

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ЭКОНОМИКИ /
MATHEMATICAL, STATISTICAL AND INSTRUMENTAL METHODS OF ECONOMICS**

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18>

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА ПОСЛЕ
ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНЕГО ШОКА**

Научная статья

Звягинцев А.И.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0003-0199-6420;

¹ Михайловская военная артиллерийская академия, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (azvyagintsev[at]mail.ru)

Аннотация

Статья посвящена моделированию влияния внешних шоков на экономику. Особое внимание уделяется проблеме преодоления последствий внешних шоков. В статье представлена экономико-математическая модель в виде нелинейной дискретной системы четвертого порядка, которая позволяет имитировать и анализировать возможные сценарии экономического развития с учетом воздействия внешних шоков. При разработке этой модели были использованы математические методы современной теории управления хаосом. С помощью полученной модели на основе реальных статистических данных построен сценарий восстановления экономического роста России после воздействия антироссийских санкций, введенных западными странами. Научная и практическая ценность этой модели заключается в том, что она дает возможность определять точные сроки и затраты, необходимые для восстановления и стабилизации экономического роста.

Ключевые слова: внешние шоки, математическое моделирование, стабилизация экономического развития, антикризисные меры.

**MATHEMATICAL MODELING OF ECONOMIC GROWTH RESTORATION AFTER THE IMPACT OF AN
EXTERNAL SHOCK**

Research article

Zvyagintsev A.I.^{1,*}

¹ ORCID : 0000-0003-0199-6420;

¹ Mikhailovskaya Artillery Military Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (azvyagintsev[at]mail.ru)

Abstract

The article is dedicated to modeling the impact of external shocks on the economy. Particular attention is paid to the problem of overcoming the consequences of external shocks. The article presents an economic-mathematical model in the form of a nonlinear discrete quartic system, which allows to simulate and analyze possible scenarios of economic development, taking into account the impact of external shocks. In developing this model, mathematical methods of modern chaos management theory were used. With the help of the obtained model based on real statistical data, the scenario of restoration of Russia's economic growth after the impact of anti-Russian sanctions imposed by Western countries was built. The scientific and practical value of this model is that it makes it possible to determine the exact timing and costs needed to restore and stabilize economic growth.

Keywords: external shocks, mathematical modeling, stabilization of economic development, anti-crisis measures.

Введение

В настоящее время разработано огромное количество экономико-математических моделей, которые вполне адекватно имитируют различные макроэкономические процессы в условиях отсутствия внешних шоков. Но современный период времени характеризуется очень высокой турбулентностью. Постоянно возникают финансовые пузыри, эпидемии заразных болезней, военные конфликты, экономические санкции и т.д. В таких условиях наиболее востребованными становятся экономико-математические модели, учитывающие воздействие внешних шоков. Актуальность разработок таких моделей обусловлена: во-первых, необходимостью построения адекватных прогнозов возникновения кризисов; во-вторых, необходимостью моделирования возможных сценариев экономического развития в кризисных условиях; в-третьих, необходимостью выработки конкретных и математически обоснованных антикризисных мер. Математическому моделированию экономики в условиях кризиса посвящено множество научных трудов отечественных и зарубежных ученых. Математические модели развития экономических кризисов и обзоры таких моделей содержатся, например, в работах [1], [2], [4], [5].

В данной статье будет предложена математическая модель, позволяющая имитировать влияние на экономику внешних шоков, а также способная генерировать антикризисные меры по восстановлению экономического роста и преодолению последствий негативных шоков. Разработка такой модели базируется на современных методах из теории управления хаосом. Практическое применение этой модели будет продемонстрировано на примере российской экономики в условиях введения антироссийских санкций со стороны западных государств. Данная работа является дополнением к экономико-математическому моделированию, проведенному в статье [6].

Основные результаты

В работах А.А. Акаева [7], [8, С.46] предложена экономико-математическая модель циклических колебаний деловой активности вокруг трендовой траектории макроэкономического роста

$$\frac{d^2y}{dt^2} + [\lambda + k - \lambda kv - \lambda(1-s)\frac{\beta}{\gamma} + \frac{4}{3}\lambda kv^3(\frac{dy}{dt})^2]\frac{dy}{dt} + \lambda k[1 - \frac{s(1-s)}{k}i]y = F(t) \quad (1)$$

Здесь $y = Y - \bar{Y}$, где Y - текущий объем выпуска продукции (текущий уровень ВВП), \bar{Y} - уровень выпуска, соответствующего трендовой траектории долгосрочного экономического роста. Нелинейное дифференциальное уравнение (1) содержит параметры: λ - скорость реакции запаздывания предложения от спроса, k - скорость реакции запаздывания фактических индуцированных капиталовложений от решения об инвестициях, v - мощность акселератора, s - коэффициент сбережений, β - эластичность выпуска по труду, γ - параметр Оукена, i - норма процента, $F(t)$ - функция независимых автономных инвестиций.

В модели Акаева (1) предполагается цикличность функции $F(t)$. В этой связи полагаем $F(t) = qu(t) + p$, где функция $u(t)$ является периодическим решением дифференциального уравнения

$$\frac{d^2u}{dt^2} + \omega^2u = \mu,$$

коэффициенты p, q, μ, ω - действительные числа.

После ввода обозначений

$$a = \lambda + k - \lambda kv - \lambda(1-s)\frac{\beta}{\gamma}; b = \frac{4}{3}\lambda kv^3; c = \lambda k[1 - \frac{s(1-s)}{k}i]$$

уравнение (1) принимает вид

$$y'' + ay' + b(y')^3 + cy = qu + p$$

Тогда экономико-математическую модель Акаева можно представить следующим образом:

$$\begin{cases} y'' = -ay' - b(y')^3 - cy + qu + p \\ u'' = -\omega^2u + \mu \end{cases} \quad (2)$$

В целях моделирования влияния внешних шоков на экономику дополним систему (2) «шоковым генератором». За основу возьмем функцию, применяемую в системе Чуа [9]:

$$g(x) = \frac{1}{2}(|x+1| - |x-1|) = \begin{cases} -1, & x < -1 \\ x, & -1 \leq x \leq 1 \\ 1, & x > 1 \end{cases}$$

Эта функция имеет скачкообразный график и выполняет роль возбудителя хаотических колебаний в осцилляторе Чуа.

