

УДК: 330.4.51-77

Моделирование влияния санкций и импортозамещения на показатели рынка

Л. Е. Варшавский^a

Центральный экономико-математический институт РАН,
Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский пр., д. 47

E-mail: ^a hodvar@yandex.ru

Получено 05.11.2024, после доработки – 12.03.2025.
Принято к публикации 13.03.2025.

В статье рассматривается подход к моделированию влияния санкций и импортозамещения на показатели рынков высокотехнологичной продукции, основанный на использовании методов теории управления, в частности операционного исчисления, z-преобразования. В рассматриваемой модели предполагается, что компания-производитель оборудования поставляет уникальное высокотехнологичное оборудование в компанию-производитель высокотехнологичной продукции (ВП), которая доминирует на рынке потребителей оборудования. Компания – производитель ВП, опасаясь нарушения поставок оборудования из-за введения всевозможных ограничений и санкций, за счет отчислений от своей прибыли инвестирует в развитие импортозамещающего производства оборудования в третьей компании, которое может также найти применение на внешнем рынке.

Анализируется влияние на показатели условного рынка следующих факторов и действий: 1) степени инерционности процессов разработки и развития производства в компании; 2) доли оборудования импортозамещающей компании, поставляемого в компанию – производитель ВП; 3) санкций (общих и выборочных) на поставку оборудования в компанию – производитель ВП, а также блокирования процесса импортозамещения в третьей компании со стороны первой компании.

Проведенные расчеты показывают, что ускорение процессов разработки и производства оборудования приводит к более быстрому снижению объемов производства первой компании. При этом наблюдается рост цены, что связано с изменением параметров обратной функции спроса. Увеличение доли оборудования импортозамещающей компании, потребляемой второй компанией, может приводить к резкому росту объемов производства во второй и третьей компаниях, стабилизации объемов производства в первой компании и к росту цены.

Введение санкций приводит к уменьшению относительно базового варианта объемов производства и доходов всех компаний. Происходит также существенное изменение цены. Однако в связи с инерционностью процессов производства оборудования в рассматриваемом примере существенное изменение объемов производства в совокупности компаний происходит со значительным лагом. Особенно это характерно для третьей компании, в которой заметное отклонение от базового варианта начинается после 20 лет.

Блокировка первой компанией – производителем оборудования, инвестиций в развитие импортозамещения в третьей компании обеспечивает сравнительно небольшой выигрыш первой компании в объемах производства и NPV, хотя и позволяет ей существенно повысить рыночную долю относительно базового варианта.

Ключевые слова: высокотехнологичная продукция, операционное исчисление, санкции, импортозамещение, динамика, рынок

UDC: 330.4.51-77

Modeling the impact of sanctions and import substitution on market performance

L. E. Varshavsky^aCentral Economics and Mathematics Institute RAS,
47 Nahimovskiy ave., Moscow, 117418, RussiaE-mail: ^a hodvar@yandex.ru*Received 05.11.2024, after completion – 12.03.2025.**Accepted for publication 13.03.2025.*

The article considers an approach to modeling the impact of sanctions and import substitution on the performance of high-tech product markets based on the use of control theory methods (operational calculus, z-transform). The model under consideration assumes that an equipment manufacturer supplies unique high-tech equipment to a high-tech product (HP) manufacturer that dominates the equipment consumer market. The HP manufacturer, fearing disruption of equipment supplies due to the introduction of all kinds of restrictions and sanctions, invests in the development of import-substituting equipment production in a third company, which can also find application in the external market, at the expense of deductions from its profits. The influence of the following factors and actions on the performance of the conditional market is analyzed: 1) the degree of inertia of the development and production development processes in the company; 2) the share of equipment of the import-substituting company supplied to the HP manufacturer; 3) sanctions (general and selective) on the supply of equipment to the company-manufacturer of the import substitution, as well as blocking the import substitution process in the third company by the first company.

The calculations show that the acceleration of the equipment development and production processes leads to a faster decrease in the production volumes of the first company. At the same time, an increase in price is observed, which is associated with a change in the parameters of the inverse demand function.

An increase in the share of equipment of the import-substituting company consumed by the second company can lead to a sharp increase in production volumes in the second and third companies, stabilization of production volumes in the first company and an increase in price.

The introduction of sanctions leads to a decrease in the production volumes and income of all companies relative to the baseline version. A significant change in price also occurs. However, due to the inertia of the equipment production processes in the example under consideration, a significant change in production volumes in the aggregate of companies occurs with a significant lag. This is especially characteristic of the third company, in which a noticeable deviation from the baseline version begins after 20 years. The blocking by the first equipment manufacturing company of investments in the development of import substitution in the third company ensures a relatively small gain for the first company in production volumes and NPV although allows to raise her market share.

Keywords: high-tech products, operational calculation, sanctions, import substitution, dynamics, market

Citation: *Computer Research and Modeling*, 2025, vol. 17, no. 2, pp. 365–380 (Russian).

© 2025 Leonid E. Varshavsky

This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Unported License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/>
or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

1. Введение

Обострение конкуренции на мировых рынках и усиление международной напряженности являются главными факторами различного рода нерыночных действий. Свидетельством этому в последнее десятилетие являются регулярные санкции, накладываемые руководством США на высокотехнологичные компании КНР. Под влиянием США за последние три года бессчетному количеству санкций со стороны западных стран подверглись промышленные, торговые, финансовые организации России. В свою очередь, санкции во многих случаях побуждают отдельные страны и компании интенсифицировать усилия по импортозамещению продукции.

В связи с этим повышается актуальность разработки методических подходов к исследованию поведения рынков в условиях санкций и импортозамещения. В последние годы такого рода исследования проводились как в нашей стране, так и за рубежом. К настоящему времени опубликовано значительное число работ, связанных с анализом влияния санкций на экономическую активность. Однако их большая часть ориентирована на исследование проблемы в макроэкономическом разрезе. Так, в статье [Mashkova, 2023] с использованием агент-ориентированного подхода анализируется необходимость осуществления дополнительных инвестиций в импортозамещение продукции из недружественных стран в различных секторах российской экономики. Построены три сценария развития импортозамещения и внешней торговли в условиях санкций.

В статье [Shirvani, Volchenkov, 2019] исследуются оптимальная структура инвестиционного портфеля при наличии международных санкций и связь его с ценой золота.

В работе [Gutmann, Neuenkirch, Neumeier, 2021] анализируется влияние санкций на темпы роста ВВП и его отдельных компонентов, а также на торговлю и трансмиссионные каналы, влияющие на экономическую активность. Рассмотрение экономических показателей 162 стран за период 1960–2016 гг. показывает, что во многих случаях негативный эффект на экономическое развитие оказывают финансовые санкции и односторонние санкции США.

В статье [Crozet et al., 2021] рассматривается реакция на санкции фирм, экспортующих продукцию. Показывается, что фирмы-экспортеры менее чувствительны к санкциям, если они обслуживают «кризисные страны».

