

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ УРАВНЕНИЯ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА/DIFFERENTIAL EQUATIONS,
DYNAMICAL SYSTEMS AND OPTIMAL CONTROL**

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103>

**ДИНАМИКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ
ПУР**

Научная статья

Перевозников Е.Н.^{1,*}, Орлова Е.В.², Ершова Е.В.³

^{1, 2, 3} Военно космическая академия им А.Ф. Можайского, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (eperevoznikov[at]yandex.ru)

Аннотация

В работе продолжено исследование динамики экономических процессов предприятий на базе математической модели ПУР (производство, управление, ресурс) начатого в работах [6], [7]. Производится расчет спектра возмущений системы нелинейных уравнений, описывающих экономические процессы, а также критериев неустойчивости и хаоса в зависимости от параметров системы. Показано, что наибольшим влиянием на динамику экономических процессов предприятий оказывают инвестиции в производство и управление. Указаны области параметров, соответствующие стабильному функционированию предприятий, а также области неустойчивости и хаоса. Указано какое из пяти возможных стационарных состояний исследуемой системы является оптимальным с точки зрения стабильности и управляемости для успешного функционирования предприятия.

Ключевые слова: математическое моделирование экономических процессов предприятий, критерии стабильности, критерии неустойчивости, критерии хаоса.

**DYNAMICS OF ECONOMIC PROCESSES IN ENTERPRISES BASED ON THE EXAMPLE OF THE MODEL
SYSTEM OF PMR**

Research article

Perevoznikov Y.N.^{1,*}, Orlova E.V.², Ershova E.V.³

^{1, 2, 3} Mozhaisky Military Space Academy, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (eperevoznikov[at]yandex.ru)

Abstract

The work continues the study of the dynamics of economic processes in enterprises based on the mathematical model of production, management, and resources (PMR) initiated in works [6], [7]. The spectrum of perturbations of the system of nonlinear equations describing economic processes is calculated, as well as the criteria for instability and chaos depending on the system parameters. It is shown that investments in production and management have the greatest impact on the dynamics of economic processes in enterprises. The areas of parameters corresponding to the stable functioning of enterprises, as well as areas of instability and chaos, are indicated. It is indicated which of the five possible steady states of the studied system is optimal in terms of stability and controllability for the successful functioning of the enterprise.

Keywords: mathematical modelling of economic processes in enterprises, stability criteria, instability criteria, chaos criteria.

Введение

Для описания экономических процессов предприятий часто используются методы математического моделирования [1], [2], [4], [5]. Моделирование служит средством изучения экономики и протекающих в ней явлений, также для обоснования принимаемых решений при прогнозировании и управлении экономическими процессами. Настоящая статья является продолжением работ авторов по изучению динамики экономических процессов на примере модели ПУР [6], [7].

Рассматриваемая модель ПУР (производство, управление, ресурс) относится к динамическим моделям предприятий. Наряду с достаточной простотой она учитывает основные факторы производств: динамику производства, управление и баланс внешнего и производимого в системе ресурса.

Модель представляет собой три балансных, нелинейных, дифференциальных уравнения соответствующая трем составляющим искомый экономический объект подсистемам — производству, управлению и ресурсу.

Для анализа динамики системы, оценки стабильности и возможных неустойчивостей используются методы и критерии данные авторами в работе [8].

Исходные соотношения

Уравнения модели ПУР в безразмерном виде равны [7]

$$\begin{aligned}\partial_t x &= x(a - y + bz) \\ \partial_t y &= y(x - c + dz) \\ \partial_t z &= z(-e - dy - bx) - hx - ky + gxy + r\alpha\end{aligned}\tag{1}$$

Здесь $\frac{(x,y,z)}{x_0+y_0+z_0}$ — основные динамические величины, имеющие одинаковую ресурсную размерность (например, денежную) отнесенные к сумме начальных значений и соответствующие динамике средств в трех подсистемах изучаемого объекта: x — производство, y — управление, z — ресурс. $t = \frac{\tau}{\tau_0}$ — безразмерное время, τ_0 — характерный финансовый масштаб времени (квартал, год).

