УДК 332.5
doi: 10.18323/2221-5689-2019-3-59-65

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИНЦИПА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В УПРАВЛЕНИИ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

© 2019

А.П. Плотников, доктор экономических наук, профессор,
профессор кафедры «Экономическая безопасность и управление инновациями»
Ф.А. Казакова, кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Экономическая безопасность и управление инновациями»
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов (Россия)

Ключевые слова: монопрофильное высокотехнологичное предприятие; производственно-экономическая система; управление; обратная связь; теория автоматического управления; моделирование; математическая интерпретация.

Аннотация: Статья посвящена решению проблемы повышения эффективности обратной связи в управлении высокотехнологичным предприятием за счет математической интерпретации принципа обратной связи. Построена структурная схема функционирования монопрофильного высокотехнологичного предприятия (ВТП), основанная на методологических подходах и принципах теории автоматического управления (ТАУ), содержащая ряд блоков: аналитический, производства и реализации продукции, информационный, а также контур обратной связи (ОС) и необходимую систему обозначений. Представлены уравнения, описывающие функционирование ВТП в соответствии с указанной структурной схемой. Полученные выражения описывают связи в системе и позволяют получать динамические соотношения и дифференциальные уравнения системы для вариантов обратных связей по выручке, по себестоимости и по их совокупности. Для вывода дифференциальных уравнений, описывающих контуры ОС ВТП, получена система выражений в операторной форме, преобразованная далее в дифференциальное уравнение. На основе полученных выражений проводится математическое моделирование деятельности ВТП при замкнутом и разомкнутом контуре ОС в системе управления с использованием редактора Mathcad. Представленные по итогам моделирования графики отражают влияние ОС на экономические показатели деятельности ВТП, что выражается в меньшей устойчивости предприятия как производственно-экономической системы при разомкнутой ОС за счет более длительного переходного процесса (времени восстановления системы после возмущающих воздействий) и большего расхождения фактических параметров себестоимости и выручки по сравнению с плановыми параметрами.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие обратной связи в системе управления является необходимым условием обеспечения эффективности и устойчивости функционирования и развития предприятия, поскольку без обратной связи невозможно контролировать соответствие ключевых параметров требуемым параметрам, принимать управленческие решения по корректировке тех или иных элементов стратегии, плановых показателей, сроков, методов и средств управления и т. д. Поэтому многие математические и кибернетические модели, отражающие деятельность предприятия, включают контуры обратной связи. Моделированию деятельности экономических систем и систем управления, с использованием принципа обратной связи, посвящен целый ряд исследований, среди которых, по мнению авторов статьи, следует выделить следующие. В фундаментальной работе [1] Д. Форрестер представил и описал кибернетические модели предприятий, в которых выделен контур обратной связи. Академик В.А. Трапезников в [2; 3] показал возможности применения методологии и принципов теории автоматического управления (ТАУ) к экономическим системам. Этот подход получил определенное развитие в работе [4] в виде тезисов, а также были проанализированы новые публикации по этому направлению. В исследованиях [5–7] проанализирована эволюция кибернетических и математических моделей, основанных на использовании ОС, представлена их систематизация. Работы [8–13] содержат описание моделей с обратной связью применительно к управлению экономическими объектами и различными сферами их деятельности (научно-технологическое развитие, воспроизводство основного капитала, стратегическое управление и информационные бизнес-системы и т. д.). В данных трудах определены принципы и условия моделирования различных систем, выработаны методологические подходы и методический инструментарий использования моделей с обратной связью в управлении, получены и описаны сами модели. Развивая методологические подходы и модели, изложенные в работах [1–4; 9–11], в статье [14] А.П. Плотников построил схемы и модели, вывел уравнения функционирования предприятия, рассматриваемого в качестве производственно-экономической системы, основанные на принципах и методологических подходах теории автоматического управления. В исследованиях [15; 16] показаны возможности использования предлагаемого подхода для оценки устойчивости инновационного развития микроэкономических производственных систем (МЭПС) в системе инновационного менеджмента. Практическая апробация применения разработанных схем, моделей в управлении ВТП ракетно-космического комплекса проведена в [17–19]. Воплощением практической реализации стала виртуальная система автоматизированного управления деятельностью приборостроительного предприятия [20].

