

Факторы экономического роста Нижегородской области: моделирование ВРП с использованием данных регионов-двойников



Марина Юрьевна

МАЛКИНА

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского

Нижний Новгород, Российская Федерация

e-mail: mmuri@iee.unn.ru

ORCID: 0000-0002-3152-3934; ResearcherID: M-2681-2017

Аннотация. Выявление тенденций развития и потенциала роста российских регионов в новых условиях требует разработки продвинутых подходов к моделированию основных экономических показателей. Целью статьи является эконометрическое моделирование и анализ ВРП Нижегородской области с использованием данных регионов-двойников. Отбор регионов-двойников осуществлялся на основе схожести отраслевых структур, уровня и тенденций развития. С использованием панельных данных по 16 регионам кластера Нижегородской области за 2000–2022 годы построены функции Кобба – Дугласа с лаговыми переменными, оцененные методом максимального правдоподобия с коррекцией на групповую гетероскедастичность. В результате моделирования установлено положительное влияние факторов предложения (накопленных основных фондов, текущих инвестиций, количества занятых), факторов спроса (доходов на душу населения в прошлом периоде) на текущий ВРП. Важную роль в увеличении ВРП в рассматриваемом кластере также играет масштаб и структура бюджетных расходов региона. Среднегодовая ключевая процентная ставка Банка России, а также ее изменение оказывают отрицательное влияние на ВРП. Кроме того, ВРП регионов кластера находится в прямой зависимости от цены нефти марки Brent, что свидетельствует об исторической зависимости российской экономики от нефтяного сектора, и курса доллара к рублю, который влияет на ценовую составляющую ВРП через эффект переноса, а также процессы импортозамещения. Полученные результаты могут быть основой для дальнейшей разработки прогнозов и сценариев развития области на перспек-

Для цитирования: Малкина М.Ю. (2025). Факторы экономического роста Нижегородской области: моделирование ВРП с использованием данных регионов-двойников // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. Т. 18. № 2. С. 76–89. DOI: 10.15838/esc.2025.2.98.4

For citation: Malkina M.Yu. (2025). Drivers of economic growth of the Nizhny Novgorod Region: Modeling GRP using data from twin regions. *Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast*, 18(2), 76–89. DOI: 10.15838/esc.2025.2.98.4

тиву, определения последствий регулирующих воздействий на региональном уровне и эффектов неуправляемых макроэкономических параметров. Развитие исследования в будущем возможно путем вовлечения в него высокочастотных данных, разработки моделей более продвинутых спецификаций, в том числе структурированных и агрегированных, отдельного моделирования инфляционной и реальной составляющей ВРП, что позволит создавать более точные краткосрочные прогнозы.

Ключевые слова: регион, валовый региональный продукт, эконометрическое моделирование, факторы, кластеризация, регионы-двойники, бюджетные расходы, ключевая ставка Банка России.

Постановка проблемы

В последние годы российская экономика столкнулась с беспрецедентным санкционным давлением со стороны ряда развитых государств. В этих условиях чрезвычайно важно как на уровне страны, так и отдельных регионов определить потенциал экономического роста и замещения импортного производства. Для понимания имеющихся возможностей необходимо исследовать ресурсы, их динамику и эффективность с точки зрения воздействия на основные производственные показатели (прежде всего валовый региональный продукт), а также тенденции развития регионов в ретроспективе. Для выявления прошлых трендов и зависимостей валового регионального продукта необходимо выработать адекватные подходы к его моделированию, позволяющие оценить влияние на его уровень и динамику факторов предложения, спроса, макроэкономической и институциональной среды.

Одной из проблем моделирования региональной экономики является короткость временных рядов, основанных на годовых показателях, то есть недостаточность наблюдений. Особенно это относится к российским регионам, для которых период рыночной истории длится чуть более трех десятилетий, причем до кризиса 1998–1999 годов экономика находилась в переходном состоянии, развивалась по другим трендам, а статистика того времени является неполной. Поэтому в настоящее время моделирование возможно и целесообразно по данным 2000–2022 годов. Но и в этом временном интервале есть свои структурные разломы, в основном связанные с кризисами 2008–2009 годов, 2014–2015 годов, пандемией 2020 года и началом СВО в 2022 году. Кроме того, благодаря активному развитию воен-

ного и гражданского сектора в последние годы экономика большинства регионов завершила свой кейнсианский этап, стала трудодефицитной и находится в перегретом состоянии, то есть в состоянии полной занятости. Это означает, что прежние тренды нельзя однозначно экстраполировать на будущее, что ограничивает возможности прогнозирования. Между тем основные зависимости региональных экономик в силу жесткости (негибкости) отраслевых, технологических и институциональных структур, зависимости от предыдущего состояния (*state dependence*) и прошлого развития (*path dependence*) сохраняются относительно неизменными, что делает их исследование актуальным и ценным для последующего анализа.

Целью настоящего исследования является эконометрическое моделирование и анализ валового регионального продукта Нижегородской области на основе объединенных временных рядов и пространственной выборки по регионам одного с Нижегородской областью кластера.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи: 1) выявляется кластер регионов, схожих с Нижегородской областью по ВРП на душу населения, отраслевой структуре экономики и тенденциям развития; 2) устанавливаются показатели, которые могут объяснять изменение ВРП регионов кластера Нижегородской области и лаги их влияния; 3) на основе панельных данных осуществляется моделирование ВРП региона, устанавливается характер и степень влияния на него факторов предложения, спроса, макроэкономических условий и отдельных инструментов фискальной и монетарной политики.

Обзор литературы

Моделированию и прогнозированию региональных показателей посвящен ряд исследований российских и зарубежных авторов. При этом используются разные подходы. Часто для моделирования ВРП и его последующего краткосрочного прогнозирования применяется построение ARIMA-моделей (AutoRegressive Integrated Moving Average) – авторегрессий со скользящим средним и меняющейся дисперсией (Peng, 2023; Jijo, 2025). Преимуществом таких моделей является возможность учесть прежние тренды развития и меняющуюся волатильность моделируемого показателя. В ARIMA-моделях текущий ВРП зависит от его собственных исторических тенденций, но не учитывает влияющие на него факторы (изменяющиеся ресурсные и спросовые ограничения, макроэкономические условия и инструменты регулирования). Поэтому более продвинутым является подход, основанный на построении ARIMAX-моделей – с включением ряда экзогенных переменных (Ugoh, 2021; Haydier et al., 2023). При этом важным ограничением обоих подходов является необходимость большого количества наблюдений. Модели такого типа лучше реализуются на высокочастотных, как правило месячных данных, но для многих социально-экономических показателей официальная статистика их не предоставляет. Кроме того, такие данные нередко содержат сезонную и институциональную составляющие.

