УДК 338.45:669
DOI: 10.24412/2312-6647-2025-244-167-189

МИКРОЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА И ДИНАМИКИ СОВОКУПНОЙ ФАКТОРНОЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ В ПАО «НЛМК»: ОЦЕНКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КОББА – ДУГЛАСА (2011–2021) И ПРОГНОЗ НА 2025 г.

Наварро Олег Евгеньевич

Производственная компания «Стальпрокат»,
Люберцы, Россия,
oleg_navarro@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-8145-1998

Аннотация. Статья посвящена микроэкономическому анализу производственной деятельности ПАО «НЛМК» за период 2011–2021 гг. с применением производственной функции Кобба – Дугласа для оценки вклада труда и капитала в объем выпуска продукции. Цель исследования заключается в изучении эффективности использования ресурсов, анализе динамики совокупной факторной производительности и разработке рекомендаций по оптимизации производственных процессов с прогнозом на 2025 г. Методология исследования базируется на регрессионном анализе с использованием метода наименьших квадратов, примененного к данным годовых отчетов компании, что позволяет количественно оценить влияние факторов производства на выпуск и выявить ключевые тенденции в использовании ресурсов.

Результаты анализа подтверждают капиталоемкий характер производства ПАО «НЛМК», демонстрируя постоянную отдачу от масштаба и положительную динамику TFP за период 2011–2021 гг. Однако выявлен дисбаланс в использовании ресурсов: предельная отдача от капитала существенно превышает отдачу от труда, что указывает на переинвестирование в капитальные активы относительно оптимального уровня использования трудовых ресурсов. С учетом этих данных прогноз на 2025 г. предполагает различные возможные пути развития, основанные на текущих макроэкономических тенденциях и внешних факторах. Базовый сценарий предполагает умеренный рост, пессимистичный сценарий предупреждает о возможных негативных последствиях усиления санкций и снижения спроса, а оптимистичный сценарий отражает перспективы значительного роста при благоприятных экономических условиях.

Научная новизна исследования заключается в комплексном анализе динамики совокупной факторной производительности и выявлении асимметрии предельной производительности факторов производства в контексте российской металлургической компании за период 2011–2021 гг. Это позволяет сформулировать специфические рекомендации по оптимизации, интегрирующие цифровизацию и экологические аспекты для повышения конкурентоспособности. Ограничения используемой модели, связанные с упрощением производственного процесса и предположением о единичной эластичности замещения, требуют регулярного обновления параметров и учета

© Наварро О. Е., 2025

экзогенных факторов, таких как изменения в экономической конъюнктуре и технологические инновации. Исследование подчеркивает важность достижения баланса между капиталовложениями и развитием человеческого капитала для обеспечения устойчивого роста компании в условиях глобальной конкуренции.

Ключевые слова: микроэкономический анализ, производственная функция Кобба – Дугласа, факторы производства, совокупная факторная производительность, эффективность ресурсов.

UDC 338.45:669
DOI: 10.24412/2312-6647-2025-244-167-189

MICROECONOMIC ANALYSIS OF PRODUCTION FACTORS AND TOTAL FACTOR PRODUCTIVITY DYNAMICS AT NLMK: ASSESSMENT BASED ON THE COBB – DOUGLAS MODEL (2011–2021) AND A FORECAST FOR 2025

Navarro Oleg Evgenievich

Stalprokat Manufacturing Company,
Lyubertsy, Russia,
oleg_navarro@mail.ru, https://orcid.org/0009-0006-8145-1998

Abstract. The article is devoted to the microeconomic analysis of the production activities of NLMK for the period 2011–2021 using the Cobb – Douglas production function to assess the contribution of labor and capital to the volume of output. The purpose of the study is to study the efficiency of resource use, analyze the dynamics of total factor productivity and develop recommendations for optimizing production processes with a forecast for 2025. The research methodology is based on the least squares regression analysis applied to the company's annual report data, which allows us to quantify the impact of production factors on output and identify key trends in resource use.

The analysis results confirm the capital-intensive nature of NLMK PJSC's production, demonstrating constant returns to scale and positive TFP dynamics for the period 2011–2021. However, an imbalance in resource use was revealed: the marginal return on capital significantly exceeds the return on labor, which indicates overinvestment in capital assets relative to the optimal level of labor resource use. Based on these data, the forecast for 2025 assumes various possible development paths based on current macroeconomic trends and external factors. The baseline scenario assumes moderate growth, the pessimistic scenario warns of possible negative consequences of increased sanctions and reduced demand, and the optimistic scenario reflects the prospects for significant growth under favorable economic conditions. The scientific novelty of the study lies in the comprehensive analysis of the dynamics of total factor productivity and the identification of asymmetry in the marginal productivity of production factors in the context of a Russian metallurgical company for the period 2011–2021. This allows us to formulate specific recommendations for optimization that integrate digitalization and environmental aspects to improve

competitiveness. The limitations of the model used, associated with the simplification of the production process and the assumption of unit elasticity of substitution, require regular updating of the parameters and taking into account exogenous factors, such as changes in the economic environment and technological innovations. The study emphasizes the importance of achieving a balance between capital investment and human capital development to ensure sustainable company growth in the context of global competition.

Keywords: microeconomic analysis, Cobb – Douglas production function, production factors, total factor productivity, resource efficiency.

Введение

Современный этап развития мировой экономики характеризуется не только интеграцией рынков и усилением конкуренции, но и возрастающей скоростью технологических изменений, а также необходимостью адаптации к новым вызовам, таким как цифровизация и требования устойчивого развития. В этих условиях эффективность использования производственных ресурсов становится краеугольным камнем конкурентоспособности для компаний, работающих в капиталоемких отраслях, к которым, безусловно, относится черная металлургия. Понимание того, как именно труд и капитал взаимодействуют в процессе производства, каков их относительный вклад в создание добавленной стоимости и как компания использует свой технологический потенциал, является критически важным для принятия обоснованных управленческих решений и формирования стратегии долгосрочного развития.

В отличие от бухгалтерского учета, фокусирующегося на финансовых потоках, микроэкономический анализ позволяет проникнуть в суть производственного процесса, количественно оценивая связь между затратами ресурсов и выпуском продукции. В центре такого анализа находится концепция производственной функции, которая предоставляет аналитический инструмент для измерения и оценки эффективности использования факторов производства. Настоящее исследование нацелено на применение этого инструмента к деятельности ПАО «НЛМК», используя зарекомендовавшую себя в экономической науке производственную функцию Кобба – Дугласа.

Для обеспечения наибольшей корректности анализа и минимизации влияния неэкономических факторов, способных исказить результаты, был сознательно выбран период с 2011 по 2021 г. Этот временной промежуток характеризуется относительной стабильностью и меньшей подверженностью резким внешним шокам, таким как пандемия COVID-19, начавшая оказывать существенное влияние на экономическую активность с 2020 г., и геополитическая нестабильность, резко возросшая после начала специальной военной операции в 2022 г. Таким образом, фокусировка на периоде 2011–2021 гг. позволяет получить более объективную оценку внутренних закономерностей производственной деятельности ПАО «НЛМК», в большей степени отражающую его фундаментальные экономические характеристики и управленческие решения,

чем анализ, включающий в себя периоды, в значительной степени подверженные воздействию экстраординарных и трудноформализуемых внешних событий.

