

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ В МАКРОЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ

Татьяна Николаевна Кокоткина¹, Николай Степанович Садовин²

^{1,2} Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Российская Федерация

¹ tanyakokotkina@gmail.com

² n_sadovin@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы экономико-математического моделирования валового внутреннего и регионального продуктов на основе мультипликативных производственных функций с учетом (и без учета) нейтрального научно-технического прогресса. Проведена оценка статистической и экономической значимости, а также экономической адекватности построенных моделей. При моделировании предложено использовать такой показатель, как эффективный объем труда, учитывающий качественные характеристики этого фактора производства. Такой подход позволил существенно увеличить долю экономически значимых и экономически адекватных моделей валового внутреннего продукта, что подтверждается результатами численных экспериментов, проведенных для Российской Федерации, Приволжского федерального округа и Республики Марий Эл.

Ключевые слова: макроэкономическое моделирование, производственная функция, модели экономического роста, валовой внутренний продукт, валовой региональный продукт, капитал, труд, эффективный труд, научно-технический прогресс

Для цитирования: Кокоткина Т. Н., Садовин Н. С. Производственные функции в макроэкономическом анализе // Развитие территорий. 2022. № 1. С. 33—40. DOI: 10.32324/2412-8945-2022-1-33-40.

Economic research

Original article

PRODUCTION FUNCTIONS IN MACROECONOMIC ANALYSIS

Tatyana N. Kokotkina, Nikolai S. Sadovin

^{1,2} Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation

¹ tanyakokotkina@gmail.com

² n_sadovin@mail.ru

Abstract. The paper considers the issues of economic and mathematical modeling of gross domestic and regional products based on multiplicative production functions, taking into account (and without taking into account) neutral scientific and technological progress. An assessment of the statistical and economic significance, as well as the economic adequacy of the constructed models, was carried out. When modeling, it is proposed to use such an indicator as the effective volume of labor, taking into account the qualitative characteristics of this factor of production. This approach made it possible to significantly increase the share of economically significant and economically adequate models of gross domestic product, which is confirmed by the results of numerical experiments conducted for the Russian Federation, the Volga Federal District and the Republic of Mari El.

Keywords: macroeconomic modeling, production function, economic growth models, gross domestic product, gross regional product, capital, labor, efficient labor, scientific and technological progress

For citation: Kokotkina T. N., Sadovin N. S. Production functions in macroeconomic analysis. *Territory Development*. 2022;(1):33—40. (In Russ.). DOI: 10.32324/2412-8945-2022-1-33-40.

Перед нашей страной стоит весьма амбициозная задача — к 2030 г. войти в число пяти наиболее экономически развитых государств мира. Это еще раз свидетельствует об актуальности исследований в области математического анализа и прогнозирования динамики экономического развития на макроуровне.

Математическое моделирование в экономике предполагает это упрощение реальной действительности. Поэтому из большого числа социально-экономических показателей, характеризующих уровень развития экономики на макроуровне

(государство, регион), для моделирования отбираются наиболее значимые, что приводит к необходимости рассмотрения экономико-математических моделей, основанных на производственной функции (ПФ) вида

$$Y = F(K, L, H, R, T),$$

которые образуют самостоятельную группу одноконтурных макроэкономических моделей [1]. Здесь объем производства (Y) зависит от величины физического капитала (K), численности населения (L), человеческого капитала — здоровья

и образования и т. д. (H), ресурсов — земли, сырья и др. (R), уровня технического прогресса (T).

Как правило, большинство этих величин трудно оценивается количественно, поэтому модели, основанные на таких производственных функциях, главным образом являются теоретическими и рассматривают влияние изменений каких-либо количественно изменяемых факторов (физического капитала, труда), связанных с динамикой численности населения.

Вне зависимости от того, в какой форме представлена производственная функция, такие модели обладают рядом отличительных особенностей. Во-первых, описывая влияние факторов на объем производства, производственная функция предполагает относительно свободное взаимозамещение этих факторов. Во-вторых, производственная функция предполагает, что увеличение какого-либо из факторов автоматически сопровождается увеличением другого(-их) фактора(-ов). В-третьих, производственная функция является гомогенной, т. е. при одновременном увеличении всех факторов результирующая (эндогенная) переменная увеличивается в строго определенной пропорции по отношению к увеличению факторов. Также такие модели используют гипотезу стабильного населения, в соответствии с которой темп роста численности населения равен темпу роста численности населения в трудоспособном возрасте [2].

