

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕОРИЕНТАЦИИ ЭКСПОРТНЫХ ПОТОКОВ РОССИЙСКИХ КОМПАНИЙ

Акинфиев В.К.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия
akinf.valery@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрена задача выбора оптимального варианта развития транспортной инфраструктуры (транспортных коридоров) в условиях санкций и закрытия ряда экспортных рынков для промышленных компаний РФ, позволяющих компаниям переориентировать свои экспортные потоки на другие рынки без потери их финансовой устойчивости. Задача формулируется как динамическая производственно-транспортная задача со смешанными переменными, включая выбор вариантов развития транспортной сети. Обсуждаются методы ее решения. Приведены результаты проведения серии расчетов на иллюстративном примере. Решение рассмотренной задачи позволяет выбрать оптимальные варианты развития транспортной инфраструктуры и, одновременно, оптимальные объемы производства продукции компаниями и поставок на рынки с учетом динамики изменения емкости экспортных рынков и других ограничений, используя различные сценарии изменения исходных данных и предположений.

Ключевые слова: развитие транспортных коридоров, санкции, оптимизация, финансовая устойчивость компаний.

Введение

Введение экономических санкций в 2022 году против экономики РФ привело к изменению условий хозяйственной деятельности и ведения бизнеса компаний. Компаниям пришлось адаптироваться к «новой реальности», принимать нестандартные управленческие решения и меры поддержки функционирования бизнеса. В этих условиях актуальной становится задача исследования влияния санкций на финансовую устойчивость компаний, а также моделирования и оценки эффектов различных контрмер, направленных на сохранение их финансовой устойчивости [1].

В частности, закрытие для российских компаний ряда отраслей рынков ЕС и США привели к необходимости переориентации экспортных потоков продукции на другие рынки. При этом возникает задача поиска и создания новых маршрутов доставки дополнительных объемов экспортной продукции на рынки, включая развитие международных транспортных коридоров с целью увеличения их пропускной способности и сокращения времени доставки.

Одной из «пострадавших» отраслей промышленности является черная металлургия. В марте 2022 г. ЕС, в след за США, в рамках четвертого пакета санкций запретил импорт из России стального проката, арматуры, сварных и бесшовных труб и другой продукции. По оценке Минпромторга, санкции затронули экспорт 4,7 млн т стальной продукции, что в стоимостном выражении составило около \$4,2 млрд. По данным европейской металлургической ассоциации Eurofer, ЕС в 2021 году импортировал из России 3,74 млн т стальной продукции высокого передела. Из них 2,86 млн т пришлось на плоский прокат.

Российским металлургическим компаниям необходимо переориентировать европейские объемы продукции на рынки Азии, Ближнего Востока или Южной Америки. При этом компании столкнулись с ростом расходов на логистику и с более низкой ценой реализации продукции на рынках, что приводит к существенному снижению рентабельности производства. Так, по оценкам ассоциации «Русская сталь», расстояние доставки грузов при этом увеличится более чем втрое – с 2300 до 7900 км. Это приведет к увеличению расходов компаний на 17 – 20 млрд рублей в год. Кроме того, изменения в логистике потребуют дополнительных затрат на фрахт: его стоимость в морские порты Турции по сравнению с 2021 годом уже выросла более чем в 2,5 раза, а в морские порты Китая - в 4 раза.

Компании также столкнутся с необходимостью снижения загрузки производства. По прогнозам Минпромторга [2], производство стали в РФ в течении 2022 - 2023 г. г. упадет по сравнению с 2021 годом на 6–7%, внутреннее потребление - на 5%, экспорт на 8%. Прогнозируется, что в 2023–2025 г. г. производство стали в РФ стабилизируется на уровне 70,8–72,4 млн т., потребление на уровне 40,8 млн т., а экспорт на уровне 28,3 млн т.

Все перечисленные факторы снижают маржинальность бизнеса компаний и могут привести к потере их финансовой устойчивости и, как следствие, к негативным социальным последствиям. Поэтому возникает задача выбора оптимальных вариантов переориентации экспортных потоков российских компаний с учетом развития существующих транспортных коридоров и создания новых.

В [2] ставится задача создать условия для расширения российского экспорта стали в ЕАЭС, государства Латинской Америки, Африки, Ближнего Востока и Юго-Восточной Азии.

