

## ЭКОНОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ ЭКОНОМИКИ РОССИИ И ОЦЕНКА ПРЕДЕЛЬНОЙ НОРМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ФАКТОРОВ С УЧЕТОМ КОРОНАВИРУСНОГО ПЕРИОДА (1990–2020 ГГ.)

Активное распространение уханьского коронавируса в России началось в 2020 г. и продолжается уже третий год подряд. В целях понимания закона и закономерностей его распространения была разработана эконометрическая модель прогнозирования суточной численности инфицированных уханьским коронавирусом жителей России и Москвы [1–5]. Коронавирусная модель имеет следующий вид

$$y_T = e^{aT^2 + bT + c},$$

где  $y_T$  – число случаев заражения за сутки  $T$ . Функция характеризуется стабильными во времени МНК-оценками параметров (рис. 1).

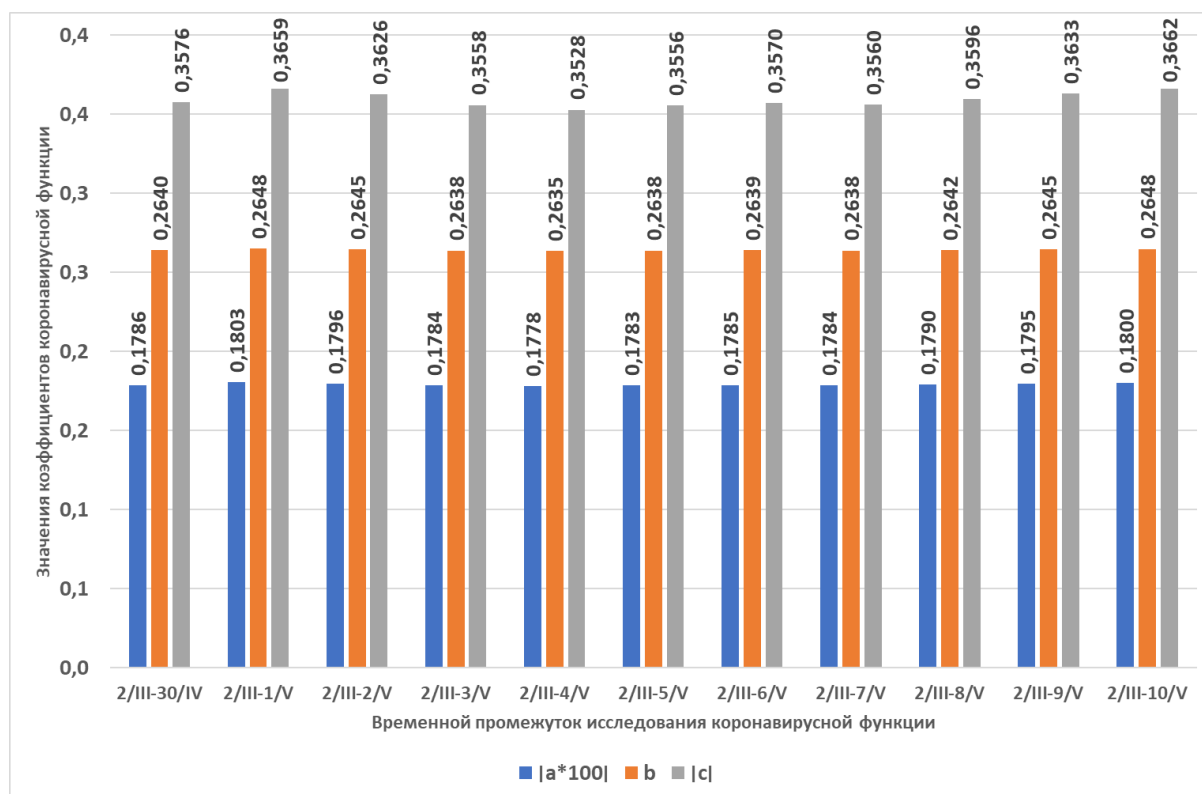


Рис.1. Коэффициенты коронавирусной функции по России, 2020 г.

На основе этой функции даны прогнозы на весну 2020 г. (по России и Москве) и на осень 2020 – весну 2021 гг. Средняя ошибка прогноза на 5 недель (с 26.04.2020 по 31.05.2020) по Москве составила 10% и на месяц (с 2.05.2020 по 31.05.2020) по России в целом – 10,4%. Причем, по

исследованной функции был спрогнозирован пик числа инфицированных москвичей 6.05.2020 (5821 чел.), т.е. за день до наступления пика фактической заболеваемости 7.05.2020 мая (6703 чел.), с ошибкой в численности заразившихся жителей Москвы равной 13%. По России все 11 исследованных функций (кроме одной), оцененные во временных промежутках со 2.03.2020 по 30.0.2020–10.05.2020, прогнозируют одинаковые даты пиковой суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России – 14.05.2020, лишь одна из функций, исследованная в 2.03.2020 1.05.2020, прогнозирует достижение пиковой численности за день до остальных – 13.05. 2020, что очень близко к фактической пиковой дате – 11.05.2020. Кроме того, на 11 временных промежутках функция 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 11.05.2020 – 11,7 тыс. человек [1–4].