В случае с моделированием ВВП, ВРП и других социально-экономических показателей объективно приходится оперировать короткими временными рядами, что не позволяет учесть все множество факторов, на них влияющих. Кроме того, нередко факторы демонстрируют мультиколлинеарность. Для решения этих проблем зарубежные исследователи используют метод главных компонент, позволяющий через первые главные компоненты создать композитные переменные, охватывающие наибольшую вариацию признаков (Dias et al., 2015; Zhemkov, 2021). В российских исследованиях проблема короткости временных рядов решалась другим способом – за счет включения в выборку всех или некоторых регионов с похожими показателями. Критериями отбора служил размер ВРП,

для регионов с его разным уровнем вводились фиктивные переменные либо строились самостоятельные регрессии (Ивченко, 2019).

Другим часто используемым подходом к моделированию ВВП и ВРП является построение производственных функций, в которых валовой продукт зависит от труда, капитала, инвестиций и других факторов. Одной из наиболее популярных является производственная функция Кобба – Дугласа (Малкина, 2015; Вавилова, Зерари, 2024; Baranov et al., 2023) – функция степенного вида, которая путем логарифмирования преобразуется в линейный вид, что делает возможным применение метода наименьших квадратов для ее оценивания. Альтернативным вариантом является построение модели Р. Солоу, в основе которой тоже может лежать функция Кобба – Дугласа, но она учитывает ограниченное количество факторов. Например, в работе (Кутышкин, 2021) односекторная модель экономического роста Р. Солоу применена для моделирования валового регионального продукта Ямало-Ненецкого автономного округа. Есть и другие типы производственных функций, например, функция с постоянной эластичностью замещения (CES – Constant Elasticity Substitution), которая позволяет учесть меняющиеся связи между факторами. В силу нелинейности ее оценивание представляет определенные сложности, однако иногда используются методы приближительной линеаризации (Черемухин, Груздев, 2022).

Выбор наиболее адекватной производственной функции для моделирования ВРП того или иного региона – самостоятельная исследовательская задача. Например, в статье (Скуфьина, Баранов, 2017) решается вопрос о поиске оптимальной производственной функции при моделировании ВРП регионов Севера и Арктики. Рассматривались следующие альтернативные варианты: 1) мультипликативная производственная функция; 2) степенная функция типа Кобба – Дугласа; 3) производственная функция с постоянной эластичностью замещения. Авторы пришли к выводу, что для четырех из пятнадцати рассматриваемых регионов и РФ в целом лучше подходит функция CES, для одного региона – функция Кобба – Дугласа, а для восьми регионов не подходит ни одна функция.

Встречаются и другие подходы к моделированию ВРП и ВВП. Например, в статье (Кузнецов, Кулигин, 2022) с использованием экономико-математических методов разработана модель валового регионального продукта на базе конечно-временной схемы интегро-дифференциального уравнения.

Одним из продвинутых и достаточно трудоемких способов моделирования ВРП является структурированный подход, основанный на отдельном моделировании отраслей или секторов экономики и последующем синтезе результатов. Применение такого подхода позволило (Еремин, 2024) определить потенциал увеличения ВРП Новгородской области за счет изменения структуры инвестиций с учетом рассчитанных мультипликаторов по различным типам производств. В другой работе (Дубовик и др., 2022) с помощью регрессионного моделирования и преобразования Бокса-Кокса оценен вклад в ВРП Брянской области трех основных отраслей — сельского хозяйства, обрабатывающих производств, оптовой и розничной торговли. Часть исследований посвящены моделированию сложных экономических систем с выделением лидирующего сектора региональной экономики — конкретной отрасли по ОКВЭД (Афанасьев, Гусев, 2023).

Еще один вариант структурированного подхода к моделированию регионального продукта предполагает отдельное моделирование составляющих спроса (потребления, инвестиций, госзакупок и чистого экспорта) и предложения и сведение их воедино (Lombardini, 2024), либо моделирование поведения отдельных типов хозяйствующих субъектов с последующим синтезом в единую модель (Jokubaitis et al., 2021).

При моделировании валового продукта, помимо недостатка данных, авторы сталкиваются с проблемой меняющихся методик расчета показателей, что нередко делает статистические данные несопоставимыми (Михеева, 2022). Для решения этого вопроса используется либо пересчет показателей по новым методикам, что представляет собой нетривиальную задачу, либо использование корректирующих коэффициентов, либо введение дамми-переменных для новых периодов.

Важной исследовательской задачей является отбор факторов, влияющих на ВРП. При

этом исследователи руководствуются как базовыми положениями и концепциями экономической теории, так и доступными данными. Конечный выбор переменных осуществляется на основе их тестирования на значимость, мультиколлинеарность и пр. Обычно в качестве факторов, влияющих на ВРП, рассматриваются основные фонды, инвестиции в основной капитал, занятость или затраты на рабочую силу. Например, в статье (Crespo-Cuaresma et al., 2010) с использованием модели байесовского усреднения (ВМА) для класса моделей квантильной регрессии показано, что основными детерминантами роста реального ВРП в странах Евросоюза с учетом фиксированных страновых эффектов являются инвестиции в основной капитал, трудовые навыки и начальный валовой внутренний продукт на душу населения, однако влияние этих факторов в различных квантилях различно. В работе (Ghosh, Samanta, 2021) с использованием панельных данных по европейским странам тестировались модели ВРП разных спецификаций: со случайными, фиксированными эффектами, с перекрестной зависимостью и гетероскедастичностью. Лучший результат показала модель со случайными эффектами. Авторы пришли к выводу, что прогнозной силой для ВВП обладают такие показатели, как инвестиции, изменение рабочей силы и бюджетного профицита.