Вместе с тем в научной литературе недостаточно представлены методы моделирования поведения рынков высокотехнологичной продукции в условиях разного рода санкций и импортозамещения. В настоящей статье рассматривается подход к математическому моделированию влияния санкций и импортозамещения на показатели рынков высокотехнологичной продукции, основанный на использовании методов теории управления, в частности методов операционного исчисления (z -преобразования) [Jity, 1964; Варшавский, 2014; Варшавский, 2022; Варшавский, 2023]. На основе предложенной модели, с характеристиками, близкими к моделям реальных высокотехнологичных компаний, исследуется влияние скорости и масштабов импортозамещения, санкций на поставки оборудования, а также блокирования инвестиций в импортозамещение на динамику показателей условного высокотехнологичного рынка.

2. Описание модели

В рассматриваемой модели предполагается, что компания – производитель оборудования поставляет уникальное высокотехнологичное оборудование в компанию – производителю высокотехнологичной продукции (ВП), которая доминирует на рынке потребителей оборудования. В качестве примера можно, в частности, привести взаимодействие между компанией-производителем установок дальнего ультрафиолетового излучения и экстремальной ультрафиолетовой литографии, с одной стороны, и компанией – производителем интегральных схем (ИС) – с другой. Компания – производитель ВП, опасаясь нарушения поставок оборудования из-за введения всевозможных ограничений и санкций, за счет отчислений от своей прибыли инвестирует

в развитие импортозамещающего производства оборудования в третьей компании, которое может также найти применение на внешнем рынке.

При этом компания – производитель оборудования, ориентируясь на спрос компании – производителя ВП, максимизирует следующий критерий:

$$J_1 = \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \left[(p_t - PL_1)Q_{1t} - \frac{1}{2}\rho_1 I_{1t}^2 \right] \rightarrow \max_{I_{1t}}, \quad (1)$$

где p_t – стоимость единицы оборудования, определяемая с помощью обратной функции спроса

$$p_t = a - b(Q_{1t} + (1 - v)Q_{3t}), \quad (2)$$

Q_{1t} , Q_{3t} – объемы производства оборудования в первой и третьей компаниях; a , b – коэффициенты, определение значений которых рассматривается далее; v – доля оборудования третьей, импортозамещающей компании, поставляемого в компанию – производитель ВП; $PL_1 = c_1 + \frac{1}{W_1(1+r)}$ – лимитирующие затраты первой компании, причем c_1 – себестоимость производства единицы оборудования; I_{1t} – объемы инвестиций; $\rho_1 > 0$ – коэффициент при затратах регулирования [Варшавский, 2014; Варшавский, 2022]; $\beta = \frac{1}{1+r}$ – дисконтирующий множитель, соответствующий ставке дисконтирования r . Управляющей переменной для компании – производителя оборудования в модели является I_{1t} .

Объемы производства оборудования в первой компании Q_{1t} связаны авторегрессионными соотношениями с объемами инвестиций, третьей компании Q_{3t} – с доходами второй компании $\text{Re } v_{2t} = Q_{2t}$, а доход второй компании – с объемами производства оборудования в первой и третьей компаниях. Для этих соотношений используются передаточные функции вида $W_i(z) = \frac{M_i(z)}{N_i(z)}$, $i = 1, 2, 3$, где $M_i(z)$, $N_i(z)$ – многочлены относительно переменной z , представляющей оператор сдвига, т. е. $zx_t = x_{t+1}$ (x_t – произвольная переменная) [Варшавский, 2014].

Так,

$$Q_{1t} = W_1(z)I_{1t} + Q_{10t}, \quad (3)$$

$$Q_{3t} = W_3(z)m_2\gamma_2 Q_{2t}, \quad (4)$$

$$\text{Re } v_{2t} = Q_{2t} = W_2(z)(Q_{1t} + vQ_{3t}) + Q_{20t}, \quad (5)$$

где Q_{i0t} , $i = 1, 2$, – объемы производства в компаниях, связанные с инвестициями и оборудованием, введенными и поставленными до периода прогнозирования (они характеризуют вклад начальных условий), m_2 – доля инвестиций на развитие производства импортозамещающей компании в прибыли компании – производителя ВП, γ_2 – доля прибыли в доходах этой компании.

При определении значений коэффициентов обратной функции спроса a и b первая компания исходит из гипотезы о том, что компания – производитель ВП максимизирует следующий критерий [Варшавский, 2023]:

$$J_2 = \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \left(\gamma_2 \text{Re } v_{2t} - p_t \alpha_1 Q_{1t} - f p_t \alpha_3 Q_{3t} - \frac{1}{2} \rho_2 Q_{1t}^2 \right) \rightarrow \max_{Q_{1t}}, \quad (6)$$

где α_1 , α_3 – средние величины соотношений между капитальными вложениями и стоимостью оборудования первой и третьей компаний, f – соотношение между ценой оборудования третьей и первой компаний.

С учетом соотношений (4), (5), отражающих положительную обратную связь во второй компании, имеем (для упрощения формул далее принято, что $Q_{i0t} = 0$, $i = 1, 2$)

$$Q_{3t} = W_3(z)m_2\gamma_2 Q_{2t} = W_3(z)m_2\gamma_2 W_2(z)(Q_{1t} + vQ_{3t}), \quad (7)$$

откуда

$$Q_{3t} = W_{13}(z)Q_{1t}, \quad (8)$$

где

$$W_{13}(z) = \frac{m_2\gamma_2 W_2(z)W_3(z)}{1 - vm_2\gamma_2 W_2(z)W_3(z)}. \quad (9)$$

Ввиду (9) справедливо

$$Q_{1t} + vQ_{3t} = (1 + vW_{13}(z))Q_{1t} = \frac{Q_{1t}}{1 - vm_2\gamma_2 W_2(z)W_3(z)}. \quad (10)$$

Тогда в результате оптимизации критерия (4) производителя ВП получаем

$$\frac{\partial J_2}{\partial Q_{1t}} = \frac{\gamma_2 W_2(\beta^{-1})}{1 - vm_2\gamma_2 W_2(\beta^{-1})W_3(\beta^{-1})} - p_t\alpha_1 - \frac{fvm_2\gamma_2 W'_2(z)W'_3(z)}{1 - vm_2\gamma_2 W'_2(z)W'_3(z)}p_t\alpha_3 - \rho_2 Q_{1t} = 0. \quad (11)$$

Если в каждый момент времени t вторая компания ориентируется на то, что в перспективе $p_\tau = p_t$ при $\tau \geq t$, то из (11) можно получить обратную функцию ее спроса на оборудование первой компании:

$$p_t = a - bQ_{1t}, \quad (12)$$

где

$$a = \frac{\gamma_2 W_u(\beta^{-1})}{A}, \quad b = \frac{\rho_2}{A}, \quad (13)$$

$$A = \alpha_1 + fvm_2\gamma_2 W_u(\beta^{-1})W_3(\beta^{-1})\alpha_3, \quad W_u(z) = \frac{W_2(z)}{1 - vm_2\gamma_2 W_2(z)W_3(z)}.$$

Полученная обратная функция спроса (12) может быть далее использована в форме (2) при определении оптимальной стратегии первого производителя оборудования с учетом того, что часть оборудования, производимого третьей компанией, поставляется на внешний рынок.