Кроме того, была предложена аналитическая модификация народнохозяйственной производственной функции для 2020 г. в условиях распространения среди населения России уханьского коронавируса (SARS-CoV-2, COVID-19) путем введения в нее среднегодовых уровней использования рабочей силы и загрузки транспортно-коммуникационной инфраструктуры, которые наряду со среднегодовым уровнем загрузки основных фондов являются кусочно-линейными функциями прогнозных значений суточной численности зараженных уханьским коронавирусом жителей России и эпидемических порогов, введенных в соответствии с 3-мя этапами ограничительных мер Роспотребнадзора [4–5]. Отличительной особенностью данной модификации является еще и то, что с ростом числа инфицированных россиян уровень загрузки почти всех факторов производства падает, он лишь растет у коммуникационной составляющей инфраструктуры, которая в определенной степени вынужденно заменяет ее транспортную составляющую.

Все исследованные авторами производственные функции были рассмотрены в докоронавирусный период – до 2019 г., в связи с чем нам представляется актуальным продолжить эконометрическое исследование в 1990–2020 гг. исследованной нами ранее (1990–2019 гг.) народнохозяйственной производственной функции России [5]

$$Y_t = A(z_t K_t)^\gamma L_t^{1-\gamma} e^{\delta p_t}, \quad (1)$$

где  $Y_t$  – ВВП,  $z_t$  – уровень загрузки производственных мощностей в промышленности,  $K_t$  – основные фонды (среднегодовая стоимость),  $L_t$  – труд,  $p_t$  – мировая цена на нефть «Брент». Временные ряды переменных функции за 1990–2021 гг. приведены в таблице 1, причем показатели ВВП и основных фондов представлены в сопоставимых ценах 1990 г., а показатель цены на нефть – в постоянных долларах США 2010 г.

Таблица 1

Статистические данные 1990–2020 гг.

Год $t$	$Y_t$ , млрд руб.	$K_t$ , млн руб.	$z_t$ , %	$L_t$ , тыс. чел.	$p_t$ , долл./бар.
2020	757	2976450	79	65953	42,73
2019	781	2853595	79	67388	64,37
2018	771	2762511	78	68016	70,01
2017	753	2730170	79	68127	55,91
2016	742	2696319	77	68430	46,98
2015	744	2673133	75	68389	53,65
2014	765	2644159	77	67813	91,59
2013	760	2581327	78	67901	99,21
2012	750	2499424	79	67968	101,61
2011	725	2416816	78	67727	99,97
2010	695	2350079	72	67577	79,64
2009	665	2292706	65	67463	64,13
2008	722	2229842	77	68474	94,95
2007	686	2169707	80	68019	76,18
2006	632	2119496	78	67174	72,72
2005	584	2074736	76	66792	62,07
2004	549	2040209	74	66407	45,05
2003	512	2015564	73	65979	36,24
2002	477	1993845	70	65574	32,99
2001	456	1976006	69	64980	31,89
2000	434	1962932	66	64517	35,54
1999	394	1953747	62	63963	22,10
1998	371	1953216	55	63642	15,48
1997	391	1967098	54	64639	22,22
1996	386	1983823	54	65950	22,90
1995	400	1995229	60	66441	18,57
1994	417	2014984	61	68484	18,91
1993	478	2030396	74	70852	19,72
1992	523	2009054	73	72071	23,14
1991	612	1957288	100	73848	24,50
1990	644	1871649	100	75325	28,65

Источник: [5], [6, с. 260], [7, с. 31], [8, с. 49, 260], [9], [10]

Как можно видеть из таблицы 2 и рис. 2–4, в 1990–2020 гг. особых изменений в параметрах производственной функции не произошло по сравнению с двумя предшествующими периодами (1990–2018 гг. и 1990–2019 гг.). Это можно объяснить сохраняющейся определенной стабильностью расширенного воспроизводства народного хозяйства, к снижению темпов которого в 2020 г. привело не столько распространение уханьского коронавируса, а падение мировых цен на нефть, на что достаточно отчетливо указывает направление динамики ex-post прогнозных объемов ВВП России в 2020 г. (рис. 5).

Таблица 2

Результаты исследования функции (1) за 1990–2020 гг.