Однако в указанных публикациях нет развернутой математической интерпретации принципа обратной связи, хотя содержится ряд ее элементов, которая показывает его влияние на функционирование и развитие предприятия. Между тем такая интерпретация актуальна и с научной, и с прикладной точек зрения, поскольку способствует формированию устойчивого

контура обратной связи (ОС), обеспечивающего повышение точности и оперативности контроля за соответствием ключевых параметров предприятия требуемым параметрам, за выработкой и реализацией управленческих решений по корректировке тех или иных элементов стратегии, плановых показателей, сроков, методов и средств управления. Цель статьи – развернутая экономико-математическая интерпретация принципа обратной связи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поскольку ни одна экономико-математическая модель не в состоянии отобразить сложные и многообразные процессы функционирования и развития предприятия (экономические объекты и процессы трудноформализуемы, и даже для их вербального описания, необходимого на стадии, предшествующей непосредственно построению модели, требуется массив данных и информации большого объема, практически исключающего возможность полноценной реализации), она предполагает наличие определенных упрощений и допущений. Поэтому необходимо сделать следующие пояснения.

1. Для достижения поставленной цели в статье рассматривается монопрофильное высокотехнологичное предприятие с непрерывным выпуском продукции, функционирование которого представлено в виде структурной схемы (рис. 1), содержащей контуры обратной связи по выручке и себестоимости, учитывающие инерционности (временные запаздывания), чего не было сделано в других работах. Данная структурная схема отражает процесс управления производством и реализации продукции с учетом обозначений и терминов, принятых в ТАУ и адаптированных к экономике и кибернетике предприятия, что подробно описано в статьях [14–16]. Соответственно, вышеуказанный процесс описан выражениями, сформулированными в соответствии с методологией ТАУ.

2. Воздействие влияния многосложной системы факторов внешней среды отдельно на схеме не отражается, а учитывается через центр принятия решений, представленный на схеме, где проводится мониторинг, анализ и оценка указанных факторов, что находит свое отражение в управленческих воздействиях, также графически представленных на схеме.

3. В указанном центре формируются управленческие решения по осуществлению инвестиций, в том числе и в инновационное развитие предприятия, однако на схеме отдельный контур прибыли от инновационной деятельности не представлен, это было сделано в работе [14], в задачу данной статьи это не входит. Вместе с тем, отображением результата инвестирования, безусловно, является величина $x_n^*(s)$ (см. обозначения на схеме). Общеизвестно, что, как правило, чем больше объем инвестиций, тем выше $x_n^*(s)$. Данная зависимость является нелинейной и имеет тот или иной временной лаг, но, тем не менее, в итоге успешно реализованных инвестиций в итоге растут и выручка, и прибыль предприятия.

4. Для проведения моделирования, необходимого для экономико-математической интерпретации принципа обратной связи производится последовательное преобразование выражений в операторную форму, а затем в систему дифференциальных выражений.

В центре принятия решений сравниваются темпы планового объема производства продукции $x_n^*(s)$ (в соответствии с ТАУ – изображение по Лапласу входного воздействия на систему) и реализации продукции, которые представлены в виде производной от выручки $M_ц(s)$; $M_n(s)$ – плановое значение