Исследование ставит перед собой ряд ключевых вопросов: какова эластичность выпуска ПАО «НЛМК» по отношению к труду и капиталу? Наблюдается ли эффект масштаба в его производственной деятельности? Как изменялась совокупная факторная производительность компании, отражая ее способность генерировать больший объем выпуска при тех же затратах ресурсов? Существуют ли признаки неоптимального соотношения в использовании труда и капитала и если да, то какие управленческие решения могут способствовать повышению эффективности?

Ответы на эти вопросы не только предоставляют ценную информацию о внутренних механизмах функционирования ПАО «НЛМК», но и служат основой для разработки практических рекомендаций, направленных на повышение его производственной эффективности и укрепление конкурентных позиций. Более того, результаты анализа, полученные на относительно чистых от внешних шоков данных, позволят сформировать более надежный, хотя и по-прежнему условный, прогноз на ближайшее будущее, а именно на 2025 г., при условии отсутствия сопоставимых по масштабу неэкономических потрясений. Это может быть полезно для руководства компании при стратегическом планировании. Таким образом, данное исследование представляет собой попытку применить инструментарий микроэкономического анализа для получения глубокого понимания факторов производительности одного из ключевых игроков российской металлургической отрасли, выходя за рамки констатации фактов и стремясь к выявлению причинно-следственных связей и перспектив развития.

Методология исследования. Исторический экскурс производственных функций

Идея о зависимости выпуска от факторов производства восходит к классическим экономистам, таким как Адам Смит [1] и Давид Рикардо, которые подчеркивали роль труда и капитала. Однако формализация этой связи в математическую функцию стала возможной благодаря работам экономистов конца XIX – начала XX в.

Ранние этапы и концептуализация

Теория предельной производительности (конец XIX в.). Значительный сдвиг в экономической теории произошел в конце XIX в. с появлением концепции предельной производительности, разработанной такими экономистами,

как Карл Менгер, Леон Вальрас, Уильям Стэнли Джевонс и Джон Бейтс Кларк. Названные исследователи заложили основы понимания вклада каждого фактора производства в общий выпуск через концепцию предельной производительности [2].

Предельная производительность обозначает изменение общего объема выпуска в результате добавления одной дополнительной единицы фактора производства при прочих равных условиях. Данная концепция подчеркивает, что вклад каждого фактора может быть различным и изменяться в зависимости от уровня его использования. Например, в условиях фиксированной технологии добавление рабочего на производственной линии может привести к увеличению объема продукции, однако со временем эффект от добавления дополнительных рабочих может снижаться, что соответствует закону убывающей предельной производительности [2].

Несмотря на значимость приведенных концептуальных размышлений, на этом этапе отсутствовали четкие математические формулы, позволяющие количественно оценивать подобные связи.

Эмпирические попытки (начало XX в.). Первые попытки эмпирического измерения связи между факторами и выпуском были предприняты на микроуровне, анализируя данные отдельных предприятий или отраслей. Однако отсутствовали общепринятые функциональные формы и статистические методы для их надежной оценки [3].

Появление и развитие основных типов производственных функций

Функция Кобба – Дугласа (1928 г.). Одной из самых ранних и получивших широкое распространение спецификаций стала функция Кобба – Дугласа, предложенная Чарльзом Коббом и Полом Дугласом [4]. Они эмпирически исследовали связь между затратами труда, капитала и объемом промышленного производства в США в период с 1899 по 1922 г. Их функция имела следующий вид:

$$Q = A \cdot L^{\alpha} \cdot K^{\beta}, \quad (1)$$

где (Q) — выпуск;

(A) — совокупная факторная производительность;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(α), (β) — эластичности выпуска соответственно по труду и по капиталу.

Линейная производственная функция. Простейшая форма, предполагающая идеальную взаимозаменяемость факторов производства:

$$Q = aL + bK, \quad (2)$$

где (Q) — выпуск;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(a), (b) — коэффициенты, показывающие вклад труда и капитала в формирование общего выпуска.

Эта функция редко используется на макроуровне или для анализа отдельных предприятий, так как предполагает, что факторы могут быть заменены друг другом в фиксированной пропорции, что нереалистично для большинства производственных процессов.

Функция Леонтьева (производственная функция с фиксированными пропорциями). Предложена Василием Леонтьевым и применяется в модели «затраты – выпуск» [5]. Она предполагает, что факторы производства используются в фиксированных, неизменных пропорциях для производства единицы продукции:

$$Q = \min(aL, bK), \quad (3)$$

где (Q) — выпуск;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(a), (b) — технологические коэффициенты, определяющие необходимые пропорции труда и капитала.

Эта функция подходит для процессов, где существует жесткая технологическая необходимость в определенном соотношении факторов (например, для работы одного станка необходим один рабочий). Она не позволяет осуществлять замещение факторов.

Функции с постоянной эластичностью замещения (CES) (1961 г.). Разработаны Кеннетом Эрроу, Холлисом Ченери, Минхасом Баладжи и Робертом Солоу [6] для преодоления ограничения функции Кобба – Дугласа, предполагающей единичную эластичность замещения между трудом и капиталом. функция CES позволяет эластичности замещения принимать любое постоянное неотрицательное значение (включая случаи, приближающиеся к линейной, Кобба – Дугласа и Леонтьева как частные случаи):

$$Q = A \cdot [\delta K^{(-\rho)} + (1 - \delta)\, L^{(-\rho)}]^{(-1/\rho)}, \quad (4)$$

где (Q) — выпуск;

(A) — совокупная факторная производительность;

(K) — капитал;

(L) — труд;

(ρ) — параметр, связанный с эластичностью;

(δ) — параметр распределения, определяющий вклад капитала и труда в общий выпуск.

CES-функция является более общей, но ее оценка сложнее, чем у функции Кобба – Дугласа, особенно в период, когда вычислительные мощности были ограниченны.

Функция трансцендентальных логарифмов (Translog) (1971 г.). Предложена Лористом Кристенсеном, Дейлом Йоргенсоном и Лоуренсом Лау [7].

Это еще более гибкая функциональная форма, которая является локальной аппроксимацией любой произвольной производственной функции второго порядка в логарифмах. Она позволяет эластичностям выпуска и эластичности замещения варьироваться в зависимости от уровней использования факторов производства:

$$\ln(Q) = \alpha_0 + \alpha_L \ln(L) + \alpha_K \ln(K) + \beta_{LL}(\ln(L))^2 + \beta_{KK}(\ln(K))^2 + \beta_{LK}\ln(L)\ln(K), \quad (5)$$

где (Q) — выпуск;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(α_0) — свободный коэффициент (константа);

(α_L), (α_K) — эластичности выпуска по труду и капиталу в линейном компоненте;

(β_{LL}), (β_{KK}), (β_{LK}) — параметры, отражающие взаимодействия между логарифмами переменных.