Временной промежуток с 1990 г. по год	$R^2$	$DW$	Коэффициенты и в скобках $t$ -статистики		
			$A$	$\gamma$	$\delta$
2020	0,96	1,24	0,00059 (-47)	0,80 (15)	0,003 (7)
2019	0,96	1,24	0,00058 (-41)	0,80 (13)	0,003 (7)
2018	0,96	1,25	0,00057 (-37)	0,80 (12)	0,003 (6)
2017	0,96	1,26	0,00057 (-35)	0,81 (11)	0,003 (6)
2016	0,95	1,23	0,00058 (-32)	0,80 (10)	0,003 (6)
2015	0,95	1,23	0,00066 (-28)	0,75 (8)	0,003 (6)
2014	0,96	1,12	0,00082 (-25)	0,68 (7)	0,004 (6)
2013	0,95	1,14	0,00082 (-24)	0,69 (7)	0,004 (6)
2012	0,95	1,27	0,00080 (-25)	0,70 (7)	0,004 (6)
2011	0,95	1,56	0,00076 (-26)	0,71 (7)	0,004 (7)
2010	0,96	1,78	0,00071 (-28)	0,72 (8)	0,004 (8)
2009	0,95	1,41	0,00071 (-27)	0,72 (8)	0,004 (7)
2008	0,97	1,66	0,00064 (39)	0,76 (11)	0,004 (8)
2007	0,97	1,67	0,00064 (-37)	0,76 (11)	0,004 (6)
2006	0,96	1,69	0,00064 (-36)	0,76 (11)	0,004 (5)
2005	0,95	1,69	0,00064 (35)	0,76 (10)	0,004 (4)
2004	0,93	1,60	0,00064 (-33)	0,76 (10)	0,004 (2,63)
2003	0,93	1,79	0,00064 (-33)	0,77 (9)	0,003 (1,59)
2002	0,92	1,87	0,00064 (-32)	0,77 (9)	0,002 (1,15)
2001	0,92	1,85	0,00064 (30)	0,77 (9)	0,002 (0,95)
2000	0,92	1,80	0,00064 (-29)	0,76 (8)	0,003 (1,02)

Источник: [5] и расчеты авторов за 2020 г.

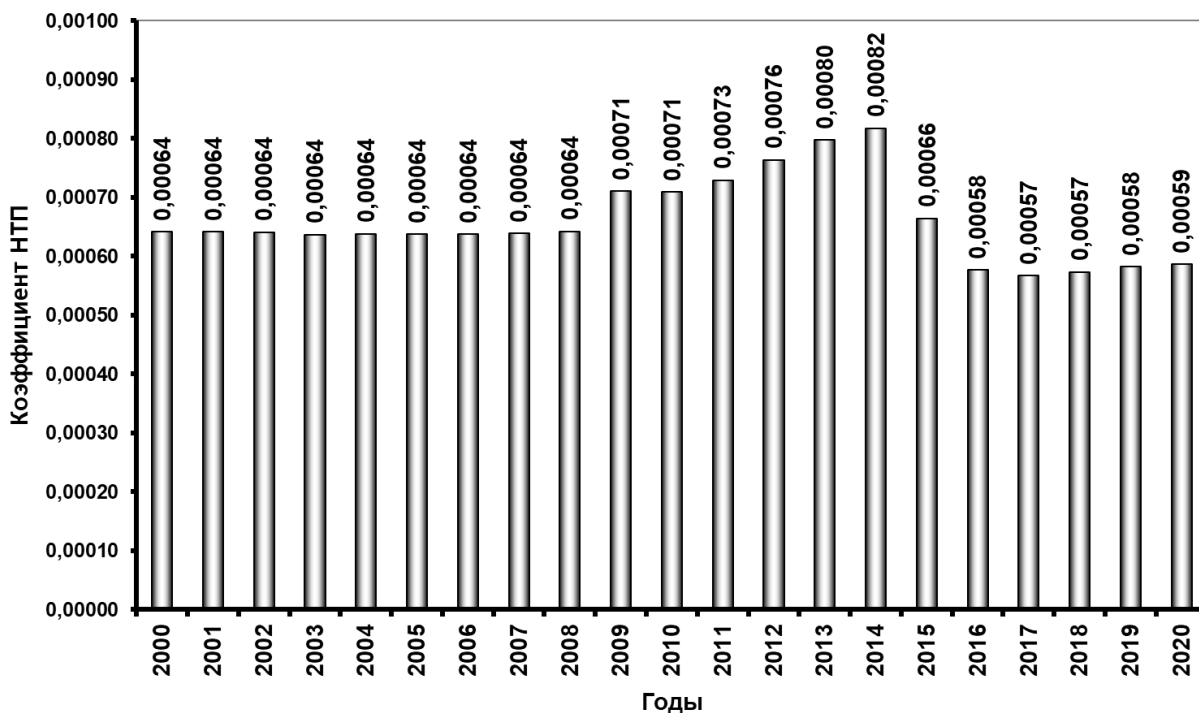


Рис.2. Коэффициент нейтрального технического прогресса до 2020 г.  
 Источник: табл. 2