Для этой цели Правительством РФ планируется осуществить в ближайшие годы крупномасштабную программу, которая предусматривает вложение значительных ресурсов в развитие транспортных коридоров, увеличиваем пропускную способность железных дорог, перевалочные мощности портов на восточном, южном и других направлениях. Все эти меры должны позволить российским компаниям существенно сократить логистические издержки и увеличить объемы экспорта и, соответственно, увеличить рентабельность производства российских компаний и их финансовую устойчивость.

Эти вызовы требуют решения новых задач анализа и оптимизации программ развития транспортной инфраструктуры РФ с привлечением методов математического моделирования. В статье рассмотрена задача выбора оптимальных вариантов развития транспортных коридоров в условиях необходимости переориентации экспортных потоков российских компаний. Следует заметить, что вопросы стратегического анализа развития международных транспортных коридоров и их влияния на развитие экономики регионов и отдельных отраслей промышленности в настоящее время являются актуальными и исследуются в большом количестве публикаций, например, в [3-5]. Мы в данной статье используем методологию оптимизации развития крупномасштабные производственно-транспортные системы (ПТС), развитую в работах [6, 7].

Общая схема решения задачи представлена на рисунке 1. Будем предполагать, что имеется некоторое множество вариантов развития транспортных коридоров, которые соединяют производственные элементы системы (компании) с экспортными рынками. Различные варианты развития транспортных коридоров отличаются динамикой и объемами инвестиций, необходимых для их реализации, и соответствующей динамикой изменений их пропускной способности, времени и цены доставки продукции на различные экспортные рынки. Кроме этого, предполагается, что объем продукции, который может быть реализован российскими компаниями на каждом рынке различен и определяется прогнозируемой динамикой емкости рынка.

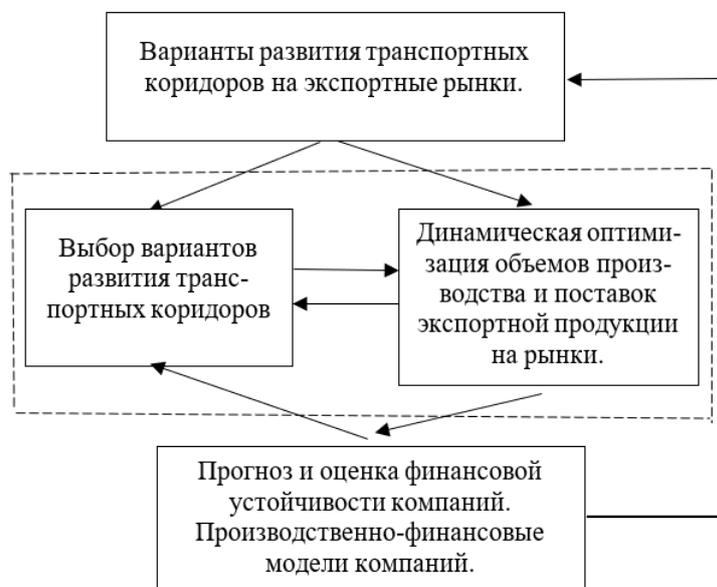


Рис. 1. Общая схема решения задачи

Задача, которая исследуется в работе, состоит в выборе оптимальных вариантов развития транспортных коридоров и, одновременно, выборе для компаний оптимальных объемов производства продукции и поставок ее на рынки с учетом динамики изменения их емкости. При введении санкций некоторые рынки могут закрываться для российских компаний, что отражается, соответственно, в уменьшении показателя емкости этих рынков. Это приводит к необходимости переориентации экспортных потоков на другие рынки с учетом динамики изменения параметров транспортных коридоров и маршрутов доставки. В качестве критерия оптимальности мы используем экономические характеристики, такие, например, как общий объем экспортной выручки и другие параметры, которые влияют, в том числе, на налоговые отчисления компаний в бюджет РФ.

Детально эта задача рассмотрена в следующем разделе. Она формулируется как динамическая производственно-транспортная задача со смешанными переменными, включая выбор вариантов развития транспортной сети. Обсуждаются методы ее решения.