В первом уравнении системы (1), описывающем динамику производства слагаемые ax, bxz соответствуют прибыли в результате производства и вводимого ресурса; слагаемое xy — убыль на управление (например, на обучение, повышение квалификации, и т.д.) Во втором уравнении для управления ux, dyz приход средств от производства и вводимого ресурса; sy — непосредственные расходы на управление.

Третье уравнение — баланс внутреннего и внешнего r ресурса ($r > 0$ — кредитование, $r < 0$ — погашение долгов). Слагаемые hx, ky — непосредственная убыль ресурса на зарплаты в производстве и управлении; ez — затраты ресурса на погашение процентов при кредитовании или получение процентов по вкладам, bzx — затраты ресурса на сырье для производства, энергию и т.д. Слагаемые gxy, dyz соответственно — прибыль ресурса за счет производства и убыль на инновации и автоматизации производства.

Далее в [7] выяснения условий стабильного функционирования предприятий исследуется устойчивость решений системы (1). Эта задача решается путем исследования спектра малых возмущений стационарных состояний. Стационарные состояния системы — $St(x_s, y_s, z_s)$ являются

$$\begin{aligned} x(a - y + bz) &= 0 \\ y(x - c + dz) &= 0 \\ z(-e - dy - bx) - hx - ky + gxy + r &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

решениями системы уравнений (2). В данном случае, существует пять стационарных решений соответственно равных

$$St_1(0, 0, \frac{r}{c}) ; St_2(0, y_s, \frac{c}{d}) ; St_3(x_s, 0, z_s) ; St_{4,5}(x_s, y_s, z_s) \quad (3)$$

Линеаризацией системы (1) относительно стационарных решений получаем систему уравнений для возмущений

$$\partial_t \delta x_\alpha = \lambda, \delta x_\alpha = e_{\alpha\beta} \delta x_\beta, \{\delta x_\alpha\} = \{\delta x, \delta y, \delta z\} \quad (4)$$

где λ — спектральный параметр (собственные значения эволюционной матрицы E , $e_{\alpha\beta}$ элементы эволюционной матрицы равные

$$\begin{aligned} E = \{e_{\alpha\beta}\} ; \cdot e_{11} = a - y_s + bz_s &= 0, \cdot e_{12} = -x_s = dz_s - c, \cdot e_{13} = bx_s, \cdot e_{21} = y_s = \\ a + bz_s, \cdot e_{22} = x_s - c + dz_s &= 0, \cdot e_{23} = dy_s, \cdot e_{31} = -bz_s - h + gy_s = -h + ga - \\ bg(1 - g), \cdot e_{32} = -dz_s - k + gx_s &= gc - k - dz_s(1 + g), \cdot e_{33} = -e - dy_s - \\ bx_s &= -e - da - bc. \end{aligned} \quad (5)$$

Собственные значения эволюционной матрицы, определяемые спектральным уравнением (СУ) (6) имеющим вид

$$D(\lambda) = \det(\lambda I - E) = \lambda^3 + s\lambda^2 + p\lambda + q = 0 \quad (6)$$

(I — единичная матрица) характеризуют динамику системы.

А именно:

- 1) если все собственные значения — корни СУ имеют отрицательные вещественные части — исследуемое состояние устойчиво относительно малых возмущений;
- 2) если существует хотя бы один корень с положительной вещественной частью — состояние неустойчиво;
- 3) если в спектре есть корни с положительной и отрицательной вещественными частями (седловой фокус) и некоторые из них комплексные — то это представляет собой особый вид неустойчивости — хаос (нерегулярные хаотические колебания).

Спектральный анализ динамики возмущений системы

Ввиду сложности системы (1) возможен только численный анализ спектра, для чего необходимо задать численные значения безразмерных коэффициентов, а также выбрать несколько (один, два) управляющих параметров, варьируя значениями которых наблюдают за изменением спектра и тем самым за динамикой системы. В качестве управляющих параметров выберем параметр внешнего ресурса — r , параметры инновации в управлении и производстве — d, g . Численные значения остальных параметров в системе (1) выбираются в соответствии с реальными величинами на современных производствах и, с учетом предварительного счета, который показывает, что влияние величин (a, b, c, h, k) на динамику системы на так существенно как величин (e, d, g, r) поэтому первые выбраны постоянными (см. табл. 3), а вторые меняются в диапазонах (7).