В некоторых исследованиях в производственные функции, кроме традиционных, включаются и другие факторы. Например, в работе (Ивченко, 2019), помимо стандартных, исследованы такие детерминанты ВРП, как социальные расходы регионального бюджета, уровень оборотных средств предприятий и организаций, сальдо доходов и расходов предприятий и организаций, показатель платежеспособного спроса населения региона. В статье (Zhemkov, 2021) в качестве факторов для формирования сценарных индикаторов моделирования ВВП России применялись цены на нефть, реальный обменный курс, темпы роста мировой экономики и краткосрочные и долгосрочные ставки по кредитам. В статье (Заздравных, 2023) важным фактором роста реального ВРП являлись темпы роста и выхода на региональный рынок новых компаний.

Иногда в моделях тестируется влияние на ВРП какого-то специфического фактора. Примером является работа (Федорова и др., 2020), где исследовалось влияние туристических потоков на ВРП регионов и также обнаружены положительные эффекты инвестиций в основной капитал в предшествующем году и объема платных туристических услуг. В работе (Демидова, Камалова, 2021) изучался пространственный фактор экономического развития регионов с применением методов пространственной эконометрики. Обнаружено влияние соседних регионов на рост реального ВРП на душу населения, скорректированного по паритету покупательной способности.

В ряде работ в модели включаются институциональные факторы, разные инструменты экономического регулирования, используемые Банком России и Правительством, обычно при этом решается задача оценки их эффективности и выработки рекомендаций по совершенствованию соответствующей политики. Например, в работе (Малкина, Виноградова, 2024) на примере Нижегородской области исследовались существенность и степень влияния на валовый региональный продукт объемов поддержки областного бюджета в форме налоговых льгот, грантов и субсидий, а также субсидирования процентной ставки по ипотечным программам. Обнаружено положительное влияние на ВРП региона внутренних затрат на НИОКР и расходов на национальную экономику в консолидированном бюджете области и отрицательное влияние ключевой ставки Банка России.

Опираясь на предшествующие исследования, в настоящей статье применим целый пул показателей, предположительно, влияющих на ВРП Нижегородской области: ресурсных, спросовых, макроэкономических и институциональных. Проблему короткости временных рядов решим с помощью выделения регионов-двойников Нижегородской области, схожих с ней по ряду показателей развития, что является принципиально новым подходом. Также в качестве принципиальной модели используем расширенную производственную функцию Кобба — Дугласа, включающую четыре типа переменных без ограничений на эффект масштаба, соединив ее с моделью распределенного лага для учета влияния прошлых значений переменных на текущий ВРП.

Отбор регионов-двойников для моделирования

Как было отмечено в обзоре литературы, недостаток данных во временных рядах сильно ограничивает возможности моделирования и прогнозирования показателей каждого конкретного региона на основе его собственных значений. В то же время включение в анализ всех регионов представляется не вполне корректным, в силу различающихся у них отраслевых и технологических структур, достигнутого уровня и трендов развития. Поэтому в настоящей статье выделим регионы, которые могут послужить в качестве совершенных двойников Нижегородской области, на основе данных которых будет расширена панельная выборка.

Формирование регионов-двойников предлагается по трем критериям.

1. Близкий ВРП на душу населения (по данным 2022 года) в k -м регионе (Y_k) и в Нижегородской области (Y_N). Для этого определяется их абсолютная разница:

$$SY_{kN} = abs(Y_k - Y_N) \quad (1)$$

2. Близкая отраслевая структура (по данным 2022 года). Для анализа используются доли в валовой добавленной стоимости следующих укрупненных и объединенных видов экономической деятельности:

S1 — сельское хозяйство, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство;

S2 — добыча полезных ископаемых;

S3 — обрабатывающие производства; обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха; водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений;

S4 — строительство;

S5 — торговля оптовая и розничная; ремонт автотранспортных средств и мотоциклов;

S6 — транспортировка и хранение; деятельность гостиниц и предприятий общественного питания; деятельность в области информации и связи;

S7 — деятельность финансовая и страховая; деятельность по операциям с недвижимым имуществом;

S8 — деятельность профессиональная, научная и техническая;

S9 — деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги; государственное управление и обеспечение военной безопасности; социальное обеспечение;

S10 — образование; деятельность в области здравоохранения и социальных услуг; деятельность в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений; предоставление прочих видов услуг; деятельность домашних хозяйств как работодателей.

Для оценки близости двух отраслевых структур для каждого k -го региона рассчитывается индекс схожести с Нижегородской областью (регионом N):

$$SSI_{kN} = \frac{1}{10} \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (S_{ki} - S_{Ni})^2}, \quad (2)$$

где:

S_{ki} — доля i -й укрупненной отрасли в ВДС k -го региона;

$i = \overline{1,10}$;

S_{Ni} — доля i -й укрупненной отрасли в ВДС Нижегородской области.

3. Близкие тренды развития регионов. Для этого на основе годовых данных за 2000–2022 годы рассчитываются межвременные корреля-

ции всех базовых показателей каждого k -го региона с Нижегородской областью, определяется их простая средняя (Cor_{kN}).

Для каждого из трех показателей каждого k -го региона (SY_{kN} , SSI_{kN} и Cor_{kN}) рассчитывается ранг среди всех регионов, эти ранги суммируются и снова ранжируются. Далее среди всех регионов выбираются те, у которых общий ранг наименьший. Это регионы наиболее близкие к Нижегородской области по отраслевой структуре, уровню и тенденциям развития. Иными словами, это регионы-двойники, чьи показатели также будут участвовать в моделировании.

Отобранные регионы и их показатели представлены в таблице 1.

Моделирование ВРП региона

Моделирование ВРП региона проводилось на панельной выборке, включающей годовые данные по 16 регионам Нижегородского кластера за 2000–2022 годы. В качестве объясняющих первоначально тестировались 18 переменных (определялись значимость, мультиколлинеарность и пр.), из которых в конечные модели вошли 12 переменных¹. Они представлены в таблице 2.