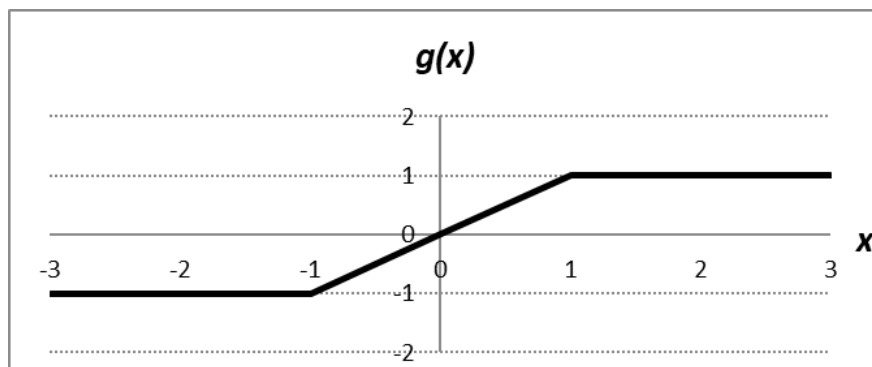


Рисунок 1 - График функции $g(x)$

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.1>

С математической точки зрения в качестве генератора шоковых воздействий на динамику ВВП целесообразно использовать функцию вида

$$G(y) = \delta - \varepsilon g(y) \quad (3)$$

Такая функция и варьирование ее параметрами дает возможность моделировать процессы резкого падения объемов ВВП.

В результате дополнения системы (2) «шоковым генератором» (3) получаем следующую модель:

$$\begin{cases} y'' = -ay' - b(y')^3 - cy + qu + p + \delta - \varepsilon g(y) \\ u'' = -\omega^2 u + \mu \end{cases} \quad (4)$$

Представим систему (4) в эквивалентной форме

$$\begin{cases} y' = z \\ z' = -az - bz^3 - cy + qu + p - \varepsilon(\frac{1}{2}(|y+1| - |y-1|)) + \delta \\ u' = v \\ v' = -\omega^2 u + \mu \end{cases} \quad (5)$$

В качестве реального примера рассмотрим 5-летнюю выборку статистических данных по ежеквартальным объемам ВВП для России [10].

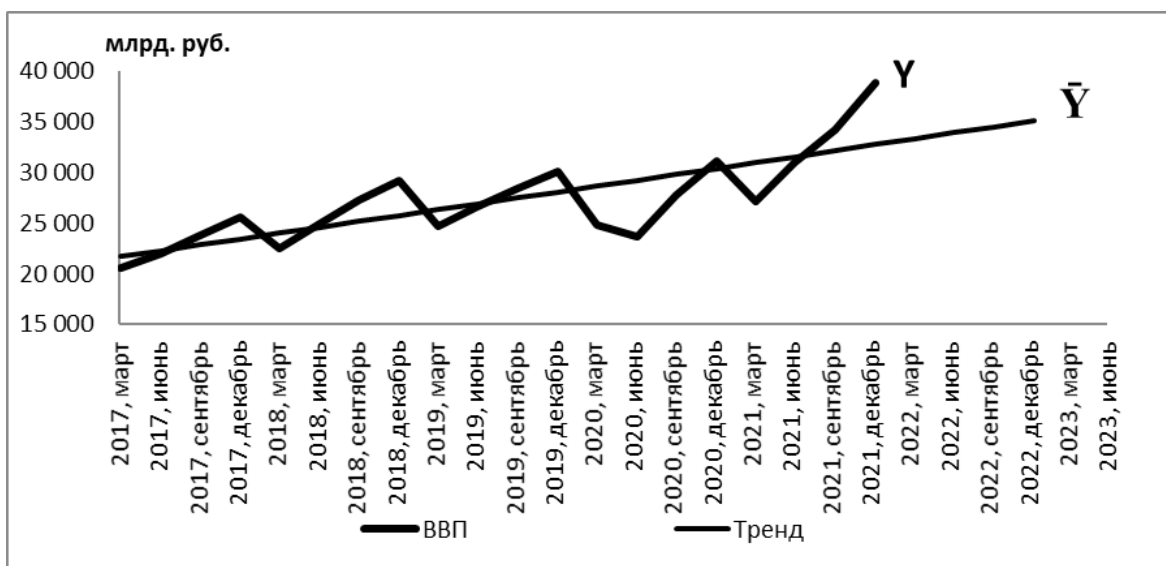


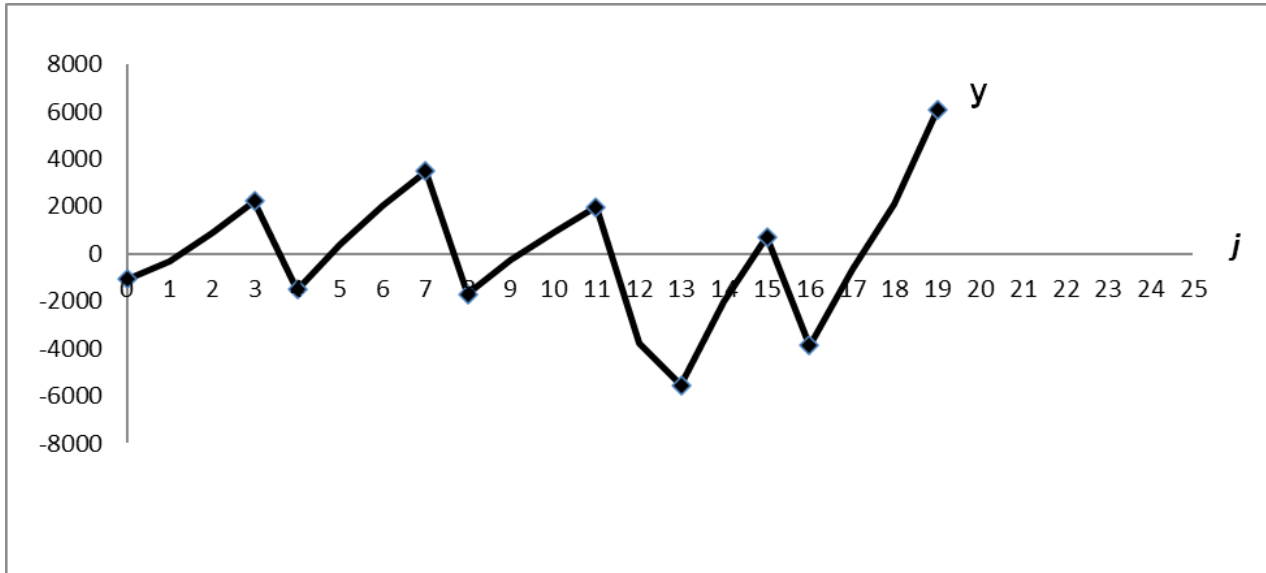
Рисунок 2 - Ежеквартальные объемы ВВП России и линейный тренд

