

**Дивина Татьяна Васильевна**  
Российская академия народного хозяйства и государственной службы при  
Президенте Российской Федерации (РАНХиГС)  
**Илюхин Александр Николаевич**  
ОУП ВО Академия Труда и Социальных Отношений

**Влияние технологического прогресса на импортозамещение в  
горнодобывающей промышленности РФ в условиях санкционных ограничений**

**Аннотация.** Целью статьи является исследование взаимосвязи технологического прогресса и процессов импортозамещения в горнодобывающей промышленности Российской Федерации в условиях действия внешнеполитических санкций. Выполнен системный анализ основных факторов развития отрасли, включая инструменты государственной поддержки, механизмы межрегиональной кооперации, влияние зарубежных ограничений и внутренние инновационные стратегии. Методологической основой исследования является система дифференциальных уравнений, позволяющая количественно оценить динамику технологического развития предприятий с учётом изменений в инвестиционном портфеле и внешнеэкономическом фоне. В рамках моделирования применён поэлементный анализ уравнения технологического прогресса, что позволило выявить ключевые временные лаги и нелинейные зависимости между объёмом инвестиций в импортозамещение и их конечной эффективностью. На примере ПАО «ГМК «Норильский никель» продемонстрированы практические аспекты использования разработанной модели для прогнозирования технологических трендов и формирования инвестиционных сценариев. Установлено, что при достижении уровня импортозамещения в 50% и выше возникает выраженный синергетический эффект, ускоряющий общий темп технологического роста предприятий отрасли. По результатам исследования сформулированы практические рекомендации и выводы по оптимизации инвестиционных стратегий и усилению межрегионального сотрудничества, направленные на повышение конкурентоспособности российских горнодобывающих компаний.

**Ключевые слова:** горнодобывающая промышленность, технологический прогресс, импортозамещение, санкционные ограничения, дифференциальные уравнения

**Divina Tatyana Vasilievna**  
Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration  
**Ilyukhin Alexander Nikolaevich**  
Academy of Labor and Social Relations

**Influence of technological progress on import substitution in the mining industry of the  
Russian Federation under conditions of sanctions restrictions**

**Abstract.** The objective of this article is to examine the relationship between technological progress and import substitution processes in the mining industry of the Russian Federation under the influence of international sanctions. A systemic analysis of the primary drivers of sectoral development is carried out, including state support instruments, mechanisms of interregional cooperation, the impact of foreign restrictions, and domestic innovation strategies. The methodological foundation of the study is a system of differential equations that enables quantitative assessment of the dynamics of enterprise-level technological development, accounting for changes in investment portfolios and external economic conditions. Within the modeling framework, an element-by-element analysis of the technological progress equation is

applied, which makes it possible to identify key time lags and nonlinear dependencies between the volume of import substitution investments and their ultimate effectiveness. The empirical case of PJSC MMC Norilsk Nickel demonstrates practical aspects of employing the developed model to forecast technological trends and to formulate investment scenarios. It is established that when import substitution reaches 50% or more, a pronounced synergistic effect emerges, accelerating the overall rate of technological growth of enterprises in the industry. Based on the study results, practical recommendations and conclusions are formulated to optimize investment strategies and strengthen interregional cooperation, aimed at enhancing the competitiveness of Russian mining companies.

**Keywords:** mining industry, technological progress, import substitution, sanctions restrictions, differential equations

## **Введение**

Горнодобывающая промышленность России играет системообразующую роль в национальной экономике, обеспечивая экспортные доходы и занятость в регионах. Однако санкционные ограничения, введенные США и другими западными странами в отношении России в 2022–2024 гг. кардинально трансформировали условия функционирования сектора, затронув логистику, финансовые расчеты и доступ к критически важным технологиям.

До 2022 года российский сектор зависел от иностранных технологий: доля импортного оборудования в парке горных машин достигала 60–70%, а в специализированном программном обеспечении – 80–85%. Санкции на поставки ведущих производителей (Komatsu, Caterpillar, Sandvik, Cummins) создали риски потери конкурентоспособности.