Таблица 1. Регионы одного кластера с Нижегородской областью и показатели их отбора

Регион	Y_k^* (руб.)	Ранг	SSI_{kN}^*	Ранг	Cor_{kN}	Ранг	Общий ранг
Нижегородская область	739125	1	0	1	1	1	1
Новосибирская область	693656	9	1,456	22	0,705	2	2
Архангельская область	722234	5	1,379	20	0,642	18	3
Владимирская область	585131	29	1,136	11	0,680	4	4
Челябинская область	673545	14	1,292	17	0,644	16	5
Калининградская область	715359	6	1,582	27	0,639	19	7
Ярославская область	623525	25	0,665	2	0,620	25	7
Калужская область	647307	21	1,427	21	0,661	12	8
Ростовская область	556629	33	1,333	18	0,672	8	10
Свердловская область	816092	16	0,690	3	0,568	40	10
Тверская область	516489	39	0,938	7	0,651	15	11
Костромская область	480120	46	1,135	10	0,673	7	13
Тульская область	674432	13	2,123	41	0,668	9	13
Ленинградская область	822794	19	1,258	16	0,581	34	16
Московская область	901231	30	1,200	15	0,632	24	16
Рязанская область	566113	32	1,007	8	0,601	29	16

* Данные за 2022 год.

¹ В конечные модели в силу мультиколлинеарности или незначимости не вошли следующие тестируемые показатели: население региона (тыс. чел.), стоимость потребительской корзины (руб.), расходы на НИОКР (млн руб.), налоговые поступления, неналоговые поступления, безвозмездные поступления в консолидированный бюджет субъекта РФ (млн руб.). В то же время в модели вошел показатель собственных доходов бюджета (сумма налоговых и неналоговых поступлений) и общих доходов бюджета (определяемый суммированием всех трех источников).

Таблица 2. Показатели для моделирования региональной экономики и их обозначения

Переменная	Обозначение	Переменная	Обозначение
Валовой региональный продукт (млн руб.)	<i>GDP</i>	Безвозмездные поступления в консолидированный бюджет субъекта РФ от других уровней бюджетной системы (млн руб.)	<i>BR_transfers</i>
Инвестиции в основной капитал (млн руб.)	<i>Invest</i>	Расходы консолидированного бюджета субъекта РФ (млн руб.)	<i>BE</i>
Стоимость основных фондов на конец года (млн руб.)	<i>Assets</i>	Расходы консолидированного бюджета субъекта РФ на национальную экономику (млн руб.)	<i>BE_econ</i>
Среднегодовая численность занятых (тыс. чел.)	<i>Employ</i>	Расходы консолидированного бюджета субъекта РФ на социальную сферу* (млн руб.)	<i>BE_soc</i>
Среднедушевые денежные доходы населения в месяц (руб.)	<i>Income_pc</i>	Цена нефти марки Brent (\$ за баррель)	<i>Brent</i>
Доходы консолидированного бюджета субъекта РФ (млн руб.)	<i>BR</i>	Среднегодовая ключевая ставка Банка России (%)	<i>Rate</i>
Собственные (налоговые и неналоговые) доходы консолидированного бюджета субъекта РФ (млн руб.)	<i>BR_own</i>	Курс доллара США к российскому рублю (руб./\$)	<i>USD</i>
*Суммировались расходы на следующие социально-культурные мероприятия: образование, здравоохранение, культура, физкультура и спорт, социальная политика.			

На основе предположений о лаговом влиянии ряда переменных была отобрана модель распределённого лага – ADL(q,k):

$$y_t = a_0 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=0}^q b_{kj} x_{k-t-j} + \varepsilon_t,$$

где:

($i = \overline{1, k}$) – номер экзогенной переменной;

($j = \overline{1, q}$) – лаг экзогенной переменной x_{k-t-j} .

Заметим, что модели подобного типа могут строиться не только для временных рядов, но и для панельных данных, интерпретированных как объединенные временные ряды. В качестве альтернативной и более продвинутой можно использовать модель авторегрессии с распределенным лагом (ARDL). Ее преимуществом является более успешное решение проблемы автокорреляции остатков и иногда гетероскедастичности. Однако коэффициенты в такой модели уже не будут отражать полноценное влияние факторов производственной функции и поэтому хуже поддаются интерпретации.

В основу модели была положена производственная функция Кобба – Дугласа, которая путем логарифмирования преобразована в линейный вид. Таким образом, в приведенной выше формуле все переменные были представлены в логарифмическом виде. Оптимальные лаги при экзогенных переменных выбирались с учетом значимости коэффициентов при регрессорах и требований модели к нормальности остатков.

Тест Вальда указывал на наличие групповой гетероскедастичности в модели с фиксированными эффектами, а тест Бройша-Пагана – на наличие гетероскедастичности в остатках модели со случайными эффектами. Также в обоих случаях присутствовала автокорреляция в остатках. Для максимально возможного устранения гетероскедастичности было осуществлено оценивание моделей с помощью поэтапного взвешенного МНК (Iterative weighted least squares) с подбором весов на основе максимизации функции максимального правдоподобия. В таблице 3 представлены результаты моделирования и соответствующие тесты.

Все представленные в таблице 3 модели значимы по критерию Фишера, оценки коэффициентов значимы по критерию Стьюдента (причем для большинства на уровне $p\text{-value} < 0,001$). Остатки распределены по нормальному закону, гомоскедастичны. Согласно дисперсии остатков (S.E. of regression), все модели обладают высокой предсказательной силой.

Выбор лучшей модели осуществляется на основе максимума функции логарифмического правдоподобия, минимума информационных критериев Акаике, Шварца, Ханнана-Куинна. Этим критериям удовлетворяет Модель 5. Однако она уступает всем остальным моделям по критерию нормальности остатков. По этому критерию лучшей является Модель 2.