В макроэкономике ПФ может использоваться для описания взаимосвязи между годовыми затратами ресурсов и годовым конечным выпуском продукции в масштабах региона или страны, т. е. в роли производственной системы здесь выступает регион или страна в целом. Производственные функции строятся на основе статистических данных и используются в основном для решения задач анализа, планирования и прогнозирования экономического роста [3].

В качестве ресурсов на макроуровне чаще всего рассматривают накопленный труд в форме производственных фондов (капитал K) и настоящий (живой) труд (L), а в качестве функции — валовой выпуск (Y). Капитал и валовой выпуск измеряются количественно в стоимостных показателях (текущих и сопоставимых), а труд — в натуральных показателях, с использованием данных официальной статистики. Тогда макроэкономика моделируется следующей нелинейной макроэкономической ПФ вида

$$Y = AF(K, L),$$

где Y — валовой внутренний (региональный) продукт (ВВП, ВРП);

A — параметр, называемый остатком Солоу, который характеризует научно-технический, или технологический, прогресс;

K — капитал, стоимость основных фондов;

L — трудовые ресурсы, а именно численность населения, численность рабочей силы, численность занятых в экономике.

С учетом свойств производственной функции $F(K, L)$ при моделировании используют, как правило, так называемые мультипликативные производственные функции вида

$$Y = \alpha_0 K^{\alpha_1} L^{\alpha_2} e^{\gamma t},$$

параметры которых определяются статистическими методами по специально разработанной прикладной программе, основываясь на данных, предоставляемых Федеральной службой государственной статистики [4]. Построенные модели проходят предварительный отбор [5]:

— на статистическую значимость по критерию Фишера — Снедекора;

— экономическую значимость — $\alpha_0 > 0$, $\alpha_1 > 0$, $\alpha_2 > 0$, $\gamma > 0$;

— экономическую адекватность — $\alpha_1 \in (0; 1)$, $\alpha_2 \in (0; 1)$, $\gamma > 0$.

Несмотря на достаточно простой внешний вид, эти функции позволяют проводить достаточно подробный экономический анализ состояния экономики регионов и ранжировать их с учетом различных показателей.

Например, эти функции позволяют оценить численно экономический рост за счет роста капитала и трудовых ресурсов [6]. А именно, вычислив для мультипликативной ПФ коэффициенты эластичности по капиталу и труду, получаем, что α_1 равна эластичности выпуска по основным фондам, а α_2 — эластичности выпуска по труду. То есть при увеличении стоимости основных фондов на 1 % можно ожидать роста валового выпуска примерно на α_1 %, а при увеличении объема трудовых ресурсов на 1 % — роста на α_2 %. Тогда, например, для Республики Марий Эл (РМЭ), ВРП которой моделируется ПФ вида

$$Y = 0,5731 K^{0,7496} L^{0,2504} e^{0,0774t},$$

при росте стоимости основных фондов на 1 %, можно ожидать роста валового выпуска примерно на 0,75 %, а при увеличении численности населения на 1 % — роста на 0,25 % [7]. Так как $\alpha_1 > \alpha_2$, то речь идет о трудосберегающем (интенсивном) росте ВРП РМЭ, в противном случае имел место фондосберегающий (экстенсивный) рост.

Мультипликативные производственные функции позволяют также оценить доли экономического роста за счет роста масштабов производства и за счет роста эффективности производства. Для этого при изучении факторов роста экономики выделим экстенсивные факторы роста за счет увеличения затрат ресурсов, т. е. увеличения масштаба производства, и интенсивные факторы роста — за счет повышения эффективности использования ресурсов. Чтобы выделить эти факторы с помощью ПФ, перейдем к относительным (безразмерным) показателям, так как проблема соизмерения настоящего и прошлого труда удо-

влетворительным образом в экономической теории до сих пор не решена.

Пусть в некоторый базовый год ПФ имеет вид

$$Y_0 = \alpha_0 K_0^{\alpha_1} L_0^{\alpha_2}.$$

Тогда переход от мультипликативной ПФ к безразмерной форме можно осуществить следующим образом:

$$\frac{Y}{Y_0} = \frac{\alpha_0 K^{\alpha_1} L^{\alpha_2}}{\alpha_0 K_0^{\alpha_1} L_0^{\alpha_2}} = \left(\frac{K}{K_0} \right)^{\alpha_1} \left(\frac{L}{L_0} \right)^{\alpha_2}.$$

Если ввести обозначения

$$\tilde{Y} = \frac{Y}{Y_0}, \quad \tilde{K} = \frac{K}{K_0}, \quad \tilde{L} = \frac{L}{L_0},$$

то ПФ примет вид

$$\tilde{Y} = \tilde{K}^{\alpha_1} \tilde{L}^{\alpha_2}.$$

Найдем теперь обобщенный показатель эффективности экономики, определив предварительно такие частные показатели эффективности, как: $\tilde{A}_K = \frac{\tilde{Y}}{\tilde{K}}$ — фондоотдача и $\tilde{A}_L = \frac{\tilde{Y}}{\tilde{L}}$ — производительность труда.

