

СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ

В.А. Залоза, д-р техн. наук., профессор;

К.А. Дядюра, канд. техн. наук, доцент;

О.В. Ющенко, канд. физ.-мат. наук, доцент;

А.И. Олемской*, д-р физ.-мат. наук, профессор

Сумский государственный университет, г. Сумы

**Институт прикладной физики НАН Украины, г. Сумы*

В рамках модели эндогенного научно-технического прогресса рассматривается проблема повышения эффективности интеграции в общую систему на всех этапах и уровнях жизненного цикла машиностроительного изделия. Эволюция жизненного цикла представлена системой самосогласованных уравнений, которые описывают совместное поведение проектирующей, производящей и использующей систем.

У рамках моделі ендогенного науково-технічного прогресу розглянута проблема збільшення ефективності інтеграції у загальну систему на всіх етапах та рівнях життєвого циклу машинобудівного виробу. Еволюція життєвого циклу представлена системою самоузгоджених рівнянь, що описують спільну поведінку проектувальної, виробничої та експлуатаційної систем.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях глобальных экономических изменений эффективность функционирования промышленных предприятий и, в частности машиностроительных, во многом связана с использованием CALS-концепции [1] и интегрированных технологий [2]. Эти технологии позволяют комплексно решать вопросы конструкторского, технологического и организационного обеспечения на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) от момента осознания потребности в изделии до окончания его использования (эксплуатации) у потребителя.

Современный ЖЦ изделия представляет собой совокупность взаимосвязанных технических, экономических, социальных и иных систем, процесс функционирования каждой из которых включает получение информации, ее анализ, принятие решений и их исполнение. Эффективность функционирования ЖЦ во многом связана с наличием соответствующих объективных законов управления, способных учитывать условия и изменения внутренней и внешней среды. Для поиска этих законов используются различные подходы.

В этой связи весьма перспективным является исследование ЖЦ в рамках синергетического подхода, который представляет междисциплинарное направление, позволяющее единым образом описать самоорганизацию сильно неравновесных систем в физике, химии, биологии, социологии и других направлениях науки и ее приложениях [3, 4].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Согласно модели ЖЦ, приведенной в международных стандартах серии ISO 9000, на всех этапах существования машиностроительное изделие может быть представлено сочетанием уровней проектирования, производства и эксплуатации. Эти уровни взаимодействуют с помощью прямых и обратных связей, обеспечивающих непрерывные потоки информации об особенностях эксплуатации изделия и обеспечении его свойств на этапах проектирования и изготовления. Каждый уровень может иметь самостоятельный характер применения своих результатов,

однако интеграция их в общую систему обеспечивает возможность существенного повышения технико-экономических показателей изделия.

Особенностью развития ЖЦ как открытой системы (рис. 1) является стремление всех его элементов (проектирующей, производящей и использующей подсистем) к стационарному состоянию, которое обеспечивается материальными M_i , энергетическими E_i и информационными I_i потоками, действующими внутри системы и в ее взаимодействии с внешней средой. Динамика отношений этих потоков обеспечивается тремя основными факторами: научно-техническим уровнем проектирующей системы, экономическим потенциалом, технической и технологической оснащенностью производящей системы и заинтересованностью (мотивацией) использующей системы.



Рисунок 1 - Открытая система ЖЦ машиностроительного изделия

Научно-технический прогресс позволяет применять новые материалы, технологическое оборудование и технические решения. Это обуславливает повышение возможностей в создании новых изделий, которые должны удовлетворять возрастающие потребности общества. В свою очередь, развитие этих потребностей ведет к непрерывному развитию науки и техники. Закономерность эволюционного процесса развития заключается в том, что удельный вес затрат прошлого труда и накопленная информация, необходимые для разработки прогрессивных изделий и технологий, непрерывно возрастают.

Наиболее известной моделью эндогенного научно-технического прогресса, основанной на идее накопления человеческого капитала, является модель П. Ромера [5]. Согласно этой модели ЖЦ машиностроительного изделия можно представить блок-схемой, показанной на рис. 2.

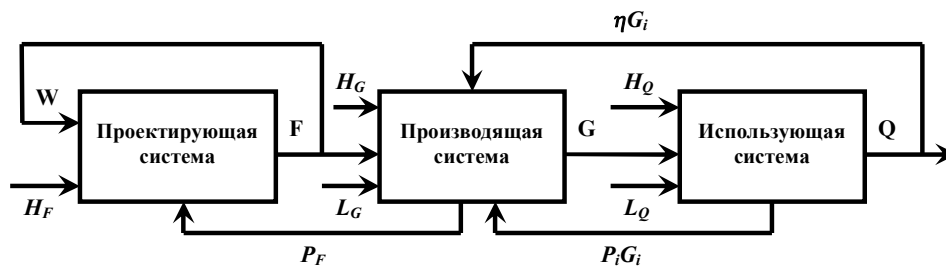


Рисунок 2 - Блок-схема модели эндогенного научно-технического развития ЖЦ машиностроительного изделия

Изделие первоначально создается проектирующей системой в знаковом виде. При этом учитываются требования, предъявляемые в данный

момент времени t_i заказчиком (использующей подсистемой) к продукции, и технологические особенности производства (возможности производящей подсистемы). Процесс создания продукции представляет собой комплекс работ по подготовке производства, который включает технико-экономические исследования, проектно-конструкторские работы, технологическую подготовку и материально-техническое снабжение. Эти результаты необходимы для изготовления изделия.