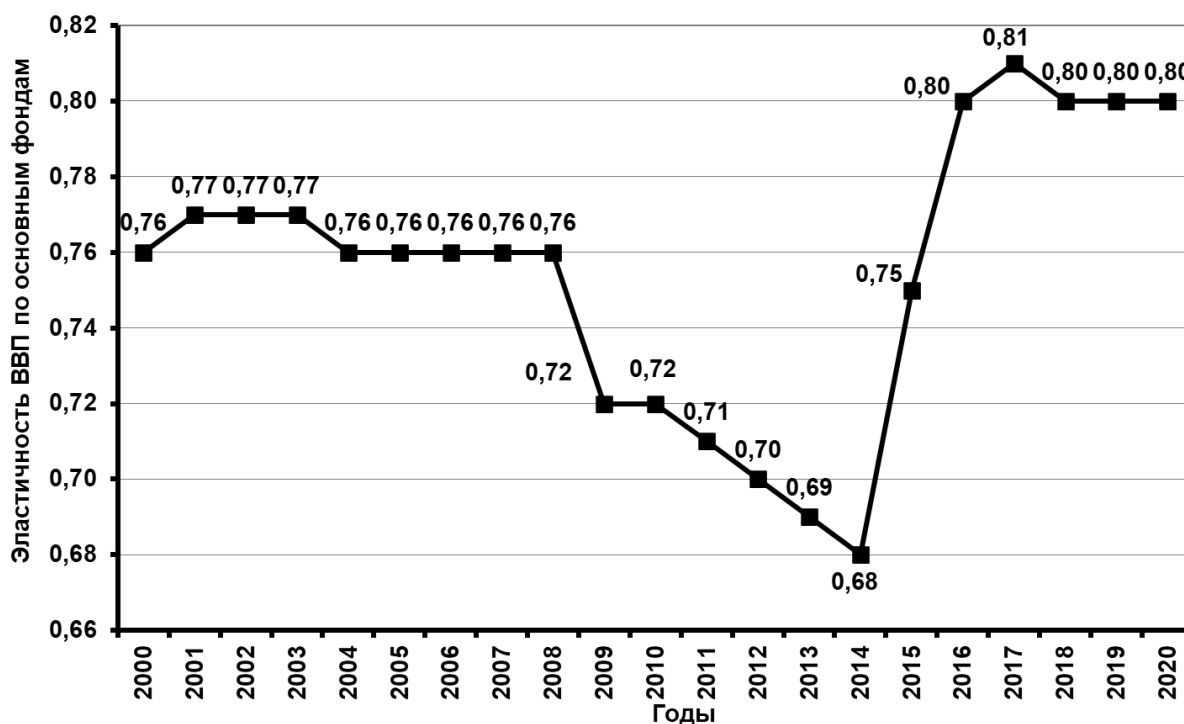


Рис.3. Коэффициент эластичности ВВП по капиталу до 2020 г.  
 Источник: табл. 2

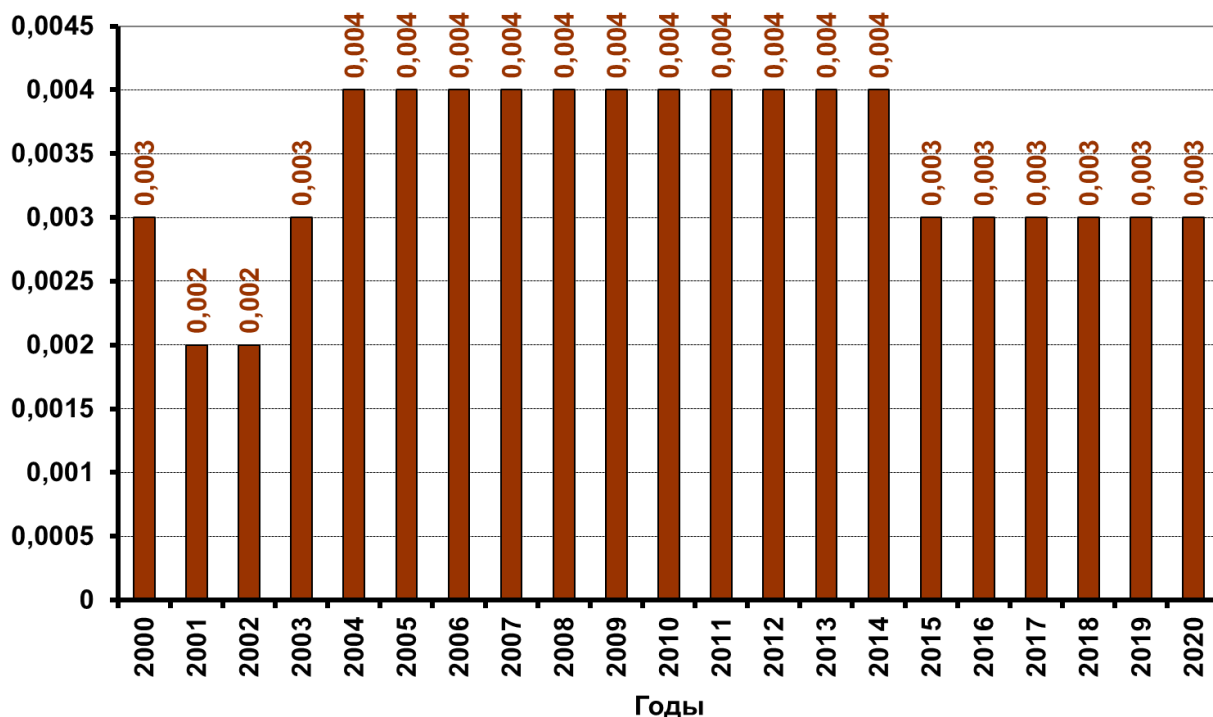


Рис.4. Коэффициент при цене на нефть до 2020 г.