Тогда обобщенный показатель экономической эффективности равен среднему геометрическому частных показателей эффективности:

$$E = \sqrt[\alpha_1 + \alpha_2]{\tilde{A}_K^{\alpha_1} \tilde{A}_L^{\alpha_2}} = \tilde{A}_K^{\alpha} \tilde{A}_L^{1-\alpha},$$

где

$$\alpha = \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} \text{ и } 1 - \alpha = \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

Так как масштаб производства M проявляется в объеме затраченного ресурса, то

$$M = \tilde{K}^{\alpha} \tilde{L}^{1-\alpha}$$

и общий выпуск будет вычисляться как произведение обобщенного показателя эффективности E на масштаб производства M :

$$\tilde{Y} = EM.$$

Оценим, например, масштаб и эффективность производства в Российской Федерации, в Приволжском федеральном округе (ПФО) и в РМЭ за 2000—2019 гг. В Российской Федерации за этот период ВВП вырос в 14,9465 раза, основные производственные фонды — в 12,4353 раза, число занятых — в 23,7137 раза, а производственная функция имеет вид

$$Y = 42,9223 K^{0,2019} L_3^{0,7315} [8].$$

Тогда, учитывая, что $\tilde{Y} = 14,9465$, $\tilde{K} = 12,4353$, $\tilde{L} = 23,7173$, можем определить показатель экономической эффективности:

$$E = \tilde{A}_K^{\alpha} \tilde{A}_L^{1-\alpha} = 0,7246$$

и показатель масштаба:

$$M = \tilde{K}^{\alpha} \tilde{L}^{1-\alpha} = 20,6234.$$

Таким образом, общий рост ВВП в 14,9465 раза произошел за счет роста масштабов производства в 20,6234 раза и за счет повышения эффективности производства в 0,7246 раза.

В ПФО за этот период ВРП вырос в 12,6488 раза, основные производственные фонды — в 8,5300 раза, число занятых — в 18,3425 раза, а производственная функция имеет вид

$$Y = 3,4182 K^{0,5012} L_3^{0,5210} [9].$$

Тогда, учитывая, что $\tilde{Y} = 12,6488$, $\tilde{K} = 8,5300$, $\tilde{L} = 18,3425$, можем определить показатель экономической эффективности как $E = 1,0037$ и показатель масштаба — как $M = 12,6017$.

Таким образом, общий рост ВРП в 12,6488 раза произошел за счет роста масштабов производства в 12,6017 раза и за счет повышения эффективности производства в 1,0037 раза.

В РМЭ за этот период ВРП вырос в 16,6447 раза, основные производственные фонды — в 4,8613 раза, число занятых — в 21,7352 раза, а производственная функция имеет вид

$$Y = 1,3699 K^{0,4351} L_3^{0,6949} [7].$$

Тогда показатель экономической эффективности можно оценить как $E = 1,3631$, а показатель масштаба — как $M = 12,2111$. Таким образом, общий рост ВРП в 16,6447 раза произошел за счет роста масштабов производства в 12,2111 раза и за счет повышения эффективности производства в 1,3631 раза.

Относительно более низкий показатель роста эффективности производства в Российской Федерации, возможно, свидетельствует о том, что в валовом продукте высока доля невозобновляемых энергетических источников. А относительно более высокий показатель роста эффективности производства в РМЭ свидетельствует, скорее всего, о том, что в республике практически отсутствует сырьевая энергетическая база (нефть, газ и т. д.).

Использование мультипликативных производственных функций позволяет также оценить влияние на экономический рост вклада научно-технического (технологического) прогресса.