Функция Translog отличается от производственной функции Кобба – Дугласа своей гибкостью за счет учета нелинейных и взаимозависимых эффектов. Однако при ее использовании возникает большее количество оцениваемых параметров, что требует более объемных данных и может вызывать проблемы мультиколлинеарности при ограниченных выборках.

Обоснование выбора функции Кобба – Дугласа

Несмотря на свою простоту, функция Кобба – Дугласа обладает рядом преимуществ, которые делают ее подходящей для данного исследования, особенно в контексте имеющихся данных и поставленных целей.

1. ***Простота интерпретации.*** Параметры α и β непосредственно интерпретируются как эластичности выпуска по соответствующим факторам, и их сумма (α + β) показывает отдачу от масштаба. Это обеспечивает понятную и наглядную интерпретацию результатов.

2. ***Линеаризуемость.*** Путем логарифмирования функция Кобба – Дугласа превращается в линейную форму, что делает ее удобной для оценки с использованием метода наименьших квадратов (МНК), который является надежным и хорошо разработанным статистическим методом.

3. ***Эмпирическая пригодность.*** На уровне крупных предприятий или отраслей функция Кобба – Дугласа часто достаточно хорошо аппроксимирует производственные процессы, особенно когда нет необходимости в детальном анализе эластичности замещения, которая может варьироваться.

4. ***Ограниченный объем данных.*** Анализ проводился на основе годовых данных за относительно короткий период (11 лет). Более сложные функции, такие как Translog или CES, требуют большего объема данных для получения статистически значимых и надежных оценок параметров, а также могут быть более подвержены проблемам мультиколлинеарности.

5. ***Адекватность для макро- и мезоуровня.*** Функция Кобба – Дугласа является упрощением, но она часто достаточно хорошо аппроксимирует производственные процессы на уровне крупных предприятий или отраслей, особенно когда нет необходимости в детальном анализе эластичности замещения.

Для обоснования выбора функции Кобба – Дугласа целесообразно сравнить ее с другими часто используемыми производственными функциями (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение производственных функций

Критерий	Функция				
	Линейная	**Леонтьева**	**Кобба – Дугласа**	**CES**	**Translog**
Эластичность замещения	∞ (идеальная)	0 (отсутствует)	1 (единичная)	$\sigma = 1/(1-\rho)$ (постоянная)	Варьируется
Отдача от масштаба	Постоянная	Постоянная	$\alpha + \beta$	Постоянная	Может варьироваться
Простота интерпретации параметров	Высокая	Высокая	Высокая	Средняя	Низкая
Легкость оценки (МНК)	Высокая	Требует особого подхода	Высокая	Нелинейная, сложнее МНК	Линейная в параметрах, но больше их
Гибкость	Низкая	Низкая	Средняя	Более высокая, чем Кобба – Дугласа	Очень высокая
Требования к данным	Невысокие	Подходит для технических зависимостей	Средние	Средние	Высокие

Источник: составлено автором.

Выбор функции Кобба – Дугласа в данном исследовании

С учетом ограниченного объема данных, необходимости простоты интерпретации результатов и стремления к получению статистически значимых оценок параметров функция Кобба – Дугласа представляется оптимальным выбором [4]. Она обеспечивает разумный баланс между гибкостью и простотой, позволяя:

- оценить вклад каждого фактора производства в выпуск;
- выявить тенденции в эффективности использования ресурсов;

• определить направления для повышения производительности.

Для эмпирической оценки параметров α и β используется линеаризованная форма функции Кобба – Дугласа, полученная путем логарифмирования обеих частей уравнения:

$$\ln(Q) = \ln(A) + \alpha \cdot \ln(L) + \beta \cdot \ln(K), \quad (6)$$

где (Q) — выпуск;

(A) — совокупная факторная производительность;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(α), (β) — эластичности выпуска соответственно по труду и капиталу.

Оценка параметров регрессии (ln(A), α и β) проводится посредством МНК. Для этого используются данные годовых отчетов ПАО «НЛМК» за период 2011–2021 гг. [8–9]. Качество полученной регрессионной модели оценивается с помощью коэффициента детерминации (R^2), который показывает долю дисперсии зависимой переменной (ln(Q)), объясняемую включенными в модель независимыми переменными (ln(L) и ln(K)) [10].

Анализ исходных данных и оценка параметров функции Кобба – Дугласа для ПАО «НЛМК» за период 2011–2021 гг.

Исходные данные, характеризующие деятельность ПАО «НЛМК» за обозначенный период, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Данные по объему выпуска, персоналу и капиталу ПАО «НЛМК» за период 2011–2021 гг.

Год	Выпуск (Q), *млн т*	Численность сотрудников (L), *тыс. чел.*	Капитал (K), *млрд руб.*
2011	11,97	62,4	450
2012	14,92	62,5	465
2013	15,47	62,1	469
2014	16,11	60,1	502
2015	16,06	56,7	565
2016	16,64	54,0	537
2017	17,08	53,2	559
2018	17,49	53,3	578
2019	15,70	52,8	537
2020	15,83	51,9	569
2021	17,40	50,6	704

Источники: ПАО «НЛМК». Годовые отчеты; ПАО «НЛМК». Ключевые показатели [8–9].

Для оценки параметров модели использовался МНК, реализованный в программном пакете Python с помощью библиотеки statsmodels [11]. Результаты оценки параметров модели Кобба – Дугласа:

- α (эластичность выпуска по труду) = 0,2174;
- β (эластичность выпуска по капиталу) = 0,7844;
- R^2 (коэффициент детерминации) = 0,898;
- отдача от масштаба (α + β) = 1,0018.

Интерпретация результатов регрессии

Эластичность по труду **(α = 0,2174).** Полученное значение эластичности по труду указывает на то, что увеличение численности работников на 1 % при условии неизменности других факторов производства приводит к росту выпуска продукции в среднем на 0,2174 %. Данное значение характеризует относительную нечувствительность выпуска ПАО «НЛМК» к изменениям в количестве труда по сравнению с изменениями в капитале. Это может быть связано с тенденцией к автоматизации и сокращению доли ручного труда в более поздний период [12].

Эластичность по капиталу **(β = 0,7844).** Данное значение свидетельствует о том, что увеличение стоимости основных фондов на 1 % при прочих равных условиях приводит к росту выпуска продукции в среднем на 0,7844 % [13–14]. Это подтверждает капиталоемкий характер производства ПАО «НЛМК», где инвестиции в современное оборудование и технологии играют ключевую роль в увеличении выпуска.