Источник: табл. 2

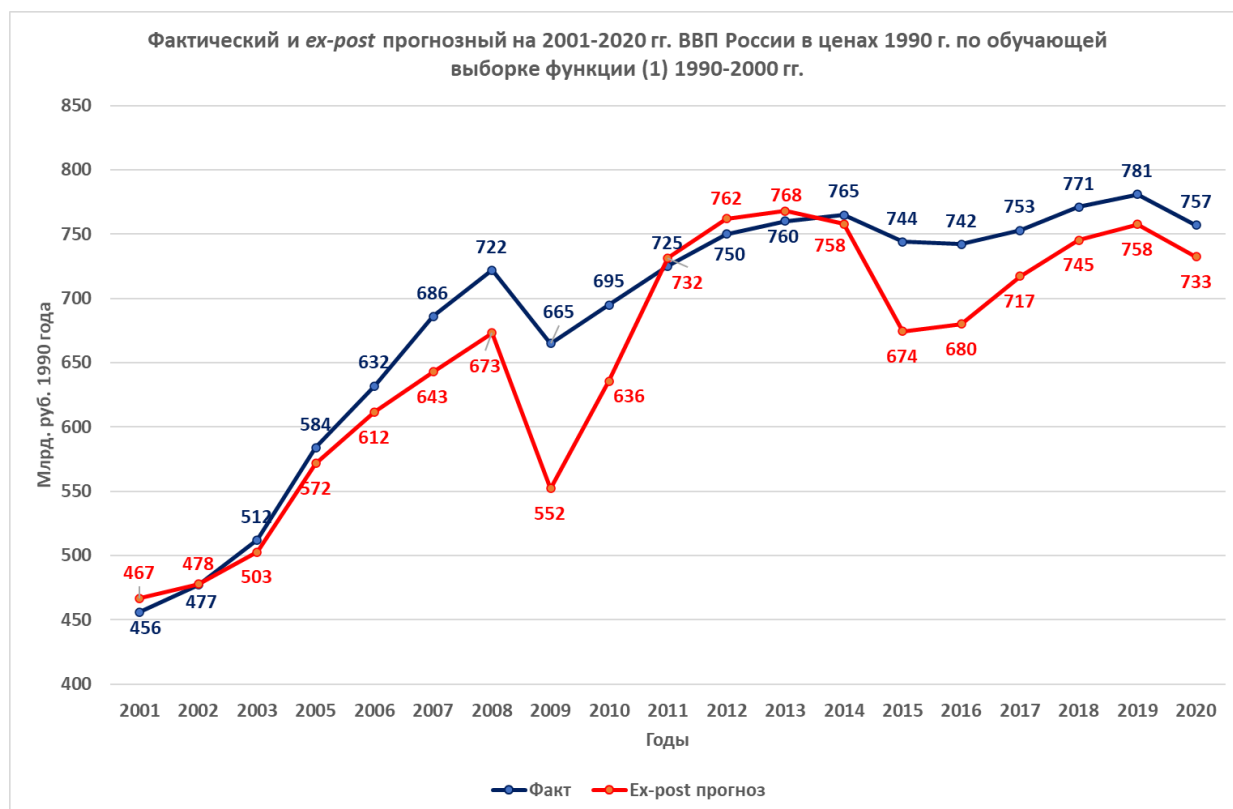


Рис.5. Динамика реального ВВП России в 2001–2020 гг.

Источник: расчеты авторов по функции (1)