$$\left\{ \begin{array}{l} a = 0.3, b = 0.3, c = 0.5, d = (-0.1; 0.3) \\ e = (-0.2; 0.2), h = 0.2, k = 0.4, g = (-0.1; 0.4), r \in (-0.4; 0.4) \end{array} \right\} \quad (7)$$

Спектральные коэффициенты в (6) принимают вид

$$\begin{aligned} s &= -(e_{11} + e_{22} + e_{33}), \\ p &= -e_{12}e_{21} - e_{13}e_{31} - e_{23}e_{32} + e_{11}e_{22} + e_{11}e_{33} + e_{23}e_{32}, \\ q &= -e_{11}(e_{22}e_{33} - e_{23}e_{32}) + e_{33}e_{12}e_{21} + e_{22}e_{13}e_{31} - e_{12}e_{31}e_{23} - e_{13}e_{21}e_{32}. \end{aligned} \quad (8)$$

Для анализа динамики возмущений используем как непосредственный расчёт корней спектрального уравнения, так и критерии неустойчивости и хаоса данные авторами в работах [8], [9]. Согласно этим критериям, соотношения определяющие границы областей неустойчивости и хаоса, имеют вид (9)

$$\begin{aligned} \text{а)} \quad q &= \frac{> 0(\text{уст})}{< 0(\text{Н.уст})}, K_1 = q - sp = \frac{> 0(\text{Н.уст})}{< 0(\text{уст})}; \\ \text{б)} \quad p &= \omega^2 \geq 0; \\ \text{в)} \quad K_2 &= q \cdot K_1 > 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Неравенства (а) в (9) являются условиями устойчивости-неустойчивости, (б) — отражает седлообразный характер спектра, реализация всех трех условий отражает наличие в системе хаотических колебаний (хаоса).

Последовательно рассмотрим устойчивость состояний $St_{1,2,3,4,5}$.

а) Стационарное состояние St_1 , $x_s = y_s = 0$; $z_s = r/e$.

Из (5,6) следует, что для элементов эволюционной матрицы и спектрального уравнения имеем:

$$e_{1,2} = e_{1,3} = e_{2,3} = e_{2,1} = 0; \lambda^2 (\lambda - e_{33}) = 0 \Rightarrow \lambda_1 = \lambda_2 = 0, \lambda_3 = e_{33} = -e < 0. \quad (11)$$

Из (11) следует, что в состоянии с неработающим производством и управлением все возмущения ресурсной сферы затухают.

б) Стационарное состояние St_2 , из (5,6) следует

$$\begin{aligned} x_s &= 0; y_s = \frac{-z_s e + r}{z_s d + k}; z_s = \frac{c}{d}; e_{1,2} = e_{1,3} = 0, e_{3,2} = -(c + k), e_{2,3} = \frac{d \cdot r}{c + k}, e_{3,3} = \\ &- e \left(1 - \frac{c}{c + k}\right); \lambda [\lambda (\lambda - e_{3,3})] = 0; \Rightarrow \lambda_1 = 0, \lambda_{2,3} = \frac{e_{3,3}}{2} \pm \sqrt{\frac{e_{3,3}^2 + 4e_{2,3}e_{3,2}}{4}}. \end{aligned} \quad (12)$$

Из (12) следует, что при неработающем производстве в зависимости от параметров возмущения управленческой и ресурсной сфер как могут затухать, так и меняются разнонаправленно (т.е. $\lambda_2 > 0, \lambda_3 < 0$) в этом случае состояние St_2 неустойчиво.

в) Стационарное состояние St_3 , из (5, 6) следует

$$\begin{aligned} y_s &= 0; z_s = -\frac{a}{b}; x_s = \frac{rb + ea}{b(h - a)}; e_{2,1} = e_{2,3} = 0, e_{3,3} = -\left(e + \frac{rb + ea}{b(h - a)}\right), e_{1,3} = \\ &\frac{rb + ea}{(h - a)}, e_{3,1} = -(h - a); \lambda [\lambda (\lambda - e_{3,3}) - e_{1,3}e_{3,1}] = 0; \Rightarrow \lambda_2 = 0; \lambda_{1,3} = \frac{e_{3,3}}{2} \pm \\ &\sqrt{\frac{e_{3,3}^2}{4} + e_{1,3}e_{3,1}}. \end{aligned} \quad (13)$$

Из (13) следует, что при неработающем управлении в зависимости от параметров возмущения производственной и ресурсной сфер как могут затухать (при $r=0$), так и меняются разнонаправленно (при $r \neq 0$ т.е. $\lambda_1 > 0, \lambda_3 < 0$) в этом случае состояние неустойчиво.

