

УДК 004.942
DOI: 10.22213/2410-9304-2019-3-4-41-47

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ДОЛГОСРОЧНОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА РОССИИ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ СОЛОУ

А. А. Бойко, кандидат экономических наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия
В. В. Кукарцев, кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

В работе представлена имитационно-динамическая модель расчета долгосрочного экономического роста на основе неоклассической модели Р. Солоу. Модель разработана на основе метода системной динамики инструментальными средствами AnyLogic. В построенной модели расчеты проводились для двух вариантов долгосрочного развития экономики России, без учета и с учетом научно-технического прогресса. Модель расчета долгосрочного экономического роста использовалась в качестве инструмента для исследования, какой из вариантов развития выгоднее. Представлена структура интерфейса управления моделями расчета долгосрочного экономического роста по модели Солоу. Графически изображена диаграмма потоков и уровней расчета долгосрочного экономического роста. Также представлена панель программного управления моделью расчета долгосрочного экономического роста. Результаты расчета долгосрочного экономического роста без учета научно-технического прогресса изображены графически и представлены на рисунках. В результате экспериментов с вариантами было установлено, что вариант, учитывающий технический прогресс, является предпочтительным. Проведенное исследование позволяет сделать вывод, что разработанная имитационно-динамическая модель является достаточно универсальной и на ее основе можно проводить разнообразные исследования, касающиеся различных сторон долгосрочного развития экономических систем разного уровня.

Ключевые слова: имитационно-динамическая модель; инструментальные средства; технический прогресс; экономический рост; экономико-математическое моделирование.

Введение

Наиболее значимой долгосрочной целью экономической стратегии руководства государства должно быть стимулирование *экономического роста*, сохранение его постоянного уровня прироста. Стабильное развитие экономики необходимо для демографического роста, что обусловлено двумя аспектами – человек является потребителем товаров и одновременно их производителем. В связи с этим рост демографии населения обуславливает увеличение потребления произведенных продуктов, а также увеличение производительных сил общества. Поэтому при постоянном объеме производства будет снижаться уровень жизни и увеличиваться безработица. В свою очередь, насущность экономического роста диктуется непрерывным развитием и ростом потребностей населения, при этом потребности растут с опережением производства. Несоответствие между потребностями и производством будет постоянно.

Экономический рост – увеличение масштабов производства материальных благ в обозреваемой народно-хозяйственной системе на уровне отдельных территорий и в мировом масштабе. Оценкой долгосрочного роста экономики является увеличение валового внутреннего продукта (ВВП) в общем или в расчете на человека. Существуют *экстенсивный (количественный)* и *интенсивный (качественный)* виды

долгосрочного экономического развития. В условиях постоянного роста научно-технического прогресса качественные характеристики роста преобладают над количественными. В условиях повседневности экстенсивный и интенсивный факторы долгосрочного развития экономики не имеют места, в реальности существует их смешение [1].

При регулировании экономического роста используют различные экономические модели, среди которых выделяют две: неокейнсианскую модель (модель Е. Домара и Р. Харрода) и неоклассическую модель (модель Р. Солоу) [2].

Неоклассическая модель экономического роста Роберта Солоу основана на производственной функции Кобба – Дугласа, с учетом экзогенного нейтрального технического прогресса как фактора экономического роста наравне с такими факторами производства, как труд и капитал [3].

Важность изучения проблемы экономического роста состоит в том, что экономический рост является основой увеличения благосостояния, а анализ факторов, его определяющих, позволяет объяснить различия в уровне и темпах развития в разных странах (межстрановые различия) в один и тот же период времени и в одной и той же стране в разные периоды времени (межвременные различия) [4].

Сложность учета влияния этих факторов предопределяет необходимость использования инструментальных методов менеджмента, таких как экономико-математическое моделирование (ЭММ) [5], обеспечивающих повышение эффективности принимаемых решений по стимулированию экономического роста. Одним из таких современных и широко используемых подходов сегодня является имитационно-динамическое моделирование, метод системной динамики [6].