Коэффициент детерминации **(R^2 = 0,898).** Высокое значение данного коэффициента говорит о высокой степени соответствия выбранной модели исходным данным. Так, 89,8 % вариации логарифма выпуска продукции объясняется вариацией логарифмов труда и капитала, включенных в модель. Это указывает на хорошую адекватность модели для анализа влияния основных факторов производства на выпуск ПАО «НЛМК» за рассматриваемый период [13–14].

Отдача от масштаба **(α + β = 1,0018).** Сумма эластичностей по труду и капиталу составляет 1,0018, что очень близко к единице. Это указывает на постоянную отдачу от масштаба в производственной деятельности ПАО «НЛМК» в период 2011–2021 гг. Постоянная отдача от масштаба означает, что пропорциональное увеличение затрат всех факторов производства (труда и капитала) приводит к такому же пропорциональному увеличению объема выпуска продукции [15]. Незначительное отклонение от 1 может быть обусловлено статистической погрешностью или округлением.

Графики, демонстрирующие зависимость логарифма выпуска от логарифма капитала и труда, подтверждают эту взаимосвязь, а линия регрессии, наложенная на данные, показывает хорошую адекватность модели (рис. 1–2[1]).

[1] Для построения графиков на рисунках здесь и далее использована онлайн-платформа Google Colab.

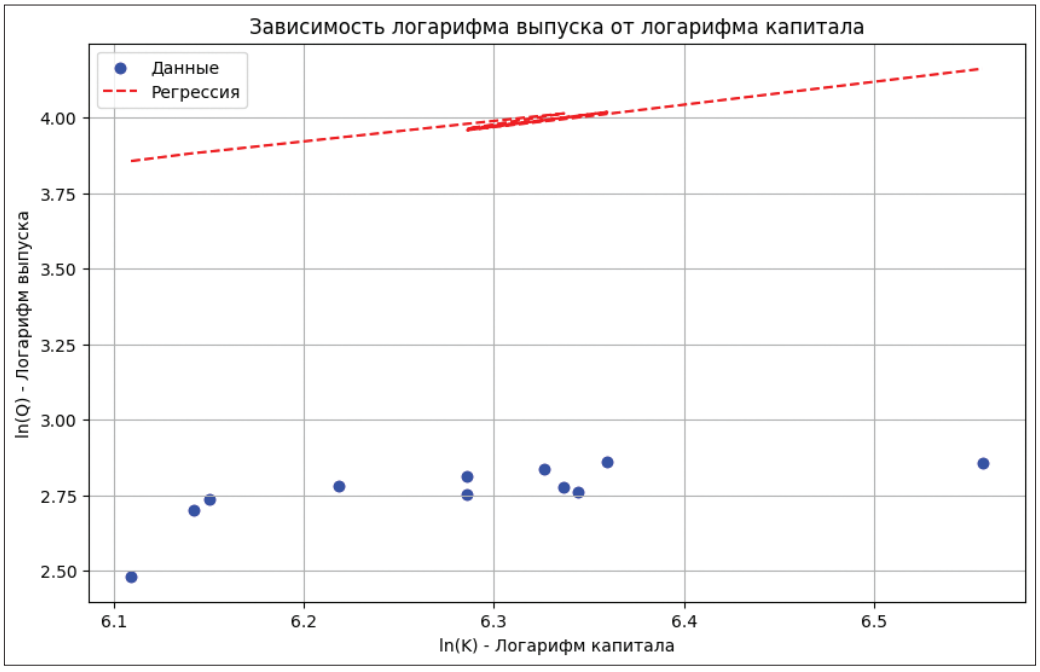

Рис. 1. График зависимости логарифма выпуска от логарифма капитала

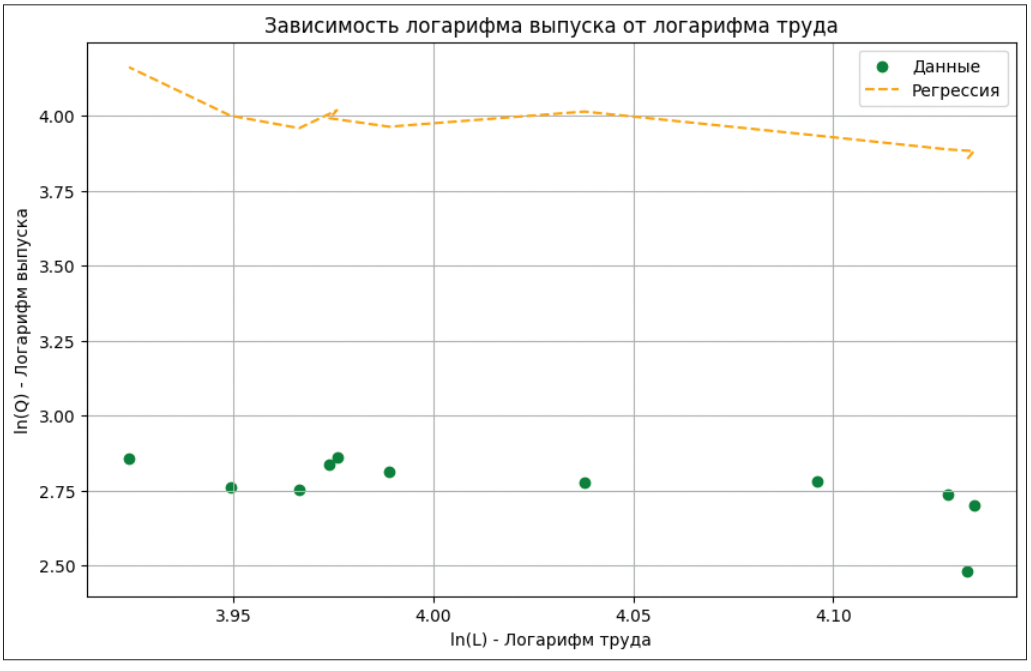

Рис. 2. График зависимости логарифма выпуска от логарифма труда

Представленные графики демонстрируют зависимость логарифма выпуска продукции ln(Q) от логарифмов капитала ln(K) и численности работников ln(L): первый график (см. рис. 1) подчеркивает сильную положительную корреляцию между капиталом и выпуском $\beta = 0{,}7844$, указывая на капиталоемкий характер производства, а второй (см. рис. 2) — показывает слабую зависимость выпуска от труда $\alpha = 0{,}2174$ при снижающейся численности работников, что свидетельствует об автоматизации процессов. Высокое значение $R^2 = 0{,}898$ подтверждает хорошую адекватность модели, а сумма эластичностей ($\alpha + \beta = 1{,}0018$) указывает на постоянную отдачу от масштаба.

Расчет и анализ совокупной факторной производительности

Совокупная факторная производительность (Total Factor Productivity, TFP) отражает ту часть прироста выпуска, которая не объясняется увеличением затрат труда и капитала. Она часто интерпретируется как результат технологического прогресса, повышения эффективности управления, организационных изменений и других качественных факторов [16]. TFP рассчитывается по формуле:

$$A = Q / (L\alpha \cdot K\beta), \qquad (7)$$

где (Q) — выпуск;

(A) — совокупная факторная производительность;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(α), (β) — эластичности выпуска соответственно по труду и капиталу.