Далее, полученные решения используются в качестве исходной информацией для следующего этапа анализа, а именно, прогноза и оценки финансовой устойчивости компаний. Для этой цели используются производственно-финансовые модели компаний. Методика проведения такого анализа с использованием программного комплекса ТЭО-ИНВЕСТ подробно описана в [1]. Если анализ финансовой устойчивости компаний приводит к неудовлетворительному результату, то необходимо корректировать исходное множество вариантов развития транспортных коридоров и далее процедура поиска решения повторяется.

В разделе 3 приведены численные примеры решения сформулированной задачи выбор оптимальных вариантов развития транспортных коридоров с использованием языка алгебраического моделирования GAMS. В раздел 4 рассмотрен вариант исследуемой задачи, который состоит, в том числе, в выборе оптимального размера скидки на цену продукции, которая может увеличивать емкость рынка и, соответственно, объем продаж и выручки от реализации. Приводится вид разработанной расчетной модели на языке GAMS и результаты проведенных расчетов.

1. Модель

Рассмотрим производственно-транспортную систему, которая включает множество производственных элементов (компаний), производящих однородную продукцию, и транспортную сеть, соединяющую производственные элементы и внешние рынки, на которых произведенная продукция может быть реализована (рисунок 2).

Обозначим через $E_i(t)$ мощность производства продукции компанией i на экспорт в период времени t . Заметим, что $E_i(t)$ учитывает только экспортные возможности компании по производству продукции которые равны полной производственной мощности минус объем поставок на внутренний рынок.

Пусть J - множество внешних рынков, $j=1, \dots, J$. Обозначим через $D_j(t)$ прогноз емкости рынка j для российских компаний в период времени t . Для простоты будем считать, что цена продукции $P_j(t)$ на рынке j задана для каждого периода времени t . Более сложный случай ценообразования на рынке, который также будет рассмотрен, предполагает, что компании могут поставлять свою продукцию с дисконтом к рыночной цене и размер дисконта зависит от общего объемов поставок всех компаний,

$$P_j(t) = F(D_j(t), \sum_i \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t))$$

Пусть существует несколько маршрутов (вариантов) транспортировки продукции из России на рынок j - $n_j \in N_j$ и $Q_{n_j}^0$ начальная пропускная способность варианта. Пусть задано множество вариантов развития для каждого маршрута транспортировки продукции по коридору j . Следует заметить, что транспортный коридор j включает все возможные маршруты доставки продукции на рынок j . Выбор оптимального варианта развития транспортного коридора осуществляется с использованием булевой переменной $z_{n_j,k} = \{1, 0\}$. $z_{n_j,k} = 1$, если выбирается k -ый вариант развития маршрута, который приводит к соответствующему изменению пропускной способности транспортного коридора и стоимости транспортировки продукции по маршруту n_j и $z_{n_j,k} = 0$ в противном случае. Причем $\sum_{k \in K_{n_j}} z_{n_j,k} \leq 1$ для всех n_j . Обозначим через $Q_{n_j}(t)$ пропускную способность

маршрута n_j в период t , тогда $Q_{n_j}(t) = Q_{n_j}^0(t) + \sum_{k=1}^{K_{n_j}} q_{n_j,k}(t) z_{n_j,k}$, где $q_{n_j,k}$ - увеличение пропускной способности маршрута n_j в период t при реализации k -го варианта его развития. Затраты на развитие маршрута коридора равны $R_{n_j}(t) = \sum_{k=1}^{K_{n_j}} r_{n_j,k}(t) z_{n_j,k}$, здесь $r_{n_j,k}(t)$ - затраты на развитие коридора по варианту k .

Пусть $x_{i,j,n_j}(t)$ - объем экспортных поставок продукции компанией i на рынок j по транспортному коридору n_j в период t . Общий объем поставок не должен превышать экспортные возможности компании $\sum_j \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) \leq E_i(t)$.

