DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.76.95

Производственная функция народного хозяйства с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры и распространения уханьского коронавируса в России

А.А. Афанасьев
E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

О.С. Пономарева
E-mail: fondf@cemi.rssi.ru

Центральный экономико-математический институт Российской академии наук
Адрес: 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

Аннотация

Транспортно-коммуникационная инфраструктура играет важную роль в обеспечении расширенного воспроизводства экономики, в том числе в условиях распространения по миру уханьского коронавируса (SARS-CoV-2). В условиях эпидемии и связанных с ней ограничительных мер возрастает роль коммуникационной составляющей экономики, которая в определенной степени вынужденно замещает транспортную. Мы провели эконометрическое исследование народнохозяйственной производственной функции российской экономики с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры, представленной среднегодовой стоимостью основных фондов чистых отраслей транспорта и связи за 1990–2018 гг. Аргументами этой функции являются среднегодовая стоимость основных фондов в сопоставимых ценах 1990 года, среднегодовой уровень загрузки производственных мощностей в российской промышленности, среднегодовая численность занятых в народном хозяйстве и среднегодовая стоимость основных фондов чистых отраслей транспорта и связи в сопоставимых ценах 1990 года. Результаты исследования показали, что в течение 2010–2018 гг. эластичность ВВП России по инфраструктуре снижается, что, по мнению авторов, объясняется сокращением за этот период объемов капитальных вложений в основные фонды инфраструктурных отраслей. Кроме того, мы предложили аналитическую модификацию народнохозяйственной производственной функции для 2020 года в условиях распространения в России уханьского коронавируса, путем введения в данную функцию среднегодовых уровней использования рабочей силы и загрузки транспортно-коммуникационной инфраструктуры. Эти показатели, наряду со среднегодовым уровнем загрузки основных фондов, являются функциями прогнозных значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России. В свою очередь, эти прогнозные значения рассчитываются на основе исследованной методом наименьших квадратов квадратичной экспоненты Гаусса, зависящей от времени (суток). Мы приводим результаты исполнения прогнозов динамики суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом жителей России и г. Москвы по состоянию на весну 2020 года, средняя ошибка которых составляет на 30 дней по России 10,4% и на 5 недель по г. Москве – 10%. Также представлены прогнозы суточной численности инфицированных жителей России на осень 2020 – весну 2021 гг.

Ключевые слова: эконометрическое исследование; российская экономика; макроэкономическая производственная функция; транспортно-коммуникационная инфраструктура; эконометрическое прогнозирование; уханьский коронавирус; SARS-CoV-2; COVID-19; уровень использования факторов производства.

Цитирование: Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Производственная функция народного хозяйства с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры и распространения уханьского коронавируса в России // Бизнес-информатика. 2020. Т. 14. № 4. С. 76–95. DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.76.95

Введение

Производственная инфраструктура имеет важное народнохозяйственное значение. В послании Президента России Федеральному Собранию говорится, что ее модернизация и развитие имеют большое значение для укрепления каркаса страны, дают импульс развитию территорий (в том числе Крыма и Севастополя), способствует экономическому росту [1]. В частности, железнодорожный Крымский мост, который был введен в действие в 2019 году, дал мощный импульс развитию Республики Крым и города Севастополь. Таким образом, разработка мер государственной политики по устойчивому развитию, модернизации и эффективному использованию производственной инфраструктуры экономики Российской Федерации, в том числе, ее транспортно-коммуникационной составляющей, является актуальной задачей, для решения которой может применяться современный экономико-математический инструментарий.

Вопросам развития и модернизации транспортно-коммуникационной инфраструктуры российской экономики посвящено немало научных трудов [2]. Одним из пионеров в области исследования развития отечественной инфраструктуры является Григорий Дмитриевич Дубелир (1874–1942), работы которого посвящены оптимизации сети автомобильных дорог [3–7].

В коллективном труде Н.П. Лаверова и др. [8], представляющем собой экспертное заключение на проект строительства международного морского канала «Евразия», отмечается, что предварительная оценка возможных рисков (включая транспортно-экономические, экологические, политические и международно-правовые) этого проекта свидетельствует об их достаточно высоком уровне. Авторы исследуют современное состояние околоводных и водных экосистем на территории предполагаемого строительства канала «Евразия», заявляют о важности дополнительных инженерно-экологических изысканий для уточнения текущего состояния водных ресурсов территории и о необходимости более глубокой проработки вариантов последствий строительства этого крупного водохозяйственного объекта, а также уделяют особое внимание мерам, направленным на уменьшение негативных последствий реализации проекта.

В работе М.Г. Завельского [9] разработана эконометрическая модель прогноза основных макроэкономических показателей для регионов РФ с учетом влияния инфраструктурного фактора, в частности, валового регионального продукта (ВРП). Эта модель учитывает специфику административно-территориальных единиц России и, по мнению автора, позволяет с большей точностью, чем существующие модели, прогнозировать динамику изменения этих показателей.

В работе В.Н. Лившица, И.А. Мироновой и А.Н. Шевцова [10] на основе оценки социально-экономической эффективности инвестиционных проектов обосновывается необходимость принятия государственных стратегических решений по развитию транспортной инфраструктуры, а также описываются прикладные возможности предлагаемого авторами подхода на примере инвестиционных проектов нового железнодорожного строительства в России.

В статье Э.И. Позамантира [11] предложена модель вычислимого общего равновесия экономики, на основе которой проводится исследование наиболее важных составляющих стратегии развития транспортной инфраструктуры – выбора источников и объемов финансирования капитальных вложений в развитие инфраструктуры, включая влияние данного выбора на развитие народного хозяйства в целом и на конечное потребление. Моделируется формирование внутренних источников финансирования инвестиционного фонда из созданной в предыдущем периоде добавленной стоимости, а также приводятся результаты экспериментальных расчетов.

В статье В.А. Садовничего и др. [12] при помощи методов математического моделирования и прогнозирования произведена количественная оценка долгосрочных эффектов (макроэкономических, социальных и геополитических) внедрения проекта по развитию железных дорог Дальнего Востока и Сибири, включая строительство высокоскоростной грузопассажирской магистрали. Расчеты авторов показали, что реализация этого проекта будет играть важную роль в социально-экономическом развитии Российской Федерации и укреплении геополитических и геоэкономических позиций России в Азиатско-Тихоокеанском регионе и в мире в целом.

Вместе с тем, проблема оценки макроэкономического эффекта развития и модернизации транспортно-коммуникационной инфраструктуры решена не до конца, что связано, прежде всего, с концентрацией исследователей на одной из ее составляющих: чаще – транспортной и реже – коммуникационной, которая, как отмечает академик В.Л. Макаров, играет важную роль на современном этапе движения общества к экономике знаний [13]. В предложенной авторами эконометрической модели производственной функции российской экономики [14] эта проблема решается путем выделения среднегодовой стоимости основных фондов чистых отраслей транспорта и связи[1] в отдельный аргумент функции, что позволило провести оценку влияния инфраструктуры на такой важнейший макроэкономический показатель экономики нашей страны как валовый внутренний продукт (ВВП) за 1990–2012 годы. В настоящее время представляется актуальным исследовать производственную функцию в расширенном временном промежутке 1990–2018 гг., с целью дальнейшего изучения и анализа влияния инфраструктуры на ВВП России.

1. Модель производственной функции и статистические данные

Для оценки влияния транспортно-коммуникационной инфраструктуры на ВВП России авторами во временных промежутках, начинающихся с 1990 года и оканчивающихся 2013–2018 гг., проведено эконометрическое исследование предложенной ими ранее [14] макроэкономической производственной функции вида:

$$Y_t = e^{\alpha}\left(z_t K_t\right)^{\beta} L_t^{1-\beta} I_t^{\gamma}, \qquad (1)$$

где Y_t – ВВП России в сопоставимых ценах 1990 г. в году t;

K_t – среднегодовая стоимость основных фондов экономики России в сопоставимых ценах 1990 г. в году t;

z_t – среднегодовой уровень загрузки производственных мощностей в российской промышленности в году t;

L_t – среднегодовая численность занятых в экономике в году t;

I_t – среднегодовая стоимость основных фондов инфраструктуры (чистых отраслей транспорта и связи) в сопоставимых ценах 1990 г. в году t.

Эконометрическое исследование функции (1) проведено методом наименьших квадратов на основе статистических данных Росстата и Российского экономического барометра (*таблица 1*). Перевод среднегодовой стоимости основных фондов чистых отраслей транспорта и связи в сопоставимые цены 1990 г. осуществлялся на основе статистических данных Росстата по авторской методике, изложенной в работах [14, 15]. Следует отметить, что в отличие от работы [14] авторы используют несколько измененное значение показателя среднегодовой стоимости основных фондов чистых отраслей транспорта и связи в сопоставимых ценах 1990 г. за 2008–2012 гг., что связано с уточнением индекса переоценки основных фондов в 2008–2009 гг. Кроме того, ввиду уточнения среднегодового индекса цен на продукцию инвестиционного назначения по России за 2017 год, равного 1,026, в отличие от работы [15] авторы используют уточненный показатель среднегодовой стоимости основных фондов народного хозяйства в сопоставимых ценах 1990 г. за 2017 год. В связи с изменением в 2016 году методики расчета Росстатом среднегодовой численности занятых в народном хозяйстве, с целью правильного сопоставления с данными за предыдущие годы значения показателя за 2017–2018 гг. рассчитаны авторами по среднегодовым темпам роста за 2017 и 2018 годы [15, 16].

[1] Под основными фондами чистых отраслей транспорта и связи понимаются основные фонды транспорта и связи всех хозяйствующих единиц, вне зависимости от их отраслевой принадлежности. Именно фонды чистых отраслей отражаются в балансе основного капитала, составляемого Росстатом

Таблица 1.

Статистические данные для эконометрического исследования за 1990–2018 гг.

Год	Y_t, млрд руб.	K_t, млн руб.	z_t	L_t, тыс. чел.	I_t, млн руб.
1990	644	1 871 649	100	75 325	251 548
1991	612	1 957 288	100	73 848	265 806
1992	523	2 009 054	73	72 071	277 320
1993	478	2 030 396	74	70 852	283 913
1994	417	2 014 984	61	68 484	288 435
1995	400	1 995 229	60	66 441	289 518
1996	386	1 983 823	54	65 950	289 351
1997	391	1 967 098	54	64 639	289 427
1998	371	1 953 216	55	63 642	289 773
1999	394	1 953 747	62	63 963	290 439
2000	434	1 962 932	66	64 517	291 581
2001	456	1 976 006	69	64 980	295 215
2002	477	1 993 845	70	65 574	301 557
2003	512	2 015 564	73	65 979	309 364
2004	549	2 040 209	74	66 407	318 011
2005	584	2 074 736	76	66 792	327 755
2006	632	2 119 496	78	67 174	340 138
2007	686	2 169 707	80	68 019	353 854
2008	722	2 229 842	77	68 474	367 701
2009	665	2 292 706	65	67 463	383 787
2010	695	2 350 079	72	67 577	402 597
2011	725	2 416 816	78	67 727	419 318
2012	750	2 499 424	79	67 968	439 598
2013	760	2 581 327	78	67 901	468 506
2014	765	2 644 159	77	67 813	496 133
2015	744	2 673 133	75	68 389	520 271
2016	742	2 696 319	77	68 430	539 786
2017	753	2 730 170	79	68 127	557 465
2018	771	2 762 511	78	68 016	572 441

Источники: данные за 1990–2012 гг. [14] с уточнениями за 2008–2012 гг., данные за 1990–2017 гг. [15] с уточнениями за 2017 г., данные за 2018 г. [16–18], Росстат (база данных ЕМИСС), расчеты авторов по методике [14, 15].