Модель расчета долгосрочного экономического роста

Модель расчета долгосрочного экономического роста представлена на рис. 1. Модель включает в себя три уровня (накопителя):

1. Population;
2. Capital;
3. STP.

Также на диаграмме представлены четыре потока:

1. Population growth;
2. Investments;
3. Amortization;
4. Rate_STP.

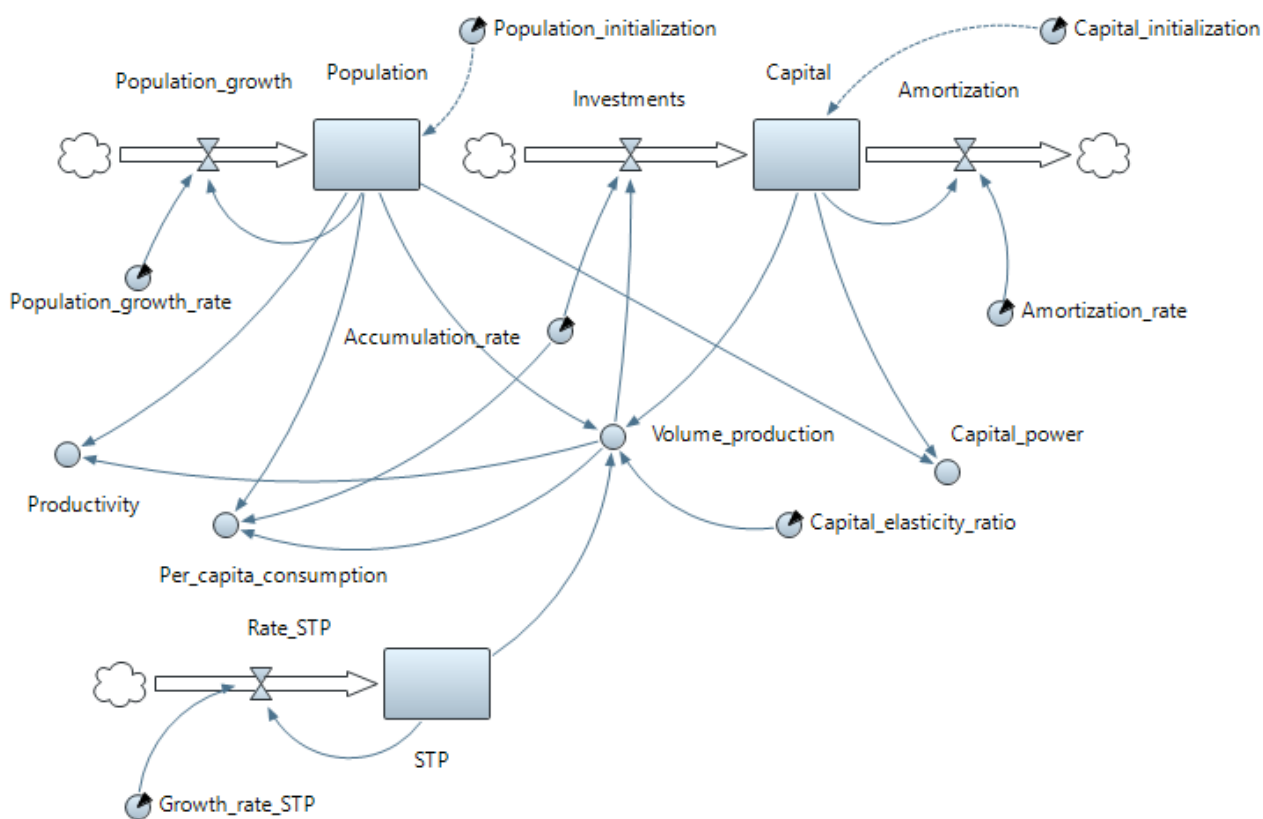


Рис. 1. Диаграмма потоков и уровней расчета долгосрочного экономического роста

Помимо перечисленных потоков и уровней на схеме присутствуют вспомогательные пере-

менные. Расшифровка переменных, показанных на диаграмме, представлена в таблице.

Используемые переменные в диаграмме потоков и уровней расчета аннуитетных и дифференцированных платежей по кредиту

Name	Documentation
Population	Уровень численности населения
Capital	Наличие основных фондов
STP	Уровень научно-технического прогресса
Population growth	Темп роста численности населения
Investments	Темп роста инвестиций в основные фонды
Amortization	Темп роста амортизационных отчислений
Rate_STP	Темп роста научно-технического прогресса
Volume_production	Валовой внутренний продукт
Accumulation_rate	Норма сбережений
Per_capita_consumption	Потребление на душу населения
Capital_elasticity_ratio	Коэффициент эластичности по капиталу
Population_growth_rate	Коэффициент роста населения
Amortization_rate	Норма амортизационных отчислений
Growth_rate_STP	Коэффициент роста научно-технического прогресса
Productivity	Производительность труда
Capital_power	Капиталовооруженность труда
Population_initialization	Инициализация уровня численности населения
Capital_initialization	Инициализация наличия основных фондов

Рассмотрим алгоритм расчета долгосрочного экономического роста по модели Солоу [7–9].