Пусть далее $C_i(t)$ – удельные производственные издержки компании. Транспортные издержки компании в период t зависят от объема поставок на различные рынки и варианта доставки продукции на эти рынки. $C_{n_j}(t) = \varphi(z)$ – удельные транспортные издержки. Предполагается, что удельные транспортные издержки зависят от выбора вариантов развития транспортных коридоров. Общие (производственные и транспортные) издержки компании I зависят от общего объема производства экспортной продукции и объема ее поставки на рынки и равны:

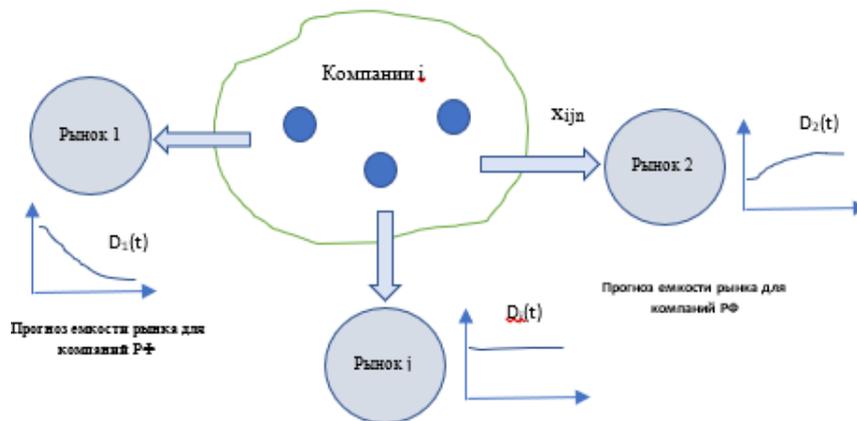
$$C_i(t) \sum_j \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) + \sum_j \sum_{n_j \in N_j} C_{n_j}(t) x_{i,j,n_j}(t).$$


Рис. 2. Упрощенный пример ПТС

Задача оптимизации развития транспортных коридоров сводится к поиску значений переменных $z_{n_j,k}(t)$ и $x_{i,j,n_j}(t)$ доставляющих максимум целевой функции (1) при выполнении ограничений (2)-(8).

$$\sum_t \sum_i \sum_j P_j(t) \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) \rightarrow \max \quad (1)$$

Критерий (1) позволяет максимизировать экспортную выручку всех компаний за период времени прогноза T . Данный показатель влияет на налоговые отчисления компаний в бюджет и стабильность отрасли. Возможны и другие варианты выбора критерия, например:

- Минимизация затрат на развитие транспортных коридоров.
- Максимизация загрузки производственных мощностей компаний, которая позволяет, кроме прочего, сократить негативные последствия санкций в социальной сфере.

Показатели финансовой устойчивости компаний, например, уровень рентабельности производственной деятельности компаний.

При ограничениях:

Общий объем экспортные поставок не должен превышать производственные возможности каждой компании.

$$\sum_j \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) \leq E_i(t) \quad \forall i, t \quad (2)$$

Ограничение на объем поставок продукции всеми компаниями на рынок j по маршруту n_j . Пропускная способность маршрута n_j зависит от выбора переменных $z_{n_j,k}(t) = \{1, 0\}$, булева переменная, определяющая выбор варианта развития транспортных коридоров.

$$\sum_i x_{i,j,n_j}(t) \leq Q_{n_j}^0(t) + \sum_{k=1}^{K_{n_j}} q_{n_j,k}(t) z_{n_j,k} \quad \forall n_j, t \quad (3)$$

Ограничение на общий объем экспорта из РФ на рынок j . График $D_j(t)$ имеет разную динамику для различных рынков.

$$\sum_i \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) \leq D_j(t) \quad (4)$$

Ограничение на общий объем финансирования на развитие транспортных коридоров $R(t)$. Предполагается, что финансирование развития транспортной инфраструктуры осуществляется государством.

$$\sum_j \sum_{n_j \in N_j} \sum_{k=1}^{K_{n_j}} r_{n_j,k}(t) z_{n_j,k} \leq R(t) \quad \forall t \quad (5)$$

Ограничение на загрузку производства для компаний.

$$\sum_j \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) / E_{i,t} \geq g_i \quad \forall i, t \quad (6)$$

Где g_i – минимально допустимый уровень загрузки производства.

На рентабельность экспортных поставок компаний отрасли (влияет на финансовую устойчивость компаний). Зависит от выбора транспортных коридоров и стоимости доставки (транспортные расходы).

$$\left(\sum_j ((P_j(t) - C_i(t)) \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) - \sum_j \sum_{n_j \in N_j} C_{n_j}(t) x_{i,j,n_j}(t)) \right) / \sum_j P_j(t) \sum_{n_j \in N_j} x_{i,j,n_j}(t) \geq r_i \quad (7)$$

Где r_i – минимально допустимый уровень рентабельности производства.

