

К ОЦЕНКЕ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

В статье предложена математическая модель динамики показателей эффективности экономического развития отрасли машиностроения, изменения во времени которых описываются дифференциальными уравнениями диффузии инноваций, адекватно отражающих важнейшие макроэкономические аспекты процесса воспроизводства. Рассмотрены эволюционный и инновационный сценарии экономического развития отрасли машиностроения. Численный анализ полученной модели показал хорошее соответствие известным статистическим данным.

Ключевые слова: машиностроение, структура, динамика, показатели эффективности, факторы производства, производственная функция, выпуск продукции, ресурсы.

Производственная деятельность машиностроения в целом сопровождается использованием объемов определенных производственных ресурсов (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) , в качестве которых может фигурировать основной капитал и производственные фонды, привлекаемые в производство трудовые ресурсы, используемые в производстве материалы, технологии различного рода инновации, элементы маркетинга и т. д. Совокупность объемов Q_i образует конфигурацию производственных ресурсов, которая представляется, как правило, в виде n -мерного вектора пространства R^n объемов факторов производства [1; 2]

$$Q = (Q_1, Q_2, \dots, Q_n).$$

Изменяющиеся во времени компоненты вектора объемов факторов производства Q представляют собой некоторые функции времени $Q_i = Q_i(t)$. Факторы производства представляют собой кумулятивные величины, обладают способностью накапливаться, образуя определенные фонды, объемы которых определяют скорости их роста или убывания во времени. Переменная времени t предполагается непрерывной, единицей ее измерения служит один год, функции $Q_i = Q_i(t)$ предполагаются непрерывными и непрерывно дифференцируемыми нужное число раз.

Каждый компонент вектора объемов факторов производства $Q_i = Q_i(t)$ ограничен сверху и снизу своими предельными значениями

$$Q_i^{\min} \leq Q_i(t) \leq Q_i^{\max}, (i = 1..n).$$

Каждому объему фактора производства $Q_i = Q_i(t)$ может быть поставлен определенный безразмерный коэффициент эффективности рассматриваемого

* © Дубровина Н.А., Сараев Л.А., 2015

Дубровина Наталья Александровна (nadubrovina@yandex.ru), Сараев Леонид Александрович (saraev_leo@mail.ru), кафедра математики и бизнес-информатики, Самарский государственный университет, 443011, Российская Федерация, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

ресурса $q_i = q_i(t) = \frac{Q_i(t)}{Q_i^{\max}}$, который удовлетворяет неравенству

$$q_i^{\min} \leq q_i(t) \leq 1, (i = 1..n).$$

Здесь $q_i^{\min} = \frac{Q_i^{\min}}{Q_i^{\max}}$. На практике в качестве безразмерных коэффициентов

эффективности ресурсов q_i выбираются так называемые факторы обеспечения научно-технического развития (НТР). Каждому такому фактору q_i ставится в соответствие специальный весовой коэффициент h_i , определяющий его значимость на параметры производственной деятельности машиностроения. Величина

$$H = \sum_{i=1}^n h_i \cdot q_i, \quad (1)$$

представляет собой интегральный коэффициент эффективности работы отрасли. Рассмотрим здесь двенадцать безразмерных коэффициентов эффективности ресурсов q_i отрасли машиностроения со специальными весовыми коэффициентами h_i за период с 2003 по 2014 годы. Данные по этим коэффициентам и рассчитанные по формуле (1) значения интегрального коэффициента эффективности работы отрасли H приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения интегрального коэффициента эффективности работы отрасли H