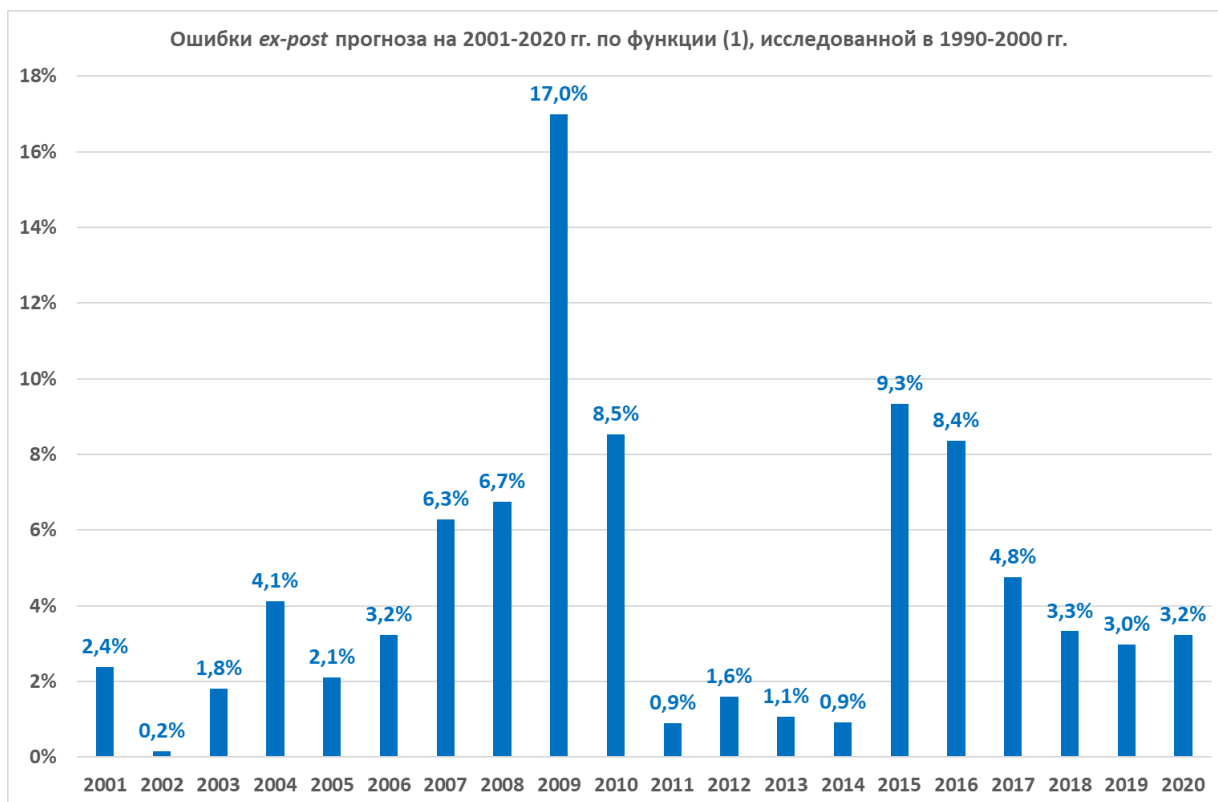


Рис.6. Ошибки *ex-post* прогноза до 2020 г.

Источник: расчеты авторов

Действительно, падение фактического  $Y_t$  и *ex-post* прогнозного ВВП  $\hat{Y}_t$  в 2020 г. идет почти параллельно (рис. 5) с ошибкой в 3,2% (рис. 6). Значения средних *ex-post* прогнозных ошибок до 2020 г., вычисляемых по формуле

$$MAPE_t = \left| \frac{\hat{Y}_t}{Y_t} - 1 \right| \times 100\%,$$

располагаются на отрезке от 0,5 до 6,6%.

В самом деле, средние ошибки *ex-post* прогноза по обучающим выборкам 1990–2000, 1990–2001, 1990–2002, 1990–2003, 1990–2004, 1990–2005, 1990–2006, 1990–2007, 1990–2008, 1990–2009, 1990–2010, 1990–2011, 1990–2012, 1990–2013, 1990–2014, 1990–2015, 1990–2016, 1990–2017, 1990–2018, 1990–2019 гг. на 2001–2020, 2002–2020, 2003–2020, 2004–2020, 2005–2020, 2006–2020, 2007–2020, 2008–2020, 2009–2020, 2010–2020, 2011–2020, 2012–2020, 2013–2020, 2014–2020, 2015–2020, 2016–2020, 2017–2020, 2018–2020, 2019–2020, 2020 гг. составляют соответственно 4,4%, 6,6%, 6,5%, 4,9%, 4,4%, 4,6%, 4,9%, 5,2%, 5,6%, 6,0%, 6,6%, 5,1%, 4,8%, 5,1%, 6,0%, 2,5%, 0,9%, 0,8%, 1,0%, 0,5% (рис. 7).

Таким образом, можно утверждать, что производственная функция (1) имеет хорошую прогнозную силу.

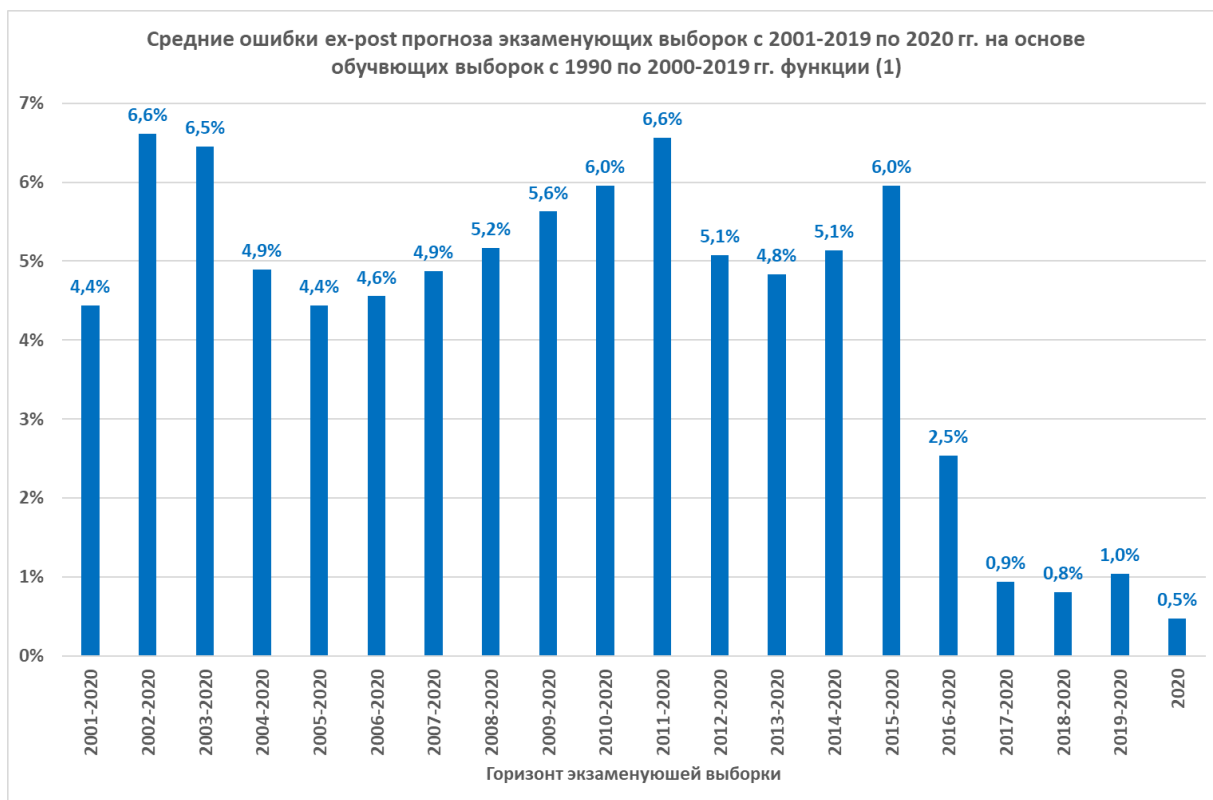


Рис.7. Средние ошибки *ex-post* прогноза до 2020 г.