Наибольший практический интерес представляют стационарные состояния с ненулевыми значениями величин, т.е. St_4, St_5 для которых соответственно (с учетом (2), (6)) получаем:

$$\begin{aligned} x_{4,5s} &= c - dz_{4,5}; y_{4,5s} = b (1 + z_{4,5}); z_{4,5s} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A}, A = -bdg, D = acg - \\ &hc - ka + r, B = -da(1 + g) - bc(1 - g) + hd - e. \end{aligned} \quad (14)$$

Графическим отображением условий неустойчивости (9) является критериальная поверхность – поверхность в пространстве параметров (Π) отображающая области устойчивости-неустойчивости $S(\Pi) \equiv K_1 = q \cdot s \cdot p$ и нейтральные кривые разделяющие области устойчивых состояний от неустойчивых, т.е., каждая точка нейтральной кривой есть отображение в пространстве параметров нуля спектрального уравнения (6). Например, для параметров ($a = b = 0,3$, $h = 0,2$, $k = 0,4$, $c = 0,5$, $e = -0,2$, $r = 0,1$) уравнения критериальной поверхности $S(d,g)$ и нейтральной кривой $g_{cr} = f(d_{cr})$ соответственно имеют вид (15, 16).

$$\begin{aligned} K_1 &\equiv S(d, g) = \\ &= 10^{-2} \left(1.05 - 6.90 \cdot d - 1.13 \cdot g + 9.60d \cdot g - 3.6 \cdot d^2 + 4.5 \cdot d^2 \cdot g \right) \end{aligned} \quad (15)$$

$$K_1 = 0 \rightarrow g_{cr} = \frac{1.05 - 6.9 \cdot d - 3.6 \cdot d^2}{1.13 - 9.6 \cdot d - 4.5 \cdot d^2} \quad (16)$$

Графики критериальной поверхности и нейтральной кривой приведены на рисунках 1, 2.

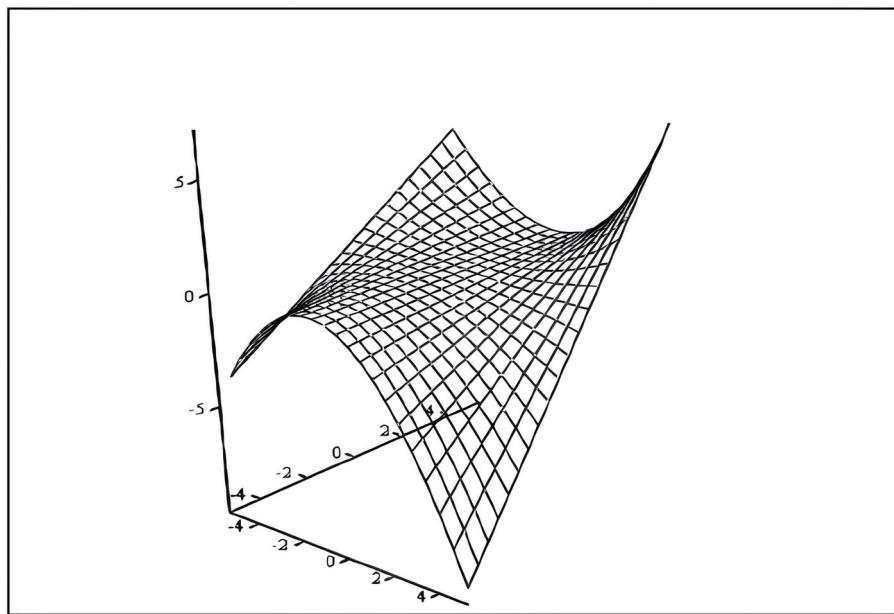


Рисунок 1 - Критериальная поверхность $S(d,g)$ в координатах $OX - g$; $OY - d$; $OZ - S$
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.1>