Пусть $Y(t)$, $K(t)$, $L(t)$ — соответствующие объемы производства и ресурсов в момент времени t . Переходя к следующему моменту времени $(t + 1)$,

можем рассмотреть темпы прироста показателей производства в дискретной форме:

$$\begin{aligned} y(t) &= \frac{Y(t+1) - Y(t)}{Y(t)}, \\ k(t) &= \frac{K(t+1) - K(t)}{K(t)}, \\ l(t) &= \frac{L(t+1) - L(t)}{L(t)} \end{aligned}$$

и в непрерывной форме:

$$\begin{aligned} y'(t) &= \frac{Y'(t)}{Y(t)}, \\ k'(t) &= \frac{K'(t)}{K(t)}, \\ l'(t) &= \frac{L'(t)}{L(t)}. \end{aligned}$$

Тогда ПФ вида $Y = F(K, L)$ в объемной записи можно представить в так называемой темповой записи:

$$y = f(k, l).$$

Рассмотрим для примера мультипликативную ПФ с учетом влияния научно-технического прогресса вида

$$Y(t) = e^{\gamma t} F(K(t), L(t)) = \alpha_0 e^{\gamma t} K(t)^{\alpha_1} L(t)^{\alpha_2},$$

которую можно преобразовать к виду

$$\frac{dY}{Y} = \gamma dt + \alpha_1 \frac{dK}{K} + \alpha_2 \frac{dL}{L},$$

или

$$\frac{Y'(t)}{Y(t)} = \gamma + \alpha_1 \frac{K'(t)}{K(t)} + \alpha_2 \frac{L'(t)}{L(t)}.$$

Таким образом, мультипликативной ПФ, рассматриваемой в объемных показателях, соответствует линейная зависимость непрерывных темпов прироста:

$$y(t) = \gamma + \alpha_1 k(t) + \alpha_2 l(t).$$

Если рассматривать дискретные темпы прироста, то с учетом приближенного равенства $\Delta Y(t) \approx dY(t)$ получаем приближенное линейное уравнение. То есть и в дискретном случае ПФ в объемных показателях соответствует линейная форма зависимости темпов прироста показателей y, k, l .

Однако следует учитывать, что такие уравнения эквивалентны только в непрерывном случае. При статистической же оценке параметров $\alpha_1, \alpha_2, \gamma$ этих уравнений применяются дискретные (например, годовые) статистические данные.

Поэтому оценки $\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \hat{\gamma}$, полученные для дискретного уравнения, не совсем корректно переносить на непрерывное уравнение, и наоборот. Даже если такие уравнения оцениваются по результатам одних и тех же наблюдений, можно получить совершенно различные значения оценок. Причем одно из построенных уравнений регрессии может оказаться значимым, а другое — не значимым [10].

Это означает, что один способ оценивания, например дискретным уравнением, может принести значимый статистический результат, а другой (например, непрерывным уравнением) — нет. Следовательно, лучше производить оценку обоих уравнений, и если по ним получены близкие статистически значимые результаты, то это и послужит подтверждением соответствия оцененной зависимости (формулы) реальной взаимосвязи переменных.

Отметим, что из этого линейного уравнения следует, что свободный член γ представляет собой темп нейтрального (автономного) технического прогресса, он непосредственно не связан с приростом затрат труда $l(t)$ и капитала $k(t)$, а отражает интенсификацию производства на макроуровне. Кроме того, при осуществлении практических расчетов, следует учитывать тот факт, что параметр γ строится по остаточному принципу [11]. Другими словами, он отражает влияние на темп роста выпуска всех прочих факторов, кроме труда и капитала. Это означает, что данный параметр характеризует влияние на выпуск и некоторых других неучтенных факторов производства. Однако для большинства макроэкономических процессов главенствующая роль среди «прочих факторов» принадлежит именно техническому прогрессу [12].

Результаты численных экспериментов позволили за период 2000—2019 гг. оценить вклад в экономический рост интенсивных факторов (научно-технического прогресса) для Российской Федерации в 20,10 %, для ПФО — в 81,77 %, и для РМЭ — в 114,75 %. Следует отметить, что эти результаты согласуются с представленными выше оценками темпов экономического роста за счет повышения эффективности производства.

На следующем этапе построения экономико-математических моделей статистической оценки динамики ВВП и ВРП предполагается возможность использования производственных функций вида

$$Y = F(K; A_L L) \text{ и } Y = F(A_K K; L),$$

в которых параметры A_L и A_K характеризуют соответственно инвестиции в человеческий капитал и технологические инновации.

В качестве параметров, характеризующих технологические инновации, можно рассмотреть, например:

- затраты на технологические инновации;
- затраты на научные исследования и разработки;

— удельный вес организаций, осуществляющих инновационную деятельность;

— объем выполненных научно-технических работ и т. д.

В качестве параметров, описывающих инвестиции в человеческий капитал, можно использовать показатели, которые характеризуют экономику качества населения, основанные на концепциях «человеческого капитала», «качества населения» и прочее, например это:

— уровень здравоохранения;

— уровень образования;

— уровень оплаты труда и (или) доходов трудовых ресурсов и т. д.