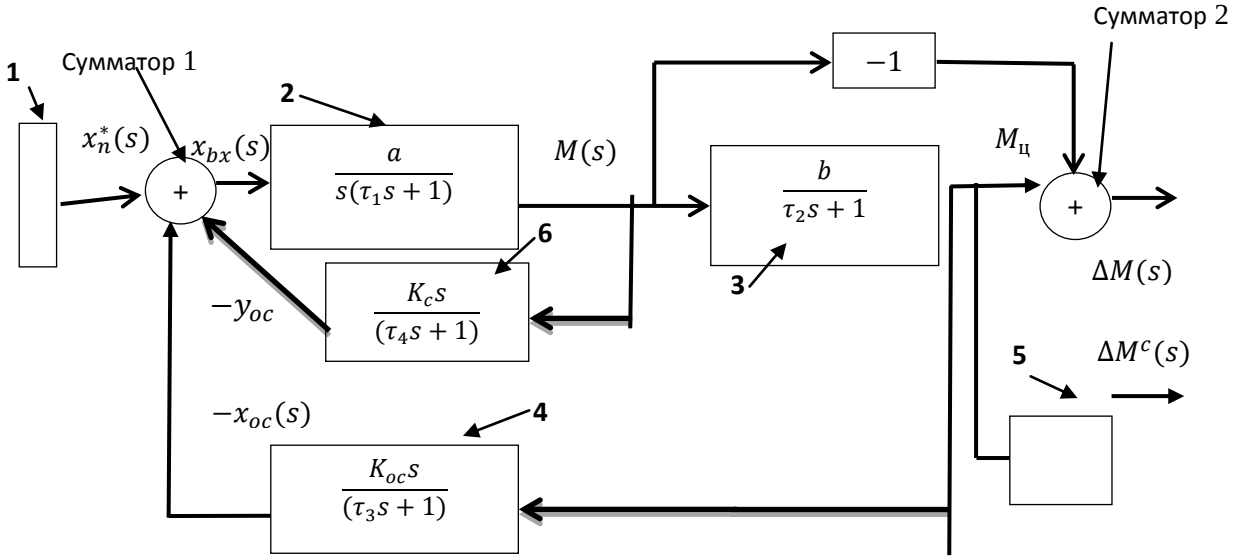


***Рис. 1**. Структурная схема ВТП при введении сложной обратной связи:*
1 – центр принятия решений; 2 – блок производства продукции;
3 – блок реализации продукции; 4 – контур обратной связи по выручке;
5 – блок вычисления чистой прибыли; 6 – контур обратной связи по себестоимости;
сумматоры 1 и 2 – информационные узлы,
где производится сравнение различных плановых и фактических параметров

себестоимости продукции; K_{oc} – коэффициент обратной связи по выручке, значение которого выводится из соотношения:

$$sK_{oc}M_{ц}(s) = x_{oc}(s),$$

где $x_{oc}(s)$ – темп изменения объема реализации продукции;
Kс – коэффициент обратной связи по себестоимости;
$M(s)$ – изображение по Лапласу себестоимости продукции;
b – уровень рентабельности продукции;
$M_{ц}(s)$ – изображение фактической выручки предприятия (объема реализации продукции, руб.);
$\Delta M(s)$ – прибыль от реализации продукции (руб.);
τ_1, τ_2, τ_3, τ_4 – постоянные времени, характеризующие инерционность (процессы запаздывания) соответствующих блоков.

Уравнения функционирования имеют вид (1), если мы полагаем b=1, τ_2=0 и исключаем нулевые члены:

$$s\left[\tau_1\tau_3 s^2 + (\tau_1 + \tau_3)s + (1 + aK_{oc})\right]\cdot M(s) = a(\tau_3 s + 1)x_n^*(s). \quad (1)$$

Безынерционное (близкое к идеальному) предприятие, то есть при $\tau_1 = 0$, $\tau_3 = 0$:

$$(1 + aK_{oc}) \cdot sM(s) = ax_n^*(s) \quad (2)$$

Или

$$M = M_0 + \frac{a}{1 + aK_{oc}}\int_{to}^{\tau} x_n^*(\tau)d\tau. \quad (3)$$

Далее учитывается временная инерционность ВТП, существующая в реальности, и используются дифференциальные уравнения статей [14; 15]. В них вносятся дополнительные члены с учётом следующих представлений. Для простоты выкладок обозначим

$$\frac{K_c{}^s}{\tau_4 s + 1}K_a = K_a. \quad (4)$$

Для сумматора 1 имеем сумму входных переменных:

$$x_{вх}(s) = x_n^*(s) - x_{oc}(s) - y_{oc}(s) = \\ = x_n^*(s) - KcM(s) - \frac{K_{oc}sM_{ц}(s)}{\tau_3 s + 1}. \quad (5)$$

Для блока реализации 3:

$$M_{ц}(s) = x_{вх}(s)\cdot W_2(s)\cdot W_3(s), \quad (6)$$

где $W_2(s)$, $W_3(s)$ – передаточные функции блоков производства 2 и реализации 3.

Подставляя (5) в (6), получим при учете выражений:

$$M(s) = \frac{ax_{вх}(s)}{s(\tau_1 s + 1)},\ M_{ц}(s) = \frac{bM(s)}{\tau_2 s + 1}, \quad (7)$$

$$M_{ц}(s) = \frac{a}{s(\tau_1 s + 1)}\cdot\frac{b}{\tau_2 s + 1}\times \\ \times\left(x^*{}_n(s) - K_c M(s) - \frac{K_{oc}sM_{ц}(s)}{\tau_3 s + 1}\right). \quad (8)$$

Полученные выражения описывают связи в системе и позволяют получать динамические соотношения и дифференциальные уравнения системы для вариантов обратных связей по выручке, по себестоимости и по их совокупности.