Ограничения на выбор переменных.

$$\sum_{k \in K_{n_j}} z_{n_j,k} \leq 1, \quad x_{i,j,n_j}(t) \geq 0 \quad (8)$$

Задача (1)-(8) относится к классу задач математического программирования с смешенными переменными. Данный класс задач является удобным инструментом, в рамках которого можно конструировать разнообразные модели для решения конкретных прикладных задач. Этой тематике посвящено большое количество публикаций, включая многочисленные обзоры, например, [8, 9]. Следует заметить, что методы и алгоритмы решения задач математического программирования в настоящее время достаточно хорошо развиты, существует большое количество коммерческих пакетов для их решения. Мы будем использовать для решения и анализа задачи (1)-(8) программное обеспечение GAMS (General Algebraic Modeling System), разработанный компанией GAMS Software GmbH.

GAMS — это система моделирования высокого уровня для математического программирования и оптимизации. Он состоит из компилятора языка и ряда связанных решателей. Язык алгебраического моделирования GAMS позволяет разработчикам моделей быстро переводить реальные задачи оптимизации в компьютерный код. Затем компилятор языка GAMS переводит этот код в формат, понятный решателям. Эта архитектура обеспечивает большую гибкость, позволяя изменять используемые решатели без изменения формулировки модели. GAMS поставляется с широким спектром решателей, каждый из которых обычно фокусируется на одном или нескольких типах задач, которые в целом можно разделить на линейные (LP), нелинейные (NLP) и смешанные линейные и нелинейные задачи (MIP и MINLP) [10].

Используя язык моделирования GAMS, была разработана модель для численного решения задачи (1)-(8). В следующем разделе будут продемонстрированы возможности предлагаемого подхода на модельном примере.

3. Пример решения задачи выбора вариантов транспортных коридоров

3.1 Исходные данные

Для наглядного представления результатов расчетов мы будем рассматривать три промышленные компании (A Steel, B Steel и C Steel), которые производят продукцию и поставляют ее на три экспортных рынка, например, в ЕС, Китай и Южную Америку. Прогноз мощности производства продукции на экспорт для компаний приведен в таблице 1. В таблице 2 приведен прогноз характеристик экспортных рынков: емкость рынков для российских компаний и цена продукции.

Заметим, что приведенные здесь данные носят иллюстративный характер и служат для демонстрации предлагаемого подхода к решению исследуемой задачи.

Таблица 1. Экспортные производственные мощности (млн. тонн в год)

Компании	2023	2024	2025	2026	2027
A Steel	3,2	3,4	3,5	3,5	3,5
B Steel	4,2	4,4	4,5	4,7	5,0
C Steel	6,5	6,4	6,5	6,7	6,7

Таблица 2 Прогноз характеристик экспортных рынков

Рынки	2023	2024	2025	2026	2027
Емкость рынков (млн. тонн в год)					
ЕС	4,2	3,2	2,4	2,4	2,4
Китай	3,5	3,7	3,9	4,2	4,5
Южная Америка	2,7	3,0	3,2	3,3	3,5
Цена продукции на рынке (us \$ за тонну)					
ЕС	720	720	720	720	720
Китай	550	550	550	550	550
Южная Америка	600	600	600	600	600

Пропускная способность транспортных коридоров и емкость рынков на начало 2022 (млн. тонн в год) равны, соответственно: ЕС (7,2 и 6,7), Китай (3,0 и 3,5) и Южная Америка (2,4 и 2,7). Рассматривается четыре варианта развития транспортных коридоров, которые отличаются динамикой роста их пропускной способности и затратами на их реализацию (таблица 3).