Так, из необходимого условия экстремума функционала (1) при ограничениях (2), (8)–(9), (12) по аналогии с [Варшавский, 2014; Варшавский, 2022] можно получить формулы для расчета оптимального управления I_{1t} (производственных инвестиций и др.) и объемов производства компаний – производителя оборудования Q_{1t} , максимизирующего критерий NPV с учетом затрат регулирования:

$$Q_{1t} = \frac{W_1(z)W_1((\beta z)^{-1})(a - PL_1)}{\rho_1 + b \{2 + (1 - v)[W_{13}(z) + W_{13}((\beta z)^{-1})]\} W_1(z)W_1((\beta z)^{-1})}. \quad (14)$$

Используя свойства Z-преобразования [Jury, 1964], можно при устойчивости $W_{13}(z)$, основываясь на (5), (8), (14), оценить установившиеся (равновесные) уровни производства участников рынка $\lim_{t \rightarrow \infty} Q_{it\infty} = Q_{i\infty}$, $i = 1, 2, 3$:

$$Q_{1\infty} = \frac{W_1(1)W_1(\beta^{-1})(a - PL_1)}{\rho_1 + b \{2 + (1 - v)[W_{13}(1) + W_{13}(\beta^{-1})]\} W_1(1)W_1(\beta^{-1})}, \quad (15)$$

$$Q_{3\infty} = W_{13}(1)Q_{1\infty}, \quad Q_{2\infty} = W_2(1)(Q_{1\infty} + vQ_{3\infty}).$$

Эти уровни служат полезным ориентиром при исследовании перспектив развития взаимосвязанных рынков.

3. Исследование влияния импортозамещения оборудования на динамику показателей рынка

На основе приведенной выше модели (1)–(5), (12), (13) проводились расчеты в Excel (с использованием процедуры «Поиск решения») применительно к условным рынкам оборудования и высокотехнологичной продукции, характеризующимся достаточно высокой инерционностью, с параметрами моделей компаний, близкими к параметрам моделей реальных производителей оборудования для ВП, а также ВП [Варшавский, 2023].

Так, предполагалось, что в базовом варианте передаточные функции имеют вид

$$W_i(z) = \frac{\varphi_i z}{(z - \lambda_i)^2}, \quad 0 < \lambda_i < 1, \quad i = 1, 2, 3,$$

причем

$$W_1(z) = W_3(z) = \frac{14,338z}{(z - 0,753)^2}, \quad W_2(z) = \frac{0,899z}{(z - 0,721)^2}.$$

Начальные уровни производства в компаниях составляют $Q_{10} = 190$ ед., $Q_{20} = 200$ млрд долл., $Q_{30} = 0$ ед., а $PL_1 = 0,1058$ млрд долл. Принятые начальные уровни производства в первых двух компаниях практически совпадают с их равновесными уровнями при отсутствии выхода третьей компании на внешний рынок. Значения остальных параметров модели в базовом варианте представлены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры зависимостей модели (1)–(5), (12), (13) для базового варианта

Параметры зависимостей	Значения параметров
m_2	0,5
γ_2	0,0075
f	0,7
v	0,5
ρ_1	15,335
ρ_2	0,001
$\alpha_1 = \alpha_3$	1
r	0,05

В развернутой форме, пригодной для проведения расчетов в Excel, соотношения (3)–(5) с учетом принятого вида передаточных функций имеют следующий вид:

$$Q_{1t} = 2\lambda_1 Q_{1t-1} - \lambda_1^2 Q_{1t-2} + \varphi_1 I_{1t-1}, \quad (16)$$

$$Q_{2t} = 2\lambda_2 Q_{2t-1} - \lambda_2^2 Q_{2t-2} + \varphi_2 (Q_{1t-1} + v Q_{3t-1}), \quad (17)$$

$$Q_{3t} = 2\lambda_3 Q_{3t-1} - \lambda_3^2 Q_{3t-2} + \varphi_3 m_2 \gamma_2 Q_{2t-1}. \quad (18)$$

Рассматривался анализ влияния на показатели рынка следующих факторов:

- 1) скорости развития производства в импортозамещающей компании 3, а также на всем рынке оборудования;
- 2) доли оборудования импортозамещающей компании v , поставляемого в компанию – производитель ВП;
- 3) санкций на поставку оборудования в компанию – производитель ВП, а также блокирования процесса импортозамещения в третьей компании со стороны первой компании.

3.1. Влияние скорости развития производства в импортозамещающей компании на показатели рынка

Скорость развития производства в компаниях характеризуется значениями параметров λ_i в знаменателях представленных выше передаточных функций типа

$$W_i(z) = \frac{\varphi_i z}{(z - \lambda_i)^2}, \quad i = 1, 2, 3.$$

Так, рассматривались случаи, когда: а) изменялся только параметр λ_3 третьей компании; б) изменялись параметры λ_1 , λ_3 первой и третьей компаний. При этом предполагалось, что эффективность инвестиций в эти компании сохраняется на постоянном уровне, т. е.

$$W_i(1) = \frac{\varphi_i}{(1 - \lambda_i)^2} = W_0 = \text{const}, \quad i = 1, 2, 3.$$

Динамика показателей рынка при разных вариантах значений параметра λ_3

Динамика показателей рынка при трех вариантах значений параметра $\lambda_3 = 0,3; 0,753; 0,9$ – приведена на рис. 1–4. Равновесные значения этих параметров, рассчитанные по формулам (15), а также значения чистой приведенной стоимости (NPV) в первой компании за 60-летний период и коэффициентов обратной функции спроса приведены в табл. 2.¹

Таблица 2

λ_3	0,300	0,753 (базовый вариант)	0,900
φ_3	115,610	14,338	2,359
$I_{1\infty}$	0,512	0,510	0,508
$Q_{1\infty}$	120,807	120,361	119,743
$Q_{2\infty}$	285,986	284,929	283,468
$Q_{3\infty}$	253,033	252,097	250,805
p^∞	0,309	0,283	0,249
$NPV_{1\text{ tot}}$	576,939	583,124	582,676
a	0,4882	0,4766	0,4614
b	0,0007	0,0008	0,0009
ρ_1	22,8566	15,3359	5,5887

Уменьшение значения λ_3 приводит к существенно более быстрому росту объемов производства импортозамещающего оборудования Q_{3t} (рис. 3). В то же время динамика остальных показателей изменяется не так сильно. Вместе с тем следует отметить рост цены после начального падения при $\lambda_3 = 0,3$, что связано с изменением параметров обратной функции спроса (13) при изменении λ_3 (табл. 2). Так, вторая компания при быстром росте более дешевого производства импортозамещающего оборудования (его цена составляет $f = 0,7$ от цены первого производителя) может позволить себе приобретать оборудование последнего по более высокой цене (табл. 2, рис. 4).

Следует отметить, что при повышении инерционности процесса импортозамещения, т. е. при увеличении значений λ_3 , равновесные уровни производства, в отличие от случая $\lambda_3 = 0,3$, достигаются в рассматриваемом примере за существенно более значительные периоды времени.

¹ Здесь и далее изменение параметра ρ_1 связано с принятым предположением о стремлении первой компании сохранить начальный уровень производства при изменении параметров функции спроса.