Вывод дифференциальных уравнений, описывающих контуры ОС ВТП, подразумевает получение системы выражений в операторной форме:

$$W_{3c} = \frac{W(S)\cdot W_n(S)}{1 + W(S)\cdot W_n(S)W_{oc}(S)},$$

$$W_{oc} = \frac{K_{oc}S}{\tau_3 S + 1},$$

$$W_n = \frac{b}{\tau_2 s + 1},$$

$$W = \frac{a\cdot(\tau_4 S + 1)}{\tau_1\tau_4 s^2(\tau_1 + \tau_4)S + 1 + aK_c}. \quad (9)$$

Числитель:

$$W(S)\cdot W_n(S) = \\ = \frac{a(\tau_4 s + 1)}{\left[\tau_1\tau_4 S^2 + (\tau_1 + \tau_4)S + 1 + K_c a\right]S}\cdot\frac{b}{(\tau_2 S + 1)}. \quad (10)$$

Знаменатель:

$$1 + W(S)\cdot W_n(S)\cdot W_{oc}(S) = \\ = 1 + \frac{a(\tau_4 s + 1)}{\left[\tau_1\tau_4 S^2 + (\tau_1 + \tau_4)S + 1 + K_c a\right]S}\times \\ \times\frac{b}{(\tau_2 S + 1)}\cdot\frac{K_{oc}S}{\tau_3 S + 1}\times \\ \times\left\{\frac{\left[\tau_1\tau_4 S^2 + (\tau_1 + \tau_4)S + 1 + K_c a\right]\cdot(\tau_2 s + 1)\times}{\left[\tau_1\tau_4 S^2 + (\tau_1 + \tau_4)S + 1 + K_c a\right]\times}\right. \\ \left.\frac{\times(\tau_3 s + 1) + abK_{oc}(\tau_4 s + 1)}{\times(\tau_2 s + 1)\cdot(\tau_3 s + 1)}\right\}. \quad (11)$$

Теперь

$$W_{3c} = \frac{ab(\tau_{4s} + 1) * \left[\tau_1\tau_4 S^2 + (\tau_1\tau_4)S + 1 + K_c a\right] * (\tau_2 s + 1)}{\left[\tau_1\tau_4 S^2 + (\tau_1\tau_4)S + 1 + K_c a\right]S * (\tau_2 s + 1\{[\ldots]\})},$$

$$W_{3c}(S) = \frac{ab(\tau_4 s + 1)(\tau_3 s + 1)}{S\{[\ldots]\}},$$

$$W_{3c}(S)=\frac{M_ц(S)}{x_n^*(s)}=\frac{ab(\tau_4 s+1)(\tau_3 s+1)}{S\left[D_4S^4+D_3S^3+D_2S^2+D_1S^1\right]}, \quad (12)$$

$$M_ц(S)=\frac{bM(S)}{\tau_2 s+1};$$

$$\{[\ldots]\}=D_4S^4+D_3S^3+D_2S^2+D_1S+1. \quad (13)$$

Из (12) и (13) имеем:

$$M(S)=\frac{(\tau_2 s+1)}{b}\cdot M_ц=\frac{(\tau_2 s+1)}{b}\cdot W_{3c}(S)\cdot X_n\cdot(S), \quad (14)$$

$$\begin{aligned}&\left[D_4S^4+D_3S^3+D_2S^2+D_1S^1+1\right]S\cdot M(S)=\\&=a(\tau_3S+1)(\tau_2S+1)(\tau_4S+1)\cdot X_n\end{aligned}.$$

Условия устойчивости функционирования предприятия:

$$\left.\begin{aligned}&D_i>0;\ D_3D_2>2{,}25D_1D_4\\&D_1D_2>2{,}25D_3\end{aligned}\right\}. \quad (15)$$

Затем эта система преобразуется в дифференциальное уравнение к начальной форме.