№	ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА НТР	РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ НТР												ВЕС	
		ГОД													
		2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014		
	НОМЕРГОДА	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
1	Обновление основных фондов	0,06	0,08	0,09	0,13	0,16	0,16	0,14	0,13	0,13	0,14	0,13	0,120	0,08	
2	Квалификация персонала	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,003	0,09	
3	Активность персонала в технологических инновациях	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,018	0,05	
4	Активность организаций в технологических инновациях	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,20	0,19	0,20	0,21	0,21	0,201	0,05	
5	Уровень кооперации	0,37	0,39	0,38	0,32	0,37	0,36	0,36	0,34	0,30	0,30	0,29	0,276	0,06	
6	Уровень влияния НИИ и ВУЗов на внедрение инноваций	0,40	0,39	0,30	0,24	0,23	0,17	0,17	0,19	0,23	0,22	0,23	0,210	0,07	
7	Уровень затрат на технологические инновации	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,025	0,10	
8	Приобретение новых технологий	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,04	0,01	0,01	0,00	0,01	0,004	0,07	
9	Технологичность товаров	0,08	0,114	0,13	0,14	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,13	0,12	0,120	0,08	
10	Степень новизны товаров	0,08	0,11	0,13	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,070	0,08	
11	Проведение маркетинговых исследований	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,004	0,08	
12	Государственная поддержка	0,06	0,08	0,09	0,07	0,11	0,10	0,15	0,12	0,15	0,20	0,20	0,140	0,20	
	Коэффициент эффективности работы отрасли	0,0977	0,0996	0,1063	0,0919	0,1054	0,0976	0,1071	0,0979	0,1051	0,1165	0,1167	0,0978	1,00	

Построим уравнение баланса для динамики изменений интегрального коэффициента эффективности работы отрасли H .

В самом общем случае приращение этого коэффициента ΔH за некоторый малый промежуток времени Δt можно считать пропорциональным произведению трех функций $\theta(t) \cdot P(H) \cdot R(H)$. Функция $P(H)$ обеспечивает рост коэффициента H , функция $R(H)$, ($0 \leq R(H) \leq 1$) ограничивает его рост до единичного предельного значения, функция $\theta(t)$, ($0 \leq \theta(t) \leq 1$) представляет собой удельную скорость изменения коэффициента H , и описывает либо эволюционное развитие отрасли, либо смену технологических подходов, либо кризисные явления в

отрасли. Таким образом, соотношение для баланса изменения величины H имеет вид [3–4]

$$\Delta H(t) = \theta(t) \cdot P(H(t)) \cdot R(H(t)) \cdot \Delta t.$$

Предельный переход при $\Delta t \rightarrow 0$ приводит к нелинейному дифференциальному уравнению

$$\frac{dH(t)}{dt} = \theta(t) \cdot P(H(t)) \cdot R(H(t)). \quad (2)$$

Начальное условие для уравнения (2) имеет вид

$$H(0) = H|_{t=0} = H_0. \quad (3)$$

Функция $P(H)$ в общем случае может быть представлена в виде степенного ряда

$$P(H) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cdot H^n, \quad (4)$$

а в качестве функции $R(H)$ целесообразно ограничиться степенной $R(H) = 1 - H^\lambda$, в которой параметр λ описывает скорость стремления коэффициента эффективности работы отрасли H к своему предельному единичному значению. Ограничиваясь в формуле (4) первыми двумя слагаемыми, запишем уравнение (2) в виде

$$\frac{dH(t)}{dt} = \theta(t) \cdot (a + b \cdot H(t)) \cdot (1 - H^\lambda(t)). \quad (5)$$

Здесь $a = a_0, b = a_1$.

Форма интегральной кривой уравнения (5) определяется уровнем отклонения функции относительной удельной скорости роста коэффициента эффективности работы отрасли $\theta = \theta(t)$ от единицы, который задает варианты развития процесса экономического развития отрасли [5–7].

Для значений функций $\theta = \theta(t)$, близких к единице, кривые, построенные в соответствии с решениями уравнений (11), описывают монотонный эволюционный процесс работы отрасли. Для близких к нулю и для отрицательных значений функции $\theta = \theta(t)$ интегральные кривые уравнений (11) описывают процессы смены технологических укладов отрасли и кризисные явления ее динамики.

Если в некоторой окрестности момента времени $t = t^*$ в отрасли выполняется полная или частичная замена технологического уклада, то эффективность ее работы может существенно замедлиться и удельная скорость роста $\theta = \theta(t)$ может резко снизиться даже до нулевого значения. В том случае если удельные скорости роста $\theta = \theta(t)$ принимают отрицательные значения, может наступить кризис системы, описываемый уравнениями (5). Внедрение новых и обновление прежних производственных технологий, перевооружение и модернизация отрасли могут привести к росту этой функции и восстановлению мощности предприятия.