В проектирующей системе прирост научно-технического результата F будет пропорционален имеющемуся запасу разработок и реализаций W (существующий запас знаний) и вовлеченному объему человеческого капитала H_F :

$$F \approx \delta H_F W, \quad (1)$$

где δ - параметр нормативной научной продуктивности.

Если P_F - цена научно-технического результата, а C_H - плата за использование единицы человеческого капитала при проектировании, то между ними устанавливается соотношение

$$C_H = \delta P_F W. \quad (2)$$

Производящая система посредством технологических действий преобразует научно-техническую информацию в свойства изделия. Функционирующие в системе ресурсы, технологии и условия организации определяют потенциальные возможности и состояния процесса производства. Эффективность преобразования ресурсов в продукцию может быть выражена производственной функцией Кобба-Дугласа, которая является частным случаем функции с постоянной эластичностью замещения [6]:

$$G = A H_G^{\alpha_1} L_G^{\beta_1}. \quad (3)$$

Здесь G - величина выпуска продукции (например, стоимость выпущенной продукции); H_G - затраты производственного капитала (например, стоимость основных фондов,); L_G - затраты труда (например, показатель численность работников, промышленно-производственного персонала); α_1 и β_1 - показатели производственной функции, характеризующие чувствительность объема производства к изменению затрат капитала и труда (получают на основе имеющихся статистических и других данных о технологии и протекании производственного процесса в прошлом и будущем); A - коэффициент, учитывающий размерность показателей и неучтенных случайных факторов производства.

Кроме показателей выпуска продукции, ресурсов, технологии и организации производства, для описания производственных процессов используются показатели эффективности (производство продукции на 1 удельную единицу затрат, производительность труда, фондоотдача, фондо-, энерго- и электровооруженность труда, производство продукции на 1 удельную единицу оборотных средств и т.д.). Математическая модель производственной функции позволяет по одним характеристикам производственного процесса вычислять другие.

Изготовленное машиностроительное изделие G_i (стоимость машиностроительного изделия (средства производства)) поступает в эксплуатацию, где на основе затрат труда L_Q (стоимость материальных активов (машины, оборудование, здания, сооружения, земля, запасы сырья, полуфабрикатов и готовой продукции), которые применяются в производственном процессе) и вовлеченного человеческого капитала H_Q (накопленные затраты на общее образование и специальную подготовку специалистов, здравоохранение, перемещение рабочей силы и т.д.)

используется заказчиком для выпуска конечной продукции. Производственная функция имеет вид

$$Q = H_Q^{\alpha_2} L_Q^{\beta_2} \sum_{i=1}^n G_i^{1-\alpha_2-\beta_2}, \quad (4)$$

где n – количество средств производства, α_2 и β_2 – показатели производственной функции, характеризующие чувствительность (определяются используемой технологией и организацией производственного процесса) объема производства к изменению затрат капитала и труда.

В рассматриваемой модели ЖЦ предполагается, что человеческий капитал распределяется между проектирующей и использующими системами:

$$H = H_F + H_Q. \quad (5)$$

Для производства одной единицы средств производства расходуется η единиц конечной продукции. Стоимость оборудования для использующей системы составляет P_i . Изменение общего капитала всей системы определяется формулой

$$K(t) = Q(t) - C(t) = \eta \sum_{i=1}^{\infty} G_i, \quad (6)$$

где $C(t)$ – агрегированная функция потребления. В рамках принятых условий использующая система строит свои отношения с производящей системой, исходя из требования максимальной прибыли Π , определяемой разницей между затратами на выпуск продукции и затратами на оборудование:

$$\Pi = H_Q^{\alpha_2} L_Q^{\beta_2} \sum_{i=1}^{\infty} G_i^{1-\alpha_2-\beta_2} - \sum_{i=1}^{\infty} G_i \rightarrow \max. \quad (7)$$

Производственная система определяет объем выпуска продукции G_i для использующей системы с тем расчетом, чтобы максимизировать свой доход за вычетом издержек

$$\pi = \max_G (1 - \alpha_2 - \beta_2) H_Q^{\alpha_2} L_Q^{\beta_2} G_i^{1-\alpha_2-\beta_2} - r\eta G, \quad (8)$$

где r – норма процента на капитал.