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.2>

С помощью метода наименьших квадратов находится линейный тренд для ВВП:

$$\bar{Y}(j) = 581,58j + 21661 \quad (6)$$

Коэффициент корреляции между γ и $\bar{\gamma}$ составляет 0,78. На рисунке 3 представлен график для $y = Y - \bar{Y}$.

Рисунок 3 - Траектория y DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.3>

Из рисунка 3 видно, что на всем промежутке времени с периодичностью в 4 квартала наблюдаются волны однообразной формы, но различной амплитуды. Для этих волн вычислим среднеарифметические значения локальных минимумов и локальных максимумов (на рисунке 3 обозначены маркером):

$$y = \frac{y_0 + y_4 + y_8 + y_{13} + y_{16}}{5} = -2741,53; M = \frac{y_3 + y_7 + y_{11} + y_{15} + y_{19}}{5} = 2889,19$$

Можно говорить, что у обнаруженных 4-квартальных волн усредненный диапазон колебаний составляет от m до M .

В целях моделирования прогнозов по ВВП будем рассматривать систему (5) в качестве базовой. Поскольку мы оперируем дискретными значениями статистики по ВВП, то для моделирования целесообразно перейти от дифференциальных уравнений к разностным уравнениям. Тогда экономико-математическая модель (5) преобразуется в дискретную систему уравнений:

$$\begin{cases} y_{j+1} = y_j + z_j \\ z_{j+1} = (1 - a)z_j - bz_j^3 - cy_j + qu_j + p - \varepsilon(\frac{1}{2}(|y_j + 1| - |y_j - 1|)) + \delta \\ u_{j+1} = u_j + v_j \\ v_{j+1} = v_j - \omega^2 u_j + \mu; j = 0, 1, 2, \dots \end{cases} \quad (7)$$

Покажем, что дискретная система (7) является эффективным инструментом при моделировании циклических процессов в экономике. Из выше изложенного следует, что интерес представляют циклы с периодом 4 квартала. В результате компьютерного эксперимента были подобраны численные значения параметров системы (7):

$$a = -0,342597034252971; b = 0,0907420833610221; c = 3,21038961779472;$$

$$q = 1,0078742776071; p = 0,187612805894636; \varepsilon = -3,62362849104171;$$

$$\delta = 0,492492830231972; \omega = 9,99761746105592; \mu = 3,00408740862221.$$

Для нелинейной системы (7) с помощью приближенных методов была найдена периодическая орбита с периодом 4, имеющая следующие координаты:

$$\tilde{y}_0 = -1,58728979334597; \tilde{y}_1 = -0,243474975652046;$$

$$\tilde{y}_2 = 3,52310956276138; \tilde{y}_3 = 4,34090208733658;$$

$$\tilde{z}_0 = 1,34381481769393; \tilde{z}_1 = 3,76658453841342;$$

$$\tilde{z}_2 = 0,817792524575206; \tilde{z}_3 = -5,9281918601236;$$

$$\tilde{u}_j = 0,0300551939141359; \tilde{v}_j = 0; j = 0, 1, 2, \dots$$

$$\tilde{y}_m = \tilde{y}_{m+4n}; \tilde{z}_m = \tilde{z}_{m+4n}; m \in \{0, 1, 2, 3\}; n \in \{1, 2, \dots\}.$$

Важно отметить, что для нахождения этого 4-цикла потребовалось вычислить все его координаты с точностью до 15-го знака после запятой, поскольку решения системы (7) сверх чувствительны к изменениям коэффициентов и начальных данных.

Верификацию полученной модели осуществим с использованием реальных статистических данных по ВВП России [10]. Подберем нормировочные коэффициенты A и B так, чтобы периодическая траектория $A\tilde{y}_j + B$ колебалась в диапазоне от m до M . В результате вычислений получили

$$A = \frac{M-m}{\max \tilde{y}_j - \min \tilde{y}_j} = 949,82; B = M - a \max \tilde{y}_j = -1233,89$$

и тогда 4-х кварталные циклы, адаптированные к реальной динамике ВВП, моделируются по формуле