Процесс замедления, провала и последующего восстановления экономического роста выпуска продукции может быть описан уравнением с начальным условием

$$\begin{cases} \frac{d\theta}{dt} = \frac{1}{\sigma^2} \cdot (t-t^*) \cdot (1-\theta), \\ \theta|_{t=t^*} = \theta(t^*) = 1-\omega. \end{cases} \quad (6)$$

Решениями задачи Коши (6) является функция

$$\theta(t) = 1 - \omega \cdot \exp\left(-\frac{(t-t^*)^2}{2 \cdot \sigma^2}\right). \quad (7)$$

Здесь ω – максимальное значение глубины падений удельных скоростей роста, σ – размер ширины временного интервала перестройки технологий производства или кризиса экономической системы.

Если отрасль машиностроения претерпевает несколько смен кризисных технологических укладов производства, разнесенных во времени, то в качестве функции относительной удельной скорости роста фактора производства целесообразно выбрать произведение функция вида (7)

$$\Theta = \prod_{s=1}^n \theta_s(t) = \prod_{s=1}^n \left(1 - \omega_s \cdot \exp\left(-\frac{(t-t_s^*)^2}{2 \cdot \sigma_s^2}\right) \right). \quad (8)$$

На рис. 1 построена кривая функции (8) за период 2003–2014 гг. ($0 \leq t \leq 11$) различных значений параметров ω_s и t_s^* .

Расчетные данные всех параметров приведены в табл. 2.

На рис. 2 приведено сравнение статистических данных коэффициента эффективности работы отрасли машиностроения H за период 2003–2014 гг. ($0 \leq t \leq 11$), представленных в табл. 1, с интегральной кривой уравнения (5) с начальными условиями (3) и функцией (8). Точками обозначены статистические данные из табл. 1.

На рис. 3 представлено три варианта дальнейшего развития отрасли на период 2015–2030 гг. ($12 \leq t \leq 27$).

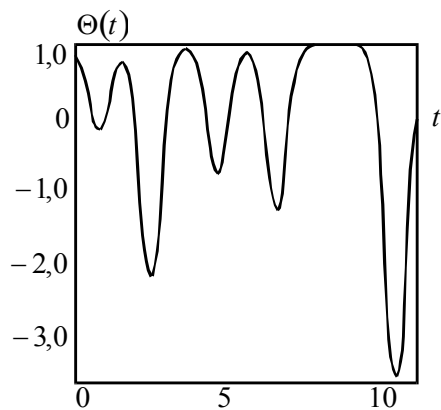


Рис. 1

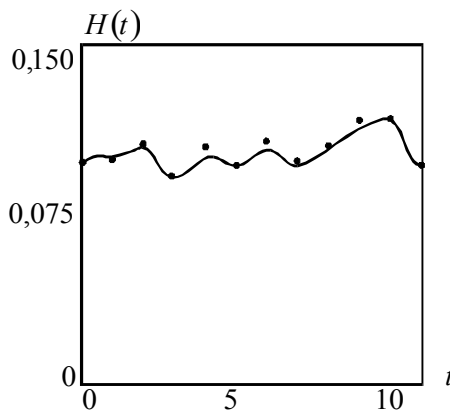


Рис. 2

Расчетные значения всех параметров

$a = 0,02$	$b = 0,25$	$\lambda = 1$	$H_{\min} = 0$	$H_{\max} = 1$
$\omega_1 = 1,15$	$\omega_2 = 3,15$	$\omega_3 = 1,75$	$\omega_4 = 2,25$	$\omega_5 = 4,5$
$t_1^* = 1$	$t_2^* = 3$	$t_3^* = 5$	$t_4^* = 7$	$t_5^* = 11$

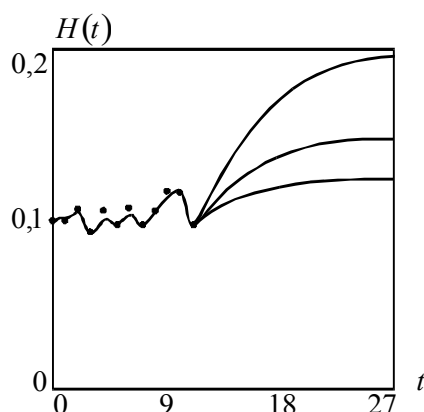


Рис. 3

В первом случае максимальное значение коэффициента эффективности работы отрасли машиностроения принимается $H = 0,125$, во втором случае — $H = 0,150$, в третьем случае — $H = 0,200$.