Используя полученные оценки $\alpha = 0{,}2174$ и $\beta = 0{,}7844$, а также данные о Q, L и K за каждый год, можно рассчитать относительную динамику TFP, приняв за базовый 2011 г. ($A_{2011} = 1$) (табл. 3).

Таблица 3

Динамика совокупной факторной производительности (TFP) ПАО «НЛМК» (2011–2021 гг.), (2011 г. = 1,000)

Год	Q	L	K	Lα	Kβ	Lα · Kβ	A (отн. 2011)
2011	11,97	62,4	450	3,697	101,318	374,562	1,000
2012	14,92	62,5	465	3,700	103,485	382,900	1,104
2013	15,47	62,1	469	3,691	104,053	384,057	1,140
2014	16,11	60,1	502	3,643	108,783	396,279	1,154
2015	16,06	56,7	565	3,553	117,048	416,073	1,096
2016	16,64	54,0	537	3,485	112,736	392,845	1,188
2017	17,08	53,2	559	3,464	116,101	402,170	1,196
2018	17,49	53,3	578	3,466	119,154	413,015	1,200
2019	15,70	52,8	537	3,454	112,736	389,473	1,142

Год	Q	L	K	Lα	Kβ	Lα · Kβ	A (отн. 2011)
2020	15,83	51,9	569	3,430	117,637	403,581	1,135
2021	17,40	50,6	704	3,396	136,564	463,752	1,159

Источник: составлено автором.

Анализ динамики TFP показывает, что за период 2011–2021 гг. совокупная факторная производительность ПАО «НЛМК» демонстрирует положительную динамику. Относительно 2011 г. TFP выросла на 15,9 % к 2021 г. Наиболее высокий рост TFP наблюдался в 2018 г. (на 20 % относительно 2011 г.). После 2018 г. наблюдается некоторое снижение и колебания, но в целом TFP остается выше уровня 2011 г. Этот рост свидетельствует о том, что, наряду с увеличением затрат труда и капитала, определенную роль в росте выпуска играли технологический прогресс, повышение организационной эффективности и другие факторы [17]. Несмотря на положительную динамику, для поддержания конкурентоспособности в долгосрочной перспективе необходимо стремиться к дальнейшему устойчивому росту TFP.

График на рисунке 3, иллюстрирующий динамику TFP, наглядно показывает тенденцию к росту совокупной факторной производительности ПАО «НЛМК» за анализируемый период.

Рис. 3. Динамика совокупной факторной производительности ПАО «НЛМК» (2011–2021 гг.)

Анализ эффективности использования ресурсов

Для оценки относительной эффективности использования труда и капитала рассчитываются предельные продукты труда (Marginal Product of Labor, MPL) и капитала (Marginal Product of Capital, MPK). MPL и MPK показывают дополнительный выпуск продукции, полученный при увеличении соответственно труда или капитала на единицу, при прочих равных условиях [18]:

$$MPL = \alpha \cdot (Q / L), \quad (8)$$

$$MPK = \beta \cdot (Q / K), \quad (9)$$

где (Q) — выпуск;

(A) — совокупная факторная производительность;

(L) — труд;

(K) — капитал;

(α), (β) — эластичности выпуска соответственно по труду и капиталу.

Рассчитаем MPL и MPK для последнего года анализируемого периода — 2021 г.:

- $MPL_{2021} = 0{,}2174 \cdot (17.40$ млн т / 50,6 тыс. чел.) ≈ 0,0748 млн т/тыс. чел.
- $MPK_{2021} = 0{,}7844 \cdot (17{,}40$ млн т / 704 млрд руб.) ≈ 0,0194 млн т/млрд руб.

Для оценки оптимальности соотношения использования труда и капитала сравним отношение предельных продуктов к ценам соответствующих факторов. Пусть *w* — стоимость единицы труда (среднегодовая заработная плата) и *r* — стоимость единицы капитала (например, ставка процента, отражающая альтернативные издержки использования капитала). Предположим, *w* = 1,2 млн руб./год (скорректировано с учетом инфляции и роста зарплат) и *r* = 0,10. Тогда:

- MPL / *w* ≈ 0,0748 млн т / 1,2 млн руб. ≈ 0,0623
- MPK / *r* = 0,0194 млн т / 0,10 млрд руб. = 0,194

Наблюдается значительное неравенство: MPK / *r* >> MPL / *w* (0,194 > 0,0623). Это свидетельствует о том, что предельная отдача от инвестиций в капитал существенно выше, чем от использования труда, учитывая их относительные стоимости. Иными словами, каждый дополнительно вложенный рубль в капитал приносит компании значительно больше дополнительной продукции, чем рубль, вложенный в трудовые ресурсы (с учетом их стоимости). Этот дисбаланс указывает на то, что компания, возможно, переинвестирует в капитал относительно оптимального уровня использования труда [19].

График на рисунке 4 наглядно показывает это неравенство, подчеркивая необходимость оптимизации структуры ресурсов.

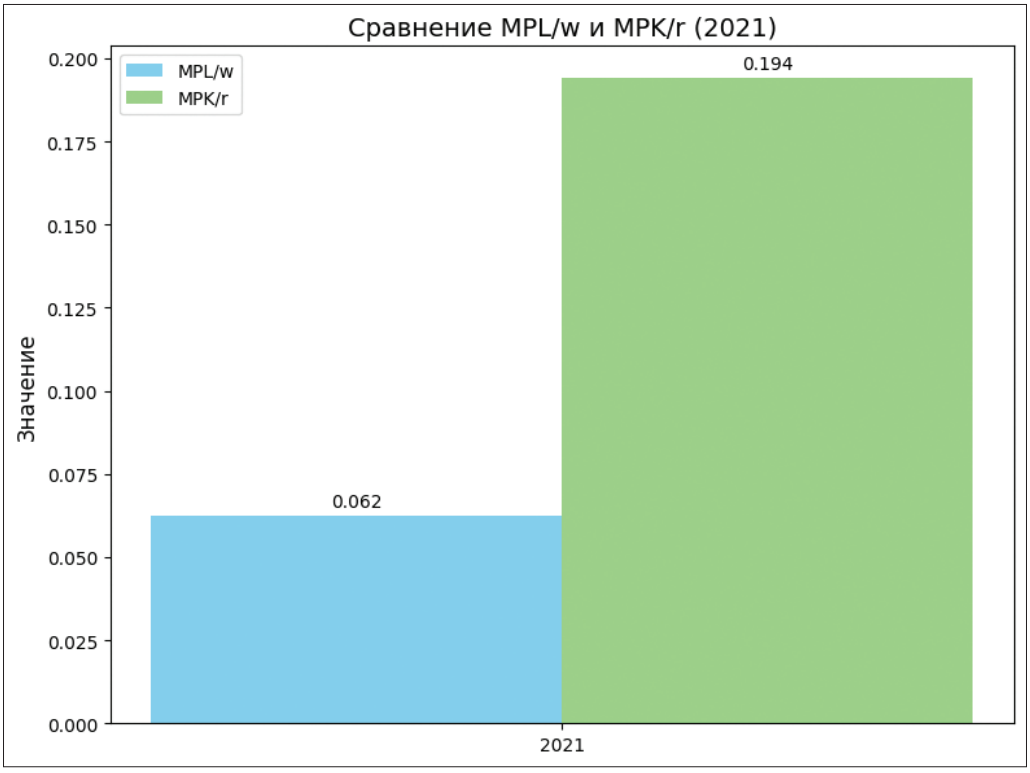

Рис. 4. Сравнение MPL / *w* и MPK / *r* в 2021 г.