$$\tilde{Y}_j = 949,82\tilde{y}_j - 1233,89 \quad (8)$$

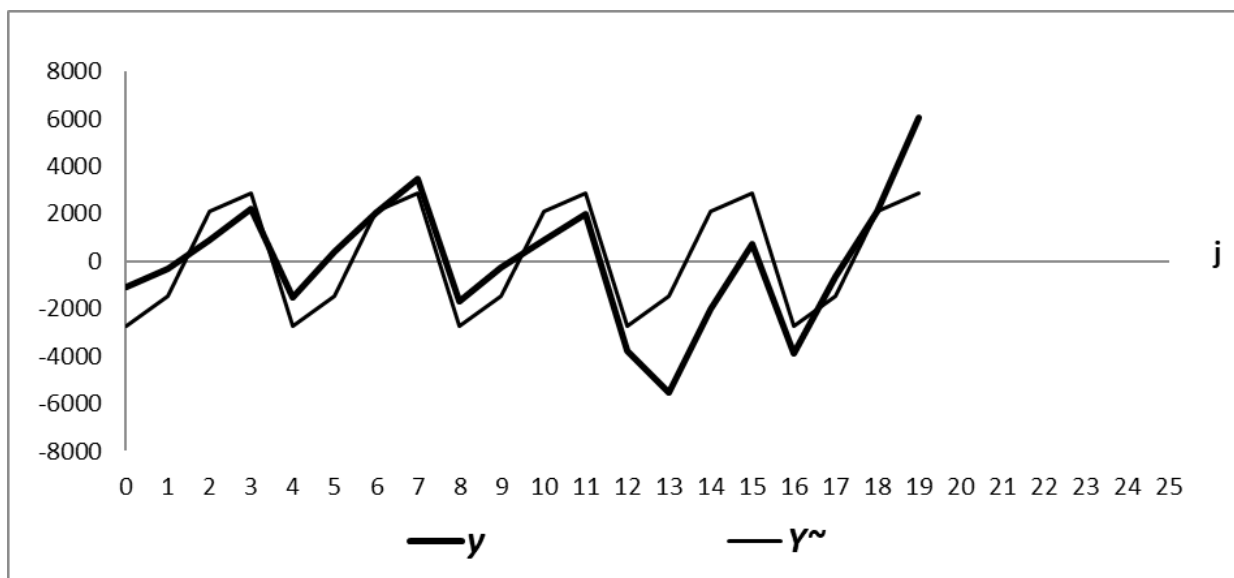


Рисунок 4 - Фактическая траектория y и смоделированная по формуле (8) периодическая траектория
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.4>

Коэффициент корреляции между смоделированными значениями \tilde{y}_j и реальными показателями ВВП y_j равен 0,74 и является статистически значимым, так как по критерию Стьюдента $T_{набл} = 4,67 > 2,88 = T_{крит}$ при уровне значимости $\alpha = 0,01$. Следовательно, дискретная система (7) вполне адекватно моделирует динамику ВВП.

По многочисленным экспертным оценкам, в 2022 году ВВП России может существенно снизиться в результате западных санкций, направленных против российской военной спецоперации на Украине. Например, Центральный банк России [11] прогнозирует это снижение на уровне 8%, а рейтинговое агентство Moody's [12] оценивает годовое падение российского ВВП в размере 7%. В этой связи осуществим моделирование влияния санкционного внешнего шока на возможное падение ВВП России в 2022 году.

Покажем, что за счет варьирования параметров модель (7) способна генерировать сценарии кризисного развития экономики в результате воздействия негативных внешних шоков. Встроенный в модель (7) «шоковый генератор» (3) выполняет роль источника возникновения негативной динамики, а коэффициенты ϵ и δ являются инструментами настройки в процессе моделирования кризисных явлений.

За счет варьирования параметров ϵ и δ смодулируем влияние санкционного внешнего шока на динамику российского ВВП. Как отмечалось выше, система (7) очень чувствительна к изменениям своих параметров. Если к значениям коэффициентов ϵ и δ добавить малые приращения $\Delta\epsilon = -0,00000000198$ и $\Delta\delta = -0,00000000099$, то система (7) генерирует новое решение y_j^* , которое с учетом верификационных коэффициентов моделирует новую траекторию

$Ay_j^* + B$. Рисунок 5 демонстрирует, что у полученной траектории $Ay_j^* + B$ периодичность со временем прекращается и переходит в убывание, то есть возникает убывающая динамика ВВП, означающая экономический кризис.

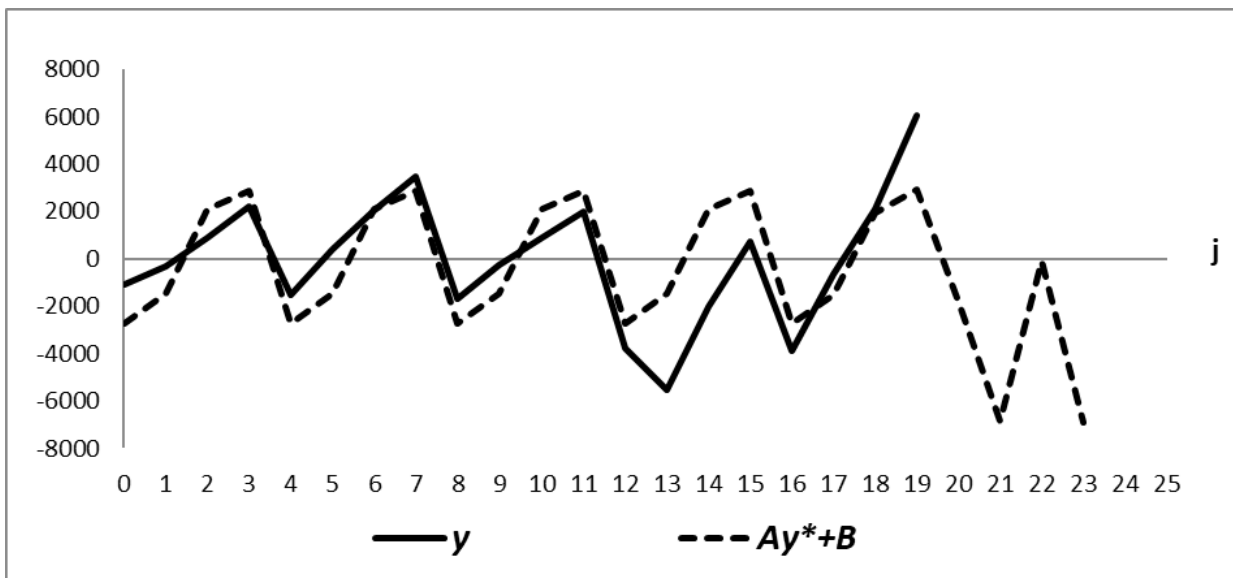


Рисунок 5 - Фактическая траектория y и смоделированная кризисная траектория Ay^*+B
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.5>

Поскольку undefined, то получаем формулу для прогнозирования кризисной динамики ВВП:

$$Y_j^* = \bar{Y}_j + Ay_j^* + B$$

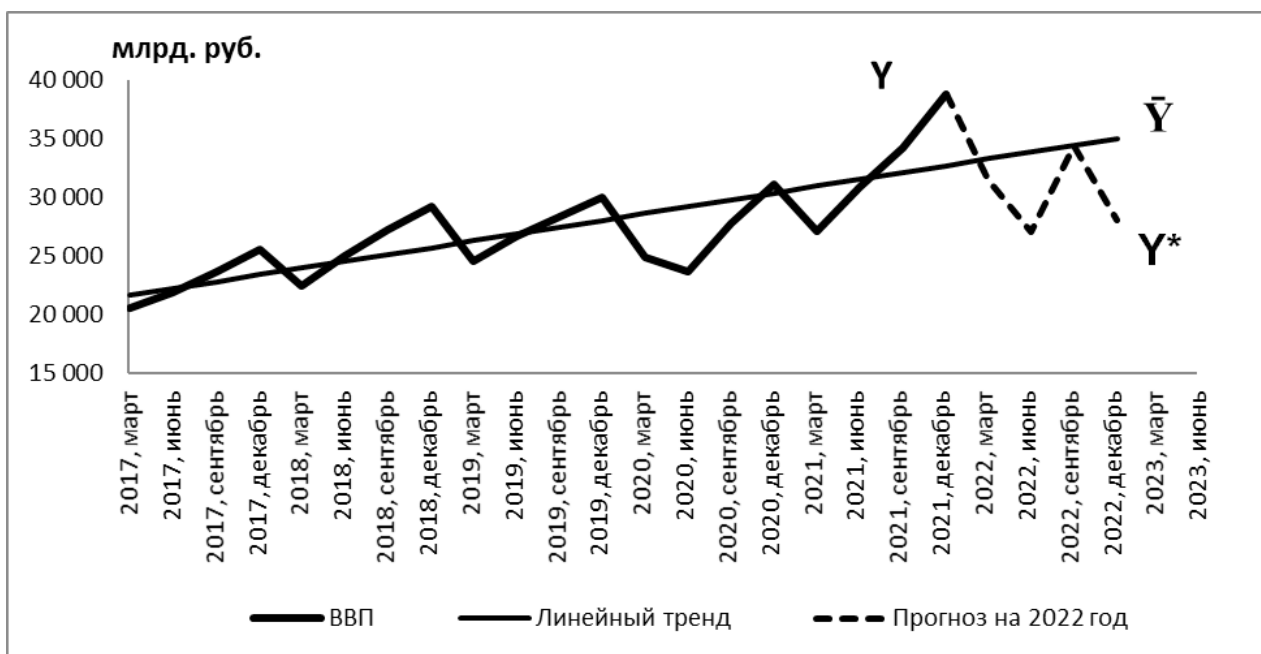


Рисунок 6 - Ежеквартальные объемы ВВП России и кризисный прогноз на 2022 год
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.6>

Согласно кризисному прогнозу, смоделированному системой (7), в 2022 году ВВП России снизится на 7,62%, что соответствует прогнозам Центрального банка России [11] и рейтингового агентства Moody's [12].

Государство заинтересовано в преодолении кризиса, восстановлении экономического роста и возвращении экономики в устойчивый режим развития. С математической точки зрения устойчивому режиму соответствует стационарная (неподвижная) точка системы (7). Для нахождения неподвижной точки решается система

$$\begin{cases} y_{\#} = y_{\#} + z_{\#} \\ z_{\#} = (1 - a)z_{\#} - bz_{\#}^3 - cy_{\#} + qu_{\#} + p - \varepsilon(\frac{1}{2}(|y_{\#} + 1| - |y_{\#} - 1|)) + \delta \\ u_{\#} = u_{\#} + v_{\#} \\ v_{\#} = v_{\#} - \omega^2 u_{\#} + \mu \end{cases}$$

Отсюда неподвижная точка $\omega_{\#}$ системы (7) имеет координаты

$$y_{\#}, z_{\#} = 0, v_{\#} = 0, u_{\#} = \frac{\mu}{\omega^2},$$

где $y_{\#}$ является корнем уравнения

$$cy_{\#} + \varepsilon \left(\frac{1}{2} (|y_{\#} + 1| - |y_{\#} - 1|) \right) = \frac{q\mu}{\omega^2} + p + \delta.$$

В целях моделирования способа преодоления ожидаемой негативной динамики ВВП осуществим модификацию модели (7), используя результаты из современной теории управления хаосом. Введем обозначения

$$w_1(j) = y_j; w_2(j) = z_j; w_3(j) = u_j; w_4(j) = v_j$$

и запишем систему (7) в векторной форме:

$$w(j+1) = F(w(j)); j \in \{0, 1, 2, \dots\}, \quad (9)$$

где

$$w(j) = \begin{pmatrix} w_1(j) \\ w_2(j) \\ w_3(j) \\ w_4(j) \end{pmatrix};$$

$$F(w(j)) = \begin{pmatrix} w_1(j) + w_2(j) \\ (1-a)w_2(j) - bw_2^3(j) - cw_1(j) + qw_3(j) + p - \varepsilon \left(\frac{1}{2} (|w_1(j) + 1| - |w_1(j) - 1|) \right) + \delta \\ w_3(j) + w_4(j) \\ w_4(j) - \omega^2 w_3(j) + \mu \end{pmatrix}$$

Поскольку государство заинтересовано в стабильном и устойчивом развитии экономики, то возникает необходимость подавления возможных негативных сценариев. Этого можно добиться за счет применения функции управления $U(j)$ и использования модифицированной системы

$$w(j+1) = F(w(j)) + U(j); j \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (10)$$

Покажем, что с помощью математических методов современной теории управления хаосом можно сконструировать функцию управления $U(j)$, которая дает возможность эффективно преодолевать влияние внешних шоков и позволяет стабилизировать положительную динамику экономического развития.

Если совершить линеаризацию системы (9) в окрестности найденной неподвижной точки $w_{\#}$ с координатами $w_{1\#}=y_{\#}$, $w_{2\#}=z_{\#}$, $w_{3\#}=u_{\#}$, $w_{4\#}=v_{\#}$, а затем применить метод Пирагаса [13], то получим модифицированную систему (10), где $U(j)$ является функцией управления, предназначенной для стабилизации поведения решений системы.

На основании результатов работ [14], [15] по стабилизации дискретных систем, получим функцию управления следующего вида:

$$U(j) = F(w_{\#}) - F(w(j)) + A(w_{\#})[w(j) - w_{\#}] + P(j)[w(j) - w(j-1)] \quad (11)$$

Здесь $P(j)$ – периодичная матрица следующего вида:

$$P(j) = \begin{cases} (rE - A^2(w_{\#}))(A(w_{\#}) - E)^{-1}, j = 2k \\ O, j \neq 2k, k \in \{1, 2, \dots\} \end{cases} \quad (12)$$

где $-1 < r < 1$, E – единичная матрица, O – нулевая матрица, $A(w_{\#})$ – матрица Якоби, $w_{\#}$ – неподвижная точка.

