. (2018). Problems and directions of modernization of the forest complex of the northern region (case study of the Komi Republic). *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poriadka*, 58(2), 57–67. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X-2-2018-58-57-67 (in Russian).
- Soldatova S.E., Voloshenko K.Iu. (2016). Identifying and modeling the participation of regional agro-industrial sector producers in value chains. *Upravlencheskoe konsultirovanie=Administrative Consulting*, 94(10), 83–92 (in Russian).
- Veduta N.I. (1999). *Sotsial'no effektivnaya ekonomika [Socially Efficient Economy]*. Moscow: REA.
- Volkova M.A. (2019). Strategies for localization of value-added processes within the framework of integration of the regional economy into global value chains. *Vestnik VGU. Ser.: Ekonomika i upravlenie*, 4, 82–92 (in Russian).
- Zeifman A.I., Bening V.E., Sokolov I.A. (2008). *Markovskie tsepi i modeli s nepreryvnym vremenem [Markov Chains and Models with Continuous Time]*. Moscow: Eleks-KM.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitrii A. Alfer'ev – Candidate of Sciences (Economics), Senior Researcher, Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation); Associate Professor, Peter the Great St. Petersburg University (29, Polytechnicheskaya Street, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation); e-mail: alferiev_1991@mail.ru

Konstantin A. Gulin – Candidate of Sciences (History), Doctor of Sciences (Economics), Leading Researcher, Vologda Research Center, Russian Academy of Sciences (56A, Gorky Street, Vologda, 160014, Russian Federation); Professor, Vologda State University, (15, Lenin Street, Vologda, 160000, Russian Federation); e-mail: gulin_k@mail.ru