2. Результаты эконометрического исследования

В результате эконометрического исследования функции (1) в расширенных временных промежутках 1990–2018 гг. было установлено, что эта функция достаточно адекватно описывает процесс расширенного воспроизводства народного хозяйства России как с точки зрения экономической теории, так и с точки зрения канонических критериев эконометрики (*таблица 2*).

На основе приведенной таблицы отметим следующее.

1. Знаки при коэффициентах производственной функции согласуются с положениями экономической науки.

2. Все аргументы функции, т.е. факторы производства, являются статистически значимыми.

3. Высокие значения коэффициентов детерминации R^2 (0,91–0,94) говорят о наличии очень тесной статистической связи между ВВП России и факторами производства (основными фондами, численностью занятых и основными фондами инфраструктуры).

4. Попадание статистики Дарбина–Ватсона *DW* в зону положительной автокорреляции хотя и снижает степень верификации модели, но в то же время свидетельствует о влиянии на ВВП России других неучтенных факторов, таких как мировая цена на нефть, что отражено авторами в работе [15].

Более того, производственная функция (1) имеет достаточно хорошую прогнозную силу на временном интервале 2005–2018 гг. Так, направление динамики *ex-post* прогнозного ВВП России почти везде совпадает с направлением динамики фактического ВВП (*рисунок 1*), а ошибки *ex-post* прогноза, вычисляемые по формуле: $APE_t = \left| Y_{t(прогноз)} / Y_{t(факт)} - 1 \right|$, за исключением двух лет не превышают 11% (*рисунок 2*).

3. Выводы из результатов эконометрического исследования

На основании результатов эконометрического исследования (*таблица 2*) можно сделать следующие выводы.

1. Эластичность ВВП России по инфраструктуре γ, характеризующая вклад инфраструктуры в воспроизводство ВВП, возрастала в 2003–2009 гг. с 0,03 до 0,74 и снижалась в 2009–2018 гг. с 0,74 до 0,23 (*рисунок 3*).

Таблица 2.

Результаты эконометрического исследования производственной функции народного хозяйства России с учетом инфраструктуры (1) за 1990–2018 гг.

Временной промежуток	Коэффициенты и *t*-статистики (в скобках)			R^2	*DW*
	α	β	γ		
1990–2003	–7,84 (–2,27)	0,83 (10)	0,03 (0,10)	0,91	2,10
1990–2004	–11,15 (–4)	0,87 (11)	0,28 (1,25)	0,91	1,99
1990–2005	–12,94 (–6)	0,89 (11)	0,42 (2,27)	0,92	1,93
1990–2006	–14,18 (–7)	0,90 (12)	0,52 (3)	0,93	1,88
1990–2007	–15,09 (–9)	0,91 (12)	0,59 (4)	0,94	1,83
1990–2008	–16,13 (–11)	0,91 (12)	0,67 (6)	0,95	1,71
1990–2009	–17,01 (–14)	0,89 (12)	0,74 (7)	0,95	1,53
1990–2010	–16,36 (–16)	0,89 (12)	0,69 (8)	0,96	1,69
1990–2011	–15,29 (–14)	0,89 (10)	0,61 (7)	0,95	1,33
1990–2012	–14,28 (–13)	0,86 (9)	0,53 (5)	0,94	1,01
1990–2013	–13,40 (–13)	0,85 (8)	0,47 (5)	0,94	0,82
1990–2014	–12,67 (–12)	0,85 (8)	0,41 (4)	0,93	0,70
1990–2015	–11,97 (–12)	0,87 (8)	0,35 (4)	0,93	0,64
1990–2016	–11,31 (–12)	0,88 (8)	0,30 (3)	0,92	0,57
1990–2017	–10,80 (–11)	0,88 (7)	0,25 (3)	0,91	0,50
1990–2018	–10,46 (–11)	0,88 (7)	0,23 (2,3)	0,91	0,47

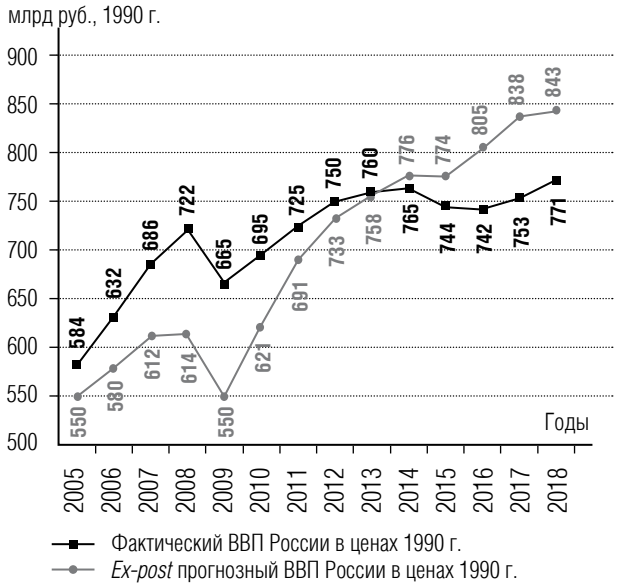

Рис. 1. Фактический и *ex-post* прогнозный на 2005–2018 гг. ВВП России в сопоставимых ценах 1990 г. по функции (1), исследованной в 1990–2004 гг.

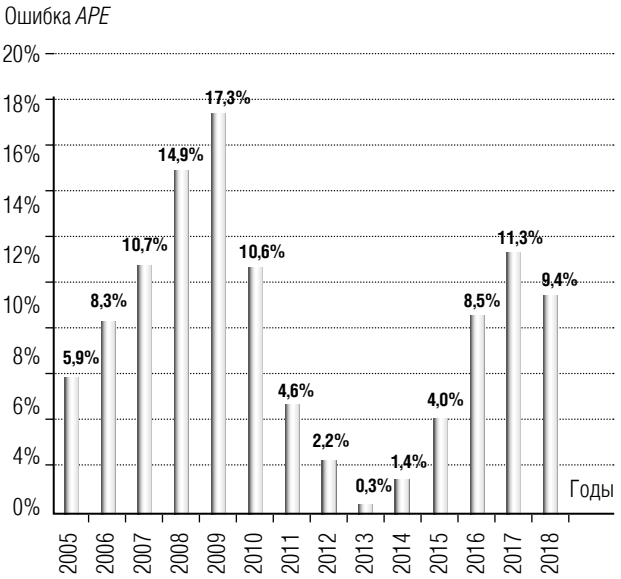

Рис. 2. Ошибки *ex-post* прогноза *APE* на 2005–2018 гг. ВВП России в сопоставимых ценах 1990 г. по функции (1), исследованной в 1990–2004 гг.

2. Снижение значений *t*-статистик коэффициента при инфраструктуре γ в течение 2010–2018 гг. в 3,5 раза (с 8 до 2,3) свидетельствует об ослаблении статистической значимости инфраструктуры и, следовательно, ее влияния на расширенное воспроизводство ВВП России.

Одним из важных факторов, указывающих на снижение с 2009 года роли транспортно-коммуникационной инфраструктуры в экономике России является уменьшение веса (тоннажа) перевозимых грузов всеми видами транспорта в 2009–2018 гг. (*рисунок 4*). Так, в 2003–2008 гг. тоннаж возрос с 8,8 до 9,5 млрд тонн, в 2009 году он упал до 7,5 млрд. тонн и, хотя в последующие 2010–2018 годы вес перевозимых грузов стал расти, он не смог достигнуть даже уровня 2003 года.

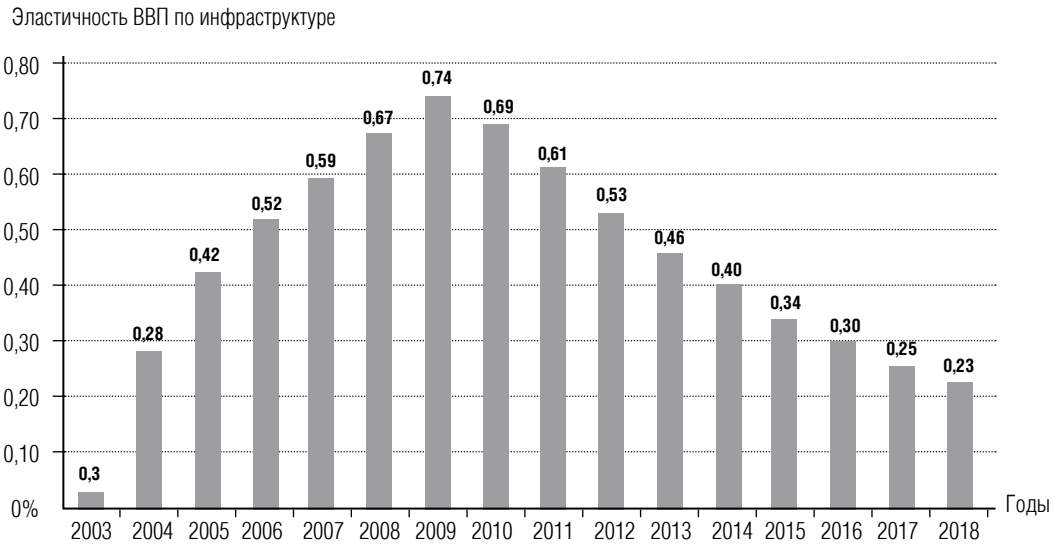

Рис. 3. Эластичность ВВП России по инфраструктуре γ в 2003–2018 гг. (*таблица 1*)

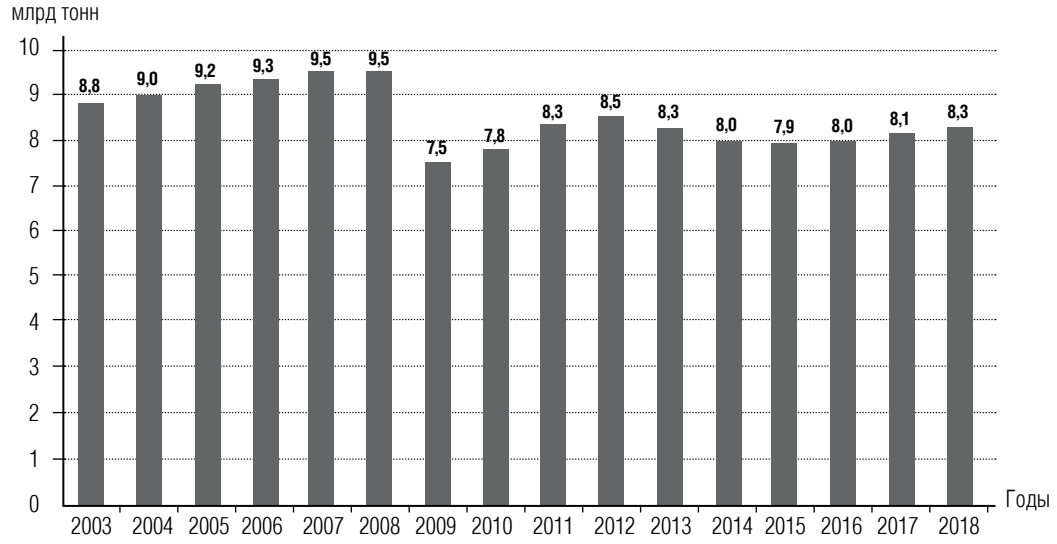

Рис. 4. Перевозки грузов всеми видами транспорта Российской Федерации в 2003–2018 гг.
Источник: Росстат (база данных ЕМИСС)

В чем же причины снижения роли и значимости инфраструктуры в расширенном воспроизводстве экономики России в 2009–2018 годах? На наш взгляд, основная причина такого снижения – сокращение объемов капитальных вложений в транспортно-коммуникационную инфраструктуру России. В самом деле, в 2003–2009 годах среднегодовой физический индекс инвестиций в основной капитал чистых отраслей транспорта и связи составлял 117,2%, а в 2010–2018 гг. – всего лишь 99,4% (рассчитано авторами на основе данных *рисунка 5*).