Таблица 3. ADL модели ВРП региона: оценки методом максимального правдоподобия с учетом групповой гетероскедастичности; зависимая переменная $\ln GDP$, 16 поперечных сечений, 352 наблюдения

	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4	Модель 5	Модель 6
Коэффициент (стандартная ошибка), значимость						
$const$	-1,456 (0,185)***	-0,975 (0,196)***	-1,226 (0,155)***	-1,326 (0,150)***	-1,268 (0,135)***	-1,399 (0,148)***
$\ln Invest_t$	0,132 (0,016)***	0,147 (0,017)***	0,147 (0,015)***	0,143 (0,015)***	0,129 (0,015)***	0,145 (0,015)***
$\ln Assets_{t-1}$	0,102 (0,014)***	0,099 (0,015)***	0,092 (0,014)***	0,097 (0,014)***	0,104 (0,013)***	0,110 (0,014)***
$\ln Employ_t$	0,460 (0,026)***	0,495 (0,024)***	0,437 (0,024)***	0,455 (0,024)***	0,449 (0,021)***	0,474 (0,023)***
$\ln Income_{pc_{t-1}}$	0,202 (0,027)***	0,210 (0,027)***	0,181 (0,026)***	0,199 (0,025)***	0,204 (0,022)***	0,210 (0,024)***
$\ln BR_t$	0,175 (0,029)***	-	0,129 (0,030)***	0,104 (0,031)***	-	-
$\ln BR_{own_{t-1}}$	0,297 (0,038)***	0,293 (0,032)***	0,254 (0,036)***	0,259 (0,036)***	0,368 (0,029)***	0,324 (0,030)***
$\ln BE_{econ_{t-1}}$	-	0,026 (0,013)**	-	-	-	-
$\ln BE_{soc_{t-1}}$	-0,107 (0,034)***	-	-	-	-	-
$\ln Brent_t$	0,167 (0,018)***	0,127 (0,016)***	0,149 (0,018)***	0,150 (0,018)***	0,152 (0,017)***	0,163 (0,018)***
$\ln USD_t$	0,463 (0,025)***	0,454 (0,024)***	0,460 (0,024)***	0,460 (0,024)***	0,452 (0,023)***	0,474 (0,024)***
$\ln Rate_t$	-	-0,051 (0,019)***	-	-	-	-
$\Delta \ln Rate_t$	-0,078 (0,018)***	-	-0,077 (0,018)***	-0,078 (0,018)***	-0,072 (0,017)***	-0,084 (0,018)***
$\Delta \ln BR_t$	-	-	-	-	0,323 (0,039)***	-
$\Delta \ln BE_t$	-	-	-	0,151 (0,045)***	-	0,204 (0,043)***
$\Delta \ln BE_{soc_t}$	-	0,152 (0,050)***	0,097 (0,050)**	-	-	-
Логарифмическое правдоподобие / Log-likelihood	447,176	433,023	444,604	447,595	462,765	443,686
Критерий Акаике / Akaike criterion	-829,853	-844,045	-867,209	-873,191	-905,530	-867,371
Критерий Шварца / Schwarz criterion	-855,440	-801,545	-824,709	-830,691	-866,894	-828,735
Критерий Ханнана-Куинна / Hannan-Quinn	-872,353	-827,132	-850,296	-856,278	-890,155	-851,996
Стандартные остатки / S.E. of regression	0,076	0,080	0,076	0,077	0,074	0,078
χ^2 тест / Chi-square(15) p -value ¹⁾	46,381 4,625e-005	45,373 6,686e-005	45,580 6,200e-005	48,738 1,933e-005	56,170 1,134e-006	52,671 4,373e-006
χ^2 тест / Chi-square(2) p -value ²⁾	0,536 0,765	0,129 0,938	0,185 0,912	0,733 0,693	2,766 0,251	1,203 0,548
Примечание: значимость *** p -value < 0,01; ** p -value < 0,05.						
¹⁾ Тест отношения правдоподобия для групповой гетероскедастичности с помощью поперечного сечения. Нулевая гипотеза: единицы имеют общую дисперсию ошибок.						
²⁾ Тест на нормальность остатков. Нулевая гипотеза: остатки распределены нормально.						

Таблица 4. ARDL модель ВРП региона: оценки методом максимального правдоподобия с учетом групповой гетероскедастичности; зависимая переменная $\ln GDP$, 16 поперечных сечений, 352 наблюдения

	Коэффициент	Стандартная ошибка	<i>p-value</i>	Значимость
<i>const</i>	-0,371	0,092	< 0,0001	***
$\ln GDP_{t-1}$	0,610	0,050	< 0,0001	***
$\ln GDP_{t-2}$	0,084	0,038	0,0277	**
$\ln Invest_t$	0,081	0,010	< 0,0001	***
$\ln Employ_t$	0,142	0,013	< 0,0001	***
$\ln BR_own_{t-1}$	0,106	0,027	< 0,0001	***
$\ln Brent_t$	0,110	0,012	< 0,0001	***
$\ln USD_t$	0,237	0,021	< 0,0001	***
$\Delta \ln Income_pc_t$	0,213	0,057	0,0002	***
$\Delta \ln Rate_t$	-0,046	0,015	0,0024	***
$\Delta \ln BR_t$	0,261	0,033	< 0,0001	***
Логарифмическое правдоподобие / Log-likelihood	548,223			
Критерий Акаике / Akaike criterion	-1074,445			
Стандартные остатки / S.E. of regression	0,050			
χ^2 тест / Chi-square(15) ¹	21,130		0,133	
χ^2 тест / Chi-square(2) ²	2,493		0,287	
Примечание: значимость *** <i>p-value</i> < 0,01; ** <i>p-value</i> < 0,05.				
¹) Тест отношения правдоподобия для групповой гетероскедастичности с помощью поперечного сечения. Нулевая гипотеза: единицы имеют общую дисперсию ошибок.				
²) Тест на нормальность остатков. Нулевая гипотеза: остатки распределены нормально.				

Между тем, выбранный метод оценивания моделей не позволил полностью преодолеть гетероскедастичность в остатках. Для ее устранения дополнительно построена модель ARDL (авторегрессии с распределенным лагом), отличающаяся от ADL-моделей включением лаговых значений эндогенной переменной. Она представлена в таблице 4.

Построенная ARDL модель соответствует всем критериям качества, более того, в ней отсутствует гетероскедастичность и автокорреляция в остатках. Знаки при переменных и их относительное влияние в целом соответствуют моделям ADL. Между тем, все коэффициенты при экзогенных переменных по абсолютному значению ниже, потому что их влияние распределилось на лаговые переменные $\ln GDP_{t-1}$ и $\ln GDP_{t-2}$. А значит, они не могут быть интерпретированы как показатели эластичности факторов в производственной функции. Между тем, эта модель выполняет контрольную функцию в нашем исследовании: совместимость ее

содержательных результатов с моделями ADL позволяет далее перейти к интерпретации результатов, полученных на основе традиционной производственной функции.