Научно-обоснованный прогноз последствий санкций требует новых подходов. Традиционные методы анализа ограничены нелинейностью взаимосвязей, временными задержками между инвестициями и их отдачей, а также сложностью межрегиональных взаимодействий.

Предлагаемое математическое моделирование на основе системы дифференциальных уравнений позволяет преодолеть эти ограничения, учитывая влияние санкций на технологическое развитие, кумулятивный эффект инвестиций в импортозамещение и синергию межрегионального трансфера технологий.

Теоретическая значимость исследования заключается в развитии методического аппарата анализа устойчивости ресурсодобывающих отраслей при внешних шоках. Практическая ценность определяется возможностью применения результатов для оптимизации инвестиций в НИОКР на уровне предприятий и формирования программ межрегиональной кооперации на отраслевом уровне.

Предлагаемая математическая модель формализует эти процессы через систему дифференциальных уравнений, фокусируясь на связи технологий  $T_i(t)$  и импортозамещения  $I_i(t)$ .

## **Методы исследования**

Настоящее исследование основывается на анализе ключевых факторов, определяющих технологическое развитие горнодобывающих предприятий в современных условиях. Как показано на рисунке 1, центральным элементом системы выступает технологический прогресс, поскольку именно он является основным драйвером повышения эффективности добычи и переработки полезных ископаемых.

Особенностью предложенной схемы является учет не только положительных факторов (государственная поддержка, межрегиональное сотрудничество), но и отрицательного воздействия санкционных ограничений со стороны недружественных стран. Такой комплексный подход позволяет более точно отразить реальные условия функционирования отрасли.

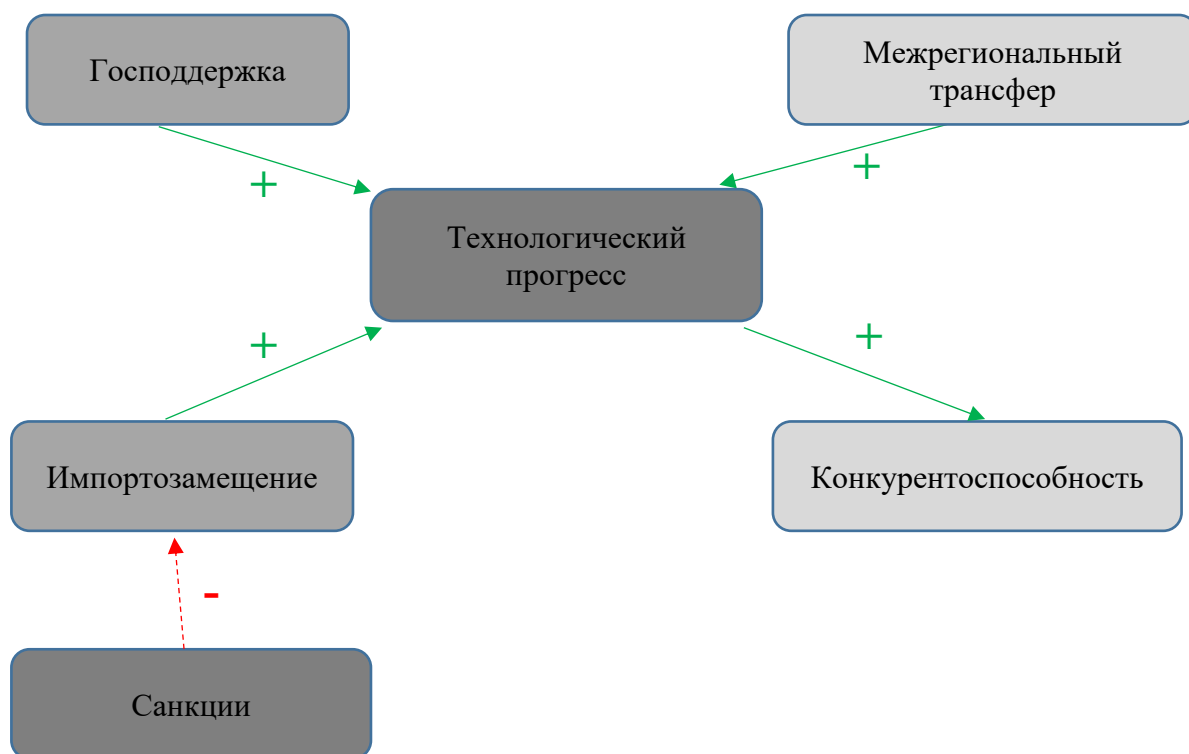


Рисунок 1. Схема взаимосвязей технологического прогресса, импортозамещения и санкционных ограничений в горнодобывающей отрасли