Наибольший интерес представляют собой модели, учитывающие инвестиции в человеческий капитал. В большой степени это связано с осознанием того факта, что инвестиций в физический капитал недостаточно для увеличения национального дохода, а вложения в человеческий капитал могут обеспечить существенное увеличение уровня жизни. Это особенно важно в современных условиях бурного развития технологических инноваций. Например, можно рассмотреть модели Т. У. Шульца и Э. Денисона, оценивающие влияние человеческого капитала на рост ВВП [13].

В основе модели Т. У. Шульца лежит производственная функция вида

$$Y(t) = F(K(t); L(t)A(t)) = \alpha_0 K(t)^{\alpha_1} L(t)^{\alpha_2} P(t)^{\alpha_3},$$

где $P(t)$ — величина человеческого образовательного капитала, которую можно рассчитывать, например, как объем расходов на образование в целом по стране или региону, или на единицу трудовых ресурсов.

В этой модели влияние образования на экономический рост зависит от текущих капитальных вложений в образование и не зависит от труда.

Модель Э. Денисона основана на производственной функции вида

$$Y(t) = F(K(t); L(t)A(t)) = \alpha_0 K(t)^{\alpha_1} (P(t) \cdot L(t))^{\alpha_2},$$

где $P(t)$ — индекс качества рабочей силы, рассчитываемый взвешиванием численности образовательных категорий по объему заработной платы.

При практической реализации таких моделей для моделирования ВВП и ВРП можно в качестве $P(t)$ применить, например, средневзвешенный уровень душевых доходов в расчете на одну единицу трудовых ресурсов. И переменную вида $A_L L = \hat{L}$, равную произведению физического труда на его эффективность, мы можем определить как «эффективный объем труда».

Например, для Российской Федерации последний подход позволил увеличить долю неоклассических производственных функций от 0 % до 83,33 %, для ПФО — от 4,17 % до 58,33 %, а для РМЭ — от 4,17 % до 83,33 % (таблица). При этом в качестве трудовых ресурсов рассматривались: численность населения (L_1), численность экономически активного населения (L_2) и численность занятых в экономике (L_3), с учетом среднедушевого дохода и заработной платы. Это свидетельствует о том, что такие модели, несомненно, можно применять для экономического обоснованного анализа и прогнозирования динамики ВВП и ВРП, например при использовании моделей экономического роста Р. Солоу [14].

Мультипликативные производственные функции для РМЭ с учетом капиталосберегающего технического прогресса

Multiplicative production functions for the Republic of Mari El, taking into account capital-saving technical progress

№ п/п	α_0	α_1	α_2	γ	\hat{L}
1	7,7247	0,1537	0,8463	—	\hat{L}_1
2	4,2891	0,1137	0,8863	0,0127	\hat{L}_1
3	4,4031	0,2235	0,8120	—	\hat{L}_1
4	3662,5905	-0,2412	0,5811	0,0918	\hat{L}_1
5	11,2961	0,1914	0,8086	—	\hat{L}_2
6	5,5848	0,1037	0,8903	0,0139	\hat{L}_2
7	5,6859	0,2725	0,7698	—	\hat{L}_2
8	6604,1094	-0,2422	0,5502	0,0957	\hat{L}_2
9	8,7821	0,2354	0,7646	—	\hat{L}_3
10	3,2537	0,4174	0,5826	0,0215	\hat{L}_3
11	0,9101	0,4976	0,6467	—	\hat{L}_3
12	339,0034	0,3373	0,4996	0,0751	\hat{L}_3

Мультипликативная производственная функция может служить и для описания различных типов технического прогресса. Для этого можем рассмотреть предельную норму замены труда капиталом:

$$MRTS_{L,K} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \frac{K}{L}.$$

Тогда, если с течением времени (t):

а) отношение $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ уменьшается, то это характеризует капиталоемкий технический прогресс;

б) отношение $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ увеличивается, то речь идет о трудоемком техническом прогрессе;

в) отношение $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ не изменяется — о нейтральном техническом прогрессе.

Например, для РМЭ результаты численных экспериментов свидетельствуют о том, что если при моделировании применяется численность населения, то речь идет о нейтральном техническом прогрессе, при использовании численности экономически активного населения — о капиталоемком техническом прогрессе, а при использовании численности занятых в экономике — о трудоемком техническом прогрессе. Это можно обосновать тем, что при моделировании посредством производственных функций в период 2000—2019 гг. отношение $\frac{\alpha_2}{\alpha_1}$ в первом случае колебалось в пределах 3,60, во втором — уменьшалось примерно от 2,80 до 1,50, а в третьем — росло от 1,30 до 1,60.