В целом построенные модели соответствуют основным положениям экономической теории. Прежде всего, ВРП регионов Нижегородского кластера зависит от имеющихся производственных ресурсов (трудовых — $\ln Employ_t$, капитальных — наличных основных фондов на начало периода — $\ln Assets_{t-1}$) и их изменения в текущем периоде (уровня инвестиций в основной капитал — $\ln Invest_t$).

Поскольку все переменные в моделях представлены в логарифмической форме, оценки коэффициентов в ADL-моделях интерпретируются как эластичности ВРП по соответствующей экзогенной переменной, то есть они показывают, на сколько процентов изменится ВРП при изменении этой переменной на 1% при прочих равных условиях. Например, изменение инвестиций в основной капитал в те-

кущем периоде на 1% предположительно дает прирост ВРП 0,129–0,147% при прочих равных условиях. А прирост занятости на 1% приводит к росту ВРП на 0,437–0,495%. Это результат согласуется с выводами ряда других исследований (Кутышкин, 2021; Baranov et al., 2023), где также обнаружена большая чувствительность ВРП российских регионов к труду, чем к капиталу. В то же время другие исследования продемонстрировали, что коэффициенты эластичности выпуска по труду и капиталу различны в зависимости от рассматриваемого региона и периода исследования (Вавилова, Зерари, 2024; Скуфьина, Баранов, 2017). Полученный нами результат свидетельствует о трудоинтенсивности производства в регионах одного кластера с Нижегородской областью (куда входят регионы с развитой обрабатывающей промышленностью) и высокой значимости проблемы дефицита кадров при текущей технологической структуре экономики.

Результаты моделирования показали, что немаловажную роль в увеличении производства в регионе играет наличие финансовых ресурсов. Источником финансовых ресурсов могут быть как собственные, так и бюджетные и заемные средства. Важную роль в развитии региона играет масштаб, а также структура доходов и расходов региональных бюджетов. В частности, построенные модели продемонстрировали положительное влияние на ВРП региона доходов консолидированного бюджета субъекта РФ в текущем периоде ($\ln BR_t$) и собственных (налоговых и неналоговых) доходов консолидированного бюджета субъекта РФ в прошлом периоде ($\ln BR_{own_{t-1}}$). Модели также показали среднее по значимости положительное влияние на ВРП региона бюджетных расходов на национальную экономику в прошлом периоде ($\ln BE_{econ_{t-1}}$) и отрицательное влияние бюджетных расходов на социальную сферу в прошлом периоде ($\ln BE_{soc_{t-1}}$). В то же время прирост расходов на социальную сферу в текущем периоде по сравнению с прошлым периодом ($\Delta \ln BE_{soc_t}$) доказал положительное влияние на текущий ВРП. Это может объясняться тем, что социальные выплаты являются важной составляющей дохода малообеспеченных граждан, у которых склонность к потреблению выше. Кроме того, расходы на социальную сфе-

ру также формируют доходы соответствующих отраслей и сфер деятельности, способствуют повышению качества человеческого капитала. Полученный результат несколько откорректировал оценку эффектов социальных расходов, которая ранее была исключительно положительной (Ивченко, 2019). Это может быть связано как с тем, что в нашем случае сумма социальных расходов рассматривалась по разным направлениям, так и с особенностями выборки регионов и подходов к моделированию.

Как следовало ожидать, модели продемонстрировали положительное влияние доходов населения в прошлом периоде $\ln Income_{pc_{t-1}}$ на ВРП текущего периода, что также согласуется с мнением других авторов (Ивченко, 2019; Arpitha et al., 2025). Это означает, что в среднем в рассматриваемом периоде региональное производство в кластере Нижегородской области зависело от потребительского спроса, то есть исторически региональные экономики скорее находились на кейнсианском, чем неоклассическом отрезке кривой предложения.

В построенных моделях среднегодовая ставка Банка России $\ln Rate_t$ и особенно ее изменение $\Delta \ln Rate_t$ показали значимое отрицательное влияние на ВРП региона. Тем самым на весь кластер распространяется вывод, ранее полученный для Нижегородской области (Малкина, Виноградова, 2024). Как известно, Банк России поднимает ставку для борьбы с инфляцией, но платой за это выступает замедление темпов экономического роста. При проведении жесткой денежно-кредитной политики номинальный ВРП уменьшается как в части инфляционной, так и реальной составляющей, что и отразили полученные коэффициенты.

Наконец, все модели показали прямую зависимость ВРП региона от двух слабо управляемых макроэкономических параметров — цены на нефть марки Brent и курса доллара США к российскому рублю. Эти параметры также оказались предикторами в моделях ВВП России, представленных в статье (Zhemkov, 2021).

Доходы от нефтяного сектора растекаются по всей российской экономике, питают бюджетную систему, создают вторичные мультипликационные эффекты, поэтому влияние цены нефти на производство в разных регионах (не только добывающих, но и обрабаты-

ющих) является положительным. В то же время положительное влияние цены нефти на ВРП свидетельствует о существенной и перманентной зависимости российской экономики от состояния мировых рынков нефти, что, с учетом нестабильности этих рынков и санкционных ограничений доступа к ним российских производителей, создает серьезные риски для регионального развития.

Курс американского доллара к рублю может быть интерпретирован как прокси-ценовой составляющей ВРП. Курс влияет на цены импортных товаров, доля которых в отечественном потреблении, по разным оценкам, составляет от 24% до 40%. Через эффект переноса курс влияет на цены всех товаров. Кроме того, снижение курса национальной валюты увеличивает ценовую конкурентоспособность отечественного производства, способствует импортозамещению внутри страны и продвижению отечественных товаров на внешние рынки, а также увеличению доходов бюджетной системы.

Таким образом, для регионов, входящих в один кластер с Нижегородской областью, то есть регионов-двойников, доказана зависимость ВРП от факторов спроса, предложения, инструментов фискальной и денежно-кредитной политики, а также ряда слабоуправляемых макроэкономических факторов, установлена направленность и степень влияния этих факторов.

Заключение

В работе проведено моделирование ВРП Нижегородской области с использованием данных регионов-двойников. Анализ литературы показал, что в настоящее время существуют разные подходы к моделированию основных социально-экономических показателей региона: построение моделей временных рядов типа ARIMA и ARIMAX, моделей с фиксированными и случайными эффектами, основанных на панельных данных, построение производственных функций различного типа, агрегированных моделей. Выбор той или иной модели зависит от структуры данных. Важными проблемами в моделировании также является выбор объясняющих факторов (исходя из теоретических концепций и имеющихся данных) и преодоление проблемы короткости временных рядов.