Сценарный анализ перспектив деятельности ПАО «НЛМК» на 2025 г.

Для более точной оценки будущего компании рассмотрим три сценария: базовый, пессимистичный и оптимистичный. Прогноз основан на анализе функции Кобба – Дугласа, учитывающем высокую эластичность выпуска по капиталу ($\beta = 0{,}7844$, $\alpha = 0{,}2174$) и динамику совокупной факторной производительности (TFP), рассчитанную на основе данных за 2011–2021 гг. Однако теоретические расчеты скорректированы с учетом факторов, влияющих на деятельность компании, включая макроэкономическую ситуацию, ключевую ставку ЦБ РФ (21 %), технологические изменения, государственную политику и стратегические решения компании, в частности продажу сортового дивизиона.

Важно отметить: по итогам 2024 г. НЛМК произвел 14,3 млн т стали, что на 2,1 % меньше, чем в 2023 г. (14,6 млн т) [8]. Основные факторы снижения: сокращение экспорта в Европу из-за санкций, переориентация на азиатские рынки с высокими логистическими издержками и общая стагнация спроса в металлургической отрасли. Компания планирует стабилизировать производство на уровне 14,5–14,7 млн т за счет освоения новых рынков (Турция, Индия, Африка), оптимизации логистики через Северный морской путь и повышения

доли высокомаржинальной продукции (электротехническая сталь). Продажа сортового дивизиона снижает годовой выпуск на 1 млн т, что учтено во всех сценариях [21]. Дополнительное влияние оказывает высокий уровень процентных ставок, ограничивающий инвестиционную активность.

Сценарные условия и прогнозные показатели

1. **Базовый сценарий.**

- Предполагается сохранение текущей экономической и геополитической ситуации, а также высокой процентной ставки (21 %). Эти условия сдерживают инвестиции, увеличивают финансовую нагрузку и ограничивают возможности модернизации. Согласно прогнозу Всемирного банка, ВВП России в 2025 г. вырастет на 1,6 % [22], однако рост TFP будет минимальным (0–0,5 % в год) из-за необходимости адаптации.
- **Выпуск (Q):** 14,5–14,7 млн т. Учитывая достигнутый в 2024 г. уровень производства (14,5 млн т) и продажу сортового дивизиона, производство стабилизируется на уровне, близком к текущему, но с потенциалом небольшого роста за счет освоения новых рынков и оптимизации логистики. Сохраняются высокие логистические издержки и слабый внутренний спрос.
- **Численность сотрудников (L):** 44–47 тыс. чел. Продолжается умеренное сокращение персонала в рамках оптимизации издержек.
- **Капитал (K):** 700–760 млрд руб. Инвестиции направлены на поддержание текущих мощностей, но ограничены высокой стоимостью заемных средств.

2. **Пессимистичный сценарий.**

- Предполагается ухудшение экономической и геополитической ситуации: усиление санкций, падение ВВП России более чем на 3 %, снижение внутреннего спроса и ужесточение конкуренции на азиатских рынках. Ставка Центрального банка Российской Федерации (ЦБ РФ) остается высокой (21 % и выше), кредиты становятся практически недоступными, а TFP снижается (от –1 до –0,5 % в год).
- **Выпуск (Q):** 13,5–13,8 млн т. Падение производства из-за ограниченного финансирования, технологического регресса и усиления кризисных явлений. Учитывая текущие реалии, даже стабилизация производства на уровне 14,5 млн т может оказаться под вопросом при ухудшении ситуации.
- **Численность сотрудников (L):** 42–44 тыс. чел. Сокращение персонала ускоряется в рамках антикризисных мер.
- **Капитал (K):** 300–400 млрд руб. Инвестиции резко сокращаются, возможна консервация мощностей.

3. **Оптимистичный сценарий.**

- В этом варианте предполагается частичное ослабление санкций, рост ВВП (1,6 % и выше), восстановление спроса и государственная поддержка металлургии (например, снижение налогов или субсидирование кредитов). Ключевая ставка ЦБ РФ снижается до 10–12 %, что стимулирует инвестиции и модернизацию. Рост TFP ускоряется (1–2 % в год).
- **Выпуск (Q):** 15,0–15,2 млн т. Компания находит новые рынки сбыта, восстанавливает внутренний спрос и улучшает эффективность производства. Возможен рост выше текущих уровней производства, достигнутых до санкционного давления.
- **Численность сотрудников (L):** 48–50 тыс. чел. Сокращение персонала прекращается, возможно увеличение штата.
- **Капитал (K):** 780–820 млрд руб. Инвестиции растут за счет доступных кредитов и господдержки.

Таблица 4

Сравнительный прогноз по сценариям на 2025 г.

Показатель	Сценарий		
	базовый	пессимистичный	оптимистичный
Выпуск (Q), *млн т*	14,5–14,7	13,5–13,8	15,0–15,2
Численность (L), *тыс. чел.*	44–47	42–44	48–50
Капитал (K), *млрд руб.*	700–760	300–400	780–820

Источник: составлено автором.

Сценарный анализ показывает широкий диапазон возможных результатов, определяемых макроэкономическими условиями, динамикой процентных ставок и способностью компании адаптироваться.

- **Базовый сценарий** представляется наиболее вероятным при сохранении текущих условий. Высокая ставка ЦБ РФ ограничивает инвестиционные возможности, а продажа сортового дивизиона снижает выпуск. С учетом текущей динамики производства компания будет стремиться к стабилизации на уровне, близком к 14–15 млн т, но это потребует активных усилий по освоению новых рынков.
- **Пессимистичный сценарий** подчеркивает риски ухудшения экономической ситуации, где высокая стоимость капитала усугубляет кризисные тенденции. В этом сценарии падение производства станет неизбежным.
- **Оптимистичный сценарий** демонстрирует потенциал восстановления при снижении процентных ставок, улучшении инвестиционного климата и мерах господдержки.

Реальные показатели будут зависеть от адаптационной стратегии компании, эффективности управления ресурсами и макроэкономических условий. При высокой эластичности выпуска по капиталу ($\beta = 0{,}7844$) ключевую роль сыграет доступность финансирования. Дальнейший мониторинг экономических факторов и гибкость стратегических решений остаются критически важными для успешного развития ПАО «НЛМК».