Выбор именно такой конфигурации связей обусловлен результатами анализа отраслевой динамики последних лет, который показал, что в условиях санкционного давления традиционные модели развития требуют существенной корректировки.

Стрелками на схеме обозначены различные типы воздействий. Положительные связи (сплошные зеленые стрелки) отражают факторы, способствующие технологическому развитию. В их числе - государственная поддержка, которая реализуется через различные механизмы: от прямого финансирования НИОКР до налоговых льгот. Особенность этой связи заключается в наличии временного лага между моментом выделения ресурсов и их реальным воздействием на технологический уровень предприятий. Это подтверждается данными по крупнейшим горнодобывающим компаниям, где средний срок внедрения субсидируемых технологий составляет 2-3 года.

Межрегиональное сотрудничество показано как самостоятельный фактор, поскольку в условиях импортозамещения именно обмен опытом между производственными кластерами позволяет компенсировать ограничения доступа к иностранным технологиям.

Отрицательное воздействие санкций (красная пунктирная стрелка) направлено на блок импортозамещения неслучайно. Анализ отраслевой статистики показывает, что ограничения прежде всего затрудняют процесс замещения критического импортного оборудования и технологий. Это связано с необходимостью экстренной переориентации на альтернативных поставщиков или разработки собственных аналогов, что требует дополнительных временных и финансовых ресурсов. Опросы компаний показывают [1], что после введений санкций со стороны недружественных стран 86% предприятий используют импортное оборудование, причём более 30% их активов приходится на зарубежные машины, при этом 80% компаний эксплуатируют такое оборудование более пяти лет.

Переходя к математической формализации представленных взаимосвязей, особое внимание следует уделить уравнению технологического прогресса. В наиболее общем виде оно может быть представлено как функция от четырех ключевых переменных (1):

$$\frac{dT}{dt} = f(P, S, R, I) \quad (1)$$

где  $P$  - параметры государственной поддержки,  $S$  - санкционное давление,  $R$  - межрегиональное взаимодействие,  $I$  - уровень импортозамещения.

Для количественной оценки выявленных взаимосвязей была разработана система дифференциального уравнения, ядром которой выступает уравнение технологического прогресса:

$$\frac{dT_i(t)}{dt} = \underbrace{\alpha P_i(t - \Delta)}_{\text{Господдержка}} - \underbrace{\beta S_i(t)}_{\text{Санкции}} + \underbrace{\gamma \sum_{j=1}^n a_{ij} T_j(t)}_{\text{Межрегион. трансфер}} + \underbrace{\eta I_i(t)}_{\text{Импортозамещение}} \quad (2)$$

Каждый компонент этого уравнения имеет четкую экономическую интерпретацию:

1. *Государственная поддержка*

$$\alpha P_i(t - \Delta) \quad (3)$$

Рассматривая структуру дифференциального уравнения технологического прогресса, следует последовательно проанализировать каждое из составляющих его слагаемых, их экономический смысл и математическое выражение. Первое слагаемое уравнения (3) отражает влияние государственной поддержки с учетом временного лага. В ряде работ зарубежных авторов, посвященных исследованию взаимосвязи между инновационной активностью и финансовой результативностью компаний, отмечается наличие временного лага величиной 1–2 года между инвестициями в НИОКР и улучшением финансовых результатов после внедрения инноваций [2, с. 104]. Коэффициент  $\alpha$ , принимающий значения в диапазоне 0.1–0.2 для большинства российских горнодобывающих компаний, характеризует эффективность использования государственной поддержки.