Таким образом, мы видим, что на сегодняшний день транспортно-коммуникационная инфраструктура российской экономики нуждается в значительных капитальных вложениях, направленных на ее эффективную модернизацию и устойчивое развитие. Это, в свою очередь, будет способствовать ускорению роста и устойчивому развитию всего народного хозяйства России.

Между тем, с начала 2020 года движение к устойчивому развитию и ускорение экономического ро-

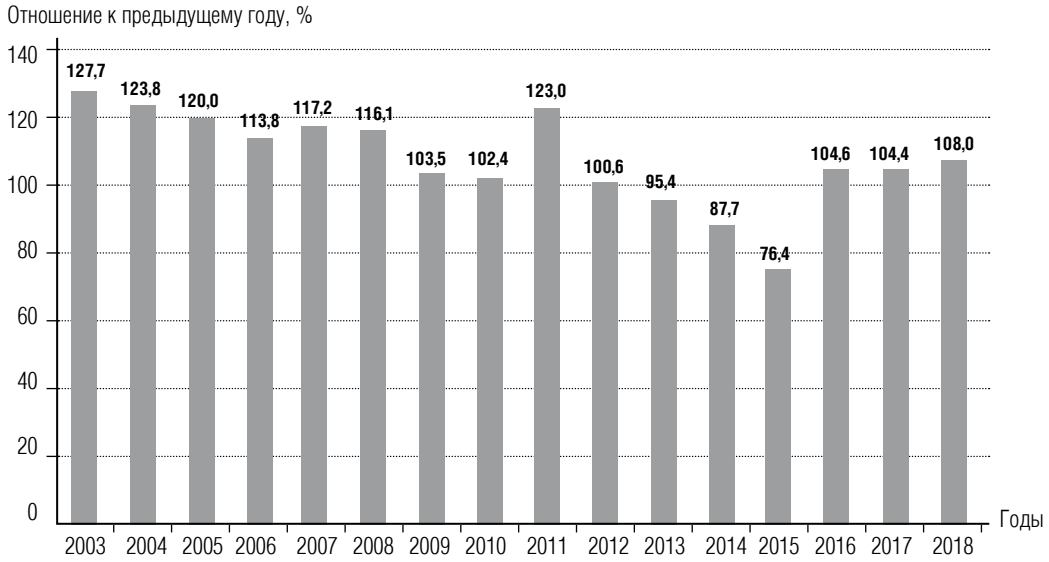

Рис. 5. Индекс физического объема инвестиций в основной капитал по всем организациям чистых отраслей транспорта и связи России в 2003–2018 гг. Источники: Росстат (база данных ЕМИСС) и расчеты авторов за 2017–2018 гг.

ста как российской, так и мировой экономики были подорваны широким распространением коронавирусной болезни (КОВИД-19), возбудителем которой является передающийся от человека к человеку уханьский коронавирус (*Wuhan coronavirus*) [22, 23]. Это второй коронавирус тяжелого острого респираторного синдрома (*SARS-CoV-2*), впервые появившийся на рынке морепродуктов китайского города Ухань в декабре 2019 года. Далее мы будем использовать термин «уханьский коронавирус», который наряду с терминами *SARS-CoV-2*, *COVID-19*, *2019-nCoV*, *Wuhan seafood market pneumonia virus* («вирус пневмонии уханьского рынка морепродуктов») является общеупотребительным в научной литературе [22], служит изначальным названием этого нового коронавируса (предложенного китайскими исследователями [22], в том числе авторами из Китайской академии наук [23]) и является понятным для широкого круга читателей, не имеющих специального медицинского образования.

Уханьский коронавирус, начавший (согласно официальным данным) активно распространяться в России с конца февраля 2020 гола, в условиях отсутствия специфических противокоронавирусных препаратов, антикоронавирусной вакцины и (на начальном этапе) достаточного количества средств индивидуальной противоинфекционной защиты привел к потерям среди населения и вынудил российские органы государственной власти вводить (начиная с марта 2020 года) ограничения различной жесткости на передвижение людей, общение между ними, а также хозяйственную деятельность предприятий и организаций. Эти меры, с одной стороны, способствовали замедлению распространения уханьского коронавируса среди населения, а с другой – нанесли определенный урон народному хозяйству России. В связи с этим представляется актуальным модифицировать макроэкономическую производственную функцию России с учетом распространения уханьского коронавируса и последовавших за этим эпидемических ограничений.

4. Модификация модели с учетом распространения уханьского коронавируса в 2020 году

В работах одного из авторов статьи была построена и исследована методом наименьших квадратов эконометрическая модель весенней фазы суточного распространения уханьского коронавируса в России (от 10 мая 2020 г. [20–21]) и в городе Москве (от 26 апреля 2020 г. [19])

$$y_T = e^{aT^2+bT+c}, \qquad (2)$$

где y_T – количество зараженных уханьским коронавирусом людей за сутки;

T – время (сутки);

e – основание натурального логарифма.

Результаты исследования приведены в *табли-*

Таблица 3.

Результаты эконометрического исследования квадратичной экспоненциальной функции Гаусса (2) суточной численности зараженных уханьским коронавирусом людей в городе Москве и по России в целом весной 2020 года

№	Временной промежуток	Коэффициенты (*t*-статистики)			R^2	*DW*	Прогноз на 2020 г. пика суточного заражения		Прогноз на 2020 г. наступления нулевого (единичного) суточного заражения	
		a	*b*	*c*			дата	число зараженных, чел.	дата	общее число зараженных с начала эпидемии, тыс. чел.
Москва										
1	12.03–11.04	–0,0025 (–1,43)	0,2788 (5)	0,8896 (2,23)	0,88	2,70	6.05	5821	7.07	206,5
15	12.03–25.04	–0,0030 (–5)	0,2935 (11)	0,8158 (3)	0,93	2,68	29.04	3080	23.06	100,6
Россия										
2	2.03–1.05	–0,0018 (–14)	0,2648 (31)	0,3659 (2,79)	0,99	1,07	13.05	11618	28.07	484,9

Источники: [19–21] (нумерация функций сохранена как в первоисточниках)

це 3. На основе исследованных функций в работах [19–21] даны прогнозы суточной численности зараженных коронавиусом жителей на периоды со 2 мая по конец июля 2020 года (Россия, *рисунки 6* и *7*) и с 26 апреля по начало июля 2020 года (Москва, *рисунки 8* и *9*).

Как видно из *рисунка 6*, функция 2 (*таблица 3*) показала прогнозную дату пиковой численности зараженных уханьским коронавирусом граждан России (13 мая 2020 г., 11618 чел.) через два дня после достижения фактического пика (11 мая 2020 г., 11656 чел.).

На основе функции 1 (*таблица 3*, *рисунок 8*) был спрогнозирован пик числа инфицированных москвичей 6 мая 2020 г. (5821 чел.), т.е. за день до наступления пика фактической заболеваемости 7 мая (6703 чел.), с ошибкой в численности заразившихся жителей Москвы равной 13% (*рисунок 9*). Исследованные в работах [19–21] функции вида (2) позволили спрогнозировать суточную численность зараженных уханьским коронавирусом граждан России на 30 дней вперед, на 2–31 мая 2020 г., со среднеарифметической ошибкой *APE* в 10,4% (*рисунки 6–7*, *таблица 3*) и жителей Москвы на пять недель вперед, на 26 апреля – 1 мая (функция 15, *таблица 3*) и 2–29 мая 2020 г. (функция 1, *таблица 3*), со среднеарифметической ошибкой *APE* в 10% (*рисунки 8–9*), где

$$APE = \sum_{T=1}^{m} APE_T,\ APE_T = |y_{T(прогнозная)} / y_{T(фактическая)} - 1|,$$

m – число суток прогнозного периода.

Особенностью методологии эконометрического прогнозирования на основе функции (2) является то, что степень точности и научной обоснованности прогноза, а также доверия к нему зависит не только от правильно выбранного вида функциональной зависимости, но и от того, каким количеством оцененных функций подтверждается прогноз. Так, степень доверия к прогнозу выше, если одинаковые или близкие значения прогнозируются функцией, оцененной не на одном временном промежутке, а на нескольких. В самом деле, все функции (2) по России (кроме одной), оцененные во временных промежутках со 2 марта по 30 апреля – 10 мая 2020 г., прогнозируют одинаковые даты пиковой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России – 14 мая 2020 г. Лишь одна из функций (2), исследованная со 2 марта по 1 мая 2020 г., прогнозирует достижение пиковой численности за день до остальных – 13 мая 2020 г., что очень близко к фактической пиковой дате – 11 мая 2020 г. (*рисунок 10*). Кроме того, все 11 функций прогнозируют очень близкие (в пределах ошибки 5%) значения пиковой суточной численности в пределах 11,6–12,2 тыс. человек, которые очень близки к фактической пиковой численности 11 мая – 11,7 тыс. человек (*рисунок 11*).