Последняя проблема может быть решена разными способами. В настоящем исследовании предложен и реализован подход к увеличению количества наблюдений за счет включения в модель данных регионов-двойников. Регионы одного с Нижегородской областью кластера выбирались по трем критериям: ВРП на душу населения, схожая отраслевая структура экономики, схожие тренды развития. В результате была сформирована панельная выборка из 16 индустриально развитых регионов с временными рядами за 2000–2023 гг.

Для моделирования ВРП регионов кластера Нижегородской области была построена производственная функция Кобба – Дугласа с распределенным лагом (ADL), которая оценивалась методом поэтапного взвешенного МНК с подбором весов на основе максимизации функции максимального правдоподобия. В результате получены непротиворечащие и частично дополняющие друг друга шесть моделей, обладающие высокой объяснительной силой. Модели значимы по критерию Фишера, оценки всех коэффициентов значимы по критерию Стьюдента, остатки моделей распределены согласно нормальному закону. Для устранения гетероскедастичности и автокорреляции остатков они дополнены построением ARDL-модели, которая привела к непротиворечащим с ADL-моделями результатам.

Построенные модели подтвердили большую зависимость ВРП регионов рассматриваемого кластера от фактора труда, чем от фактора капитала в форме накопленных фондов и текущих инвестиций. Это означает, что трудодефицитность накладывает существенные ограничения на экономический рост, способом ее преодоления является развитие технологических структур, способствующих повышению капиталоемкости национального дохода и капиталовооруженности труда.

Доказано положительное влияние на ВРП состояния бюджетной сферы региона и масштабов поддержки региональной экономики из консолидированного бюджета субъекта федерации. При этом установлена неоднозначная роль социальных расходов: с одной стороны, их относительно большая величина наблюдается у регионов с меньшим ВРП, с другой сторо-

ны, прирост этих расходов может давать положительный эффект для регионального продукта через формирование спроса на продукцию разных секторов экономики. Также важным драйвером экономического роста в регионе со стороны спроса является увеличение доходов населения, за которым, разумеется, стоят другие факторы. Для более точного определения связи доходов населения с ВРП требуется построение более сложных моделей с прямыми и обратными связями, вероятно, основанных на системе одновременных уравнений.

Помимо инструментов фискальной политики, модели показали отрицательное влияние ключевой ставки Банка России и ее прироста на ВРП исследуемых регионов. Наконец, они подтвердили устойчивую зависимость экономик исследуемых регионов от цен на нефть и валютного курса рубля к доллару США.

Таким образом, ВРП регионов одного с Нижегородской областью кластера объясняется ресурсными, спросовыми ограничениями, институциональной и макроэкономической средой. Полученные результаты указывают на

относительную значимость этих факторов, эффективность разных мер воздействия, обнаруживают слабые места и резервы роста региональных экономик. Они могут быть полезными при разработке взвешенной политики управления региональным развитием в регионах с развитой обрабатывающей промышленностью и достаточно диверсифицированной отраслевой структурой, типа Нижегородской области.

Дальнейшее развитие исследования возможно как путем уточнения спецификаций моделей, их построения с использованием высокочастотных данных других показателей, создания структурированных моделей (моделирования ВРП по видам экономической деятельности или составляющим спроса), отдельного моделирования инфляционной и реальной составляющей роста, использования метода главных компонент для агрегирования влияния большего числа переменных. Уточнение моделей и подходов в будущем позволит разработать более взвешенные подходы к краткосрочному прогнозированию ВРП и других показателей социально-экономического развития регионов.

Литература

- Афанасьев М.Ю., Гусев А.А. (2023). Ситуационное моделирование траекторий экономической сложности регионов // Экономика и математические методы. Т. 59. № 4. С. 58–70. DOI: 10.31857/S042473880028217-7
- Вавилова Д.Д., Зерари Р. (2024). Анализ, моделирование и прогнозирование динамики валового регионального продукта на основе производственной функции // Экономика. Информатика. № 51 (1). С. 5–17. DOI 10.52575/2712-746X-2024-51-1-5-17
- Демидова О., Камалова Э. (2021). Пространственно-эконометрическое моделирование экономического роста российских регионов: имеют ли значение институты? // Экономическая политика. Т. 16. № 2. С. 34–59. DOI: 10.18288/1994-5124-2021-2-34-59
- Дубовик М.В., Дмитриев С.Г., Обидовская Н.Н. (2022). Регрессионная модель валового регионального продукта Брянского региона и выпуска отраслей региональной экономики // KANT. Т. 42. № 1. С. 27–33. DOI: 10.24923/2222-243X.2022-42.4
- Еремин В.В. (2024). Мультипликативное влияние формирования ресурсного потенциала на величину валового регионального продукта // Современная конкуренция. Т. 18. № 6. С. 97–110. DOI: 10.37791/2687-0657-2024-18-6-97-110
- Заздравных А.В. (2023). Динамика входа и выхода компаний и региональный экономический рост // Экономическая политика. 2023. Т. 18. № 2. С. 8–43. DOI: 10.18288/1994-5124-2023-2-8-43
- Ивченко Ю.С. (2019). Определение основных факторов уровня валового регионального продукта методами эконометрического моделирования по совокупности регионов Российской Федерации // Статистика и экономика. Т. 16. № 6. С. 4–18. DOI: 10.21686/2500-3925-2019-6-4-18
- Кузнецов С.Б., Кулигин Е.В. (2022). Интегро-дифференциальная модель оценки валового регионального продукта // Развитие территорий. № 2. С. 15–21. DOI: 10.32324/2412-8945-2022-2-15-21
- Кутышкин А.В. (2021). Моделирование динамики валового регионального продукта // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». Т. 21. № 2. С. 104–113. DOI: 10.14529/ctcr210210