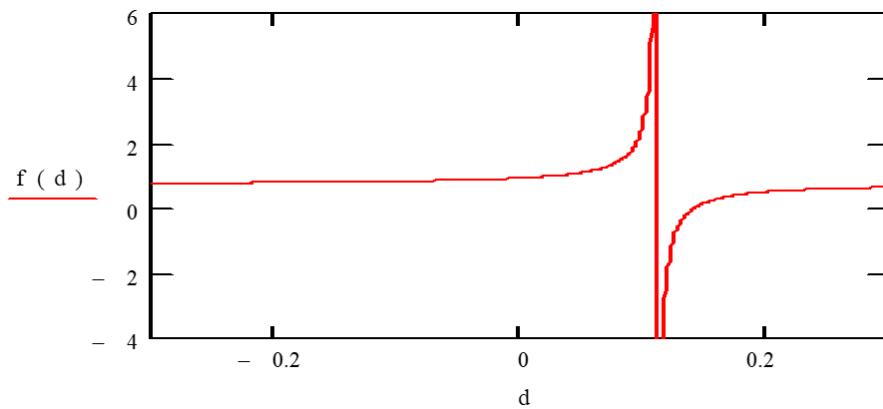


Рисунок 2 - Нейтральная кривая $g(cr)$ в координатах g, d
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.2>

На графике критериальной поверхности, состояния для которых поверхность переходит в отрицательную полуплоскость, становятся устойчивыми, т.е. предприятия функционируют стабильно, напротив, состояния при которых часть поверхности расположена в верхней полуплоскости неустойчивы, предприятие лихорадит. На графике нейтральной кривой устойчивым состояниям соответствуют состояния параметрами d и g лежащими ниже нейтральной кривой. Из (15,16) следует, что пик нейтральной кривой соответствует состоянию, при котором критерий (и соответственно динамика) перестают зависеть от параметра g .

В таблицах 1, 2 приведен непосредственный счет корней спектрального уравнения (6) и критериев (9) для состояния St_4 в зависимости от параметров d, g, r .

Счет корней уравнения (6) для состояния St_5 показывает, что для большинства параметров в указанных диапазонах (7) состояние St_5 является неустойчивым. Например, расчет корней для параметров $e = 0,1, d = 0,1, g = 0,2, r = 0,3$, а остальные см. (7) — показывает, что система находится в состоянии сильной неустойчивости m (т.е. $\lambda_1 = 0,119, \lambda_2 = 9,2, \lambda_3 = -9,67$).

В таблицах также учтено, что спектральное уравнение (6) есть уравнение третьей степени с вещественными коэффициентами и имеет либо три вещественных корня, либо один вещественный и два комплексно-сопряженных, т.е. $(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3); (\lambda_1, \lambda_{2,3} \pm i\omega)$.

Из таблицы 1 следует, что увеличение инвестиций в управление и производство (при прочих равных условиях) стабилизирует работу предприятия, напротив уменьшение инвестиций приводит к дестабилизации и хаосу (см. выделенные в таблице режимы). Из таблицы 2 следует, что увеличение кредитования даже при недофинансировании инвестиций также приводит к стабилизации системы.

Таблица 1 - Расчетные значения корней и критериев для состояния St_4 ($e = 0,1; r = 0,3$)
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.3>

d	-0,1	0,1	0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1
g	0,3	0,3	0,3	0,1	0,2	0,3	0,4
λ_1	-0,254	-0,288	-0,287	-0,279	-0,268	-0,254	-0,213
$\lambda_{2,3}$	0,012	0,0040	-0,0039	0,0031	0,024	0,012	-0,0036
ω	0,578	0,504	0,484	0,531	0,552	0,578	0,666
q	>0	>0	>0	>0	>0	>0	>0
K_1	>0	>0	<0	>0	>0	>0	<0
K_2	<0	>0	<0	>0	>0	>0	<0

Таблица 2 - Расчетные значения корней и критериев для состояния St_4 ($e = 0,1; g = 0,3$)
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.4>

d	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
g	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,3	0,2
λ_1	0,326	0,294	-0,296	-0,312	-0,301	-0,342	-0,311
$\lambda_{2,3}$	-0,273	-0,232	0,0074	0,00086	-0,0044	-0,0088	-0,014
ω	0,096	0,054	0,547	0,361	0,439	0,484	0,539
q	<0	<0	>0	>0	>0	>0	>0
K_1	<0	<0	>0	>0	<0	<0	<0
K_2	<0	>0	>0	>0	<0	>0	