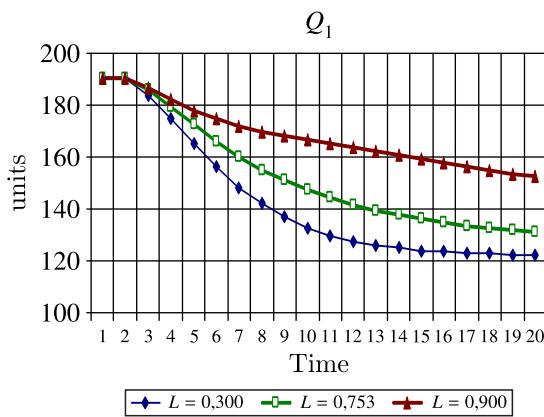


Рис. 1. Динамика объемов производства в первой компании Q_{1t} при разных значениях $\lambda_3 = L$

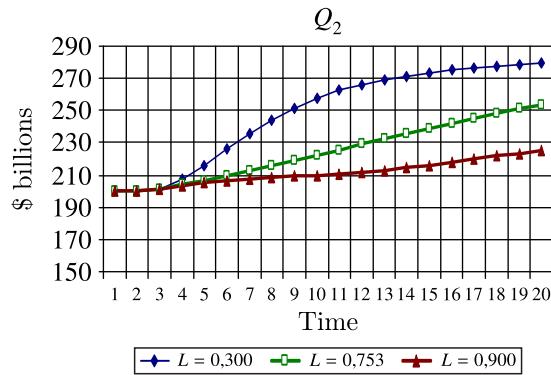


Рис. 2. Динамика объемов производства во второй компании Q_{2t} при разных значениях $\lambda_3 = L$

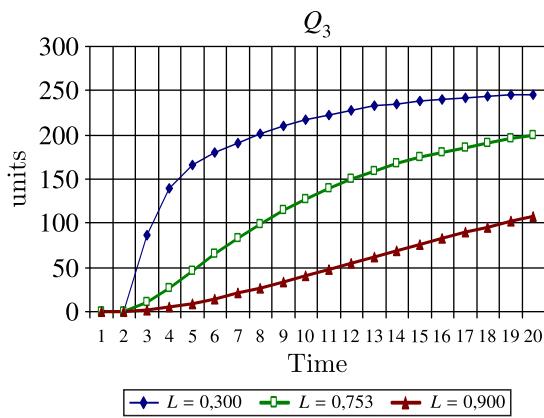


Рис. 3. Динамика объемов производства в третьей, импортозамещающей, компании Q_{3t} при разных значениях $\lambda_3 = L$

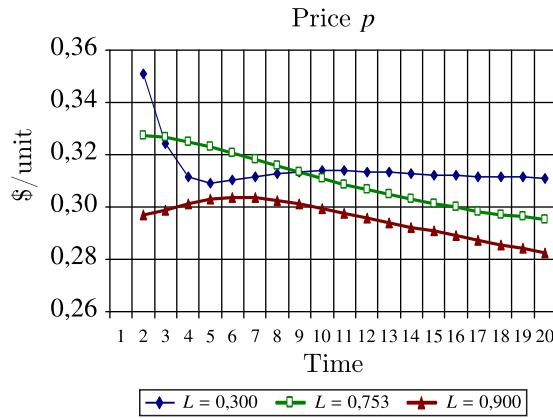


Рис. 4. Цены на оборудование p_t при разных значениях $\lambda_3 = L$

Следует также отметить некоторое отклонение значений исследуемых показателей при больших t от равновесных значений, приведенных в табл. 2, что связано с некоторыми погрешностями вычислений при проведении оптимизации в Excel.

Динамика показателей рынка при разных вариантах значений параметров $\lambda_1 = \lambda_3$

Динамика показателей рынка при трех вариантах равных значений параметров λ_1 и λ_3 ($\lambda_1 = \lambda_3 = 0,3, 0,753, 0,9$) приведена на рис. 5–8. Равновесные значения этих параметров, рассчитанные по формулам (15), а также значения NPV в первой компании за 60-летний период и значения коэффициентов обратной функции спроса приведены в табл. 3.

Ускорение процессов разработки и производства оборудования, т. е. уменьшение значений $\lambda_1 = \lambda_3$, приводит к более быстрому, по сравнению с предыдущим случаем, снижению объемов производства первой компании Q_{1t} (рис. 5). При этом наблюдается повышение цены относительно других рассмотренных вариантов (рис. 8), что, как и в предыдущем случае, связано с изменением параметров обратной функции спроса при изменении λ_1 и λ_3 (табл. 3).

Таблица 3

$\lambda_1 = \lambda_3$	0,300	0,753 (базовый вариант)	0,900
$\varphi_1 = \varphi_3$	115,610	14,338	2,359
$I_{1\infty}$	0,513	0,510	0,506
$Q_{1\infty}$	120,946	120,361	119,337
$Q_{2\infty}$	286,314	284,929	282,507
$Q_{3\infty}$	253,323	252,097	249,954
p^∞	0,309	0,283	0,250
$NPV_{1\text{ tot}}$	569,855	583,124	585,398
a	0,4882	0,4766	0,4614
b	0,0007	0,0008	0,0009
ρ_1	29,1300	15,3359	3,1504

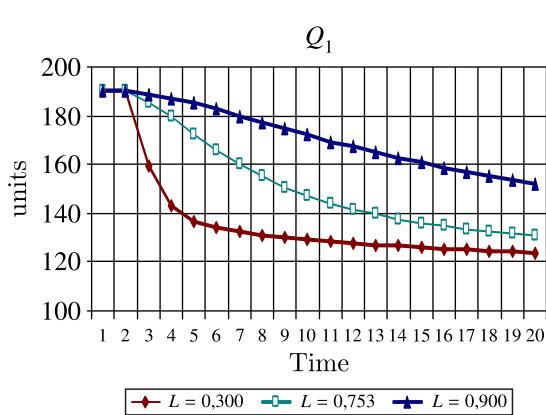


Рис. 5. Динамика объемов производства в первой компании Q_{1t} при разных значениях $\lambda_1 = \lambda_3 = L$

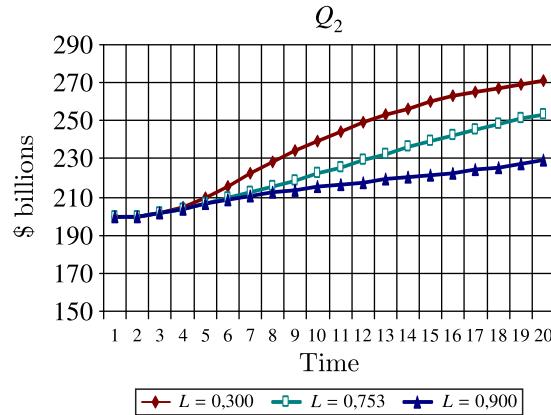


Рис. 6. Динамика объемов производства во второй компании Q_{2t} при разных значениях $\lambda_1 = \lambda_3 = L$

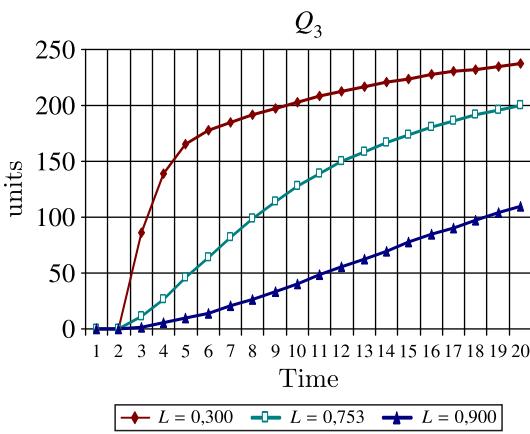


Рис. 7. Динамика объемов производства в третьей, импортозамещающей, компании Q_{3t} при разных значениях $\lambda_1 = \lambda_3 = L$