Для рассматриваемой вектор-функции $F(w)$ матрица Якоби имеет следующий вид:

$$A(w) = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 \\ -c - \frac{\varepsilon}{2}(\text{sign}(w_1 + 1) - \text{sign}(w_1 - 1)) & 1 - a - 3bw_2^2 & q & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & -\omega^2 & 1 \end{pmatrix}$$

Сконструированная система (10) дает возможность моделировать преодоление кризиса и последующий процесс стабилизации, в результате которой формируется устойчивый режим. На рисунках 7 и 8 представлены смоделированные процессы по устранению последствий санкционного внешнего шока и по стабилизации экономической динамики.

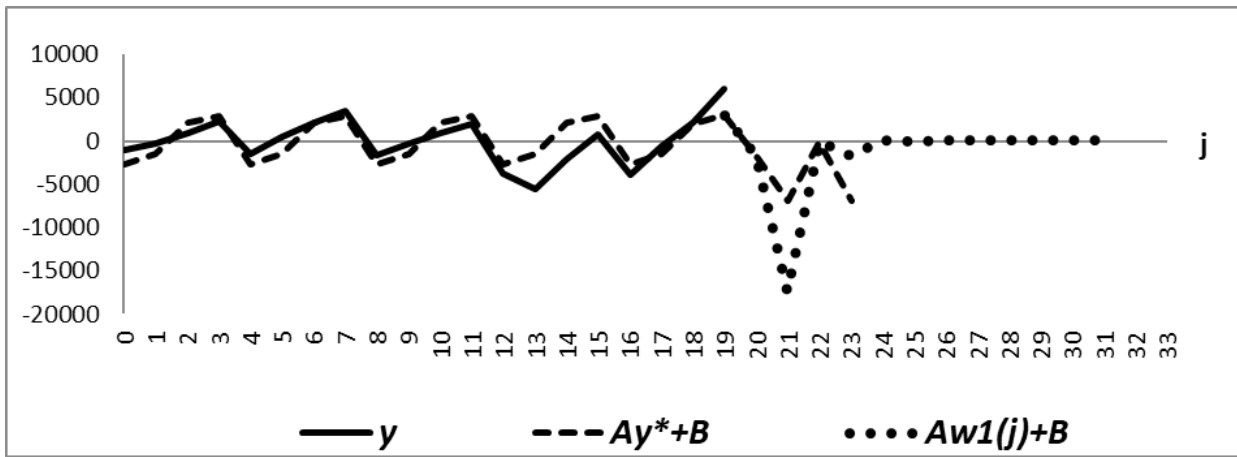


Рисунок 7 - Фактическая траектория y , прогнозируемая кризисная траектория Ay^*+B и смоделированная траектория преодоления кризиса $Aw_1(j)+B$
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.7>

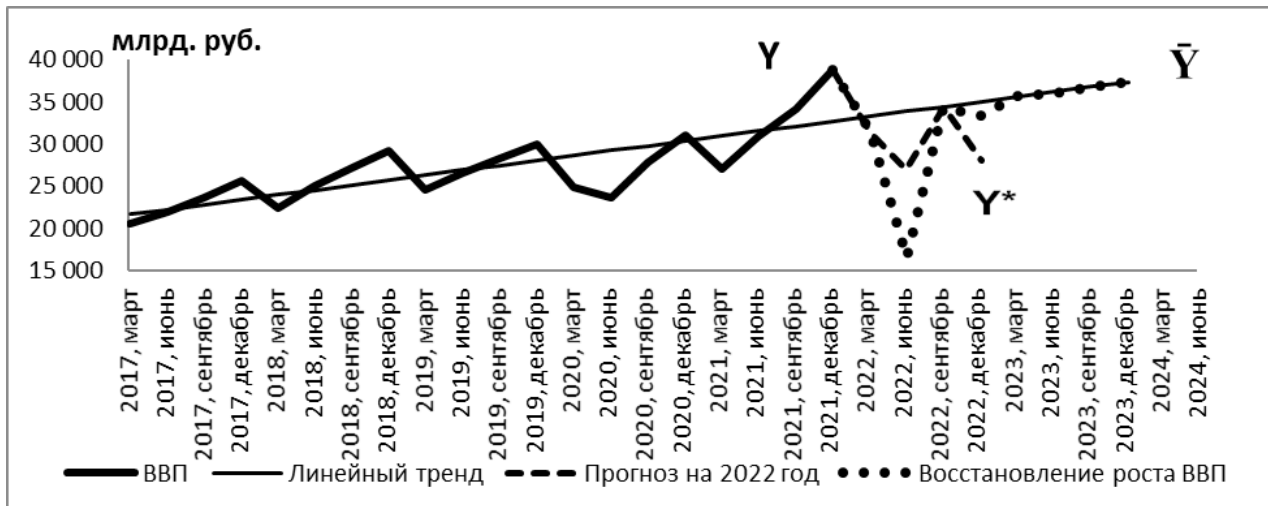


Рисунок 8 - Ежеквартальные объемы ВВП России, кризисный прогноз на 2022 год и смоделированное восстановление роста ВВП
 DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.8>

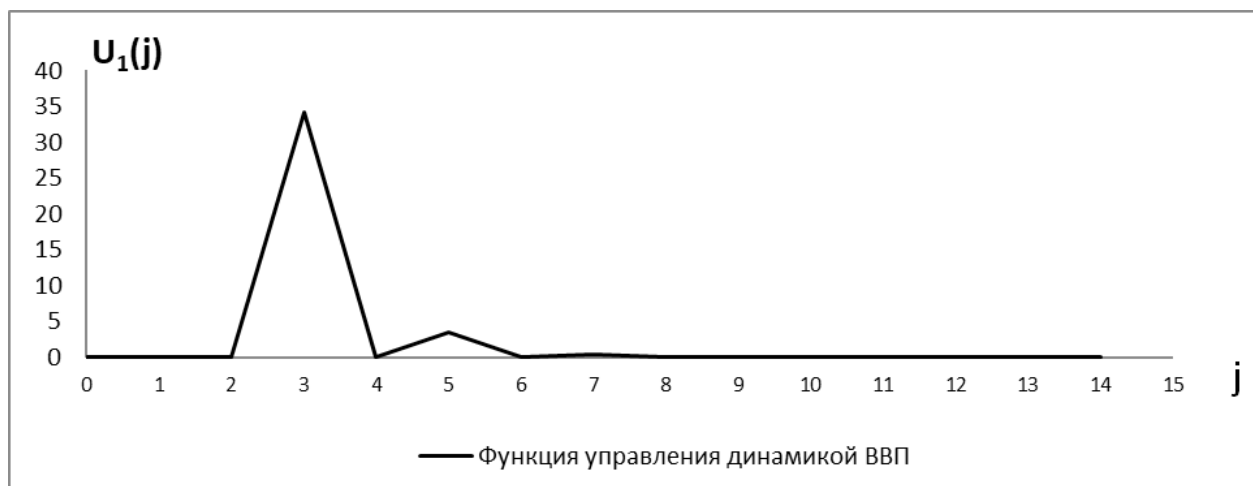
Смоделированные процессы получены в результате решения системы (10) с начальными условиями