Таблица 3 Пропускная способность вариантов транспортных коридоров (млн. тонн в год)

Варианты	Коридор	2023	2024	2025	2026	2027
	ЕС	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
Вариант 0	Китай	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
	Южная Америка	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
Вариант 1	Китай	3.0	3.5	4.5	4.5	4.5
	Южная Америка	2.4	2.7	2.7	3.2	3.7
Вариант 2	Китай	3.2	3.7	4.5	4.5	4.5
	Южная Америка	2.7	3.2	3.7	3.7	3.7
Вариант 3	Китай	3.5	3.9	4.5	5.2	5.5
	Южная Америка	2.7	3.5	3.7	4.2	4.7

3.2 Результаты проведения расчетов

В таблице 4 представлены результаты расчетов по выбору оптимального решения задачи (объемов производства продукции, поставок ее на экспортные рынки) в условиях отсутствия санкций. В таблице 5 - с учетом введенных санкций и при условии сохранения пропускной способности существующих транспортных коридоров. Как видно из полученных результатов, целевая функция (экспортная выручка всех компаний за период T) сократилась с 39570 млн. долларов США до 25962 млн. долларов США, то есть на 34,4%. Это существенное сокращение привело к снижению загрузки производственных мощностей компаний до 50%. Для металлургических компаний это означает остановку производства некоторых видов продукции и существенную перестройку технологических процессов.

Таблица 4 Оптимальное решение (нет санкций) (млн тонн в год)

	Целевая функция = 39570.0 (млн. us\$)				
	2023	2024	2025	2026	2027
A_steel - Europe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A_steel - China	2,24	3,00	3,00	2,45	2,45
A_steel - Samerica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Всего	2,24	3,00	3,00	2,45	2,45
Загрузка	0,70	0,88	0,86	0,70	0,70
Выручка	1232,00	1650,00	1650,00	1347,50	1347,50
B_steel - Europe	0,20	0,68	0,75	0,34	0,55
B_steel - China	0,76	0,00	0,00	0,55	0,55
B_steel - Samerica	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Всего	3,36	3,08	3,15	3,29	3,50
Загрузка	0,80	0,70	0,70	0,70	0,70
Выручка	2002,00	1929,60	1980,00	1987,30	2138,50
C_steel - Europe	6,50	6,02	5,95	6,36	6,15
C_steel - China	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C_steel - Samerica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Всего	6,50	6,02	5,95	6,36	6,15
Загрузка	1,00	0,94	0,92	0,95	0,92
Выручка	4680,00	4334,40	4284,00	4579,20	4428,00
Сумарная выручка	7914,00	7914,00	7914,00	7914,00	7914,00

Таблица 5 Оптимальное решение (санкции) (млн тонн в год)

	Целевая функция = 25962.0 (mill us\$)				
	2023	2024	2025	2026	2027
A_steel - Europe	0,00	0,00	1,55	1,45	1,45
A_steel - China	1,60	1,70	0,20	0,30	0,30
A_steel - Samerica	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Всего	1,60	1,70	1,75	1,75	1,75
Загрузка	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Выручка	880,00	935,00	1226,00	1209,00	1209,00
B_steel - Europe	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
B_steel - China	1,40	1,30	2,80	2,70	2,70
B_steel - Samerica	2,40	2,40	0,00	0,00	0,00
Всего	3,80	3,70	2,80	2,70	2,70
Загрузка	0,90	0,84	0,62	0,57	0,54
Выручка	2210,00	2155,00	1540,00	1485,00	1485,00
C_steel - Europe	4,20	3,20	0,85	0,95	0,95
C_steel - China	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C_steel - Samerica	0,00	0,00	2,40	2,40	2,40
Всего	4,20	3,20	3,25	3,35	3,35
Загрузка	0,65	0,50	0,50	0,50	0,50
Выручка	3024,00	2304,00	2052,00	2124,00	2124,00
Сумарная выручка	6114,00	5394,00	4818,00	4818,00	4818,00

Расчеты показывают, что расширение транспортных коридоров должно быть согласовано с прогнозом динамики емкости рынков для российских компаний. Небольшая разница между

значениями целевой функции для расчета оптимальных экспортных потоков в случае реализации второго и третьего варианта развития транспортных коридоров объясняется тем, что пропускная способность коридора по варианту 3 становится больше емкости соответствующего экспортного рынка, что снижает эффективность этого варианта.



Рис. 3. Зависимость целевой функции от выбора вариантов развития транспортных коридоров

На рисунке 5 приведен график динамики суммарных поставок продукции на рынки по периодам прогноза. График демонстрирует процесс переориентации экспортных потоков продукции компаний с рынка ЕС на рынки Китая и Южной Америки.