Рекомендации

На основе проведенного анализа для повышения эффективности производства и обеспечения устойчивого роста ПАО «НЛМК» рекомендуется:

1. **Оптимизация структуры ресурсов.**

Оценка эффективности капиталовложений. Несмотря на высокую отдачу от капитала, целесообразно проводить детальный анализ предельной доходности каждого инвестиционного проекта с учетом сопутствующих рисков и альтернативных возможностей. Рекомендуется оценивать проекты, учитывая не только традиционные финансовые показатели, но и их влияние на производительность труда. Особое внимание следует уделить направлениям инвестиций, способствующим росту производительности, а не только замещению труда капиталом.

Повышение отдачи от труда. Для увеличения производительности труда предлагается внедрять следующие меры:

- расширение программ обучения и повышения квалификации;
- применение бережливых технологий;
- разработку комплексных систем вознаграждения и мотивации.

2. **Стимулирование роста TFP (общего фактора производительности).**

Активное внедрение инноваций. Необходимо продолжать инвестирование в научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, направленные на создание и интеграцию новых, более эффективных технологий, материалов и процессов производства. Особое внимание следует уделить инновационным решениям, способствующим повышению энергоэффективности и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Пример: технология прямого восстановления железа [23].

Цифровизация и автоматизация. Расширение применения цифровых инструментов, автоматизированных систем и искусственного интеллекта позволит оптимизировать управление производственными процессами, сократить издержки и повысить качество продукции. Важно сохранять баланс между автоматизацией и развитием компетенций персонала через систематическую переподготовку работников для работы с новыми технологиями. Пример: использование цифровых двойников металлургических процессов [24].

Развитие зеленой металлургии. Инвестиции в экологически чистые технологии способны не только сократить экологический след производства,

но и улучшить эффективность использования ресурсов, одновременно открывая перспективы для выхода на новые рынки. В практическом применении рекомендуется рассмотреть возможности использования вторичного сырья и технологии переработки производственных отходов. Пример: проект HYBRIT (Швеция) по замене кокса водородом сократит выбросы CO_2 на 90 % [20].

А. Стратегическое управление человеческими ресурсами.

Адаптация кадровой политики к технологическим изменениям. С учетом динамики внедрения современных технологий необходимо проводить прогнозирование будущих потребностей в квалифицированных кадрах. Важным инструментом является разработка программ переподготовки и повышения квалификации, ориентированных на формирование востребованных профессиональных навыков.

Привлечение и удержание высококвалифицированных специалистов. Создание привлекательных условий труда, конкурентных систем оплаты и перспектив для профессионального роста является ключевым фактором в привлечении специалистов в области инженерии, технологий и управления. При этом необходимо обеспечить возможности для карьерного роста и постоянного обучения.

Б. Регулярный мониторинг и адаптация стратегии.

Периодическая переоценка параметров модели. Рекомендуется осуществлять регулярный пересмотр параметров производственной модели (например, раз в 2–3 года) с использованием актуальных данных для анализа вклада факторов производства и динамики TFP. Такой мониторинг позволит своевременно выявлять изменения в тенденциях и корректировать стратегию.

Анализ чувствительности к внешним факторам. Систематический анализ влияния внешних экономических условий, колебаний на рынках сырья и готовой продукции, а также геополитических факторов поможет оценить риски, связанные с эффективностью производства. Разработка сценариев и планов реагирования на возможные изменения станет основой для адаптивного стратегического менеджмента.

Выводы

На основе проведенного микроэкономического анализа производственной деятельности ПАО «НЛМК» в период с 2011 по 2021 г. с использованием производственной функции Кобба – Дугласа установлено, что ключевым фактором, определяющим объем выпуска продукции, выступает капиталоемкость производства, характерная для металлургической отрасли. Оценка параметров модели подтвердила наличие постоянной отдачи от масштаба, а также положительную динамику совокупной факторной производительности, свидетельствующую о повышении эффективности использования ресурсов за рассматриваемый период, что отражает способность компании адаптироваться к изменяющимся рыночным условиям и внедрять технологические улучшения.

Однако выявлено, что предельная производительность капитала существенно превышает предельную производительность труда, что указывает на потенциальный дисбаланс в структуре факторов производства и возможное переинвестирование в капитальные активы относительно оптимального уровня использования трудовых ресурсов, требующее дальнейшего анализа и, возможно, корректировки стратегии управления.

Сценарный анализ, разработанный с учетом текущей макроэкономической конъюнктуры, геополитических рисков и стратегических решений компании, позволяет прогнозировать различные варианты развития компании к 2025 г., демонстрируя зависимость производственных показателей от устойчивости экономической среды, успешности диверсификации рынков сбыта, адаптивности к санкционным ограничениям и способности оперативно реагировать на технологические изменения.

Результаты исследования подчеркивают важность достижения сбалансированного соотношения между капитальными вложениями и развитием человеческого капитала, включая инвестиции в обучение, повышение квалификации персонала и создание благоприятной рабочей среды, для обеспечения устойчивого роста компании в условиях глобальной конкуренции. Кроме того, для долгосрочной конкурентоспособности критически важно учитывать технологические инновации, направленные на повышение эффективности производства, снижение издержек и улучшение качества продукции, а также интегрировать экологические аспекты, такие как снижение выбросов и оптимизация использования ресурсов, в стратегию развития.

Список источников

1. Smith A. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. London: W. Strahan, 1776. 528 p.

2. Marshall A. Principles of Economics. London: Macmillan, 1890. 512 p.

3. Griliches Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth // The Bell Journal of Economics. 1979. Vol. 10. No. 1. P. 92–116.

4. Cobb C. W., Douglas P. H. A theory of production // American Economic Review. 1928. Vol. 18. No. 1. P. 139–165.

5. Леонтьев В. В. Экономические эссе. Теория, исследования, факты и политика. М.: Политиздат, 1990. 415 с.

6. The economic implications of learning by doing / K. J. Arrow [et al.] // Review of Economic Studies. 1961. Vol. 29. No. 3. P. 155–173.

7. Christensen L. R., Jorgenson D. W., Lau L. J. Transcendental logarithmic production frontiers // Review of Economics and Statistics. 1973. Vol. 55. No. 1. P. 28–45.

8. Годовой отчет НЛМК за 2023 год | Годовые отчеты Группы НЛМК // Официальный сайт Группы НЛМК. URL: https://nlmk.com/ru/ir/results/annual-reports/ (дата обращения: 15.01.2025).

9. Ключевые показатели Группы НЛМК // Официальный сайт Группы НЛМК. URL: https://nlmk.com/ru/ir/key-data/ (дата обращения: 15.01.2025).

10. Wooldridge J. M. Introductory econometrics: a modern approach. 6th ed. South-Western Cengage Learning, 2015. 912 p.

11. Statsmodels: Python module for statistical modeling // Statsmodels. URL: https://www.statsmodels.org/ (дата обращения: 15.01.2025).