$$w_1(0) = y_{19}^*; w_2(0) = z_{19}^*; w_3(0) = u_{19}^*; w_4(0) = v_{19}^*$$

С учетом верификационных коэффициентов формула для моделирования восстановления роста ВВП имеет вид:

$$Y_j^\# = \bar{Y}_j + Aw_1(j) + B$$

Разработанная модель (10)–(12) является не только инструментом эффективного и адекватного прогнозирования. Основное достоинство этой модели заключается в том, что она дополнительно дает возможность практического управления динамикой ВВП в целях стабилизации экономического развития. Сконструированная система (10) позволяет моделировать процесс стабилизации за счет функции управления (11). Полученные в явном виде аналитические формулы (11)–(12) позволяют определять размеры и время проведения упреждающих корректировок. На рисунке 9 показана динамика корректирующих операций, направленных на стабилизацию экономического развития.

Рисунок 9 - Смоделированная функция экономического управления $U_1(j)$ DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.9>

Из рисунка 9 видно, что график для функции управления имеет импульсообразную форму с затухающей амплитудой. Это указывает на то, что оперативные меры по упреждению кризисных явлений имеют точечный характер и их необходимо активно проводить в начальный период, после чего эти меры постепенно сокращаются до нуля. Положительные значения функции управления указывают на необходимость проведения увеличительных мероприятий, а отрицательные значения сигнализируют о необходимости осуществления уменьшительных действий. График функции U_1 моделирует поквартальные объемы государственных вложений и частных инвестиций в производственный сектор экономики, которые требуются для восстановления роста ВВП.

В результате верификации, проведенной на основе статистических данных [10] и итогов моделирования, получили поквартальные значения для объемов дополнительных инвестиций, необходимых для преодоления санкционного шока и обеспечения экономического роста. Эти значения сведены в Таблицу 1, которая по сути является графиком проведения превентивных антикризисных мер.

Таблица 1 - Дополнительные инвестиции в экономику

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.18.10>

	Дополнительные инвестиции в экономику (млрд. руб.)
I квартал 2022г.	0
II квартал 2022г.	0
III квартал 2022г.	8799,38
IV квартал 2022г.	0
I квартал 2023г.	879,94
II квартал 2023г.	0
III квартал 2023г.	87,99
IV квартал 2023г.	0

При расчете требуемых объемов инвестиций использовался инвестиционный мультипликатор, который по оценкам экспертов Института стратегического анализа [16] составляет 2,55, то есть в России каждый рубль инвестиций в основной капитал приносит 2,55 рубля прироста ВВП. Из таблицы 1 следует, что для преодоления санкционного шока и обеспечения экономического роста требуется: в 2022 году дополнительно вложить в экономику 8,8 трлн. рублей, а в 2023 году еще 0,97 трлн. рублей.

Заключение

Разработанная модель (10)–(12) является не только инструментом эффективного и адекватного прогнозирования кризисной динамики, обусловленной воздействием внешних шоков. Ее основное достоинство заключается в том, что она осуществляет моделирование управленческих рекомендаций и превентивных мер, упреждающих негативную динамику экономического развития.

На основании полученных результатов можно сделать вывод, что для преодоления последствий внешних шоков и восстановления экономического роста необходимо своевременно осуществлять упреждающие корректирующие меры. Предложенная модель (10)–(12) может использоваться как вспомогательный инструмент для стабилизации экономического развития. Формулы (11)–(12) позволяют точно вычислять размеры и время для необходимых упреждающих корректировок. Таким образом, получен инструментарий по моделированию математически

обоснованных управленческих мер, направленных на преодоление влияния внешних шоков и обеспечение экономического роста.