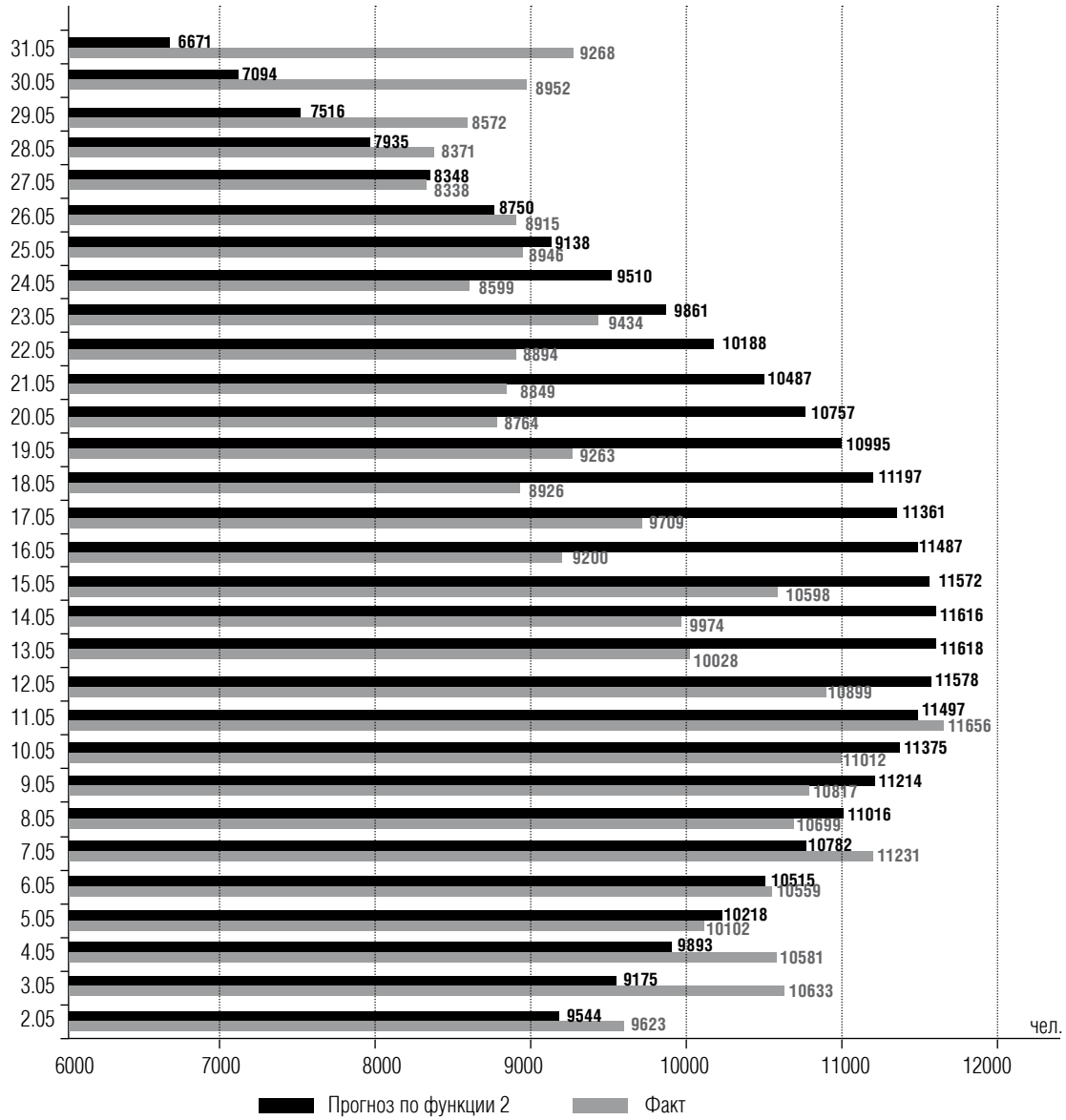

Рис. 6. Фактические и прогнозные на 2–31 мая 2020 г. значения суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2 (*таблица 3*)
Источники: [19] и стопкоронавирус.рф

Также все рассмотренные функции указали очень близкие даты затухания (наступления нулевых значений) распространения уханьского коронавируса: 28 июля (5 функций) и 29 июля 2020 г. (остальные 6 функций) (*рисунок 12*). Несмотря на то, что коронавирус в России не был побежден в эти даты, произошло существенное затухание его распространения до 5,3–5,4 тыс. чел. в сутки. Отметим, что начавшиеся с первых чисел июня 2020 г. существенные расхождения между прогнозными и фактическими значениями суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России и Москвы были вызваны определенными факторами в середине мая – начале июня 2020 г., а именно: ослаблением и последующей отменой режима строгой изоляции (продолжительность которого занимала большую часть протяженности временных интервалов эконометрического оценивания функции (2)), а также появлением возможности бесплатного тестирования на уханьский коронавирус и на наличие антител к нему (что привнесло элемент большей случайности в показатель суточной численности заражения).

Несмотря на все это, представляется возможным использовать изложенную выше методологию для прогнозирования осенне-зимней фазы распространения теперь уже официально публикуемых (ре-

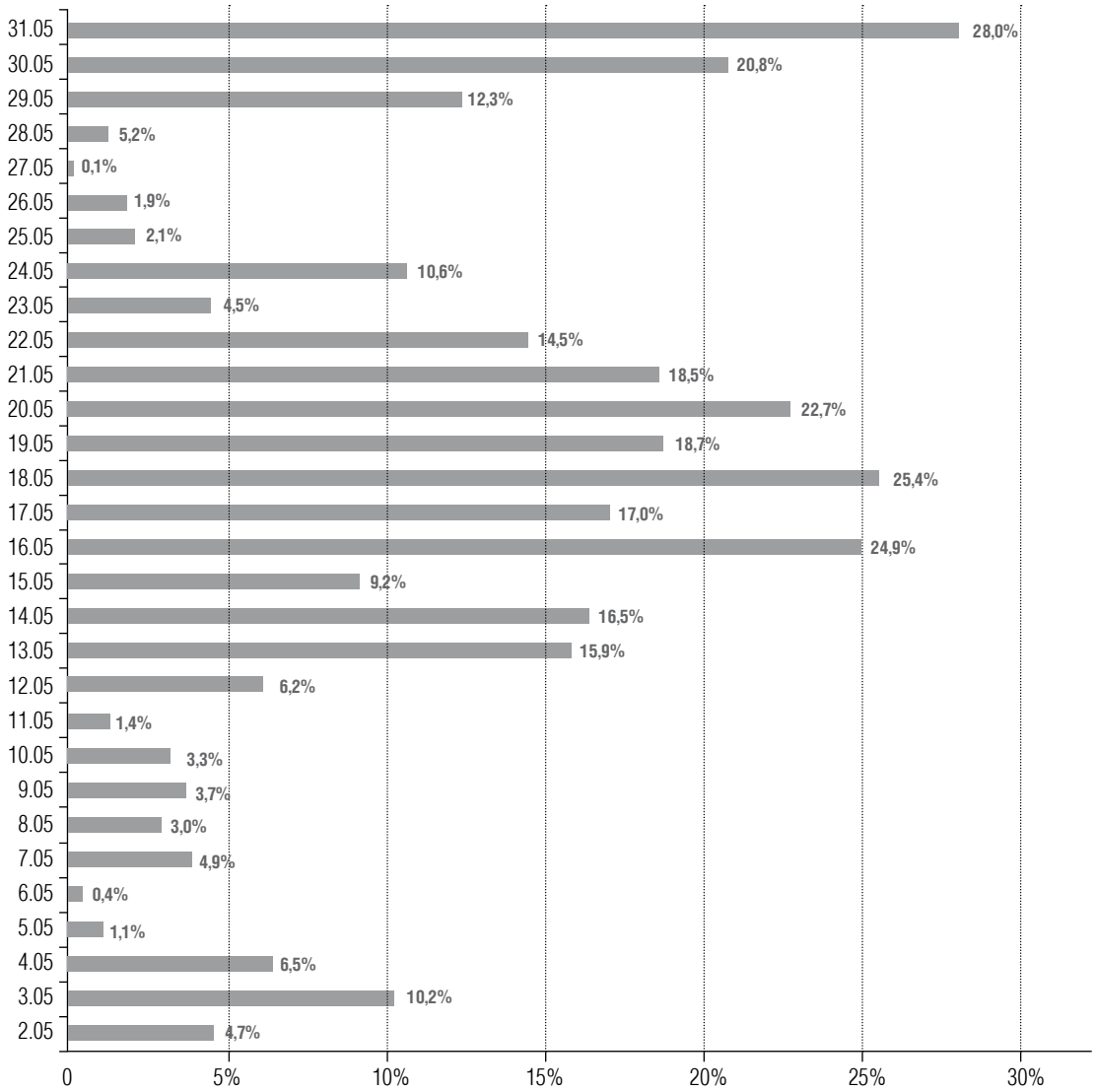

Рис. 7. Ошибки прогноза *APE* на 2–31 мая 2020 г. значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2 (*таблица 3* и *рисунок 6*)

гистрируемых) случаев уханьского коронавируса в России, поскольку после некоторой стабилизации в августе, дальнейшие статистические данные указывают на рост случаев инфицирования этим вирусом. Для начала найдем опорную точку (дату) роста, которой, как можно видеть из статистики, является 22 сентября 2020 г.

Следует отметить, что функции (2) во временных промежутках с 22 сентября по 13 – 31 октября 2020 г. достаточно адекватно с точки зрения классических критериев эконометрики описывают осеннюю динамику официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России. При этом одна из них (функция 4а), оцененная за период с 22 сентября по 16 октября, наиболее точно прогнозируют динамику численности зараженных с 17 октября по 20 ноября 2020 г. (на 35 дней вперед) со средней ошибкой *APE* в 6,5% (*таблица 4*, *рисунки 13* и *14*). Однако, начиная с 19 ноября, прогнозные ошибки функции 4а начинают расти, а фактические значения с 19 ноября по 2 декабря 2020 г. находятся между прогнозными значениями функций 3а и 4а, приближаясь к прогнозным значениям функции 3а, пик которой ожидается 22–23 ноября 2020 г. в количестве 26211 чел. (*рисунки 13* и *14*). Средняя ошибка прогноза *APE* на 19 ноября – 2 декабря (на 14 дней вперед) по функции 3а составляет 5,3%. Таким образом, функции 3а и 4а образуют прогнозный коридор со среднеарифметической ошибкой прогноза *APE* на 7 недель, не превышающей 7%.