Возвращаясь к причинам рецессии 2020 г., следует отметить, что введение карантинных ограничений вызвало спад в некоторых отраслях экономики (см. табл. 3 и 4).

Как можно видеть, в 2020 г. рецессия по выпуску наблюдалась по видам экономической деятельности В, D, E, G, H, I, M, N, P, R, S, T. Рецессия по валовой добавленной стоимости наблюдается не только по этим ОКВЭД, но и по ОКВЭД Q.

Таблица 3

Темпы роста физического объема выпуска РФ по видам деятельности, в разгах к предыдущему году

ОКВЭД	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
A	1,041	1,043	1,037	1,025	1,017	1,046	1,015
B	1,031	1,017	1,022	1,027	1,032	1,042	0,919
C	1,012	0,991	1,025	1,054	1,045	1,028	1,003
D	1,013	0,990	1,020	0,992	1,026	0,991	0,976
E	1,000	0,956	1,012	1,009	1,008	1,036	0,964
F	0,976	1,016	1,018	1,005	1,030	0,982	1,000
G	1,018	0,949	0,961	1,029	1,021	1,008	0,985
H	1,013	1,010	1,013	1,011	1,035	1,032	0,901
I	1,010	1,001	0,954	1,038	1,069	1,036	0,774
J	0,996	1,011	0,985	1,053	1,049	1,070	1,003



Продолжение табл. 3

К	1,022	0,924	1,084	1,017	1,112	1,106	1,048
L	1,011	1,011	1,004	1,036	1,036	1,031	1,010
М	1,042	0,956	0,966	1,036	1,023	1,033	0,990
N	1,004	1,123	1,041	1,040	1,008	1,002	0,920
O	0,957	0,945	1,036	1,047	1,014	1,020	1,035
P	1,023	1,008	0,992	1,017	1,012	1,040	0,999
Q	1,025	1,001	0,992	1,008	1,014	1,024	1,070
R	1,054	1,040	0,991	1,051	1,117	1,076	0,887
S	0,994	1,071	1,089	1,048	1,033	1,041	0,962
T	1,015	0,990	0,980	0,980	0,980	0,980	0,741
<b>Выпуск</b>	<b>1,011</b>	<b>0,990</b>	<b>1,010</b>	<b>1,031</b>	<b>1,034</b>	<b>1,027</b>	<b>0,984</b>

Источник: Росстат [6, с. 252]

Таблица 4

Темпы роста физического объема валовой добавленной стоимости по видам деятельности, в разгах к предыдущему году

ОКВЭД	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
A	1,028	1,029	1,018	1,015	1,017	1,035	1,002
B	1,019	1,010	1,019	1,016	1,023	1,025	0,905
C	1,008	0,991	1,011	1,044	1,040	1,028	1,000
D	0,982	0,987	1,026	0,985	1,022	0,990	0,967
E	0,982	0,880	1,090	0,986	1,003	1,004	0,954
F	0,973	0,980	1,016	0,986	1,019	0,982	1,000
G	1,005	0,932	0,961	1,011	1,015	1,001	0,971
H	1,005	0,993	1,024	1,000	1,030	1,014	0,894
I	0,992	0,974	0,956	1,022	1,070	1,026	0,755
J	0,996	0,999	0,967	1,036	1,058	1,063	1,002
K	1,043	0,936	1,084	1,006	1,092	1,120	1,073
L	1,026	1,003	1,005	1,032	1,034	1,026	1,012
М	1,037	0,958	0,944	1,028	1,027	1,037	0,976
N	1,017	1,117	1,032	1,031	0,991	0,986	0,919
O	1,006	0,995	1,012	1,034	1,011	1,005	1,023
P	1,017	1,010	0,991	1,013	1,012	0,989	0,987
Q	1,020	0,994	0,997	1,003	1,010	1,017	0,998
R	1,045	1,064	0,977	1,042	1,103	1,017	0,886
S	0,989	1,068	1,102	1,048	1,043	1,046	0,931
T	1,015	0,990	0,980	0,980	0,980	0,980	0,741
<b>Итого</b>	<b>1,011</b>	<b>0,985</b>	<b>1,003</b>	<b>1,018</b>	<b>1,028</b>	<b>1,020</b>	<b>0,973</b>
<b>ВВП</b>	<b>1,007</b>	<b>0,980</b>	<b>1,002</b>	<b>1,018</b>	<b>1,028</b>	<b>1,020</b>	<b>0,970</b>

Источник: Росстат [6, с. 260]

Вычисленные нами за 1990–2020 гг. значения предельной нормы технологического замещения

$$Z_t = \frac{\gamma}{1 - \gamma} \times \frac{L_t}{z_t K_t}$$

можно видеть на рис. 8. Возрастание нормы в первые шесть лет было связано с трансформационными изменениями в экономике, ее увеличение в 2008–2009 гг. – с общемировым финансово-экономическим кризисом, а ее рост в 2015 г. – с адаптацией народного хозяйства к внешнеэкономическим ограничениям.