Экономический рост характеризуется системой показателей, с помощью которых результаты функционирования экономики сопоставляются во времени.

Модель имеет ряд упрощений:

- имеется только один товар – Y ;
- нет государственных расходов и налогов;
- нет изменений безработицы;
- производство определяется агрегированной функцией только трех факторов производств:

K – капитал, L – труд, A – знания, эффективность труда одного работника, зависящая от квалификации, образования и здоровья работника;

• нормы сбережения и амортизации фиксированы, задаются экзогенно – s и δ ;

• темп роста численности и технического прогресса постоянен, задаются экзогенно – n и g .

В модели Солоу производственная функция имеет вид:

$$Y = K^{\alpha} \times (A \times L)^{1-\alpha}, \quad (1)$$

где $0 < \alpha < 1$, α – коэффициент эластичности по капиталу, $1 - \alpha$ – коэффициент эластичности по труду.

Темп роста численности населения

$$\frac{dL}{dt} = n \times L. \quad (2)$$

Темп роста капитала

$$\frac{dK}{dt} = s \times Y - \delta \times K. \quad (3)$$

Темп роста научно-технического прогресса

$$\frac{dA}{dt} = g \times A. \quad (4)$$

Модель Солоу позволяет определить оптимальный уровень нормы сбережений, при котором достигается максимальное (удельное) потребление. По определению удельное потребление равно

$$c = (1 - s) \times Y. \quad (5)$$

Интерфейс управления моделью расчета долгосрочного экономического роста

На рис. 2 представлен интерфейс управления моделями расчета долгосрочного экономического роста по модели Солоу.

Структура интерфейса состоит из двух частей: ввод входных данных и мониторинг результатов расчета. Перед началом расчета вво-

дятся следующие данные: численность населения; наличие основных фондов, норма сбережений, коэффициент роста научно-технического прогресса, норма амортизационных отчислений, коэффициент эластичности по капиталу. На второй части интерфейса в графической форме

отображаются результаты расчета: темп роста инвестиций в основные фонды, темп роста амортизационных отчислений, валовой внутренний продукт, наличие основных фондов, капиталовооруженность и производительность труда.

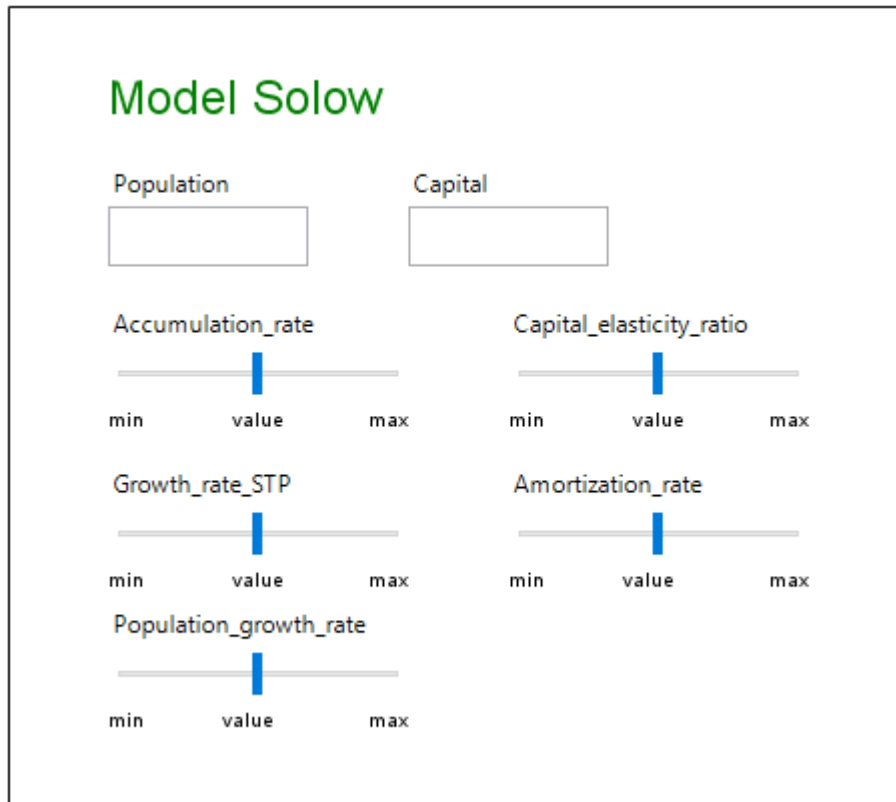


Рис. 2. Панель управления моделью расчета долгосрочного экономического роста

Результаты

В ходе эксперимента были произведены расчеты долгосрочного экономического роста России на 50 лет по следующим исходным данным на 2018 г. [10–13]:

- Уровень численности населения – 146 880 400 человек.
- Наличие основных фондов – 194 649 464 млн руб.
- Норма сбережений – 30 % в год.
- Коэффициент роста научно-технического прогресса – 0,01.
- Коэффициент роста населения – 0,001 (средний вариант прогноза).
- Коэффициент эластичности по капиталу – 0,25.
- Норма амортизационных отчислений – 0,1.

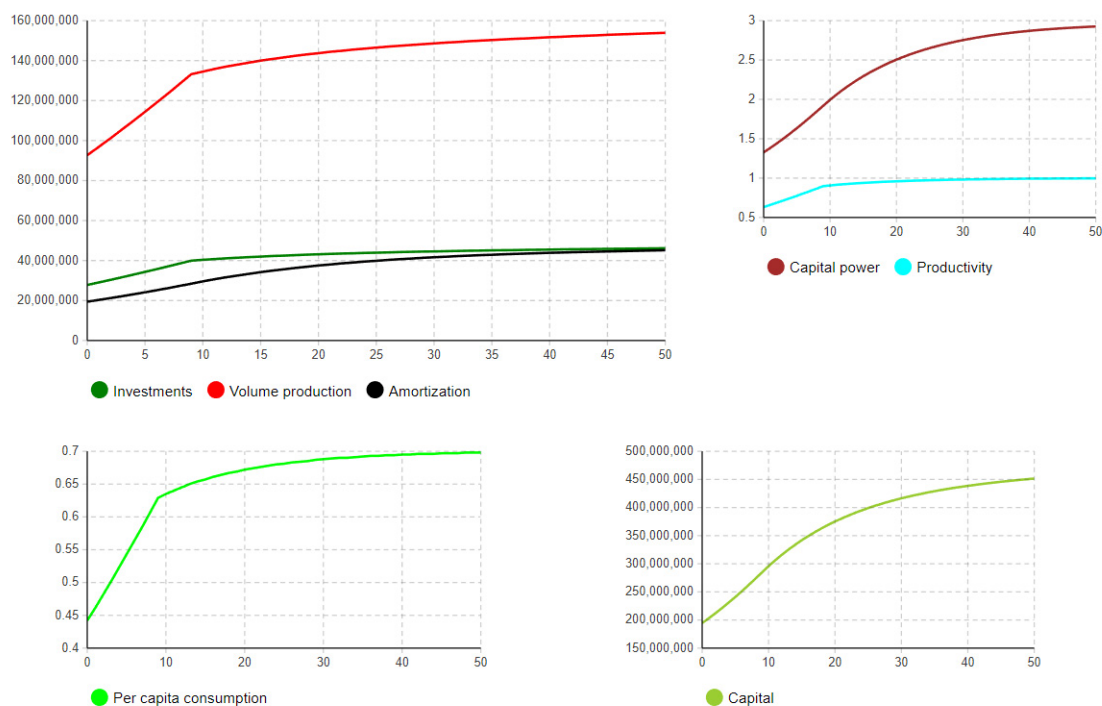


Рис. 3. Результаты расчета долгосрочного экономического роста без учета научно-технического прогресса