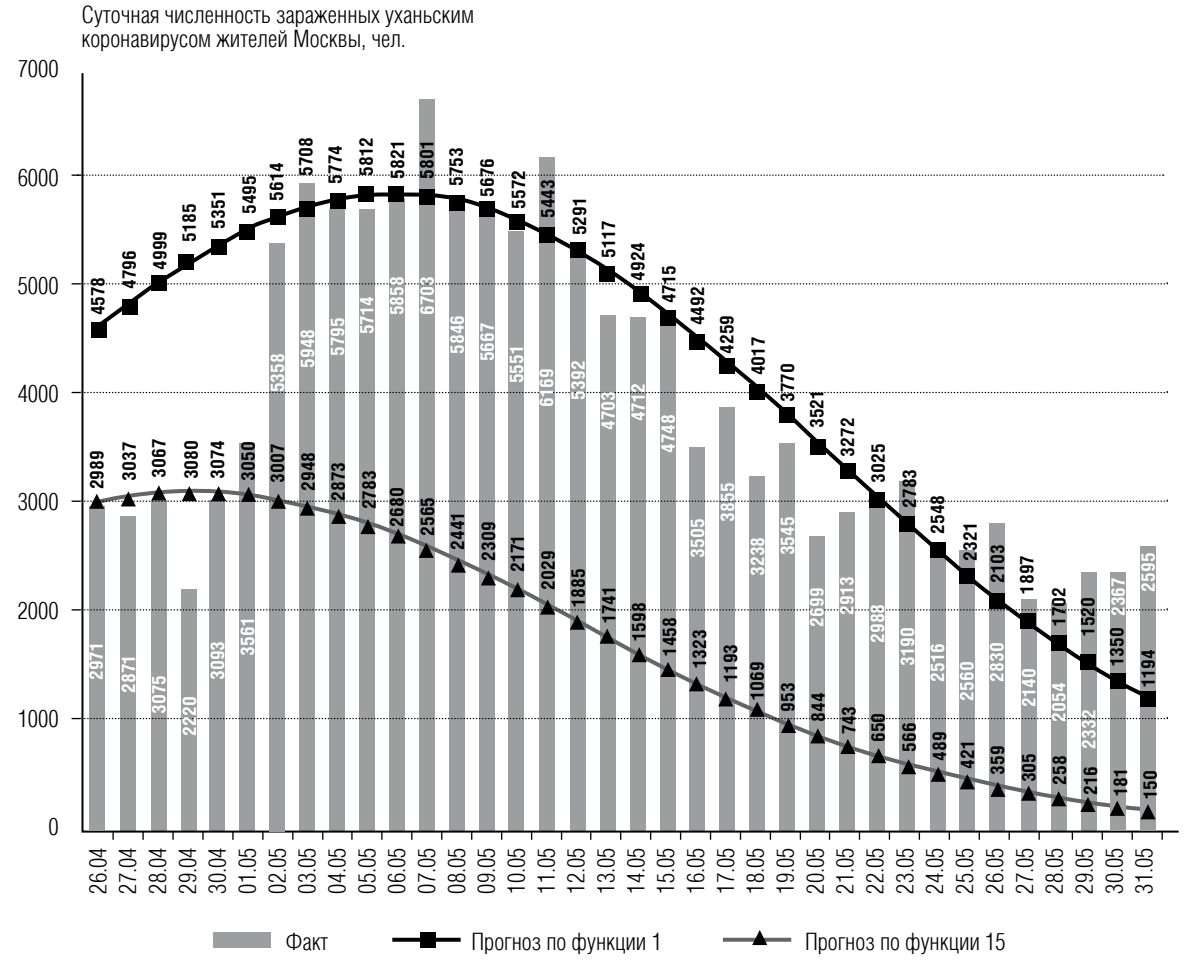

Рис. 8. Фактические и прогнозные на 26 апреля – 31 мая 2020 г. значения суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей Москвы по функциям 1 и 15 (*таблица 3*)
Источники: [19–21] и стопкоронавирус.рф

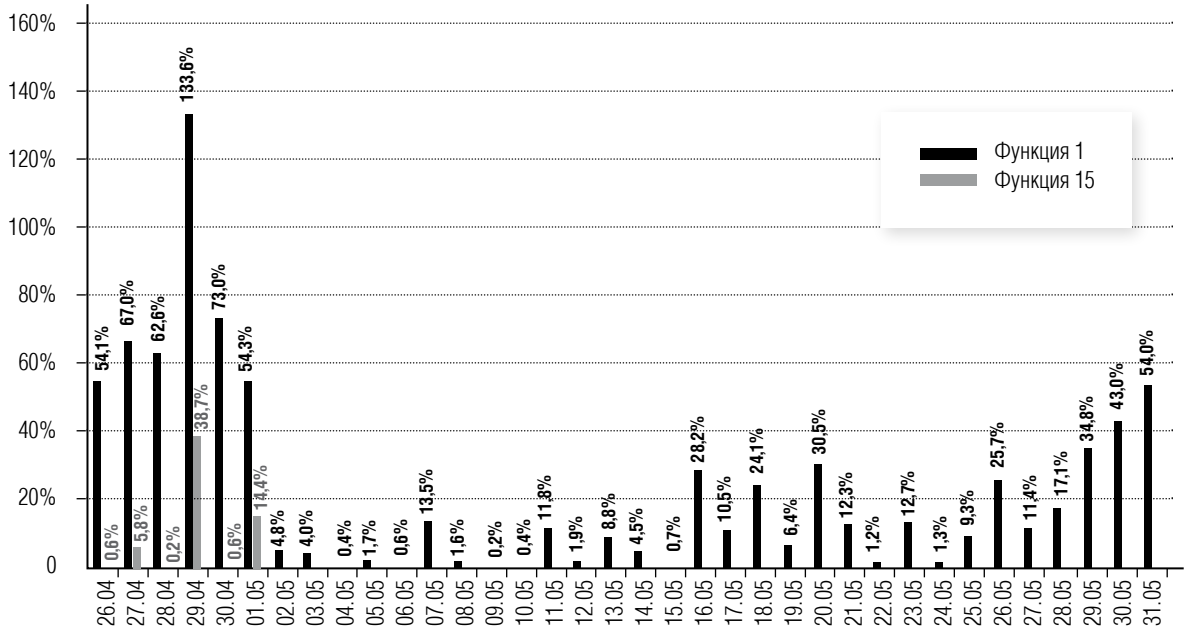

Рис. 9. Ошибки прогноза *APE* на 26 апреля – 31 мая 2020 г. значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей Москвы по функциям 1 и 15 (*таблица 3*, *рисунок 8*, [19])

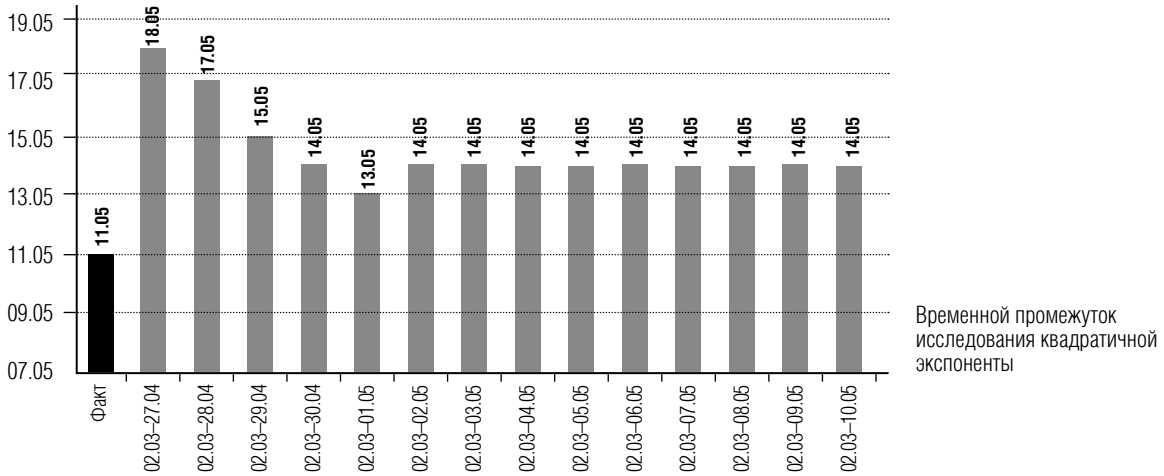

Рис. 10. Фактическая и прогнозные даты пиковой численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2, исследованной во временных промежутках с 2 марта по 27 апреля – 10 мая 2020 г. Источник: [19]

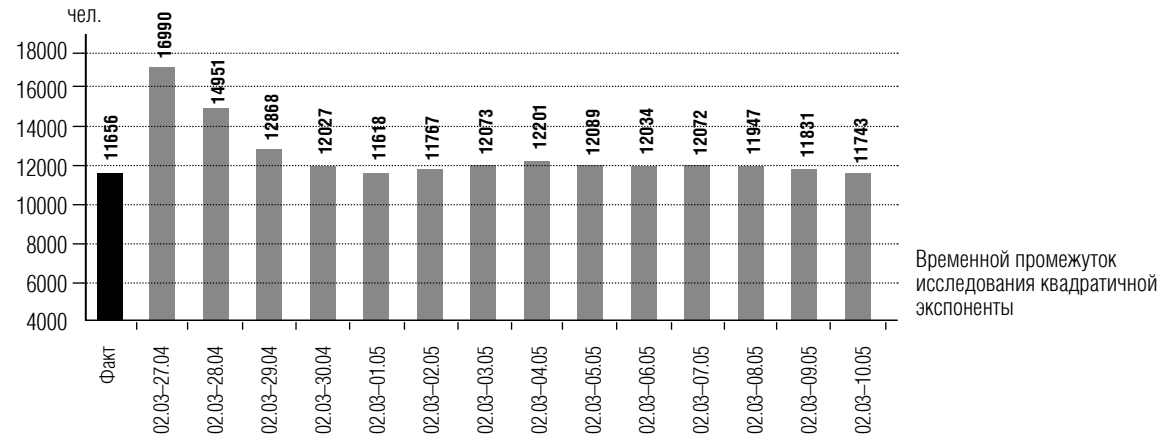

Рис. 11. Фактическая и прогнозная пиковая численность зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции 2, исследованной во временных промежутках с 2 марта по 27 апреля – 10 мая 2020 г. Источник: [19]

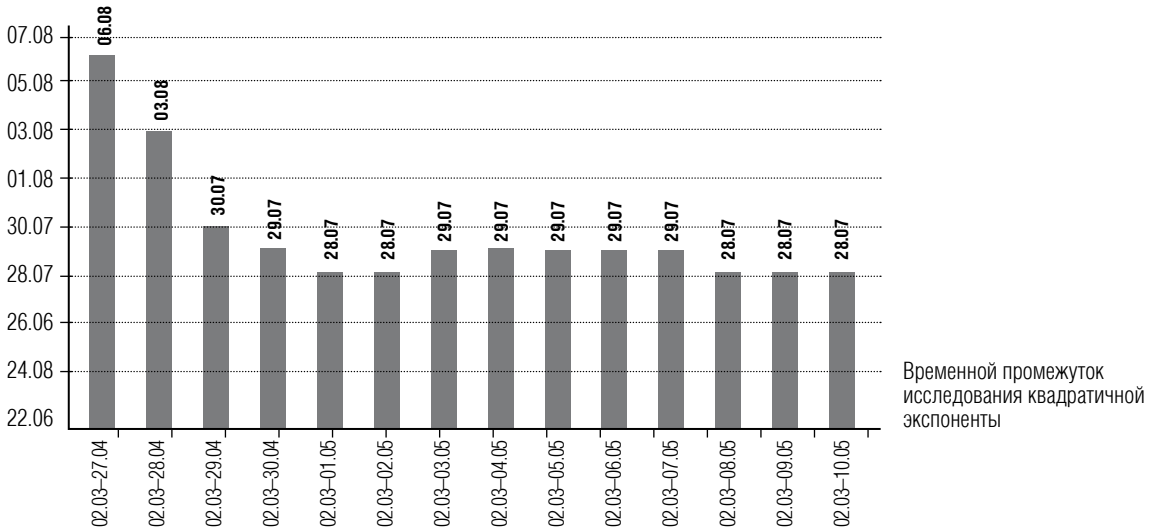

Рис. 12. Прогнозные даты наступления нулевых (единичных) значений численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функции (2), исследованной во временных промежутках с 2 марта по 27 апреля – 10 мая 2020 г. Источник: [19]