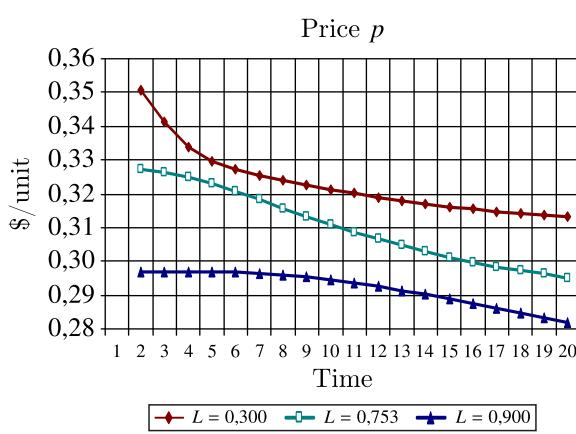


Рис. 8. Цены на оборудование p_t при разных значениях $\lambda_1 = \lambda_3 = L$

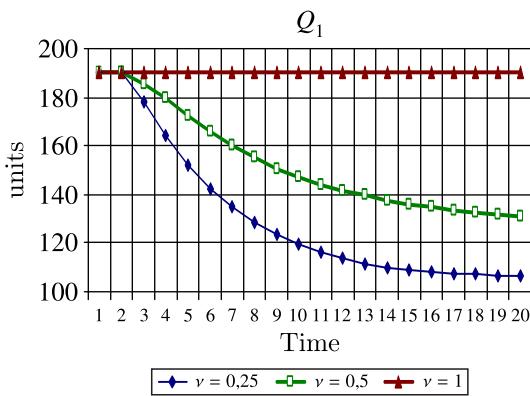
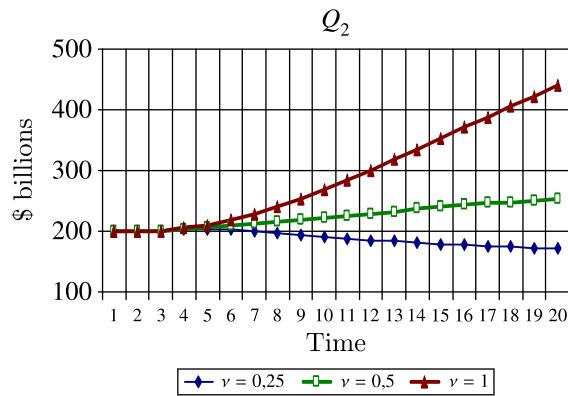
3.2. Влияние доли оборудования импортозамещающей компании v , поставляемого в компанию – производитель ВП, на показатели рынка

Показатель v также может оказывать значительное влияние на показатели рынка. В настоящей работе рассматривалось три варианта изменения этого показателя. Динамика показателей рынка при трех вариантах равных значений параметров ($v = 0,25, 0,5, 1,0$) приведена на рис. 9–12. Равновесные значения этих показателей, рассчитанные по формулам (15), а также значения NPV в первой компании за 60-летний период и значения коэффициентов обратной функции спроса приведены в табл. 4. Необходимо отметить, что при приближении v к единице положительная обратная связь (7) в рассматриваемой линейной модели приводит к неустойчивости. Об этом свидетельствует отрицательное значение знаменателя передаточной функции $W_{13}(z)$ при $z = 1$, т. е. имеет место несоблюдение одного из условий устойчивости, состоящего в выполнении в исследуемой модели неравенства $W_{13}(1) > 0$ [Jury, 1964] (табл. 4).

Увеличение доли оборудования импортозамещающей компании v , потребляемой второй компанией, до 1 приводит к взрывному росту объемов производства Q_{3t} , Q_{2t} , стабилизации Q_{1t} и к росту цены p_t . Последнее связано с тем, что при $v = 1$ отсутствует конкуренция между первой и третьей компаниями на внешнем рынке (рис. 9–12).

Таблица 4

v	0,25	0,50 (базовый вариант)	1,00
$I_{1\infty}$	0,463	0,510	0,805
$Q_{1\infty}$	109,131	120,361	190,000
$Q_{2\infty}$	169,559	284,929	-9517,608, неустойчивость
$Q_{3\infty}$	150,021	252,097	-8420,915, неустойчивость
$p\infty$	0,257	0,283	0,424, неустойчивость
$NPV_{1\text{ tot}}$	409,715	583,1242	1205,454, неустойчивость
a	0,4557	0,4766	0,5247
b	0,0009	0,0008	0,0005
$W_{13}(1)$	1,0231	2,0945	-44,3206, неустойчивость
ρ_1	1,8550	15,3359	67,7285

Рис. 9. Динамика объемов производства в первой компании Q_{1t} при разных значениях v Рис. 10. Динамика объемов производства во второй компании Q_{2t} при разных значениях v

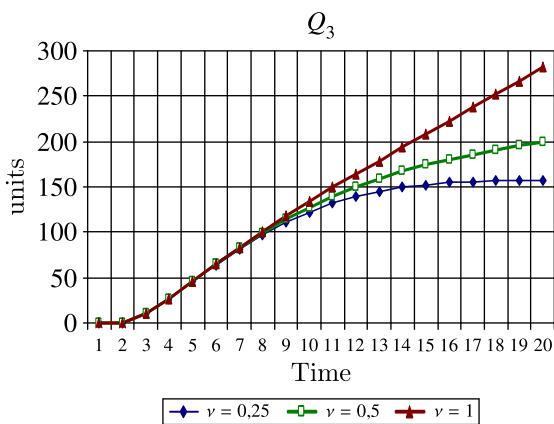


Рис. 11. Динамика объемов производства в третьей, импортозамещающей, компании Q_{3t} при разных значениях ν

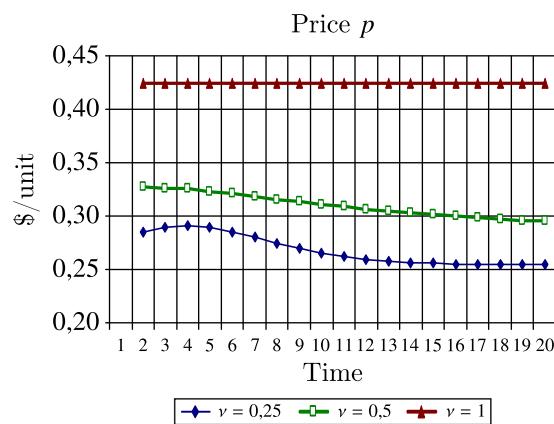


Рис. 12. Цены на оборудование p_t при разных значениях v

4. Исследование влияния санкций и блокирования импортозамещения оборудования на динамику показателей рынка

Исторический опыт показывает, что ведущие технологические государства и компании могут прибегать к разного рода санкциям и другим нерыночным действиям, чтобы затруднить или даже блокировать импортозамещение. Основываясь на методах теории управления и динамических игр, при моделировании динамики показателей рынков можно отразить и эти нерыночные действия [Варшавский, 2021].