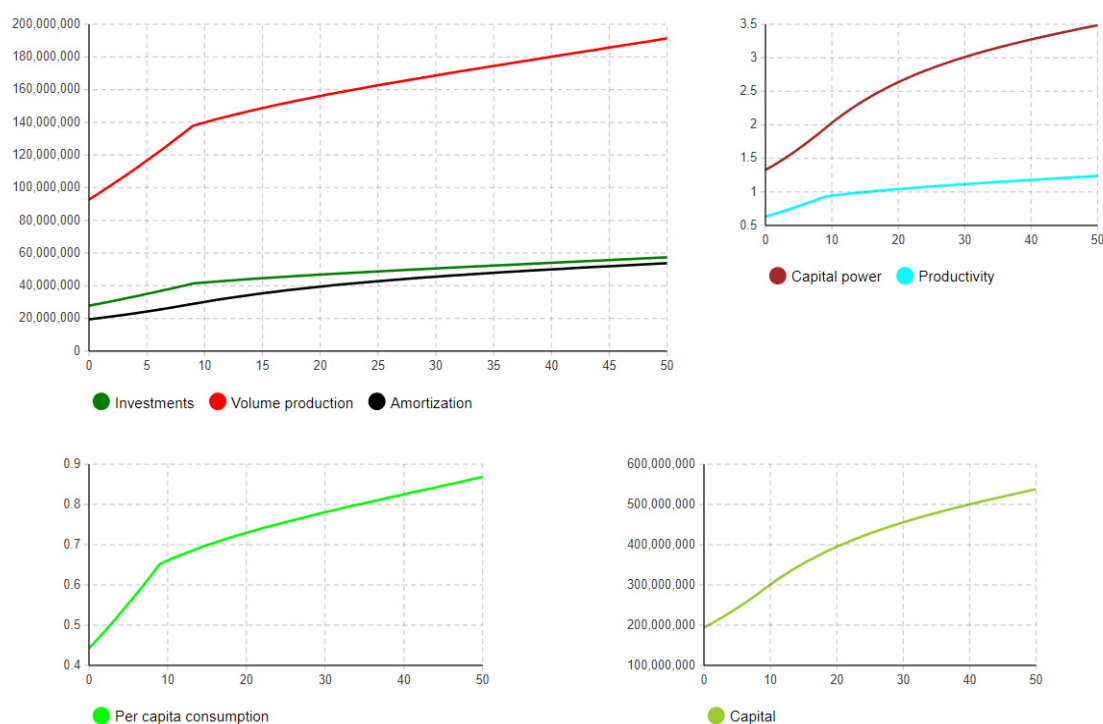


Рис. 4. Результаты расчета долгосрочного экономического роста России с учетом научно-технического прогресса

Из графика (рис. 3) видно, что при нейтральном техническом прогрессе экономическая система России достигает равновесного состояния к 30-му году, к 50-му году ВВП приближается к 160 трлн руб. При учете технического прогресса

экономика России растет вплоть до 50-го года, хотя темпы роста замедляются, а ВВП приближается к 200 трлн руб.

Заключение

В результате, основываясь на проведенных расчетах, можно сделать вывод, что научно-технический прогресс играет ключевую роль в обеспечении долгосрочного экономического развития экономических систем [14].

Также необходимо отметить, что построенная имитационная модель долгосрочного экономического роста может использоваться для определения оптимального уровня нормы сбережений, при котором достигается максимальное (удельное) потребление и для исследования других аспектов экономического роста, в связи с этим ее можно считать универсальной.

Библиографические ссылки

1. Germain M. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz: Back to a controversy. *Ecological Economics*, 2019. 160, 168-182.
2. Etro F. The Romer model with monopolistic competition and general technologies. M.: *Economics Letters*, 2019.
3. Куликов Д. А. Устойчивость и локальные бифуркации в модели солоу с запаздыванием // Журнал Средневолжского математического общества. 2018. Т. 20. № 2. С. 225-234.
4. Никоноров В. М. Математическая модель торговли РФ на основе модели солоу // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 9 (87). С. 77-80.
5. Boyko A. A., Kukartsev V. V., Lobkov K. Y., Stupina A. A. Strategic planning toolset for reproduction of machinebuilding engines and equipment. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1015, No. 4, p. 042006). IOP Publishing.
6. Никоноров В. М. Некоторое решение математической модели торговли рф на основе модели солоу // Перспективы науки. 2018. № 9 (108). С. 51-55.
7. Шишмакова Н. С., Зув В. С. Прогнозирование экономики России с помощью математической модели Солоу // Наука сегодня: глобальные вызовы и механизмы развития. 2018. С. 75-77.
8. Гаджикурбанов Д. М., Лабутина Л. М. Модель экономического роста Солоу // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 8-9. С. 22.
9. Коршунов В. А., Райнхардт Р. О. Оценка остатка Солоу для реального и потенциального ВВП: практический расчет для стран-членов ОЭСР // Вестник Института экономики РАН. 2017. № 3.
10. Национальные счета. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/ (дата обращения: 28.05.2019).
11. Демография. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/ (дата обращения: 28.05.2019).
12. Основные фонды. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund (дата обращения: 28.05.2019).
13. Boyko A. A., Kukartsev V. V., Tynchenko V. S., Chzhan E. A., Stupina A. A. Algorithm for managing investment resources for enterprises' fixed assets reproduction. In International conference "Economy in the modern world"(ICEMW 2018). Atlantis Press. 2018.
14. Никоноров В. М. Некоторое решение математической модели торговли рф на основе модели солоу // Перспективы науки. 2018. № 9 (108). С. 51-55.