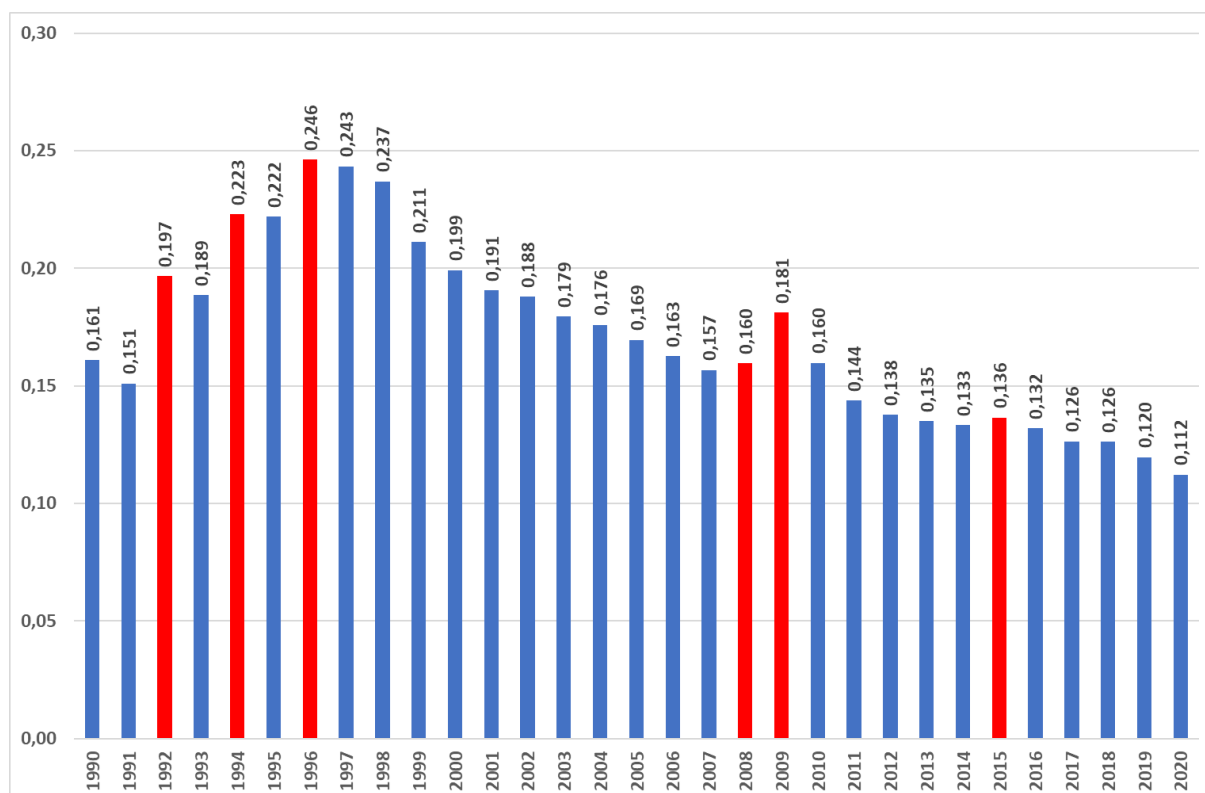


Рис.8. Предельная норма технологического замещения  $Z_t$

Таким образом, результаты исследования показывают, что в коронавирусный период 2020 г. одной из основных причин экономического спада в России явилось снижение мировых цен на нефть. В дальнейшем мы планируем продолжить исследование производственной функции (1) и, в особенности, в 2022 г., когда резко усилилось внешнее санкционное давление на российскую экономику.

#### **Список использованной литературы:**

1. 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: 31.08.2022).
2. 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: 31.08.2022).

3. 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](https://indem.ru/coronavirus/Forecast_CV-19_In_Moscow.pdf) (дата обращения: 31.08.2022).

4. 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.

5. Афанасьев А.А., Пономарева О.С. Распространение уханьского коронавируса (SARSCoV-2) в России: макроэкономическая производственная функция с учетом мировой цены на нефть марки «Брент» // Проблемы рыночной экономики. 2021. № 1. С. 24-46.

6. Национальные счета России в 2013-2020 годах: Стат. сб./ Росстат. М., 2021,

7. Российский экономический барометр. 2022. № 2(86).

8. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат.сб./Росстат. М., 2020.

9. Bank Commodity Price Data (The Pink Sheet). March, 2021. Available at: <http://pubdocs.worldbank.org/en/226371486076391711/СМО-Historical-Data-Annual.xlsx> (accessed April 19<sup>th</sup>, 2020).

10. База данных ЕМИСС ([www.fedstat.ru](http://www.fedstat.ru))