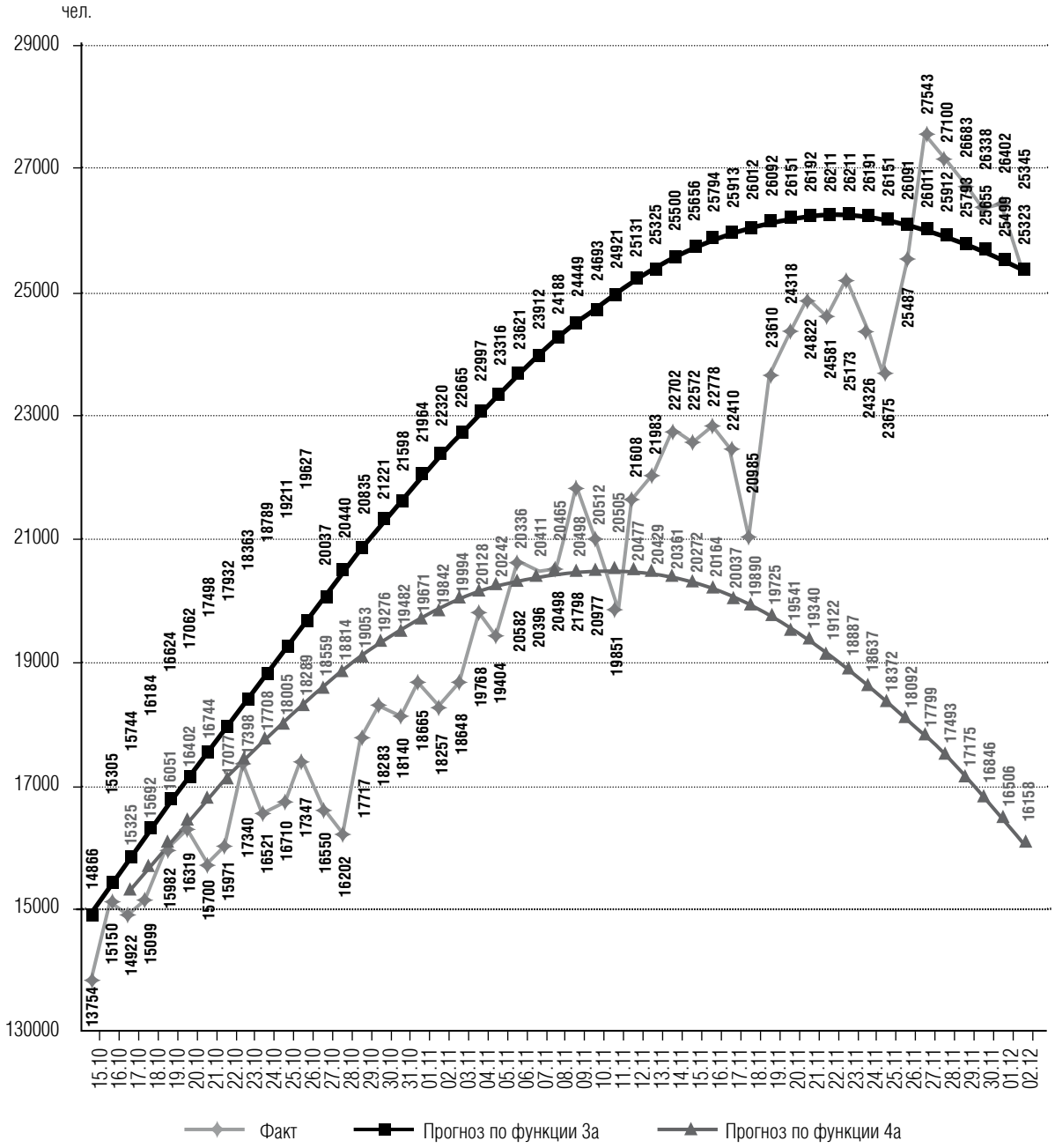

Рис. 13. Фактические значения и прогнозные на 15 октября – 2 декабря 2020 г. значения официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функциям 3а и 4а (*таблица 4*)

Таким образом, функцию (2) можно использовать для дальнейшего прогнозирования. Согласно прогнозам по этой функции (*таблица 4*), осенне-весенняя фаза распространения уханьского коронавируса в России может достигнуть своего пика 31 октября – 10 ноября 2020 года (17,1–20,5 тыс. чел./сут.) и стихнуть к 4 марта – 5 апреля 2021 г., при общей численности зараженных 2,2–2,6 млн. чел. (функции 4а–6а из *таблицы 4*, *рисунок 15*).

При худших сценариях официально публикуемая пиковая численность может составить 26–30 тыс. чел. в сутки 23–30 ноября 2020 года, а эпидемия стихнуть к 5–30 мая 2021 г., при общей численности инфицированных 3,4–3,9 млн. чел. (функции 2а–3а из *таблицы 4*, *рисунок 15*).

При наиболее худшем варианте прогнозная официально публикуемая пиковая численность может

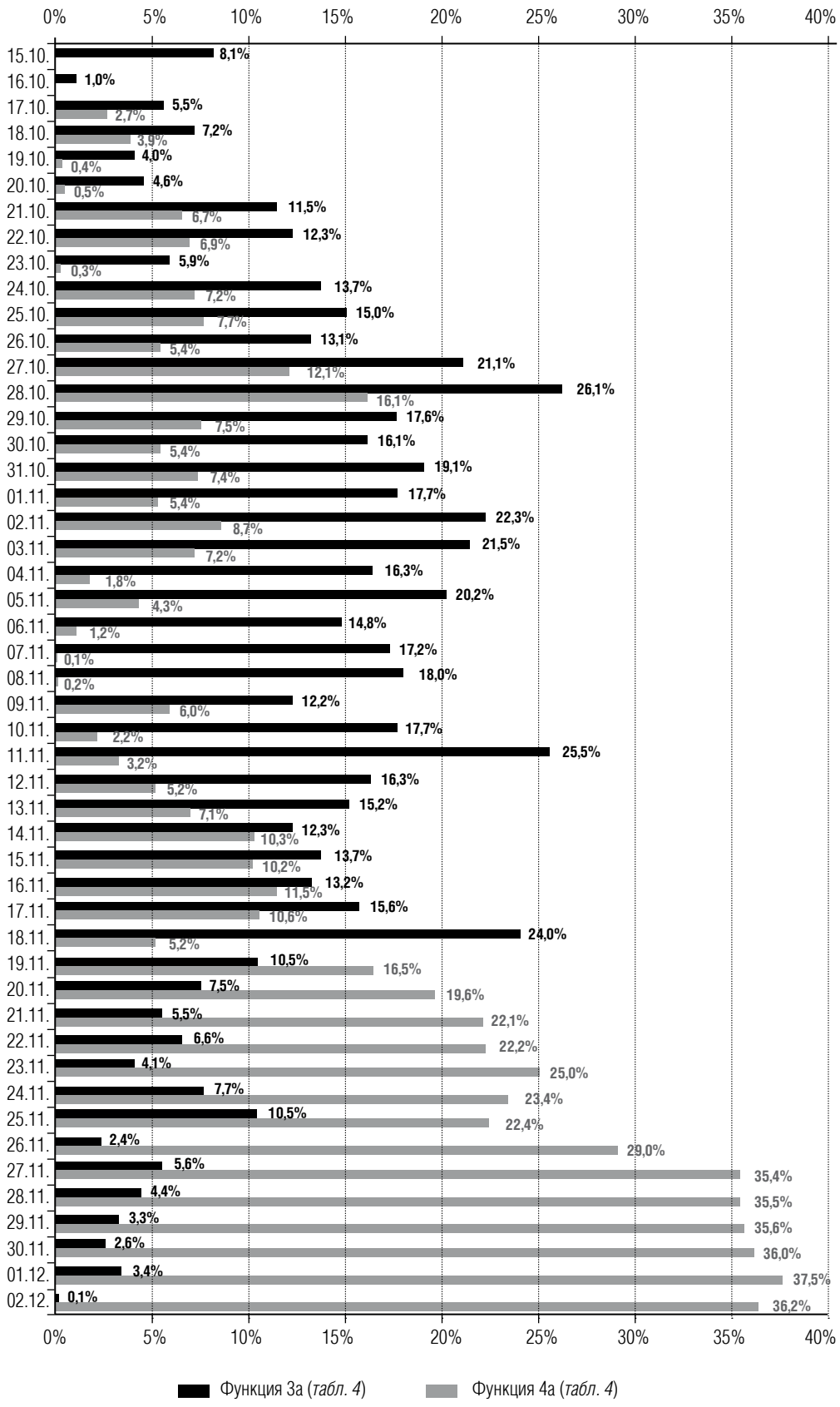

Рис. 14. Ошибки прогноза *APE* на 15 октября – 2 декабря 2020 г. значений официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России по функциям 3а и 4а (*рисунок 13*)

Таблица 4.

Результаты эконометрического исследования квадратичной экспоненциальной функции Гаусса (2) официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России осенью 2020 г.

№	Временной промежуток	Коэффициенты (t-статистики)			R^2	DW	Прогноз на 2020 г. пика суточного заражения		Прогноз на 2021 г. наступления нулевого (единичного) суточного заражения	
		a	b	c			дата	число зараженных, чел.	дата	общее число зараженных с начала эпидемии, млн чел.
1а	22.09–12.10	–0,0003 (–1,75)	0,1613 (2,32)	12,46 (1,66)	0,99	1,39	11.12	38362	29.06	5,0
2а	22.09–13.10	–0,0003 (–2,37)	0,1848 (3)	14,96 (2,26)	0,99	1,36	30.11	30191	30.05	3,9
3а	22.09–14.10	–0,0004 (–3)	0,2040 (4)	17,01 (2,90)	0,99	1,33	22.11 23.11	26211	5.05	3,4
4а	22.09–16.10	–0,0005 (–4)	0,2540 (5)	22,35 (4)	0,99	1,51	10.11	20512	5.04	2,6
5а	22.09–19.10	–0,0006 (–7)	0,2803 (8)	25,17 (6)	0,99	1,57	6.11	18892	23.03	2,4
6а	22.09–28.10	–0,0007 (–15)	0,3350 (16)	31,12 (14)	0,99	1,56	31.10	17150	4.03	2,2

Источник статистических данных для эконометрического исследования:
Коммуникационный центр Правительства Российской Федерации (стопкоронавирус.рф)