References

1. Germain M. Georgescu-Roegen versus Solow/Stiglitz: Back to a controversy. *Ecological Economics*, 2019. pp. 160, 168-182.
2. Etro F. The Romer model with monopolistic competition and general technologies. M.: *Economics Letters*, 2019. pp. 25-26.
3. Kulikov D.A. [Stability and local bifurcations of the Solow model with delay]. *Zhurnal Srednevolzhskogo matematicheskogo obshchestva* [Mathematical Society Journal]. 2018. Vol. 20, no. 2, pp. 225-234 (in Russ.).
4. Nikonorov V.M. [A Mathematical Model of Trade of the Russian Federation on the Basis of Solow's Model]. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and business: ways of development]. 2018. No. 9. Pp. 77-80 (in Russ.).
5. Bojko A.A. Set of strategic planning tools for engine and equipment reproduction. In *Journal Of Physics*, publication, 2015, no. 4, pp. 45-46.
6. Nikonorov V.M. [A Solution of the Mathematical Model of Trade of the Russian Federation on the Basis of Solow's Model]. *Perspektivy nauki* [Science perspectives]. 2018. No. 9 (108), pp. 51-55 (in Russ.).
7. SHishmakova N. S., Zuev V. S. [Forecasting the Russian economy using the mathematical model of Solow]. *Nauka segodnya: global'nye vyzovy i mekhanizmy razvitiya* [Science today: global challenges and development mechanisms]. 2018. Pp. 75-77 (in Russ.).
8. Gadzhikurbanov D.M., Labutina L.M. [Solow Economic Growth Model]. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii*. 2015. No. 8-9. Pp. 22 (in Russ.).
9. Korshunov V. A., Reinhardt R. O. [Assessment of the solow residuals for real and potential gdp: practical calculation for member countries of oecd]. *Vestnik Instituta ekonomiki RAN* [Bulletin of the Institute of Economics RAS]. 2017. No. 3 (in Russ.).
10. *Natsional'nye scheta* [National accounts]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts (accessed 28.05.2019) (in Russ.).
11. *Demografiya* [Demography]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/ (accessed 28.05.2019) (in Russ.).
12. *Osnovnye fondy* [Fixed assets]. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/enterprise/fund (accessed 28.05.2019) (in Russ.).
13. Bojko A. A. Algorithm for the management of investment resources for the reproduction of fixed assets

of enterprises. In International conference "Economics in the modern world", 2018, pp. 54-56.

14. Nikonorov V.M. [A Solution of the Mathematical Model of Trade of the Russian Federation on the Ba-

sis of Solow's Model]. *Perspektivy nauki* [Science perspectives]. 2018. No. 9 (108), pp. 51-55 (in Russ.).

Calculation Model of Long-Term Economic Growth of Russia on the Basis of the Solow Model

A. A. Boyko, PhD in Economics, Siberian State University of Science and Technology n.a. academician M. F. Reshetnev, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

V. V. Kukartsev, PhD in Engineering, Siberian State University of Science and Technology n.a. academician M. F. Reshetnev, Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

The paper presents a simulation-dynamic model for calculating long-term economic growth based on the neoclassical model of R. Solow. The model is developed on the basis of the system dynamics method by AnyLogic tools. In the constructed model, calculations were carried out for two variants of the long-term development of the Russian economy, without and with regard to scientific and technical progress. The model for calculating long-term economic growth was used as a tool for researching which development option is more profitable. The structure of the interface for managing models for calculating long-term economic growth according to the Solow model is presented. The diagram of flows and calculation levels for long-term economic growth is graphically depicted. The software control panel for a long-term economic growth calculation model is also presented. The results of calculation of long-term economic growth without taking into account scientific and technological progress are shown graphically and presented in figures. As a result of experiments with options, it was found that the option that takes the technical progress into account is preferred. The study allows us to conclude that the developed simulation-dynamic model is quite universal and on its basis it is possible to conduct a variety of studies relating to different levels of various aspects of the long-term development of economic systems.

Keywords: simulation dynamic model; software tools; technical progress; economic growth; economic and mathematical modeling

Получено: 17.06.19