4.1. Введение общих санкций на поставку оборудования

Один из подходов к моделированию введения санкций состоит в учете изменения во времени коэффициента при затратах регулирования ρ_1 в критерии первого производителя (1), так как увеличение этого коэффициента приводит к уменьшению объемов инвестирования и производства оборудования первой компании (см. формулы (14), (15)). На рис. 13–16 представлены результаты расчетов показателей рассматриваемого рынка при увеличении коэффициента ρ_1 в 5 и 10 раз относительно базового варианта, начиная с 7-го года (остальные коэффициенты здесь и далее соответствуют базовому варианту, см. табл. 1). Предполагалось, что первая компания осуществляет инвестиции в соответствии со скользящим планированием: до 7-го года включительно — со значением ρ_1 в базовом варианте, а после 7-го года — с измененными значениями этого коэффициента (при этом $\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1} = 5; 10$). Равновесные значения этих показателей, рассчитанные по формулам (15), а также значения NPV в первой компании за 60-летний период при разных значениях $\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1}$ приведены в табл. 5.

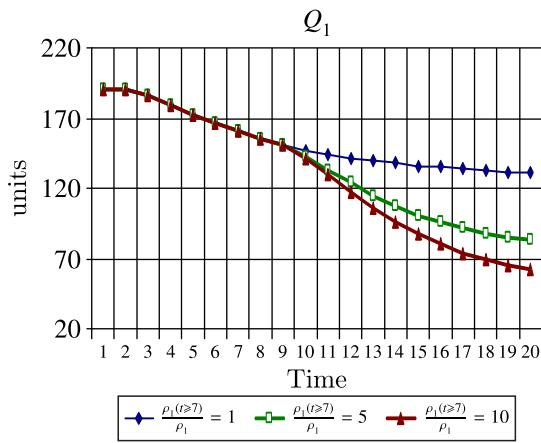
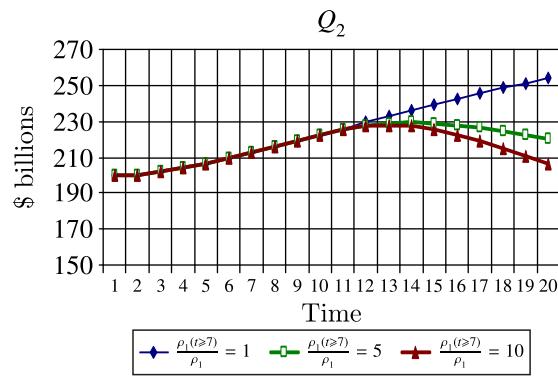
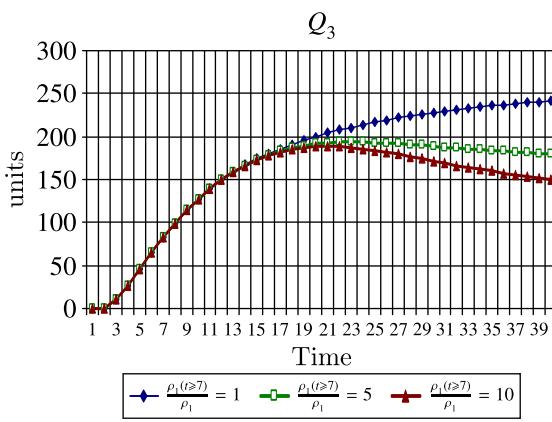
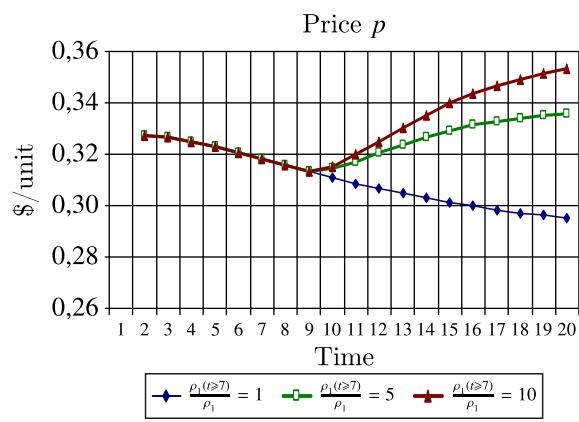
В связи с инерционностью процессов производства оборудования в рассматриваемом примере существенное изменение объемов производства происходит со значительным лагом. Особенно это характерно для третьей компании, в которой заметное отклонение от базового варианта начинается после 20 лет (рис. 15).

4.2. Введение санкций на поставку прогрессивного оборудования

В ряде случаев санкции могут быть наложены лишь на поставку отдельных видов оборудования (в частности, наиболее прогрессивного, как это, например, сейчас практикуется в такой подотрасли микроэлектроники, как производство ИС). В этом случае возможно существенное

Таблица 5

$\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1}$	1,0 (базовый вариант)	5,0	10,0	100,0
$I_{1\infty}$	0,510	0,342	0,242	0,039
$Q_{1\infty}$	120,361	80,618	57,065	9,118
$Q_{2\infty}$	284,929	190,847	135,090	21,584
$Q_{3\infty}$	252,097	168,856	119,524	19,097
p^∞	0,283	0,347	0,385	0,462
NPV _{1 tot}	583,12419	541,571	506,531	424,828

Рис. 13. Динамика объемов производства в первой компании Q_{1t} при разных значениях $\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1}$ Рис. 14. Динамика объемов производства во второй компании Q_{2t} при разных значениях $\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1}$ Рис. 15. Динамика объемов производства в третьей, импортозамещающей, компании Q_{3t} при разных значениях $\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1}$ Рис. 16. Цены на оборудование p_t при разных значениях $\frac{\rho_1(t \geq 7)}{\rho_1}$

снижение доходов второй компании. Этот вид санкций может быть отражен путем уменьшения числителя передаточной функции второго производителя в ρ_φ раз, т. е. путем перехода от (5)

к следующему выражению:

$$Q_{2t} = W_2(z) \left(\frac{1}{\rho_\varphi} Q_{1t} + v Q_{3t} \right). \quad (19)$$

В этом случае в формулах (15) следует заменить b на $b\rho_\varphi$, $W_{13}(z)$ — на $\frac{1}{\rho_\varphi} W_{13}(z)$, а $Q_{2\infty}$ — на $Q_{2\infty} = W_2(1) \left(\frac{1}{\rho_\varphi} Q_{1\infty} + v Q_{3\infty} \right)$.

Равновесные значения этих показателей, рассчитанные по формулам (15), а также значения NPV в первой компании за 60-летний период при разных значениях ρ_φ приведены в табл. 6. На рис. 17–20 представлены результаты расчетов показателей рассматриваемого рынка при значениях коэффициента ρ_φ , равных 1,25 и 1,5, действующих начиная с 7-го года. Остальные параметры соответствуют принятому базовому варианту. Введение выборочных санкций приводит к уменьшению относительно базового варианта объемов производства и доходов всех компаний. Происходит также существенное изменение цены (рис. 20).