Исходные:

$$\dddot{M}_ц+d_3\dddot{M}_ц+d_2\dddot{M}_ц+d_1\dddot{M}_ц+d_0M_ц=A, \quad (16)$$

$$A=\frac{ab}{\tau_1\tau_2\tau_3\tau_4}\tau=0{,}02, \quad (17)$$

$$\dot{M}=\frac{b}{\tau}M+\frac{\tau_2}{\tau}M_ц+\frac{1}{\tau}\dot{M}_ц. \quad (18)$$

Вводим обозначения:

$$\left.\begin{aligned}&M_ц=x_0\\&\ddot{M}_ц=x_2=x_1\\&\dddot{M}_ц=x_3=x_2\\&\ddddot{M}_ц=x_3\\&M=x_4\\&\dot{M}=x_4\end{aligned}\right\}.$$

Дифференциальные уравнения в нормальной форме:

$$\left.\begin{aligned}&x_0^{\bullet}=x_1\\&x_1^{\bullet}=x_2\\&x_2^{\bullet}=x_3\\&x_3^{\bullet}=-d_3x_3-d_2x_2-d_1x_1-d_0x_0+-AX_n^*\\&x_4^{\bullet}=-\frac{b}{\tau}x_4+\frac{\tau_2}{\tau}x_1^{\bullet}+\frac{1}{\tau}x_0\end{aligned}\right\}. \quad (20)$$

При этом *di* выводятся на основе D_i (i=0...3).

Выводить на печать:

$$x_1,\ x_4,\ x_0-x_4,$$

$$x_0=Mц,\ x_4=M,\ \Delta M=Mц-M.$$

Параметры для моделирования:

$$x_n^*=10^6,\ a=1,\ b=1{,}05,$$

$$\tau_1=\tau_2=\tau_3=\tau_4=1, \quad (21)$$

$$K_c=0{,}3,\ K_{oc}=0{,}4,\ \tau=0{,}02 \quad (21)$$

При моделировании в редакторе Mathcad были получены следующие результаты в виде графиков для себестоимости, выручки, прибыли и темпов их изменения при наличии и отсутствии контура обратной связи в системе управления ВТП (рис. 2, 3).

На полученных графиках представлены результаты моделирования при наличии ОС (контур управления предприятием замкнут) и ее отсутствии. На рис. 3 а показано, что в условиях отсутствия ОС темпы нарастания себестоимости выше, чем при замкнутом контуре управления, увеличивается отклонение от плановых значений, что ведет к повышению неустойчивости функционирования предприятия. На рис. 3 б выявлена аналогичная зависимость темпов изменения прибыли от состояния контура обратной связи в системе управления ВТП. Таким образом, математически представлено влияние ОС на экономические показатели деятельности предприятия и качество управления.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Представленная в статье структурная схема функционирования монопрофильного высокотехнологичного предприятия (ВТП), основанная на методологии и принципах теории автоматического управления (ТАУ), отражает функционирование ВТП и позволяет получить уравнения, описывающие указанный процесс. Проведенное преобразование полученных уравнений в систему дифференциальных уравнений для вариантов обратных связей по выручке, себестоимости и по их совокупности создает необходимые условия для проведения математического моделирования деятельности ВТП при замкнутом и разомкнутом контуре ОС в системе управления с использованием редактора Mathcad и достижения цели статьи – экономико-математической интерпретации принципа обратной связи. Моделирование наглядно демонстрирует зависимость динамики ключевых экономических показателей от состояния контура обратной связи в системе управления и отображает рассогласование фактических и плановых параметров при разомкнутой ОС. Предложенные математические модели позволяют наметить дальнейшие пути формализации оценки и повышения устойчивости развития предприятия, а также позволяют проводить дальнейшие исследования в области совершенствования управления устойчивостью функционирования и развития высокотехнологичных предприятий.