Таблица 3 - Расчетные значения корней и критериев для состояния St_4 ($e = 0,1; d = 0,1; g = 0,2; r = 0,2$)
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.5>

k/h	a/b	λ_1	λ_2	ω	K_1	K_2
0,4/0,2	0,1/0,3	-0,267	-0,021	$\pm 0,359$	<0	<0
0,4/0,2	0,3/0,1	-0,182	-0,014	$\pm 0,417$	<0	<0
0,2/0,4	0,1/0,3	-0,114	-0,072	$\pm 0,438$	<0	<0
0,2/0,4	0,3/0,1	-0,138	-0,056	$\pm 0,404$	<0	<0

Из таблицы 3 видно, что характер динамики возмущений не меняется в зависимости от изменения параметров a, b, k, h .

Заключение

В целом, анализируя результаты вычислений и рисунки можно отметить следующее:

1. Предложенная модель дает широкие возможности для исследования влияния на экономическую деятельность предприятий различных факторов производственной, управлеченческой и ресурсной сферы.

2. Данная модель описывает весьма динамичную систему, в которой наряду с областями стабильности есть области неустойчивости и хаоса, существенно зависящие от параметров системы.

3. Результаты таблиц 1, 2, 3 подтверждают (в рамках рассмотренной модели) правильность выбора управляющих параметров и несущественное влияние остальных.

4. Из возможных стационарных состояний в данной модели наиболее оптимальным для управления динамикой и обеспечения стабильности функционирования предприятия путем вариации управляющими параметрами является состояние St_4 .

5. Из таблиц 1, 2 расчета спектров следует, что основными факторами, влияющими на стабильность функционирования предприятий (в рамках данной модели) являются инвестиции в производство и управление.

6. Из таблиц 1, 2 также видно, что даже при недостаточном уровне инвестиций стабильность может быть обеспечена внешним кредитованием.

7. Критерии неустойчивости и хаоса, предложенные авторами, полностью согласуются с расчетом спектра и могут быть использованы для прогнозирования областей стабильности и неустойчивости динамических систем.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Канарайкин А.И., Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.6>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Kanareikin A.I., Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze, Moscow Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.158.103.6>