Таблица 6

ρ_φ	1,00 (базовый вариант)	1,25	1,50
$I_{1\infty}$	0,510	0,452	0,406
$Q_{1\infty}$	120,361	106,744	95,896
$Q_{2\infty}$	284,929	202,156	151,343
$Q_{3\infty}$	252,097	178,862	133,904
$P_{1\infty}$	0,283	0,284	0,285
NPV _{1 tot}	583,124	512,034	459,533
$W_{13}(1)$	2,0945	1,6756	1,3963

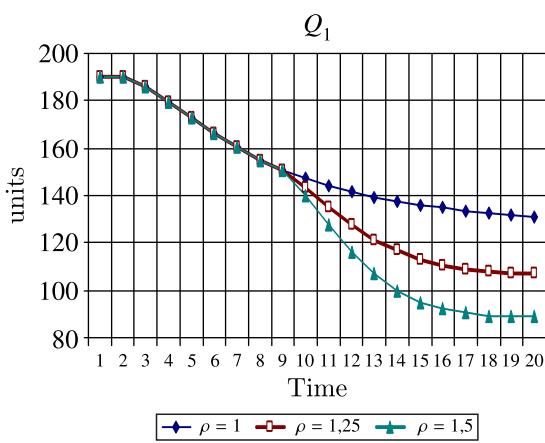


Рис. 17. Динамика объемов производства в первой компании Q_{1t} при разных значениях ρ_φ

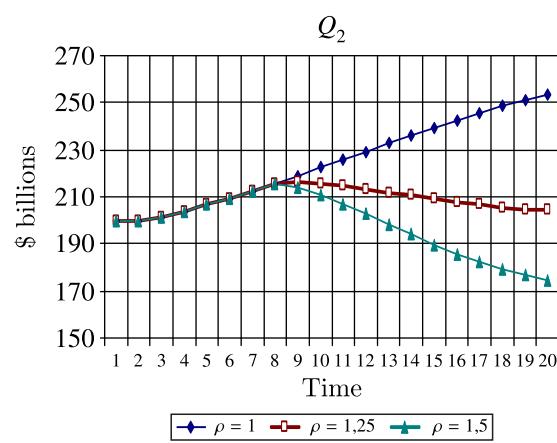


Рис. 18. Динамика объемов производства во второй компании Q_{2t} при разных значениях ρ_φ

4.3. Вмешательство в процесс импортозамещения

Если ε_t — блокирующее действие первой компании — производителя оборудования, направленное на нейтрализацию инвестиций второй компании в развитие импортозамещения, то объем

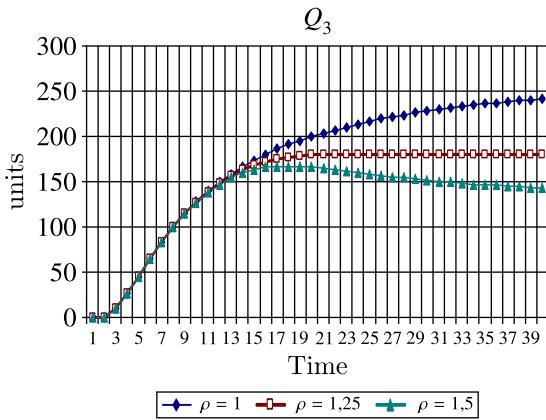


Рис. 19. Динамика объемов производства в третьей, импортозамещающей, компании Q_{3t} при разных значениях ρ_φ

производства Q_{3t} будет составлять

$$Q_{3t} = W_3(z)m_2\gamma_2Q_{2t} = W_3(z)[m_2\gamma_2W_2(z)(Q_{1t} + vQ_{3t}) + \varepsilon_t], \quad (20)$$

откуда следует, что

$$Q_{3t} = W_{13}(z)Q_{1t} + W_\varepsilon(z)\varepsilon_t, \quad (21)$$

где

$$W_\varepsilon(z) = \frac{W_3(z)}{1 - vm_2\gamma_2W_2(z)W_3(z)}. \quad (22)$$

Тогда если критерий оптимальности первой компании составляет

$$J_1 = \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \left[(P_{1t} - PL_1)Q_{1t} - \frac{1}{2}\rho_1 I_{1t}^2 - \frac{1}{2}\rho_\varepsilon \varepsilon_t^2 \right] \rightarrow \max_{I_{1t}, \varepsilon_t}, \quad (23)$$

то, по аналогии с [Варшавский, 2021], можно показать, что оптимальное для первой компании блокирующее действие ε_t связано с Q_{1t} следующим соотношением:

$$\varepsilon_t = -\frac{b(1-v)W_\varepsilon(z)Q_{1t}}{\rho_\varepsilon}. \quad (24)$$

В этом случае оптимальные объемы производства Q_{it} , $i = 1, 3$, составят

$$Q_{1t} = \frac{W_1(z)W_1((\beta z)^{-1})(a - PL_1)}{\rho_1 + b\left\{2 - \frac{b(1-v)^2}{\rho_\varepsilon} + (1-v)\left[W_{13}(z) + W_{13}((\beta z)^{-1})\right]\right\}W_1(z)W_1((\beta z)^{-1})}, \quad (25)$$

$$Q_{3t} = \left[W_{13}(z) - \frac{b(1-v)W_\varepsilon(z)}{\rho_\varepsilon}\right]Q_{1t} \quad (26)$$

(при этом знаменатель в (25) должен представлять собой положительный оператор).

Равновесные (установившиеся) уровни производства участников рынка, как и в (15), вычисляются путем замены z в (25) и в (26) на 1 (при этом расчет $Q_{3\infty}$ по формуле (26) справедлив лишь при устойчивости $W_{13}(z)$, в частности при $W_{13}(1) > 0$).