12. Ansoff I. Corporate Strategy. New York: McGraw-Hill, 1965. 272 p.

13. Gujarati D. N., Porter D. C. Basic Econometrics. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2009. 736 p.

14. Greene W. H. Econometric Analysis. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2012. 1104 p.

15. Пиндайк Р. С., Рабинфельд Д. Микроэкономика / [пер. с англ.: С. Жильцов, А. Железниченко]. 5-е изд. СПб.: Питер, 2011. 606 с. (Классический зарубежный учебник).

16. Measuring Productivity — OECD Manual: Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth. Paris: OECD Publishing, 2001 // OECD. URL: https://www.oecd.org/en/publications/measuring-productivity-oecd-manual_9789264194519-en.html (дата обращения: 05.01.2025).

17. Solow R. M. Technical change and the aggregate production function // The Review of Economics and Statistics. 1957. Vol. 39. No. 3. P. 312–320. DOI: 10.2307/1926047

18. Mankiw N. G. Principles of economics. 8th ed. Boston: Cengage Learning, 2021. 880 p.

19. Varian H. R. Intermediate microeconomics: a modern approach. 9th ed. New York: W. W. Norton & Company, 2014. 794 p.

20. Производство без ископаемого топлива — не за горами! // SSAB. URL: https://www.ssab.com/ru-kz/fossil-free-steel (дата обращения: 15.02.2025).

21. НЛМК продал сортовое подразделение // Интерфакс. 7 сентября 2023 г. URL: https://www.interfax.ru/business/919552 (дата обращения: 25.02.2025).

22. Всемирный банк ждет роста ВВП России в 2025 году на 1,6 % // Интерфакс. 16 января 2025 г. URL: https://www.interfax.ru/business/1003335 (дата обращения: 25.02.2025).

23. «Эколант» начал строить завод «зеленой» металлургии в Нижегородской области // ТАСС. 9 февраля 2022 г. URL: https://tass.ru/ekonomika/13654391 (дата обращения: 01.03.2025).

24. ММК внедрил цифровой двойник в доменном цехе // Официальный сайт Магнитогорского металлургического комбината. URL: https://mmk.ru/ru/press-center/news/mmk-vnedril-tsifrovoy-dvoynik-v-domennom-tsekhe/ (дата обращения: 01.03.2025).

References

1. Smith A. An inquiry into the nature and causes of the wealth of nations. London: W. Strahan, 1776. 528 p.

2. Marshall A. Principles of Economics. London: Macmillan, 1890. 512 p.

3. Griliches Z. Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth // The Bell Journal of Economics. 1979. Vol. 10. No. 1. P. 92–116.

4. Cobb C. W., Douglas P. H. A theory of production // American Economic Review. 1928. Vol. 18. No. 1. P. 139–165.

5. Leont`ev V. V. E`konomicheskie e`sse. Teoriya, issledovaniya, fakty` i politika. M.: Politizdat, 1990. 415 s.

6. The economic implications of learning by doing / K. J. Arrow [et al.] // Review of Economic Studies. 1961. Vol. 29. No. 3. P. 155–173.

7. Christensen L. R., Jorgenson D. W., Lau L. J. Transcendental logarithmic production frontiers // Review of Economics and Statistics. 1973. Vol. 55. No. 1. P. 28–45.

8. Godovoj otchet NLMK za 2023 god | Godovy`e otchety` Gruppy` NLMK // Oficial'ny`j sajt Gruppy` NLMK. URL: https://nlmk.com/ru/ir/results/annual-reports/ (data obrashheniya: 15.01.2025).

9. Klyuchevy`e pokazateli Gruppy` NLMK // Ofitsial`ny`j sajt Gruppy` NLMK. URL: https://nlmk.com/ru/ir/key-data/ (data obrashheniya: 15.01.2025).

10. Wooldridge J. M. Introductory econometrics: a modern approach. 6th ed. South-Western Cengage Learning, 2015. 912 p.

11. Statsmodels: Python module for statistical modeling // Statsmodels. URL: https://www.statsmodels.org/ (data obrashheniya: 15.01.2025).

12. Ansoff I. Corporate Strategy. New York: McGraw-Hill, 1965. 272 p.

13. Gujarati D. N., Porter D. C. Basic Econometrics. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 2009. 736 p.

14. Greene W. H. Econometric Analysis. 7th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2012. 1104 p.

15. Pindajk R. S., Rabinfel`d D. Mikroe`konomika / [per. s angl.: S. Zhil`czov, A. Zheleznichenko]. 5-e izd. SPb.: Piter, 2011. 606 s. (Klassicheskij zarubezhny`j uchebnik).

16. Measuring Productivity — OECD Manual: Measurement of Aggregate and Industry-Level Productivity Growth. Paris: OECD Publishing, 2001 // OECD. URL: https://www.oecd.org/en/publications/measuring-productivity-oecd-manual_9789264194519-en.html (data obrashheniya: 05.01.2025).

17. Solow R. M. Technical change and the aggregate production function // The Review of Economics and Statistics. 1957. Vol. 39. No. 3. P. 312–320. DOI: 10.2307/1926047

18. Mankiw N. G. Principles of economics. 8th ed. Boston: Cengage Learning, 2021. 880 p.

19. Varian H. R. Intermediate microeconomics: a modern approach. 9th ed. New York: W. W. Norton & Company, 2014. 794 p.

20. Proizvodstvo bez iskopaemogo topliva — ne za gorami! // SSAB. URL: https://www.ssab.com/ru-kz/fossil-free-steel (data obrashheniya: 15.02.2025).

21. NLMK prodal sortovoe podrazdelenie // Interfaks. 7 sentyabrya 2023 g. URL: https://www.interfax.ru/business/919552 (data obrashheniya: 25.02.2025).

22. Vsemirny`j bank zhdet rosta VVP Rossii v 2025 godu na 1,6 % // Interfaks. 16 yanvarya 2025 g. URL: https://www.interfax.ru/business/1003335 (data obrashheniya: 25.02.2025).

23. «E`kolant» nachal stroit` zavod «zelenoj» metallurgii v Nizhegorodskoj oblasti // TASS. 9 fevralya 2022 g. URL: https://tass.ru/ekonomika/13654391 (data obrashheniya: 01.03.2025).

24. MMK vnedril cifrovoj dvojnik v domennom cexe // Oficial`ny`j sajt Magnitorskogo metallurgicheskogo kombinata.. URL: https://mmk.ru/ru/press-center/news/mmk-vnedril-tsifrovoy-dvoynik-v-domennom-tsekhe/ (data obrashheniya: 01.03.2025).

Информация об авторе / Information about the author

Наварро Олег Евгеньевич — соискатель, производственная компания «Стальпрокат», Люберцы, Россия.

Navarro Oleg Evgenievich — Applicant, Stalprokat Manufacturing Company, Lyubertsy, Russia.

oleg_navarro@mail.ru