Библиографический список

1. Дубровина Н.А., Сараев А.Л., Сараев Л.А. К теории нелинейной динамики многофакторных экономических систем // Вестник Самарского государственного университета. 2014. № 2(113). С. 186–191.
2. Дубровина Н.А., Сараев Л.А. Модель экономического развития машиностроения, учитывающая кумулятивную динамику факторов производства // Вестник Самарского государственного университета. 2014. № 4(115). С. 177–183.
3. Сараев А.Л., Сараев Л.А. Особенности динамики выпуска продукции и производственных факторов модернизируемых предприятий // Вестник Самарского государственного университета. 2014. № 6(117). С. 251–260.
4. Сараев А.Л. Уравнения динамики экономического развития предприятия, модернизирующего производственные технологии // Основы экономики, управления и права. 2014. № 3(15). С. 93–100.
5. Сараев А.Л. Уравнения нелинейной динамики кризисных явлений для многофакторных экономических систем // Вестник Самарского государственного университета. 2015. № 2(124). С. 262–272.
6. Егорова А.Ю., Сараев А.Л., Сараев Л.А. Вариант динамической модели переоборудования производственного предприятия, учитывающей эффект запаздывания внутренних инвестиций // Вестник Самарского государственного университета. 2015. № 5(127). С. 210–216.
7. Сараев А.Л. Динамическая многофакторная модель модернизации производственного предприятия // Вестник Самарского государственного университета. 2015. № 5(127). С. 224–232.

References

1. Dubrovina N.A., Saraev A.L., Saraev L.A. On the theory of nonlinear dynamics of multifactor economic systems. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2014, no. 2(113), pp. 186–191 [in Russian].
2. Dubrovina N.A., Saraev L.A. Model of economic development of machine building industry taking into consideration cumulative dynamics of factors of production. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2014, no. 4(115), pp. 177–183 [in Russian].
3. Saraev A.L., Saraev L.A. Peculiarities of dynamics of issue of production and production factors of modernizing enterprises. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2014, no. 6(117), pp. 251–260 [in Russian].
4. Saraev A.L. Equations of dynamics of economic development of an enterprise modernizing production technologies. *Osnovy ekonomiki, upravleniia i prava* [Foundations of economics, management and law], 2014, no. 3(15), p. 93–100 [in Russian].
5. Saraev A.L. Equations of nonlinear dynamics of crisis phenomena for multifactor economic systems. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2015, no. 2(124), pp. 262–272 [in Russian].
6. Egorova A.Yu., Saraev A.L., Saraev L.A. Variant of dynamic model of reequipment of industrial enterprise taking into consideration lagged effect of domestic investments. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2015, no. 5(127), pp. 210–216 [in Russian].
7. Saraev A.L. Dynamic multifactor model of modernization of an industrial enterprise. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta* [Vestnik of Samara State University], 2015, no. 5(127), pp. 224–232 [in Russian].

N.A. Dubrovina, L.A. Saraev *

ON ESTIMATE OF DYNAMICS OF PERFORMANCE INDICATORS OF ECONOMIC DEVELOPMENT OF MECHANICAL ENGINEERING

In the article the mathematical model of dynamics of economic performance of machinery industry, time variation of which is described by differential equations of the diffusion of innovation, adequately reflecting the most important macro-economic aspects of the process of reproduction is suggested. We consider evolutionary and innovative scenario of economic development of machinery industry. Numerical analysis of the resulting model showed good agreement with known statistics.

Key words: engineering, structure, dynamics, performance indicators, production factors, production function, output, resources.

Статья поступила в редакцию 14/VII/2015.
The article received 14/VII/2015.

* *Dubrovina Natalia Alexandrovna* (mantulenko83@mail.ru), *Saraev Leonid Alexandrovich* (saraev_leo@mail.ru), Department of Mathematics and Business-Informatics, Samara State University, 1, Acad. Pavlov Street, Samara, 443011, Russian Federation.