- Малкина М.Ю. (2015). Факторы экономического роста в регионах Российской Федерации // Общество и экономика. № 7. С. 139–160.
- Малкина М.Ю., Виноградова А.В. (2024). Эффективность институтов государственной поддержки экономики России и ее регионов // Journal of Institutional Studies. Т. 16. № 4. С. 97–112. DOI: 10.17835/2076-6297.2024.16.4.097-112
- Михеева Н.Н. (2022). «Новые» региональные пропорции: результаты пересчета валового регионального продукта // Проблемы прогнозирования. № 3. С. 78–88. DOI: 10.47711/0868-6351-192-78-8
- Скуфьина Т.П., Баранов С.В. (2017). Математико-статистическое моделирование динамики производства ВРП регионов Севера и Арктики: в поисках лучшей модели // Вопросы статистики. № 7. С. 52–64.
- Федорова Е.А., Черникова Л.И., Пастухова А.Э., Ширяева Л.К. (2020). Туризм и экономический рост: региональный аспект // ЭКО. № 9. С. 138–155. DOI: 10.30680/ECO0131-7652-2020-9-138-155
- Черемухин А.Д., Груздев Г.В. (2022). Исследование применимости CES-функций для описания процессов сельскохозяйственного производства // Вестник НГИЭИ. № 9 (136). С. 65–83. DOI: 10.24412/2227-9407-2022-9-65-83
- Arpitha P., Kumar M., Reddy G.B.S., Joshi A.T. (2025). A quantitative analysis of macroeconomic indicators and GDP growth in India. *Journal of Scientific Research and Reports*, 31(2), 135–143. DOI: <https://doi.org/10.9734/jsrr/2025/v31i22831>
- Baranov S., Skufina T., Samarina V. (2023). Influence of underutilization of production capacities on the dynamics of Russian GDP: An assessment on the basis of production functions. *Journal of Risk and Financial Management*, 16(3), 166. DOI: <https://doi.org/10.3390/jrfm16030166>
- Crespo-Cuaresma J., Foster N., Stehrer R. (2010). Determinants of regional economic growth by quantile. *Regional Studies*, 45(6), 809–826. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343401003713456>
- Dias F., Pinheiro M., Rua A. (2015). Forecasting Portuguese GDP with factor models: Pre- and post-crisis evidence. *Economic Modelling*, 44, 266–272. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.034>
- Ghosh S., Samanta G.P. (2021). Gross domestic product modeling using “panel-data” concept. In: Patnaik S., Tajeddini K., Jain V. (Eds). *Computational Management. Modeling and Optimization in Science and Technologies*. Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-72929-5_9
- Haydier E., Albarwari N., Ali T. (2023). The comparison between VAR and ARIMAX time series models in forecasting. *Iraqi Journal of Statistical Sciences*, 20(2), 249–262. DOI: <https://10.33899/ijjoss.2023.0181260>
- Jijo J.J. (2025). Modelling and forecasting the GDP of G7 countries using Arima model. *Asian Journal of Economics, Business and Accounting*, 25(3), 295–315. DOI: <https://doi.org/10.9734/ajeaba/2025/v25i31711>
- Jokubaitis S., Celov D., Leipus R. (2021). Sparse structures with LASSO through principal components: Forecasting GDP components in the short-run. *International Journal of Forecasting*, 37(2), 759–776. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.09.005>
- Lombardini S. (2024). Italian regional econometric model. *Papers in Regional Science*, 103(6), 100060. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pirs.2024.100060>
- Peng Y. (2023). Forecasting USA GDP base on ARIMA model. *BCP Business & Management*, 38, 1745–1752. DOI: <https://doi.org/10.54691/bcpbm.v38i.3961>
- Ugoh C.I., Uzuke C.A., Ugoh D.O. (2021). Application of ARIMAX model on forecasting Nigeria’s GDP. *American Journal of Theoretical and Applied Statistics*, 10(5), 216–225. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.ajtas.20211005.12>
- Zhemkov M. (2021). Nowcasting Russian GDP using forecast combination approach. *International Economics*, 168, 10–24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inteco.2021.07.006>

Сведения об авторе

Марина Юрьевна Малкина — доктор экономических наук, профессор кафедры экономической теории и методологии, Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (603000, Российская Федерация, г. Нижний Новгород, пер. Университетский, д. 7; e-mail: mmuri@iee.unn.ru)

Malkina M.Yu.

Drivers of Economic Growth of the Nizhny Novgorod Region: Modeling GRP Using Data from Twin Regions

Abstract. Identification of development trends and growth potential of Russian regions in the new conditions requires the elaboration of advanced approaches to modeling the main economic indicators. The aim of the article is to carry out an econometric modeling and analysis of the GRP of the Nizhny Novgorod Region using data from twin regions. The selection of twin regions was based on the similarity of industry structures, level of development and trends. Using panel data for 16 regions of the Nizhny Novgorod Region cluster for 2000–2022, the Cobb – Douglas functions with lagged variables were constructed, estimated by the maximum likelihood method with correction for group heteroscedasticity. As a result of the modeling, a positive influence of supply factors (accumulated fixed assets, current investments, number of employees), demand factors (income per capita in the past period) on the current GRP was established. The scale and structure of budget expenditures of the region also play an important role in increasing the GRP in the cluster under consideration. The average annual key interest rate of the Bank of Russia, as well as its change, have a negative impact on the GRP. In addition, the GRP of the cluster regions is positively related to the price of Brent crude oil, which indicates the historical dependence of the Russian economy on the oil sector, and the dollar to ruble exchange rate, which affects the price component of the GRP through the pass-through effect, as well as import substitution processes. The obtained results can be the basis for designing forecasts and scenarios for the development of the region in the future, determining the consequences of regulatory impacts at the regional level and the effects of uncontrolled macroeconomic parameters. Further development of the study is possible through the inclusion of high-frequency data, the elaboration of models with more advanced specifications, including structured and aggregated ones, as well as separate modeling of the inflationary and real components of GRP, which together will allow for the creation of more accurate short-term forecasts.

Key words: region, gross regional product, econometric modeling, factors, clustering, twin regions, budget expenditures, key rate of the Bank of Russia.

Information about the Author

Marina Yu. Malkina – Doctor of Sciences (Economics), Professor, professor of the Department of Economic Theory and Methodology, Lobachevsky State University of Nizhy Novgorod (7, Universitetsky Lane, Nizhny Novgorod, 60300, Russian Federation; e-mail: mmuri@iee.unn.ru)

Статья поступила 18.03.2025.