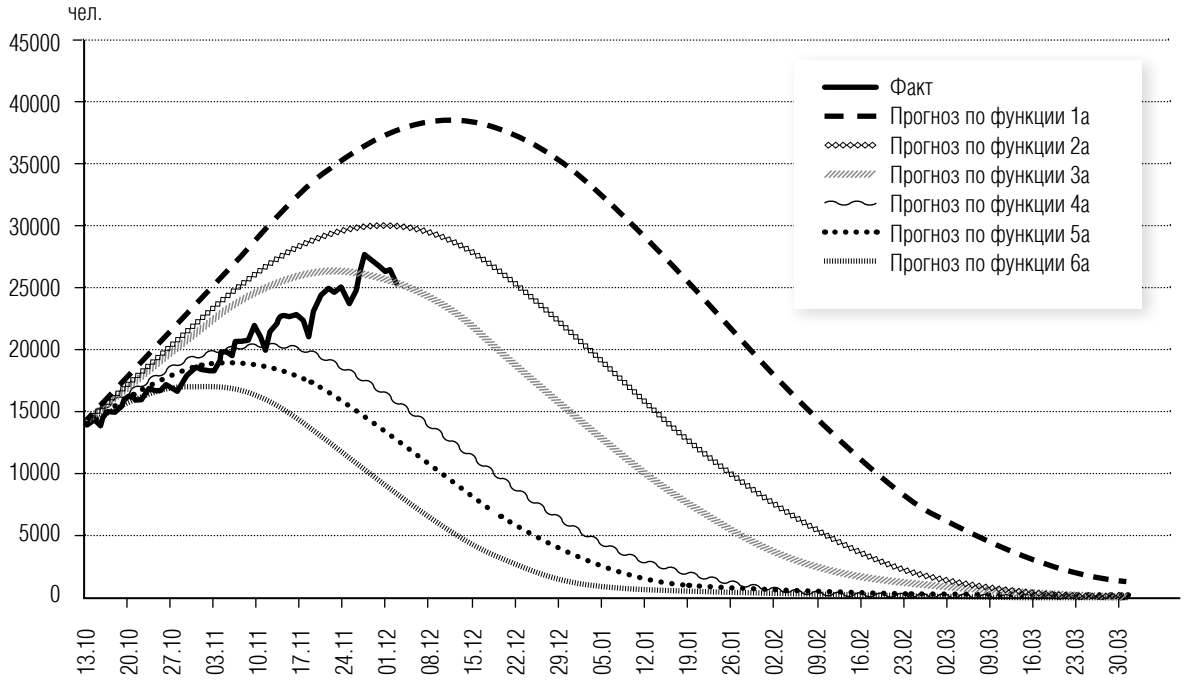

Рис. 15. Фактические значения (с 13 октября по 2 декабря 2020 г.) и прогнозные на 13 октября 2020 г. – 31 марта 2021 г. значения официально публикуемой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России *(таблица 4)*

достичь 38 тыс. чел. в сутки 11 декабря 2020 г., а распространение второй фазы вируса остановиться 29 июня 2021 г. на общем числе зараженных 5 млн. чел. (функция 1а из *таблицы 4*, *рисунок 15*).

Нам представляется, что прогнозные значения суточной численности зараженных уханьским коронавирусом граждан России могут послужить входным параметром модифицированной производственной функции.

Распространение уханьского коронавируса в России снизило, в первую очередь, уровень использования почти всех факторов производства: основных фондов – ввиду временного закрытия многих предприятий и организаций с 25 марта по 11 мая 2020 г., рабочей силы – из-за вынужденной изоляции части жителей по причине заболеваемости коронавирусной болезнью или близких контактов с вирусоносителями, транспортной части инфраструктуры – вследствие сокращения числа рейсов пассажироперевозок воздушным, железнодорожным и морским видами транспорта. Единственным фактором производства, степень использования которого резко возросла в период ограничительных мер по коронавирусу и перехода большинства людей в уделенный режим общения и работы при помощи средств связи, является коммуникационная часть инфраструктуры.

Таким образом, модифицированный вид народнохозяйственной производственной функции России с учетом коронавирусных ограничений в 2020 г. будет выглядеть следующим образом:

$$Y_t = \mathrm{e}^{\alpha}\left(z_t K_t\right)^{\beta}\left(v_t L_t\right)^{1-\beta}\left(w_{Tt} I_{Tt} + w_{Ct} I_{Ct}\right)^{\gamma},$$

где v_t – среднегодовой уровень загрузки рабочей силы в году t;

I_{Tt} – транспортная составляющая инфраструктуры в году t;

I_{Ct} – коммуникационная составляющая инфраструктуры году t;

w_{Tt} – среднегодовой уровень загрузки транспортной составляющей инфраструктуры в году t;

w_{Ct} – среднегодовой уровень загрузки коммуникационной составляющей инфраструктуры в году t.

Можно предположить, что среднемесячный уровень загрузки рабочей силы v_τ в месяце τ будет представлять собой некоторую функцию F – функцию строгой изоляции, включающую количество людей заболевших коронавирусной болезнью и лиц, контактировавших с ними. Все эти люди полностью или частично являются нетрудоспособными из-за болезни или карантина. Функция возрастает по суммарному за месяц τ количеству инфицированных уханьским коронавирусом людей:

$$v_\tau = F\left(\sum_{T=1}^{n} y_{\tau,T}\right),$$

где $y_{\tau,T}$ – количество инфицированных уханьским коронавирусом людей в сутки T месяца τ;

n – число дней в месяце τ.

Среднемесячный уровень загрузки производственных мощностей (основных фондов) z_τ в месяце τ будет описываться кусочно-линейной функцией в зависимости от ограничений на работу предприятий и организаций, которые ужесточаются в зависимости от превышения показателя суточной численности инфицированных людей $y_{\tau,T}$ некоторых эпидемических порогов и ослабляются в зависимости от падения этого показателя ниже пороговых значений:

$$z_\tau = z\left(y_{\tau,T}\right) = \begin{cases} z_0, \; y_{\tau,T} < \tilde{y}_0 \\ z_1, \; \tilde{y}_0 \le y_{\tau,T} \le \tilde{y}_1 \\ z_2, \; \tilde{y}_1 \le y_{\tau,T} \le \tilde{y}_2 \\ z_3, \; y_{\tau,T} > \tilde{y}_2 \end{cases},$$

где $\tilde{y}_i$ – эпидемические пороги суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом людей в соответствии с тремя этапами коронавирусных ограничений в России, разработанных Роспотребнадзором, i = 1, 2, 3. При этом z_0 соответствует докоронавирусному уровню загрузки производственных мощностей. Очевидно, что $z_0 > z_1 > z_2 > z_3$, т.е. функция убывает по количеству заразившихся уханьским коронавирусом людей и значениям эпидемических порогов.

Такой же кусочно-линейный вид будет иметь функция среднемесячного уровня загрузки транспортной составляющей инфраструктуры w_{Tt}, она также будет убывать по численности инфицированных людей.

Что касается функции среднемесячного уровня загрузки коммуникационной составляющей инфраструктуры w_{Ct}, то она, наоборот, будет возрастать по количеству инфицированных уханьским коронавирусом людей и эпидемическим порогам:

$$w_{C\tau} = w_{C\tau}\left(y_{\tau,T}\right) = \begin{cases} w_{C3},\ y_{\tau,T} > \tilde{y}_2 \\ w_{C2},\ \tilde{y}_1 \le y_{\tau,T} \le \tilde{y}_2 \\ w_{C1},\ \tilde{y}_0 \le y_{\tau,T} \le \tilde{y}_1 \\ w_{C0},\ y_{\tau,T} < \tilde{y}_0 \end{cases},$$

т.е. $w_{C0} < w_{C1} < w_{C2} < w_{C3}$, где $\tilde{y}_i$ – эпидемические пороги суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом людей в соответствии с тремя этапами коронавирусных ограничений в России, $i = 1, 2, 3$.

Среднегодовые значения показателей загрузки факторов производства вычисляются как средние арифметические значения месячных показателей:

$$z_t = \frac{1}{12}\sum_{\tau=1}^{12} z_\tau, v_t = \frac{1}{12}\sum_{\tau=1}^{12} v_\tau, w_{Tt} = \frac{1}{12}\sum_{\tau=1}^{12} w_{T\tau}, w_{Ct} = \frac{1}{12}\sum_{\tau=1}^{12} w_{C\tau}.$$

Заметим, что в условиях эпидемии уханьского коронавируса и связанных с ней ограничительных мер возрастает роль коммуникационной составляющей инфраструктуры $w_{Ct} I_{Ct}$, которая в определенной степени вынужденно замещает ее транспортную составляющую $w_{Tt} I_{Tt}$.

Заключение

Мы провели эконометрическое исследование народнохозяйственной производственной функции российской экономики с учетом транспортно-коммуникационной инфраструктуры, представленной среднегодовой стоимостью основных фондов чистых отраслей транспорта и связи, за 1990–2018 гг. Результаты исследования показали, что в течение 2010–2018 гг. эластичность ВВП России по инфраструктуре снижается, что, по нашему мнению, объясняется сокращением в этот период объемов капитальных вложений в основные фонды инфраструктурных отраслей.

Кроме того, мы предложили модификацию народнохозяйственной производственной функции для 2020 года в условиях распространения среди населения России уханьского коронавируса путем введения в нее среднегодовых уровней использования рабочей силы и загрузки транспортно-коммуникационной инфраструктуры, которые наряду со среднегодовым уровнем загрузки основных фондов являются функциями прогнозных значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России. Мы сделали эконометрические прогнозы на осень 2020 – весну 2021 гг. официально публикуемой суточной численности инфицированных жителей России на основе исследованной нами методом наименьших квадратов квадратичной экспоненты Гаусса, зависящей от времени.

Отметим, что модификация народнохозяйственной производственной функции России с учетом распространения уханьского коронавируса в 2020 году нами осуществлена в аналитическом виде. Ее практическая реализация, затрудненная на данный момент отсутствием как годовых, так и части месячных статистических данных за текущий год, представляет собой следующий этап нашего исследования. ■

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-010-00629 А).

Авторы выражают искреннюю благодарность за ценные советы и полезные замечания д.ф.-м.н., проф. Ю.Н. Благовещенскому и д.э.н., проф. Э.Ф. Баранову.

Литература

1. Послание Президента России Федеральному Собранию. Москва, 20 февраля 2019 года. [Электронный ресурс]: http://kremlin.ru/events/president/news/59863 (дата обращения 01.10.2020).
2. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Некоторые проблемы развития и модернизации производственной инфраструктуры экономики России // Сборник докладов участников секционных заседаний XXI Всероссийского симпозиума «Стратегическое планирование и развитие предприятий». Секция 5 «Проблемы прогнозирования деятельности предприятий». Москва, 10–11 ноября 2020 г. С. 652–654.
3. Дубелиръ Г.Д. Планировка городовъ. СПб: Слово, 1910.
4. Дубелиръ Г.Д. Городскія улицы и мостовыя. Кіевъ: тип. А.М. Пономарева, 1912.
5. Дубелиръ Г.Д. Грунтовыя дороги, ихъ постройка и уходъ за ними. СПб.: Слово, 1912.
6. Дубелир Г.Д., Захаров Г.Ф., Тиль Б.И. Эксплоатация автогужевых дорог / Под ред. проф. Г.Д. Дубелира/ Ленинград: ОГИС-Гострансиздат, 1934.

7. Дубелир Г.Д., Корнеев Б.Г., Кудрявцев М.Н. Основы проектирования автомобильных дорог. Под ред. проф. Г.Д. Дубелира. Л.–М.: Изд. Наркомхоза РСФСР, 1939.

8. Завельский М.Г. Производственная инфраструктура и экономическое развитие // Проблемы региональной экономики. 2009. Т. 1. С. 77–81.