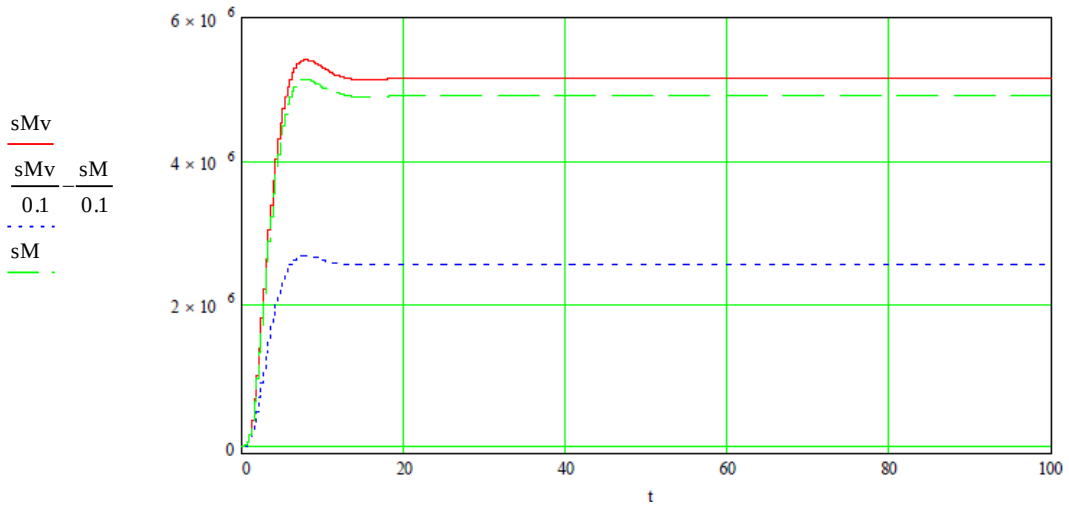
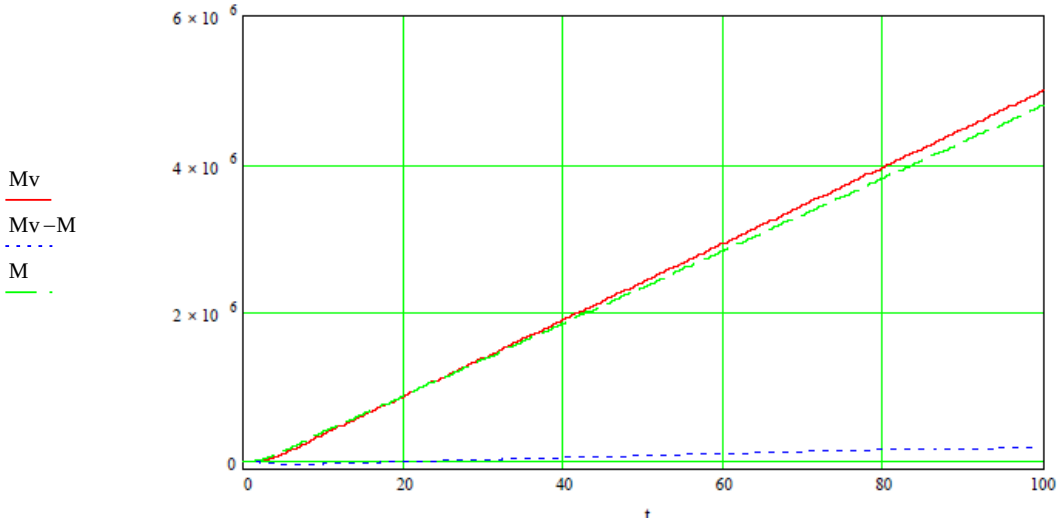
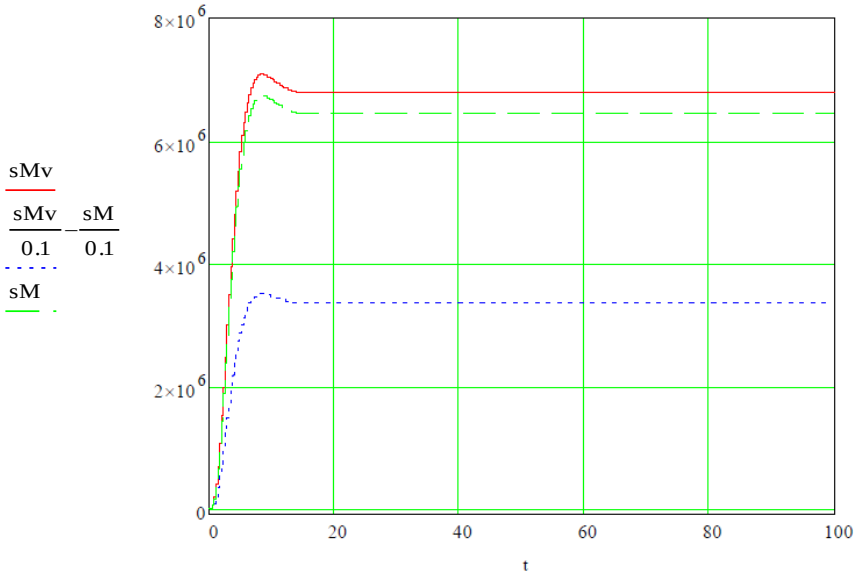