Реализация таких инновационных подходов потребует тщательного анализа соответствующей статистической информации, разработки методов их отбора и учета для построения соответствующих производственных функций, анализа их экономической адекватности.

Разработка методики выбора наиболее оптимальных способов учета инноваций в человеческий капитал и технологии может позволить для всех регионов Российской Федерации:

— построить экономически адекватные производственные функции с учетом инноваций в человеческий капитал и технологии;

— построить модели экономического роста Р. Солоу с учетом инвестиций в основной капитал, осуществить прогнозирование основных социально-экономических характеристик региона;

— оценить в новых условиях вклад остатка Солоу в экономический рост региона;

— произвести рейтинговую оценку вклада факторов производства в экономический рост регионов Российской Федерации, основанную на расчете остатка Солоу с учетом технологических инноваций и эффективного объема труда;

— разработать прикладные алгоритмы решения задач оптимального управления экономическими процессами [15], позволяющие строить управление инвестиционными процессами таким образом, чтобы обеспечить наиболее быстрый и качественный рост благосостояния населения региона (страны).

Практическое применение моделей, основанных на производственной функции, может быть ограничено из-за проблем количественного измерения некоторых ключевых параметров этих моделей. Это обстоятельство предопределяет и некоторую неоднозначность выводов, получаемых на основе таких моделей, и связано это с тем, что при неизменном эффекте масштаба производства и постоянной доли рабочей силы в общей численности населения уровень производительности труда становится зависимым от наличия дополнительных факторов и технологий. Поэтому увеличение численности населения может приводить к замедлению роста производительности труда, если рост населения положительно не повлияет на развитие других факторов производства и/или технологий. Если же рост населения ослабит развитие других факторов производства и/или научно-технического прогресса, то рост производительности труда может замедлиться еще сильнее. А если рост населения стимулирует развитие других факторов производства и/или научно-технического прогресса, то рост производительности труда может ускориться или замедлиться в зависимости от соотношения уровня влияния позитивного и негативного эффектов.

Для преодоления этих трудностей Д. Ю. Катаевский предлагает использовать, например, имитационное моделирование. С помощью этого класса моделей регионального развития посредством ряда последовательных вычислений можно прогнозировать траекторию развития практически любой социально-экономической системы с установленными параметрами при воздействии различных факторов и условий. В основе методологии прогнозирования экономической деятельности региона лежит концепция, согласно которой прогноз представляется как результат изменения исходного состояния модели региона на определенную перспективу при различных задаваемых сценарных условиях. В процессе моделирования исходная база данных переносится в точку прогнозирования через построенную модель причинно-следственных связей. Метод имитационного моделирования позволяет создавать модели сложных систем, описывая слабо структурируемые социально-экономические процессы в условиях неопределенности с учетом стохастических факторов различной природы, а также формировать и оценивать многовариантные сценарии развития исследуемой системы или процесса, анализировать эффективность управленческих решений и выбирать наиболее оптимальный вариант развития [16].

Тем не менее модели, которые основаны на производственной функции, теоретически под-

твердили наличие связи между темпами прироста трудовых ресурсов и капитала с темпами прироста валового продукта, выступив обоснованием целесообразности расчетов корреляционно-статистической зависимости между этими показателями,

несмотря на то что вынужденное игнорирование воздействия других ключевых факторов экономического роста нередко может приводить к диаметрально противоположным выводам.