9. Экспертное заключение на проект строительства международного морского канала Евразия / Н.П. Лаверов и [др.] // Проблемы национальной безопасности: экспертные заключения, аналитические материалы, предложения / Под общ. ред. акад. Н.П. Лаверова. М.: Наука, 2008.

10. Лившиц В.Н., Миронова И.А., Швецов А.Н. Транспортная инфраструктура: эффективность стратегических решений // Проблемы теории и практики управления. 2014. № 7. С. 78–89.

11. Позамантир Э.И. Стратегия развития транспортной инфраструктуры: макроэкономическая оценка вариантов // Аудит и финансовый анализ. 2014. № 1. С. 128–136.

12. Социально-экономическая эффективность развития железнодорожной сети Сибири и Дальнего востока. Математическое моделирование и прогноз / В.А. Садовничий и [др.] // Экономика региона. 2018. Т. 14. № 3. С. 758–777.

13. Макаров В.Л. Экономика знаний: уроки для России // Вестник Российской академии наук. 2003. Т. 73. № 5. С. 450–456.

14. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Производственная функция народного хозяйства России в 1990–2012 гг. // Экономика и математические методы. 2014. Т. 50. № 4. С. 21–33.

15. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Народнохозяйственная производственная функция России в 1990–2017 гг. // Экономика и математические методы. 2020. Т. 56. № 1. С. 67–78.

16. Россия в цифрах. 2019: Краткий статистический сборник. М.: Росстат, 2019.

17. Российский статистический ежегодник. 2019: Статистический сборник. М.: Росстат, 2019.

18. Российский экономический барометр. Квартальный бюллетень. 2020. № 2.

19. Афанасьев А.А. Исполнение эконометрического прогноза суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей г. Москвы (26 апреля – 9 мая 2020 г.). [Электронный ресурс]: https://istina.msu.ru/conferences/presentations/297636272/ (дата обращения: 15.08.2020).

20. Афанасьев А.А. Эконометрическое прогнозирование суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей г. Москвы за период с марта по июль 2020 г. (версия от 25.04.2020). [Электронный ресурс]: https://istina.msu.ru/conferences/presentations/294603297/ (дата обращения: 15.08.2020).

21. Афанасьев А.А. Эконометрическое прогнозирование суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей г. Москвы за период с марта по июль 2020 г. (версия от 25.04.2020, сокращенный вариант). [Электронный ресурс]: https://indem.ru/coronavirus/Forecast_CV-19_In_Moscow.pdf (дата обращения: 15.08.2020).

22. COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses / M.A. Shereen [et al.] // Journal of Advanced Research. 2020. No 24. P. 91–98. DOI: 10.1016/j.jare.2020.03.005.

23. Chinese Academy of Sciences. Wuhan coronavirus has strong ability to infect humans. Press release. 21 January 2020. [Электронный ресурс]: https://view.inews.qq.com/w2/20200121A0M08X00?tbkt=F&strategy=&openid=o04IBALMrLyGDxbWNOPoDM1IfG-s&uid=&refer=wx_hot (дата обращения 15.08.2020).

Об авторах

Афанасьев Антон Александрович

доктор экономических наук, доцент;

ведущий научный сотрудник лаборатории социального моделирования, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;

E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

ORCID: 0000-0002-0300-5064

Пономарева Ольга Станиславна

старший научный сотрудник лаборатории институциональной динамики, Центральный экономико-математический институт Российской академии наук, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47;

E-mail: fondf@cemi.rssi.ru

Wuhan coronavirus spread in Russia: macroeconomic production function in regard to transport and communication infrastructure

Anton A. Afanasiev
E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

Olga S. Ponomareva
E-mail: fondf@cemi.rssi.ru

Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences
Address: 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia

Abstract

Transport and communication infrastructure plays an important role in ensuring economic growth, also in the context of the Wuhan coronavirus (SARS-CoV-2) spread worldwide. The role of the communication component increases with the epidemic and the associated restrictive measures, which replace, to a certain extent, the transport component. We offer an econometric study of the macroeconomic production function in the Russian Federation with transport and communication infrastructure (the fixed assets average annual value of the Russian transport and communications sectors) for 1990–2018. The arguments for this function are the average annual value of fixed assets in constant 1990 prices, the average annual rate of the use of production capacities in Russian industry, the average annual number of people employed in the national economy, the average annual value of fixed assets of transport and communications in constant 1990 prices. Our research demonstrates that in 2010–2018 the GDP elasticity to production infrastructure was decreasing. We explain this by the reduction in the volume of capital investments in the infrastructure sector's fixed assets. In addition, we offer an analytical modification of the macroeconomic production function for 2020 in the context of the spread of the Wuhan coronavirus among the Russian population by introducing into this function the average annual rates of labor and infrastructure capacity use, which, along with the average annual rate of fixed assets capacity use are functions of the predicted values of the daily number of the infected Russian citizens. These predicted values are calculated by the time dependent Gaussian quadratic exponent estimated by the least squares. We present the accuracy of the forecast results for the 2020 spring trends of the daily number of Russian and Moscow population infected with the Wuhan coronavirus. The average *APE* forecast error for 30 days ahead for Russia is 10.4% and the same for five weeks for Moscow is 10%. Moreover, we make forecasts of the officially published daily number of infected Russian population for fall 2020 – spring 2021.

Key words: econometric study; Russian economy; macroeconomic production function; transport and communication infrastructure; econometric forecasting; Wuhan coronavirus; SARS-CoV-2; COVID-19; rate of use of production factors.

Citation: Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2020) Wuhan coronavirus spread in Russia: macroeconomic production function in regard to transport and communication infrastructure. *Business Informatics*, vol. 14, no 4, pp. 76–95.
DOI: 10.17323/2587-814X.2020.4.76.95

References

1. The President of Russia (2019) *Message from the President of Russia to the Federal Assembly*. Moscow, Kremlin, 20 February 2019. Available at: http://kremlin.ru/events/president/news/59863 (accessed 01 October 2020) (in Russian).
2. Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2020) Some problems of the development and modernization of the Russian economy infrastructure. Proceedings of the *21st Russian Symposium on Strategic Planning and Enterprise Development. Section 5 "Forecasting Problems of the Enterprises' Activities". Moscow, 10–11 November 2020*, pp. 652–654 (in Russian).
3. Dubelir G.D. (1910) *City planning*. Saint Petersburg: Slovo (in Russian).
4. Dubelir G.D. (1912) *City streets and pavements*. Kiev: A.M. Ponomarev (in Russian).

5. Dubelir G.D. (1912) *Dirt roads, their construction and maintenance*. Saint Petersburg: Slovo (in Russian).

6. Dubelir G.D., Zakharov G.F., Til B.I. (1934) *Operation of carriage roads*. Leningrad: OGIS-Gostransizdat (in Russian).

7. Dubelir G.D., Korneev B.G., Kudryavtsev M.N. (1939) *Fundamentals of road design*. Leningrad, Moscow: Publishing house of the People's Commissariat of the RSFSR (in Russian).

8. Zavelsky M.G. (2009) Industrial infrastructure and economic development. *Problems of Regional Economics*, vol. 1, pp. 77–81 (in Russian).

9. Laverov N.P., Alekseevsky N.I., Berdnikov S.V., Gliko A.O., Granberg A.G., Danilov-Danilyan V.I., Dynkin A.A., Zemskoy Yu.A., Zolotarev P.S., Ivanter V.V., Kasimov N.S., Leonov Yu.G., Makosko A.A., Matishov G.G., Makhutov N.A., Osipov V.I., Pappe Ya.Sh., Filin B.N., Chalov R.S. (2008) Expertise on the project of construction of Eurasia international sea channel. *Problems of national security: expert opinions, analytical materials, proposals*. Moscow, Nauka (in Russian).

10. Livshits V.N., Mironova I.A., Shvetsov A.N. (2014) Transport infrastructure: effectiveness of strategic decisions. *International Journal of Management Theory and Practice*, no 7, pp. 78–89 (in Russian).

11. Posamantir E.I. (2014) Transport infrastructure development strategy: macroeconomic assessment of options. *Audit and Financial Analysis*, no 1, pp. 128–136 (in Russian).

12. Sadovnichii V.A., Osipov G.V., Akaev A.A., Malkov A.S., Shulgin S.G. (2018) Socio-economic effectiveness of the railway network development in Siberia and the Far East: Mathematical simulation and forecast. *Economy of Region*, vol. 14, no 3, pp. 758–777 (in Russian).

13. Makarov V.L. (2003) Economy of knowledge. Lessons for Russia. *Herald of the Russian Academy of Sciences*, vol. 73, no 5, pp. 450–456 (in Russian).

14. Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2014) The aggregate production function of Russian economy in 1990–2012. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 50, no 4, pp. 21–33 (in Russian).

15. Afanasiev A.A., Ponomareva O.S. (2020) The macroeconomic production function of Russia in 1990–2017. *Economics and Mathematical Methods*, vol. 56, no 1, pp. 67–78 (in Russian).

16. Rosstat (2019) *Russia in figures 2019: Statistical handbook*. Moscow: Rosstat (in Russian).

17. Rosstat (2019) *Russian statistical yearbook 2019: Statistical handbook*. Moscow: Rosstat (in Russian).

18. IMEMO RAS (2020) *Russian Economic Barometer. Quarterly Bulletin*, no 2 (in Russian).

19. Afanasiev A.A. *Execution of the econometric forecast for the daily number of Moscow citizens infected with the Wuhan coronavirus (26 April – 9 May 2020)*. Available at: https://istina.msu.ru/conferences/presentations/297636272/ (accessed 15 August 2020) (in Russian).

20. Afanasiev A.A. *Econometric forecasting of the daily number of Moscow citizens infected with the Wuhan coronavirus from March to July 2020 (full version of 25 April 2020)*. Available at: https://istina.msu.ru/conferences/presentations/294603297/ (accessed 15 August 2020) (in Russian).

21. Afanasiev A.A. *Econometric forecasting of the daily number of Moscow citizens infected with the Wuhan coronavirus from March to July 2020 (abridged version of 25 April 2020)*. Available at: https://indem.ru/coronavirus/Forecast_CV-19_In_Moscow.pdf (accessed 15 August 2020) (in Russian).

22. Shereen M.A., Khan S., Kazmi A., Bashir N., Siddique R. (2020) COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of Advanced Research*, no 24, pp. 91–98. DOI: 10.1016/j.jare.2020.03.005.

23. Chinese Academy of Sciences (2020) *Wuhan coronavirus has strong ability to infect humans. Press release, 21 January 2020*. Available at: https://view.inews.qq.com/w2/20200121A0M08X00?tbkt=F&strategy=&openid=o04IBALMrLyGDxbWNOPoDM1IfG-s&uid=&refer=wx_hot (accessed 15 August 2020).

About the authors

Anton A. Afanasiev

Dr. Sci. (Econ.);

Leading Researcher, Laboratory of Social Simulation, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: aanton@cemi.rssi.ru

ORCID: 0000-0002-0300-5064

Olga S. Ponomareva

Senior Researcher, Laboratory of Institutional Dynamics, Central Economics and Mathematics Institute, Russian Academy of Sciences, 47, Nakhimovsky Prospect, Moscow 117418, Russia;

E-mail: fondf@cemi.rssi.ru