Разработанные в данной статье методы довольно удобны с практической точки зрения и легко адаптируются к текущим реалиям. Дискретная система (7) выполняет функцию имитационного моделирования и за счет варьирования параметров генерирует разнообразные сценарии. Модель (10) с управлением (11) позволяет проводить анализ возможностей, способствующих выводу экономической динамики на устойчивую траекторию роста. Полученная модель дает возможность предварительно оценить размеры управленческих решений, направленных на предотвращение кризисных тенденций. Поскольку с помощью формул (11)-(12) можно вычислить точные размеры и время для необходимых импульсообразных корректировок, то модель (10)-(12) может быть полезной при разработке и осуществлении мер, направленных на преодоление воздействия внешних шоков и стабилизацию экономического развития.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Бузгалин А.В. Главная книга о кризисе: сборник / А.В. Бузгалин. – Москва : Яуза; Эксмо, 2009. – 256 с.
2. Горюнова Н.П. Финансовые кризисы на развивающихся рынках / Н.П. Горюнова – Москва: Наука, 2006. – 215 с.
3. Калениченко В.В. Экономико-математическое моделирование / В.В. Калениченко, Л.К. Суровцов, Г.В. Шалабин // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 5: Экономика. – 2009. – Вып. 4. – С. 170-184.
4. Поспелов И. Моделирование российской экономики в условиях кризиса / И. Поспелов // Вопросы экономики. – 2009. – №11. – С.50-75.
5. Щербаков Г.А. История экономических кризисов: экономико-математическая верификация результатов / Г.А. Щербаков // Мир новой экономики. – 2018. – №12(2). – С.24-39.
6. Звягинцев А.И. О моделировании долгосрочного макроэкономического роста / А.И. Звягинцев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 10(112). – Ч. 2. – С. 146-155.
7. Акаев А.А. Влияние деловых циклов на долговременный экономический рост / А.А. Акаев // Доклады Академии наук. – 2008. – № 421/1– С. 29–33.
8. Акаев А.А. Моделирование и прогнозирование глобального, регионального и национального развития / А.А. Акаев, А.В. Коротаев, Г.Г. Малинецкий и др. – Москва : ЛИБРОКОМ, 2011. – 488 с.
9. Chua L.O. Canonical piecewise-linear analysis / L.O. Chua, R. Ying // IEEE Trans. Circuits Syst. – 1983. – Vol. CAS-30. – P. 125-140.
10. Росстат РФ. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 22.05.2022г.)
11. РБК. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/10/03/2022/622a1c289a7947821fa7a5e2> (дата обращения: 22.05.2022г.)
12. Финмаркет. – URL: <http://www.finmarket.ru/news/5670291> (дата обращения: 22.05.2022г.)
13. Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback / K. Pyragas // Physics Letters A. – 1992. – Vol.170. – P. 421-428.
14. Леонов Г.А. Стабилизация по Пирагасу дискретных систем запаздывающей обратной связью с периодическим импульсным коэффициентом усиления / Г.А. Леонов, К.А. Звягинцева // Вестник СПбГУ. Серия 1. Математика. Механика. Астрономия. – 2015. – Т. 2(60). – Вып. 3. – С. 342-353.
15. Leonov G.A. Pyragas stabilization of discrete systems via delayed feedback with periodic control gain / G.A. Leonov, K.A. Zvyagintseva, O.A. Kuznetsova // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – Vol.49-14. – P. 56-61.
16. Николаев И.А. Инвестиции как источник экономического роста. Аналитический доклад / И.А. Николаев, Т.Е. Марченко, О.С. Точилкина // Институт стратегического развития. – Москва, 2019.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Buzgalin A.V. Glavnaya kniga o krizise: sbornik [The main book about the crisis: a collection] / Ed.-stat. A.V. Buzgalin. – Moscow : Yauza; Eksmo, 2009. – 256 p. [in Russian]
2. Goryunova N.P. Finansovyye krizisy na razvivayushchikhsya rynkakh [Financial crises in emerging markets] / N.P. Goryunova – Moscow : Nauka, 2006. – 215 p. [in Russian]
3. Kalenichenko V.V. Ekonomiko-matematicheskoye modelirovaniye [Economic and mathematical modeling] / V.V. Kalenichenko, L.K. Surovtsov, G.V. Shalabin // Vestn. S.-Peterb. un-ta. Ser. 5: Ekonomika [Vestn. St. Petersburg, university Ser. 5: Economy]. – 2009. – Vol. 4. – P. 170-184. [in Russian]
4. Pospelov I. Modelirovaniye rossiyskoy ekonomiki v usloviyakh krizisa [Modeling the Russian economy in a crisis] / I. Pospelov // Voprosy ekonomiki [Issues of Economics]. – 2009. – №11. – P.50-75. [in Russian]

5. Shcherbakov G.A. Istoriya ekonomicheskikh krizisov: ekonomiko-matematicheskaya verifikatsiya rezul'tatov [History of economic crises: economic and mathematical verification of results] / G.A. Shcherbakov // Mir novoy ekonomiki [The world of the new economy]. – 2018. – №12(2). – P.24-39. [in Russian]
6. Zvyagintsev A.I. O modelirovanii dolgosrochnogo makroekonomicheskogo rosta [On modeling long-term macroeconomic growth] / A.I. Zvyagintsev // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. – 2021. – № 10(112). – Pt. 2. – P. 146-155. [in Russian]
7. Akaev A.A. Vliyanie delovih tsiklov na dolgovremenniy ekonomicheskiy rost [The impact of business cycles on long-term economic growth] / A.A. Akaev // Doklady Akademii nauk [Reports of the Academy of Sciences]. – 2008. – № 421/1– P. 29–33. [in Russian]
8. Akaev A.A. Modelirovanie i prognozirovanie global'nogo, regional'nogo i natsional'nogo razvitiya [Modeling and forecasting global, regional, and national development] / Otv. red. A.A. Akaev, A.V. Korotaev, G.G. Malinetskiy, S.J. Malkov. – Moscow : LIBROKOM, 2011. – 488 p. [in Russian]
9. Chua L.O. Canonical piecewise-linear analysis / L.O. Chua, R. Ying // IEEE Trans. Circuits Syst. – 1983. – Vol. CAS-30. – P. 125-140.
10. Rosstat RF. – URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (accessed: 22.05.2022г.) [in Russian]
11. RBC. – URL: <https://www.rbc.ru/economics/10/03/2022/622a1c289a7947821fa7a5e2> (accessed: 22.05.2022г.) [in Russian]
12. Finmarket. – URL: <http://www.finmarket.ru/news/5670291> (accessed: 22.05.2022г.) [in Russian]
13. Pyragas K. Continuous control of chaos by self-controlling feedback / K. Pyragas // Physics Letters A. – 1992. – Vol.170. – P. 421-428.
14. Leonov G.A. Stabilizatsiya po Piragasu diskretnykh sistem zapazdyvayushej obratnoj svyaz'yu s periodicheskim impul'snym koeffitsientom usileniya [Stabilization by Pyragas of discrete systems with the delayed feedback with pulse periodic gain] / G.A. Leonov, K.A. Zvyagintseva // Vestnik SPbGU. Seriya 1. Matematika. Mekhanika. Astronomiya [St. Petersburg State University Bulletin. Series 1. Mathematics. Mechanics. Astronomy]. – 2015. – Vol. 2(60). – Iss. 3. – P. 342-353. [in Russian]
15. Leonov G.A. Pyragas stabilization of discrete systems via delayed feedback with periodic control gain / G.A. Leonov, K.A. Zvyagintseva, O.A. Kuznetsova // IFAC-PapersOnLine. – 2016. – Vol.49-14. – P. 56-61.
16. Nikolaev I.A. Investitsii kak istochnik ekonomicheskogo rosta. Analiticheskiy doklad [Investments as a source of economic growth. Analytical report] / I.A. Nikolaev, T.E. Marchenko, O.S. Tochilkina // Institute for Strategic Development. – Moscow, 2019. [in Russian]