Список источников

1. Саградов А. А. Экономическая демография : учеб. пособие. М. : Проспект, 2016. 253 с.
2. Кокоткина Т. Н., Садовин Н. С., Царегородцев Е. И. Математические модели в прогнозировании развития экономики региона : моногр. Йошкар-Ола : Изд. СТИНГ, 2017. 177 с.
3. Садовин Н. С., Королева Е. Л. Макроэкономические модели анализа и прогнозирования социально-экономического развития региона // Научные труды вольного экономического общества России : сб. науч. ст. Т. 137. М., 2010. С. 451—455.
4. Федеральная служба государственной статистики. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 01.08.2021).
5. Кокоткина Т. Н., Садовин Н. С., Баркалова Т. Г. Моделирование валового регионального продукта: статистическая и экономическая адекватность // Сборник статей Международной научно-практической конференции журнала «INTERNATIONAL SCIENCE PROJECT» (Турку, 15 марта 2017 г.). 2 ч., № 1/2017. Турку : INTERNATIONAL SCIENCE PROJECT, 2017. С. 48—50.
6. Садовин Н. С., Кокоткина Т. Н. Экономический анализ статистических оценок параметров мультипликативных производственных функций, моделирующих валовый региональный продукт // Актуальные проблемы экономики современной России : сб. материалов межрегион. науч.-практ. конф. Вып. 4. Йошкар-Ола : МарГУ, 2017. С. 46—50.
7. Кокоткина Т. Н., Садовин Н. С., Дружинина А. О. Математическое моделирование валового регионального продукта Республики Марий Эл // Право, экономика и управление: актуальные вопросы : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф., г. Чебоксары, 8 окт. 2021 г. М. : Изд. дом «Среда», 2021. С. 22—26.
8. Кокоткина Т. Н., Садовин Н. С., Лелекова А. В. Моделирование валового внутреннего продукта Российской Федерации мультипликативными производственными функциями // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., г. Санкт-Петербург, 5 нояб. 2021 г. СПб. : ИРОК, 2021. С. 149—154.
9. Кокоткина Т. Н., Садовин Н. С., Смородинова Е. В. Моделирование валового регионального продукта мультипликативными производственными функциями на примере Приволжского федерального округа // Актуальные проблемы общества, экономики и права в контексте глобальных вызовов : сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., г. Москва, 4 окт. 2021 г. М. : ИРОК, 2021. С. 122—127.
10. Modeling the Development of the Regional Economy: Static and Dynamic Approach / T. Barkalova [et al.] // Abstracts & Proceedings of INTCESS 2017 — 4th International Conference on Education and Social Science. Istanbul, Turkey, 2017. С. 530—536.
11. Барро Р. Дж., Sala-i-Martin X. Экономический рост. М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. 824 с.
12. Analysis of the scientific and technical component of the economic growth in the region / T. Kokotkina, N. Sadovin, E. Tsaregorodtsev, E. Vasileva // Proceedings of SOCIONT 2017 — 4th International Conference on Education, Social Sciences and Humanities, 10—12 July 2017 — Dubai. UAE. P. 41—48.
13. Ромер Д. Высшая макроэкономика : учеб. : пер. с англ. М. : Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. 855 с.
14. Колемаев В. А. Экономико-математическое моделирование: Моделирование макроэкономических процессов и систем. М. : ЮНИТИ, 2005. 295 с.
15. Садовин Н. С., Кокоткина Т. Н. Оптимизационные модели макроэкономической динамики // Актуальные проблемы экономики современной России : сб. материалов межрегион. науч.-практ. конф. Вып. 6. Йошкар-Ола : МарГУ, 2019. С. 24—26.
16. Каталевский Д. Ю. Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении : учеб. пособие. М. : Изд. дом «Дело», РАНХиГС, 2015. 496 с.

References

1. Sagradov A.A. Ekonomicheskaya demografiya [Economic demographics]: ucheb. posobie. Moscow: Prospekt, 2016, 253 p.
2. Kokotkina T.N., Sadovin N.S., Tsaregorodtsev E.I. Matematicheskie modeli v prognozirovanii razvitiya ekonomiki regiona [Mathematical models in forecasting the development of the regional economy]: monogr. Ioshkar-Ola: Publ. STING, 2017, 177 p.
3. Sadovin N.S., Koroleva E.L. Makroekonomicheskie modeli analiza i prognozirovaniya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya regiona [Macroeconomic models for analysis and forecasting of socio-economic development of the region], *Nauchnye trudy vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii : sb. nauch. st.*, vol. 137. Moscow, 2010, pp. 451—455.
4. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. Available at: <http://www.gks.ru> (accessed: 01.08.2021).
5. Kokotkina T.N., Sadovin N.S., Barkalova T.G. Modelirovanie valovogo regional'nogo produkta: statisticheskaya i ekonomicheskaya adekvatnost' [Modeling of gross regional product: statistical and economic adequacy], *Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii zhurnala "INTERNATIONAL SCIENCE PROJECT" (Turku, 15 march 2017 y.)*. 2 part, no. 1/2017. Turku: INTERNATIONAL SCIENCE PROJECT, 2017, pp. 48—50.
6. Sadovin N.S., Kokotkina T.N. Ekonomicheskii analiz statisticheskikh otsenok parametrov mul'tiplikativnykh proizvodstvennykh funktsii, modeliruyushchikh valovyi regional'nyi product [Economic analysis of statistical estimates of the parameters of multiplicative production functions modeling the gross regional product], *Aktual'nye problemy ekonomiki sovremennoi Rossii : sb. materialov mezhregion. nauch.-prakt. konf.* Issue 4. Ioshkar-Ola: MarGU, 2017, pp. 46—50.
7. Kokotkina T.N., Sadovin N.S., Druzhinina A.O. Matematicheskoe modelirovanie valovogo regional'nogo produkta Respubliki Marii El [Mathematical modeling of the gross regional product of the Republic of Mari El], *Pravo, ekonomika i*