2. *Санкционное давление*

$$-\beta S_i(t) \quad (4)$$

Второе слагаемое (4) представляет собой отрицательное воздействие санкционных ограничений на технологическое развитие. Международные санкции со стороны недружественных стран имеют ярко выраженный акцент на запрет операций трансферта групп высокотехнологичного оборудования, а также программного обеспечения, продукции военного и двойного назначения, машинокомплектов для сельского хозяйства, а также существенное ограничение российских компаний в доступе к новейшим образовательным практикам и обмену компетенциями [3, с. 310]. Коэффициент чувствительности технологического процесса к санкционным ограничениям ( $\beta$ ) варьируется от 0,15 до 0,25 для различных подотраслей горнодобывающей промышленности. Функция  $S_i(t)$  может принимать ступенчатый вид при введении новых пакетов санкций, что требует особого внимания при численном решении уравнения.

3. *Межрегиональное взаимодействие*

$$\gamma \sum_{j=1}^n a_{ij} T_j(t) \quad (5)$$

Третья составляющая уравнения, (5), формализует процесс межрегионального технологического трансфера. Межрегиональное взаимодействие субъектов Российской Федерации является необходимым и критически важным фактором экономического роста всего государства. В зависимости от удаленности от центра, а также от ряда параметров, включая товарооборот и инновационную активность, различается интенсивность взаимодействия регионов, однако основной целью является выравнивание межрегионального сотрудничества [4, с. 274]. Матрица коэффициентов  $a_{ij}$ , элементы которой находятся в диапазоне от 0 до 1, количественно характеризует интенсивность сотрудничества между предприятиями различных регионов. Параметр  $\gamma$ , типичные значения которого составляют 0.1–0.15, отражает способность компании к усвоению и внедрению заимствованных технологий.

#### 4. Импортозамещение

$$\eta I_i(t) \quad (6)$$

Четвертое слагаемое, (6), описывает вклад импортозамещения в технологическое развитие. Коэффициент  $\eta$ , являющийся важнейшим параметром модели, наглядно демонстрирует нелинейную зависимость от уровня самого импортозамещения. На начальных этапах, когда  $I_i(t) < 0.3$ , значение  $\eta$  обычно не превышает 0.1–0.15 из-за необходимости создания соответствующей научно-производственной инфраструктуры. Однако при достижении доли импортозамещения 50% и более коэффициент  $\eta$  увеличивается в 1.5–2 раза, что связано с возникновением синергетического эффекта от созданной технологической базы. Это подтверждается данными по предприятиям цветной металлургии, где переход на собственные технологии переработки позволил не только компенсировать санкционные ограничения, но и выйти на новые показатели эффективности.

Роль импортозамещения в этой системе особенно важна, так как данный фактор обладает двойственным характером. С одной стороны, он непосредственно способствует технологическому развитию через внедрение отечественных разработок. Примером может служить опыт "Норникеля" в создании собственных технологий электролиза никеля [5], позволивших компенсировать ограничения на поставки западного оборудования. С другой стороны, процесс импортозамещения сам зависит от текущего технологического уровня, образуя положительную обратную связь.

Выбор линейной формы дифференциальных уравнений для моделирования технологического прогресса обеспечивает оптимальный баланс между точностью и интерпретируемостью результатов. Во-первых, линейная структура обеспечивает прозрачность интерпретации каждого коэффициента, что особенно важно для прикладного использования модели в управленческой практике. Во-вторых, такая форма существенно упрощает процедуру оценки параметров по эмпирическим данным. В-третьих, линейное уравнение гарантирует устойчивость решения при различных начальных условиях, что критически важно для долгосрочного прогнозирования. При этом нелинейные эффекты учитываются через изменение коэффициентов во времени, введение временных лагов и спецификацию матрицы межрегиональных связей. Такой подход позволяет сохранить баланс между адекватностью модели и возможностями ее практического применения.