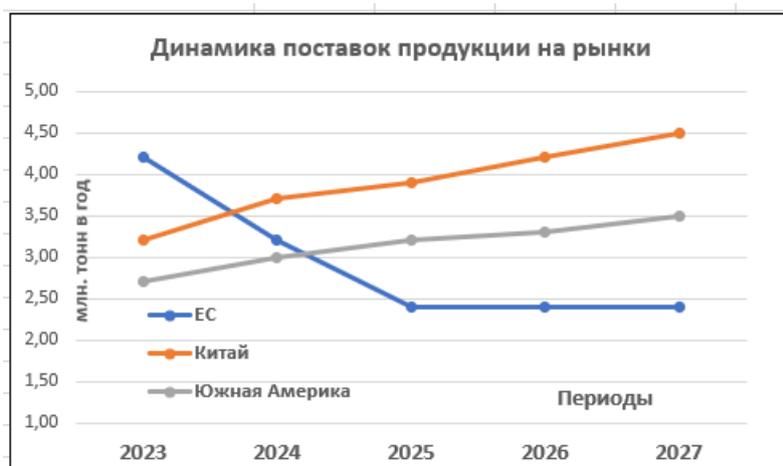


Рис. 4. Динамика суммарных поставок продукции на рынки по периодам прогноза

4. Заключение

Рассмотрена задача выбор оптимального варианта развития транспортной инфраструктуры (транспортных коридоров) в условиях ограниченных ресурсов и времени, позволяющих компаниям отрасли переориентировать свои экспортные потоки без потери их финансовой устойчивости. Предлагаемый подход включает решение задачи оптимизации объемов производства и поставок экспортной продукции на рынки совместно с задачи выбора вариантов развития транспортных коридоров. Проведение серии расчетов по решению задач в имитационном режиме позволяет выбрать оптимальные параметры развития транспортной инфраструктуры с учетом ограничений, используя различные сценарии изменения исходных данных и предположений. Результаты использования данного подхода проиллюстрированы на численных примерах.

Следует заметить, что при решении задачи мы для простоты предполагали, что все данные, используемые в модели, включая прогнозы цен и емкости рынков, известны. На самом деле, в условиях неопределенности на рынках и геополитической ситуации, прогноз параметров модели достаточно сложен. В этой ситуации наиболее реалистичным является подход, связанный с рассмотрением набора сценариев, в каждом из которых параметры модели считаются известными. При этом, могут быть

оценены вероятности осуществления сценариев и на этой основе выбраны варианты решения. Это достаточно популярный подход и здесь он не рассматривается.

Литература

1. *Акинфиев В.К.* Санкции и моделирование финансовой устойчивости компаний // Управление большими системами. 2022. Выпуск 97. С. 29-57.
2. Стратегия развития металлургической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 28 декабря 2022 г. № 4260-р. <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405963845/#review>
3. *Panasyuk M. V., Gafurov I. R., Novenkova A. Z.* Influence of international transport and logistics systems on economic development of the region //World Applied Sciences Journal. – 2013. – Т. 27. – №. 13. – С. 135-139.
4. *Wen X. et al.* Impacts of the Belt and Road Initiative on the China-Europe trading route selections //Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. – 2019. – Т. 122. – С. 581-604.
5. *Tsyganov V., Savushkin S.* Modeling the Transport Complex of a Socio-Economic System. Proceedings of the 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency. Lipetsk, IEEE, 2021. P.288-293.
6. *Акинфиев В.К.* Модели пространственного развития инфраструктурных систем // Управление большими системами. 2021. Выпуск 91. С. 96-119.
7. *Цвиркун А.Д., Акинфиев В.К., Соловьев М.М.* Моделирование развития крупномасштабных систем: (На примере топливно-энергетических отраслей и комплексов). М.: Экономика, 1983. – 176 с.
8. *Martínez-Costa C. et al.* A review of mathematical programming models for strategic capacity planning in manufacturing //International Journal of Production Economics. – 2014. – Т. 153. – С. 66-85.
9. *Lachhwani K.* Application of neural network models for mathematical programming problems: a state of art review //Archives of Computational Methods in Engineering. – 2020. – Т. 27. – С. 171-182.
10. *Rosenthal R. E.* A gams tutorial //GAMS-A User's Guide. – 2007. – Т. 5. – С. 26.