Рис. 2. *Переходные процессы по себестоимости, выручке и прибыли*



а



б

Рис. 3*. Переходные процессы динамики экономических показателей предприятия:*
а *– по темпам изменения себестоимости и выручки;* ***б*** *– темпам изменения прибыли*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Форрестер Д. Основы кибернетики предприятия. М.: Прогресс, 1971. 325 с.
2. Трапезников В.А. Автоматическое управление и экономика // Автоматика и телемеханика. 1966. № 1. С. 5–34.
3. Трапезников В.А. Управление и технический прогресс. М.: Наука, 1983. 224 с.
4. Эпштейн В.Л. Тезисы Трапезникова В.А. в контексте теории постиндустриализма // Проблемы управления. 2006. № 1. С. 2–5.
5. Ontology, Epistemology, and Teleology for Modeling and Simulation / ed. A. Tolk. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 372 p.
6. Звягин Л.С. Практические приёмы моделирования экономических систем // Проблемы современной экономики: материалы IV Международной научной конференции. Челябинск: Два комсомольца, 2015. С. 14–19.
7. Новиков Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития. М.: ЛЕНАНД, 2016. 160 с.
8. Сио К.К. Управленческая экономика. М.: ИНФРА-М, 2000. 671 с.
9. Сиразетдинов Т.К. Динамическое моделирование экономических объектов. Казань: ФЕН, 1996. 224 с.
10. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника. М.: Мир, 1992. 248 с.
11. Сливицкий А.Б. Система обратной связи в контуре управления научно-технологическим развитием // Россия: тенденции и перспективы развития: ежегодник. Вып. 14. Ч. 1. М.: Институт научной информации по общественным наукам РАН, 2019. С. 544–552.
12. Лычкина Н.Н. Имитационные модели организаций и их применение в стратегическом управлении и информационных бизнес-системах // Управленческие науки в современном мире. 2015. Т. 2. № 2. С. 396–400.
13. Герасимов Б.Н. Моделирование системы управления организацией // Экономика и бизнес: теория и практика. 2018. № 1. С. 28–36.
14. Плотников А.П. Развитие методологии управления инновационной деятельностью на основе принципа обратных связей // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2008. Т. 3. № 1. С. 198–207.
15. Плотников П.А. Оценка устойчивости инновационного развития предприятия на основе принципов теории автоматического управления // Экономические и гуманитарные исследования регионов. 2011. № 6. С. 263–268.
16. Плотников П.А. К вопросу устойчивости инновационного развития предприятия // Инновационная деятельность. 2011. № 1. С. 76–80.
17. Нахов С.Ф. Совершенствование экономического анализа деятельности государственного инновационного предприятия на основе принципа обратной связи // Инновационная деятельность. 2013. № 3. С. 24–32.
18. Нахов С.Ф., Плотников П.К., Плотников А.П. Совершенствование оперативного планирования деятельности приборостроительного предприятия на основе математической интерпретации ее динамики // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2015. Т. 15. № 3. С. 285–290.
19. Нахов С.Ф., Плотников А.П., Плотникова С.А. Математическое моделирование деятельности приборостроительного предприятия при изменении параметров обратной связи в контуре управления // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право. 2016. Т. 16. № 2. С. 159–166.
20. Нахов С.Ф., Плотников П.К., Плотников А.П. Виртуальная система управления процессом выпуска однородной продукции предприятия: патент РФ № 2571598, 2015.

REFERENCES

1. Forrester D. *Osnovy kibernetiki predpriyatiya* [Fundamentals of enterprise Cybernetics]. Moscow, Progress Publ., 1971. 325 p.
2. Trapeznikov V.A. Automatic control and Economics. *Avtomatika i telemekhanika*, 1966, no. 1, pp. 5–34.
3. Trapeznikov V.A. *Upravlenie i tekhnicheskiy progress* [Management and technical progress]. Moscow, Nauka Publ., 1983. 224 p.
4. Epshteyn V.L. V. A. Trapeznikov's theses in the context of postindustrialism theory. *Problemy upravleniya*, 2006, no. 1, pp. 2–5.
5. Tolk A., ed. *Ontology, Epistemology, and Teleology for Modeling and Simulation*. Berlin, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Publ., 2013. 372 p.
6. Zvyagin L.S. Practical methods of modeling of economic systems. *Problemy sovremennoy ekonomiki: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii*. Chelyabinsk, Dva komsomoltsa Publ., 2015, pp. 14–19.
7. Novikov D.A. *Kibernetika: Navigator. Istoriya kibernetiki, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya* [Cybernetics: Navigator. History of Cybernetics, current state, prospects of development]. Moscow, LENAND Publ., 2016. 160 p.
8. Sio K.K. *Upravlencheskaya ekonomika* [Managerial Economics]. Moscow, INFRA-M Publ., 2000. 671 p.
9. Sirazetdinov T.K. *Dinamicheskoe modelirovanie ekonomicheskikh obektov* [Dynamic modeling of economic objects]. Kazan, FEN Publ., 1996. 224 p.
10. Uossermen F. *Neyrokompyuternaya tekhnika* [Neurocomputer technology]. Moscow, Mir Publ., 1992. 248 p.
11. Slivitskiy A.B. System feedback in the control loop of scientific and technological development. *Rossiya: tendentsii i perspektivy razvitiya: ezhegodnik*. Moscow, Institut nauchnoy informatsii po obshchestvennym naukam RAN Publ., 2019. Vyp. 14, ch. 1, pp. 544–552.
12. Lychkina N.N. Simulation models of organizations and their application in strategic management and information business systems. *Upravlencheskie nauki v sovremennom mire*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 396–400.
13. Gerasimov B.N. Modeling of the system of management of the organization. *Ekonomika i biznes: teoriya i praktika*, 2018, no. 1, pp. 28–36.
14. Plotnikov A.P. Management methodology development of enterprises' innovational activities of feedback principle. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo*