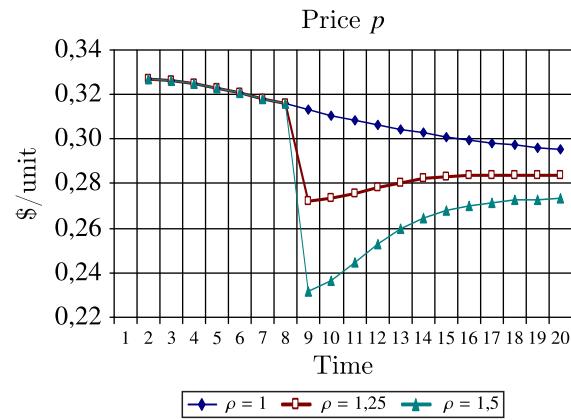
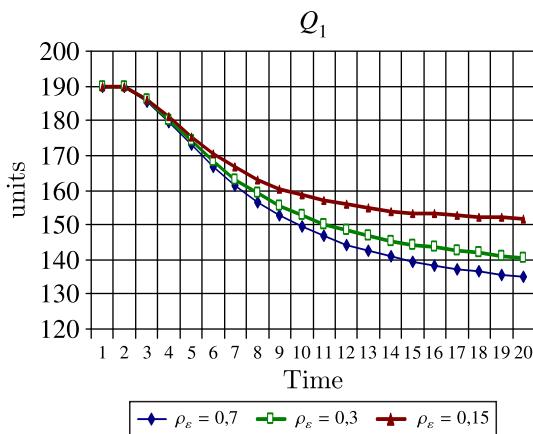
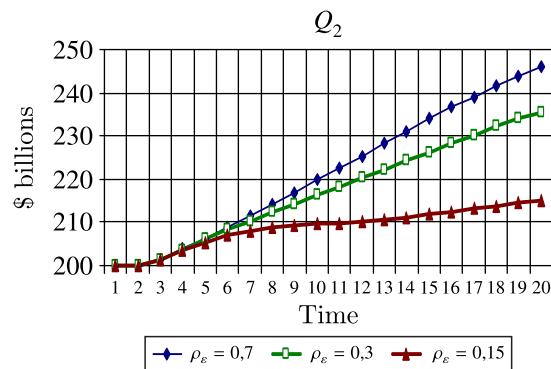
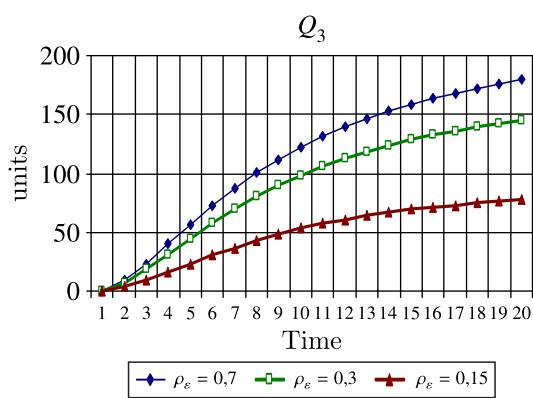
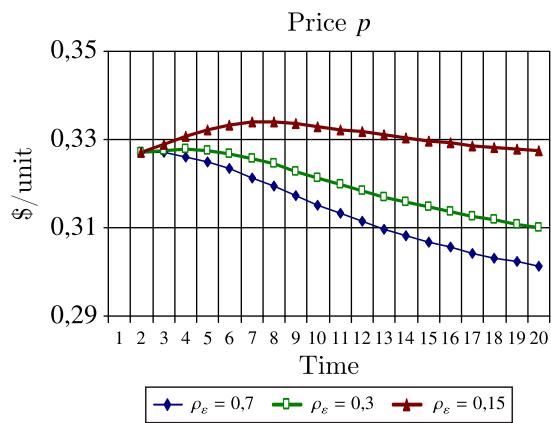


Рис. 20. Цены на оборудование p_t при разных значениях ρ_φ

Таблица 7

ρ_ε	0,700	0,300	0,150
$I_{1\infty}$	0,530	0,560	0,621
$Q_{1\infty}$	125,130	132,111	146,404
$Q_{2\infty}$	274,601	259,487	228,540
$Q_{3\infty}$	224,695	184,591	102,479
$p_{1\infty}$	0,290	0,300	0,321
$\varepsilon\infty$	1,110	2,734	6,060
NPV _{1 tot}	606,631	641,30687	713,192
MS _{3\infty}	0,642	0,583	0,412

Рис. 21. Динамика объемов производства в первой компании Q_{1t} при разных значениях ρ_ε Рис. 22. Динамика объемов производства во второй компании Q_{2t} при разных значениях ρ_ε Рис. 23. Динамика объемов производства в третьей, импортозамещающей, компании Q_{3t} при разных значениях ρ_ε Рис. 24. Цены на оборудование p_t при разных значениях ρ_ε

В табл. 7 приведены равновесные значения показателей рынка, рассчитанные по формулам (25), (26), а также значения NPV в первой компании за 60-летний период и коэффициентов обратной функции спроса при разных значениях блокировочного коэффициента ρ_ε (0,15; 0,3; 0,7). Динамика показателей рынка при разных значениях этого коэффициента представлена на рис. 21–24. Усиление блокировки инвестиций в третью компанию (это отражается в мо-

дели путем уменьшения коэффициента ρ_ε) может существенно понизить или даже свести на нет возможности импортозамещения (рис. 23). При этом достигается сравнительно небольшой выигрыш в объемах производства и NPV первой, блокирующей, компании относительно базового варианта, а также некоторое увеличение цены (рис. 21, 24). Вместе с тем в варианте наиболее интенсивных действий по блокированию инвестиций в развитие импортозамещения ($\rho_\varepsilon = 0,15$) первой компании удается снизить равновесную рыночную долю третьей компании с 0,642 до 0,412.

5. Заключение

Рассмотренный в статье подход к моделированию позволяет исследовать влияние скорости и масштабов импортозамещения, санкций на поставки оборудования, а также блокирования инвестиций в импортозамещение на динамику показателей условного рынка высокотехнологичной продукции.

Одно из важных достоинств этого подхода состоит в возможности проведения качественного анализа поведения рынков, основанного на использовании достаточно простых методов операционного исчисления (z-преобразования), до выполнения детальных расчетов.

Список литературы (References)

- Варшавский Л. Е. Использование методов теории управления для формирования рыночных структур // Компьютерные исследования и моделирование. — 2014. — Т. 6, № 5. — С. 839–859. Varshavsky L. E. Ispol'zovanie metodov teorii upravlenija dlja formirovaniya rynochnyh struktur [Control theory methods for creating market structures] // Computer Research and Modeling. — 2014. — Vol. 6, No. 5. — P. 839–859 (in Russian).*
- Варшавский Л. Е. Исследование динамики структуры олигополистических рынков при нерыночных противодействиях сторон // Компьютерные исследования и моделирование. — 2021. — Т. 13, № 1. — С. 219–233. Varshavsky L. E. Issledovanie dinamiki struktury oligopolisticheskikh rynkov pri nerynochnykh protivodeistviyakh storon [Study of the dynamics of the structure of oligopolistic markets with non-market opposition parties] // Computer Research and Modeling. — 2021. — Vol. 13, No. 1. — P. 219–233 (in Russian).*
- Варшавский Л. Е. Моделирование взаимосвязанного развития смежных производств // Концепции. — 2023. — № 1 (42). — С. 35–44. Varshavsky L. E. Modelirovanie vzaimosvyazannogo razvitiya smezhnykh proizvodstv [Modeling interconnected development of related industries] // Concepции [Concepts]. — 2023. — No. 1 (42). — P. 35–44 (in Russian).*
- Варшавский Л. Е. Социально-экономические проблемы развития информационно-коммуникационных технологий (ИКТ): монография. — М.: ЦЭМИ РАН, 2022. — 160 с. Varshavsky L. E. Sotsial'no-ekonomicheskie problemy razvitiya informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy (IKT) [Socio-economic problems of the development of information and communication technologies (ICT)]: monografiya. — Moscow: CEMI RAS, 2022. — 160 p. (in Russian).*
- Crozet M., Hinz J., Stammann A., Wanner J. Worth the pain? Firms' exporting behaviour to countries under sanctions // European Economic Review. — 2021. — Vol. 134. — 103683.*
- Gutmann J., Neuenkirch M., Neumeier F. The economic effects of international sanctions: an event study // ILE Working Paper Series, No. 49. — Hamburg: University of Hamburg, Institute of Law and Economics (ILE), 2021.*
- Jury E. I. Theory and applications of the z-transform method. — NY: John Wiley, 1964.*
- Mashkova A. L. Dynamics of investments in Russia under the conditions of sanction restrictions: Forecast based on an agent-based model // Business Informatics. — 2023. — Vol. 17, No. 1. — P. 18–36.*
- Shirvani A., Volchenkov D. A regulated market under sanctions. On tail dependence between oil, gold, and Tehran stock exchange index // arXiv. — 2019. — arXiv:1911.01826v1 [q-fin.ST]*