upravlenie: aktual'nye voprosy : sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf., t. Cheboksary, 8 okt. 2021 g. Moscow: Izd. dom "Sreda", 2021, pp. 22—26.

8. Kokotkina T.N., Sadovin N.S., Lelekova A.V. Modelirovanie valovogo vnutrennego produkta Rossiiskoi Federatsii mul'tiplikativnymi proizvodstvennymi funktsiyami [Modeling the gross domestic product of the Russian Federation by multiplicative production functions], *Aktual'nye problemy obshchestva, ekonomiki i prava v kontekste global'nykh vyzovov : sb. materialov V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Sankt-Peterburg, 5 nov. 2021 y.* Sankt-Peterburg: IROK, 2021, pp. 149—154.

9. Kokotkina T.N., Sadovin N.S., Smorodina E.V. Modelirovanie valovogo regional'nogo produkta mul'tiplikativnymi proizvodstvennymi funktsiyami na primere Privolzhskogo federal'nogo okruga [Modeling of gross regional product by multiplicative production functions on the example of the Volga Federal District], *Aktual'nye problemy obshchestva, ekonomiki i prava v kontekste global'nykh vyzovov: sb. materialov IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., g. Moskva, 4 okt. 2021 y.* Moscow: IROK, 2021, pp. 122—127.

10. Barkalova T. [et al.] Modeling the Development of the Regional Economy: Static and Dynamic Approach, *Abstracts & Proceedings of INTCESS 2017 — 4th International Conference on Education and Social Science.* Istanbul, Turkey, 2017, pp. 530—536.

11. Barro R.Dzh., Sala-i-Martin Kh. Ekonomicheskii rost [The economic growth]. Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2015, 824 p.

12. Kokotkina T., Sadovin N., Tsaregorodsev E., Vasileva E. Analysis of the scientific and technical component of the economic growth in the region, *Proceedings of SOCIONT 2017 — 4th International Conference on Education, Social Sciences and Humanities, 10—12 July 2017 — Dubai, UAE*, pp. 41—48.

13. Romer D. Vysshaya makroekonomika [Higher Macroeconomics]: ucheb. Moscow: Izd. dom Vysshei shkoly ekonomii, 2014, 855 p. (in Russ.)

14. Kolemaev V.A. Ekonomiko-matematicheskoe modelirovanie: Modelirovanie makroekonomicheskikh protsessov i system [Economic and mathematical modeling: Modeling of macroeconomic processes and systems]. Moscow: YuNITI, 2005, 295 p.

15. Sadovin N.S., Kokotkina T.N. Optimizatsionnye modeli makroekonomicheskoi dinamiki [Optimization models of macroeconomic dynamics], *Aktual'nye problemy ekonomiki sovremennoi Rossii: sb. materialov mezhregion. nauch.-prakt. konf.* Issue 6. Yoshkar-Ola: MarGU, 2019, pp. 24—26.

16. Katalevskii D.Yu. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya i sistemnogo analiza v upravlenii [Fundamentals of simulation modeling and system analysis in management]: ucheb. posobie. Moscow: Izd. dom "Delo", RANKhiGS, 2015, 496 p.

Информация об авторах

Кокоткина Татьяна Николаевна — кандидат экономических наук, доцент кафедры прикладной статистики и цифровых технологий, Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Российская Федерация. E-mail: tanyakokotkina@gmail.com.

Садовин Николай Степанович — кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной статистики и цифровых технологий, Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Российская Федерация. E-mail: n_sadovin@mail.ru

Information about the author

Tatyana N. Kokotkina — Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Applied Statistics and Digital Technologies, Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation. E-mail: tanyakokotkina@gmail.com

Nikolay S. Sadovin — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Statistics and Digital Technologies, Mari State University, Yoshkar-Ola, Russian Federation. E-mail: n_sadovin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 25.01.2022; одобрена после рецензирования 27.01.2022; принята к публикации 15.02.2022.

The article was submitted 25.01.2022; approved after reviewing 27.01.2022; accepted for publication 15.02.2022.