tekhnicheskogo universiteta, 2008, vol. 3, no. 1, pp. 198–207.
15. Plotnikov P.A. Evaluation of the stability of innovation development company based on the principles of the theory of automatic control. *Ekonomicheskie i gumanitarnye issledovaniya regionov*, 2011, no. 6, pp. 263–268.
16. Plotnikov P.A. To the question of stability of innovative development of the enterprise. *Innovatsionnaya deyatelnost*, 2011, no. 1, pp. 76–80.
17. Nakhov S.F. Improvement of economic analysis of activity of the state innovation enterprises on the basis of the feedback principle. *Innovatsionnaya deyatelnost*, 2013, no. 3, pp. 24–32.
18. Nakhov S.F., Plotnikov P.K., Plotnikov A.P. The improvement of operational planning activities of instrument-making on the basis of the mathematical interpretation of its dynamics. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 285–290.
19. Nakhov S.F., Plotnikov A.P., Plotnikova S.A. To the issue of mathematical modeling of process of functioning of the instrument-making enterprise when using the experimental data of its activities. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 159–166.
20. Nakhov S.F., Plotnikov P.K., Plotnikov A.P. *Virtualnaya sistema upravleniya protsessom vypuska odnorodnoy produktsii predpriyatiya* [Virtual process control system for the production of homogeneous products of the enterprise], patent RF no. 2571598, 2015.

MATHEMATICAL INTERPRETATION OF FEEDBACK PRINCIPLE IN THE HIGH-TECH ENTERPRISE MANAGEMENT

© 2019

A.P. Plotnikov, Doctor of Sciences (Economics), Professor,
professor of Chair “Economic Security and Innovation Management”
F.A. Kazakova, PhD (Economics),
assistant professor of Chair “Economic Security and Innovation Management”
Y.A. Gagarin Saratov State Technical University, Saratov (Russia)

Keywords: single-industry high-tech enterprise; productive-economic system; management; feedback; automatic control theory; modeling; mathematical interpretation.

Abstract: The paper deals with the solution of the problem of feedback efficiency improvement in high-tech enterprise management through a mathematical interpretation of the feedback principle. The author built a structure diagram of the functioning of a single-industry high-tech enterprise, based on the methodology approaches and principles of the automatic control theory and containing some blocks: analytical block, production and sales block, information block, as well as the feedback loop, and the necessary symbol system. The paper presents the equations describing the functioning of a single-industry high-tech enterprise according to this structure diagram. The resulting expressions describe the relations within the system and allow obtaining the dynamic relations and differential equations of the system for the variants of revenue, cost, and their totality feedbacks. To derive differential equations describing the feedback loop of a single-industry high-tech enterprise, the authors obtained a system of expressions in operator form and further transformed it into a differential equation. Based on the received expressions, the authors carried out mathematical modeling of activity of a single-industry high-tech enterprise at the closed and open feedback loop in the control system with the use of the Mathcad editor. The graphs presented in the result of modeling reflect the influence of feedback loop on the economic performance of a single-industry high-tech enterprise, which is expressed in less stability of an enterprise as a production and economic system at open feedback loop due to the longer transition process (the recovery time of a system after perturbing effects) and greater divergence of the actual parameters of cost and revenue compared to the planned parameters.