Список литературы / References

1. Мажукин В.И. Математическое моделирование в экономике / В.И. Мажукин. — Москва: Флинта: Московский гуманитарный университет, 2004. — 232 с.
2. Маркин М.П. Математические методы и модели в экономике / М.П. Маркин. — Москва: Высшая школа, 2007. — 422 с.
3. Хачатрян Н.К. Математическое моделирование экономических систем / Н.К. Хачатрян. — Москва: Экзамен, 2008. — 158 с.
4. Кабушкин Н.И. Основы менеджмента / Н.И. Кабушкин. — Москва: Новое знание, 2008. — 336 с.
5. Виханский О.С. Менеджмент: человек, стратегия, организация, процесс / О.С. Виханский, О.И. Наумов. — Москва: Дело, 2010. — 383 с.
6. Клейнер Г.Б. Развитие теории экономических систем и ее применение в оперативном и стратегическом управлении / Г.Б. Клейнер. — Москва: ЦЭМИ РАН, 2010. — 209 с.
7. Kochkina E.M. Экономико-математические методы и модели в социально-трудовой сфере / E.M. Kochkina, E.V. Radkovskaya. — Екатеринбург: Уральский государственный университет, 2015. — 128 с.
8. Журавлев Д.М. Модель оценки эффективности регионального государственного управления / Д.М. Журавлев // Региональная экономика: теория и практика. — 2020. — Т. 18, № 3. — С. 555–570.
9. Rogulin R.S. Построение нетривиальной экономико-математической модели для менеджмента производственных организаций / R.S. Rogulin // Российский экономический журнал. — 2020. — № 1. — С. 108–116.
10. Перевозников Е.Н. Анализ динамики модельной системы "Производство, Управление, Ресурс" / Е.Н. Перевозников, Г.Е. Скворцов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия: Естественные и технические науки. — 2018. — № 2. — С. 41–48.
11. Перевозников Е.Н. Неустойчивости и хаос экономических процессов предприятий на примере модельной системы / Е.Н. Перевозников, Е.Ю. Ломтева // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия: Естественные и технические науки. — 2019. — № 2. — С. 94–98.
12. Скворцов Г.Е. Теория неустойчивости и критерии хаоса / Г.Е. Скворцов, Е.Н. Перевозников // Международный научно-исследовательский журнал. Физико-математические науки. — 2016. — № 7(4). — С. 98–101.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Mazhukin V.I. Matematicheskoe modelirovanie v ekonomike [Mathematical modeling in economics] / V.I. Mazhukin. — Moscow: Flinta: Moscow University for the Humanities, 2004. — 232 p. [in Russian]
2. Markin M.P. Matematicheskie metody i modeli v ekonomike [Mathematical methods and models in economics] / M.P. Markin. — Moscow: Higher School, 2007. — 422 p. [in Russian]
3. Khachatryan N.K. Matematicheskoe modelirovaniye ekonomicheskikh sistem [Mathematical modeling of economic systems] / N.K. Khachatryan. — Moscow: Ekzamen, 2008. — 158 p. [in Russian]
4. Kabushkin N.I. Osnovy menedzhmenta [Fundamentals of management] / N.I. Kabushkin. — Moscow: Novoe znanie, 2008. — 336 p. [in Russian]
5. Vikhanskij O.S. Menedzhment: chelovek, strategiya, organizatsiya, protsess [Management: person, strategy, organization, process] / O.S. Vikhanskij, O.I. Naumov. — Moscow: Delo, 2010. — 383 p. [in Russian]
6. Klejner G.B. Razvitiye teorii ekonomicheskikh sistem i ee primenenie v operativnom i strategicheskem upravlenii [Development of economic systems theory and its application in operational and strategic management] / G.B. Klejner. — Moscow: CEMI RAS, 2010. — 209 p. [in Russian]
7. Kochkina E.M. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v sotsial'no-trudovoj sfere [Economic-mathematical methods and models in social-labor sphere] / E.M. Kochkina, E.V. Radkovskaya. — Yekaterinburg: Ural State University, 2015. — 128 p. [in Russian]
8. Zhuravlev D.M. Model' otsenki effektivnosti regional'nogo gosudarstvennogo upravleniya [Model for assessing the effectiveness of regional public administration] / D.M. Zhuravlev // Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika [Regional Economics: Theory and Practice]. — 2020. — Vol. 18, № 3. — P. 555–570. [in Russian]
9. Rogulin R.S. Postroenie netrivial'noj ekonomiko-matematicheskoy modeli dlya menedzhmenta proizvodstvennyh organizatsij [Building a non-trivial economic-mathematical model for production organizations management] / R.S. Rogulin // Rossijskij ekonomicheskij zhurnal [Russian Economic Journal]. — 2020. — № 1. — P. 108–116. [in Russian]

10. Perevoznikov E.N. Analiz dinamiki model'noj sistemy "Proizvodstvo, Upravlenie, Resurs" [Analysis of the dynamics of the model system "Production, Management, Resource"] / E.N. Perevoznikov, G.E. Skvortsov // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Bulletin of Saint Petersburg State University of Technology and Design. Series: Natural and Technical Sciences]. — 2018. — № 2. — P. 41–48. [in Russian]
11. Perevoznikov E.N. Neustojchivosti i haos ekonomiceskikh protsessov predpriyatiy na primere model'noj sistemy [Instabilities and chaos of economic processes of enterprises on the example of a model system] / E.N. Perevoznikov, E.Yu. Lomteva // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Bulletin of Saint Petersburg State University of Technology and Design. Series: Natural and Technical Sciences]. — 2019. — № 2. — P. 94–98. [in Russian]
12. Skvortsov G.E. Teoriya neustojchivosti i kriterii haosa [Theory of instability and chaos criteria] / G.E. Skvortsov, E.N. Perevoznikov // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. Fiziko-matematicheskie nauki [International Research Journal. Physical and Mathematical Sciences]. — 2016. — № 7(4). — P. 98–101. [in Russian]