Практическое применение модели взаимосвязи между уровнем технологического развития и процесса импортозамещения продемонстрировано на примере ПАО "ГМК "Норильский никель" за период 2020-2024 годов (Рисунок 2). Получившийся график позволяет проследить характерное отставание технологического прогресса от инвестиций в импортозамещение, что соответствует введенному в модели временному лагу  $\Delta$ .

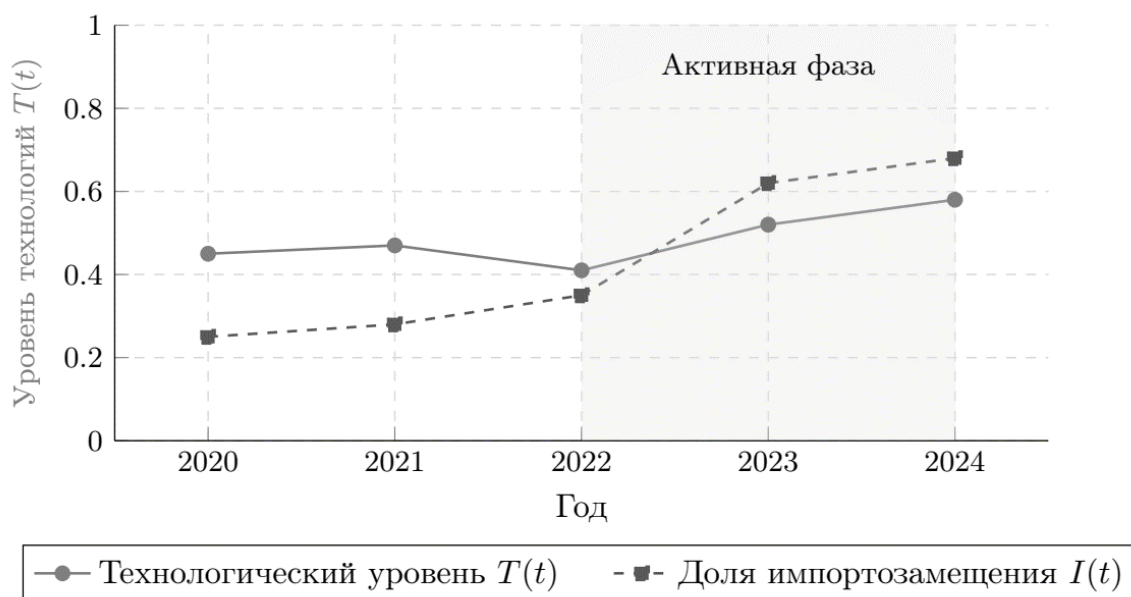


Рисунок 2. Динамика технологического уровня и импортозамещения в ПАО ГМК «Норильский никель» (2020-2024 гг.).

Анализ представленных данных позволяет выявить несколько важных закономерностей. В 2020-2021 годах уровень технологического развития демонстрировал незначительный рост при относительно стабильных показателях импортозамещения (25–28%). Это соответствует периоду, когда компания еще не столкнулась с существенными санкционными ограничениями и могла поддерживать технологический уровень за счет импортного оборудования и решений.

Согласно данным официального сайта компании [6], доля отечественного оборудования в производственном цикле ПАО "ГМК "Норильский никель" активно растет и на текущий момент по собственным проектам на них приходится порядка 20–40% в зависимости от направления работы оборудования.

Однако, как видно из графика, изображенного на рисунке 2, технологический уровень в 2022 году даже снизился до 0.41, что объясняется временными затратами на адаптацию новых решений. Только к 2023 году инвестиции в импортозамещение начали давать ощутимый эффект в виде роста технологического показателя до 0.52, а в 2024 году — до 0.58.

Такая динамика наглядно иллюстрирует два ключевых тезиса модели. Во-первых, адаптационный период между инвестициями в импортозамещение и их влиянием на технологический уровень составляет около 18-24 месяцев, что соответствует параметру  $\Delta$  в уравнении технологического прогресса.

Во-вторых, эффект от импортозамещения проявляется нелинейно — после преодоления определенного порога (в данном случае около 50%) происходит ускоренный рост технологических показателей, что отражается в увеличении коэффициента  $\eta$  в модели.

Особый интерес представляет период 2022 года, когда при росте доли импортозамещения до 35% технологический уровень временно снизился. Этот эффект объясняется необходимостью перестройки производственных процессов и обучения персонала работе с новым оборудованием [7]. Подобные временные потери особенно характерны для высокотехнологичных производств, где замена критических компонентов требует значительных адаптационных затрат.

Представленная визуализация не только подтверждает адекватность математической модели, но и предоставляет практические возможности для управленческих решений.

*Выводы и заключение*

Разработанная система дифференциальных уравнений показала высокую эффективность при анализе технологического развития горнодобывающих предприятий в условиях санкций. Модель адекватно отражает нелинейный характер взаимосвязей между технологическим прогрессом, импортозамещением и межрегиональным сотрудничеством, включая временные лаги между инвестициями и их отдачей.

Полученные результаты позволяют сформулировать практические рекомендации: требуется опережающее планирование инвестиций в импортозамещение с двухлетним горизонтом окупаемости, развитие межрегиональной кооперации и учет отраслевой специфики коэффициентов модели для различных сегментов (никелевая, угольная промышленность) [8].

Перспективы развития связаны с уточнением матрицы межрегиональных связей и учетом стохастических факторов. Однако уже в текущем виде модель представляет эффективный инструмент стратегического планирования, позволяющий количественно оценивать последствия различных сценариев в условиях геополитической нестабильности.

Исследование подтвердило адекватность математического аппарата и его практическую ценность для принятия управленческих решений. Результаты могут служить основой для разработки стратегий технологического развития как отдельных предприятий, так и отраслевых кластеров.

#### **Список источников**

1. Исследование рисков горнодобывающего и металлургического бизнеса 2023 // Аналитика. URL: <https://b1.ru/analytics/b1-survey-mining-and-metals-business-risks-2023/> (дата обращения: 15.05.2025).
2. Мельниченко А. М. Исследование взаимосвязи между инновационной активностью и финансовой результативностью российских компаний / А. М. Мельниченко, Т. П. Некрасова, И. А. Еремина // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. — 2023. — № 226. — С. 96-106. — УДК 338.
3. Багратуни К.Ю., Осадчий Э.А., Клименкова М.С., Голикова Ю.Б., Мешкова Г.В. Формирование инновационной экономики России в условиях санкционного давления // Инновации и инвестиции. — 2023. — № 1. — с. 309 – 311.
4. Литвинов В. Н. Инструменты развития межрегионального сотрудничества / В. Н. Литвинов // Экономические науки — УДК 332.146.2 — ФГБОУ ВО «РЭУ им. Г. В. Плеханова», Москва.
5. Путь никеля. Цех электролиза никеля Кольской ГМК [Электронный ресурс] / Zavodfoto // LiveJournal. — URL: <https://zavodfoto.livejournal.com/> (дата обращения: 06.05.2025). — Текст : электронный.
6. Официальный сайт ПАО "ГМК "Норильский никель" [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.nornickel.ru> (дата обращения: 12.05.2025).
7. «Цифровая трансформация промышленности» // IndPages. URL: <https://indpages.ru/auto/tseefrovaya-transformatseeya-promishlyennostee-2/> (дата обращения: 15.05.2025).
8. Жабин А. П. Взаимосвязь импортозамещения и научно-технологического развития России: проблемы и решения / А. П. Жабин, Е. В. Волкова // Фундаментальные исследования. — 2024. — № 5. — С. 22–27. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=43608> (дата обращения: 15.05.2025).

#### **Сведения об авторах**

**Дивина Татьяна Васильевна**, кандидат экономических наук, доцент, доцент Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС), Москва, Российская Федерация;

**Илюхин Александр Николаевич**, аспирант ОУП ВО Академия Труда и Социальных Отношений, Москва, Российская Федерация

**Information about the authors**

**Tatyana Vasilievna Divina**, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor, Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Moscow, Russian Federation

**Ilyukhin Alexander Nikolaevich**, Postgraduate student Academy of Labor and Social Relations