Согласно синергетической идеологии эволюция самоорганизующейся системы определяется самосогласованными уравнениями, связывающими скорость прироста научно-технического результата dF/dt , а также скорости изменения производственных функций производящей dG/dt и использующей систем dQ/dt с их значениями F , G , Q . В рамках синергетического подхода указанные величины играют роль управляющего параметра, сопряженного поля и параметра порядка. Поэтому дальнейшая задача состоит в нахождении уравнений эволюции этих величин для системы ЖЦ машиностроительного изделия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Проведенное рассмотрение показывает, что проектирующая система влияет на развитие объектов системы ЖЦ не только непосредственно через новые прикладные идеи и разработки. Само ее существование является необходимым условием развития экономического роста, поскольку обеспечивает накопление человеческих знаний и капитала. Поэтому прирост научно-технического результата F является управляющим параметром. При этом развитие современных технологий

базируется на определенных целях, задачах и возникающих в данный период времени t запросах и возможностях использующей системы. В этой связи можно говорить о производственной функции Q этой системы как о параметре порядка, определяющем выбор стратегии при проектировании. Соответственно сопряженное поле сводится к производственной функции использующей системы G .

В рамках синергетического подхода [7] эволюция системы ЖЦ представляется следующими уравнениями:

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= -\frac{Q}{\tau_Q} + a_Q G, \\ \dot{G} &= -\frac{G}{\tau_G} + a_G Q F, \\ \dot{F} &= \frac{F_e - F}{\tau_F} - a_F Q G.\end{aligned}\quad (9)$$

Здесь точки над буквами означают дифференцирование по времени; a_Q, a_G, a_F – положительные константы, которые определяют интенсивность обратных связей; τ_F, τ_G, τ_Q – характерные времена изменения функций проектирующей, производящей и использующей систем, соответственно; F_e – интенсивность внешнего воздействия, отдаляющего систему от равновесного состояния. При синергетических фазовых переходах отрицательная обратная связь между параметром порядка и сопряженным полем, отражающая принцип Ле-Шателье, понижает стационарное значение управляющего параметра по сравнению с его величиной, фиксируемой внешним воздействием. Соответственно, положительная связь между параметром порядка и управляющим параметром способствует росту сопряженного поля и является причиной самоорганизации.

Самосогласованное поведение системы ЖЦ машиностроительного изделия основывается на адиабатическом приближении, согласно которому характерные времена изменения связаны условием $\tau_Q \gg \tau_G, \tau_F$, означающим, что в ходе своей эволюции сопряженное поле $G(t)$ и управляющий параметр $F(t)$ изменяются настолько быстро, что успевают следовать за медленным изменением параметра порядка $Q(t)$ [8].

При анализе уравнений (9) удобно перейти к безразмерным величинам, относя время t к масштабу τ_Q , параметр порядка Q – к $(a_G a_F)^{-1/2}$, сопряженное поле G – к $(a_Q^2 a_G a_F)^{-1/2}$, управляющий параметр F – к $(a_Q a_F)^{-1}$. Тогда с использованием безразмерных величин $\sigma \equiv \tau_G / \tau_Q$ и $\varepsilon \equiv \tau_F / \tau_Q$ система (9) принимает вид

$$\begin{aligned}\dot{Q} &= -Q + G, \\ \sigma \cdot \dot{G} &= -G + QF, \\ \varepsilon \cdot \dot{F} &= F_e - F - QG.\end{aligned}\quad (10)$$

Благодаря условиям $\tau_Q \gg \tau_G, \tau_F$ можно пренебречь левыми частями двух последних уравнений (10), что сразу приводит к выражениям сопряженного поля и управляющего параметра через параметр порядка:

$$G = F_e \frac{Q}{1 + Q^2}, \quad F = \frac{F_e}{1 + Q^2}. \quad (11)$$

При $Q \ll Q_{\max}$, $Q_{\max} = (a_G a_F)^{-1/2}$ первое из этих соотношений имеет линейный вид, характеризуемый восприимчивостью $\chi = F_e^{-1}$ использующей системы к интенсивности внешнего воздействия на проектирующую систему. С возрастанием параметра порядка до значения $Q = Q_{\max}$ зависимость $G(Q)$ выходит на насыщение, а при $Q \gg Q_{\max}$ проявляет спадающий характер, который отвечает отрицательной восприимчивости χ и не имеет физического смысла. Отсюда следует, что постоянная Q_{\max} сводится к максимальному значению параметра порядка. Равенство (11) описывает спадание управляющего параметра от максимального значения F_e при $Q=0$ до минимальной величины $F_e/2$ при $Q = Q_{\max}$. Очевидно, спадающий характер зависимости $F(Q)$ является проявлением принципа Ле-Шателье.

Подставляя первое выражение (11) в первое равенство (10), приходим к уравнению Ландау-Халатникова

$$\tau_Q \dot{Q} = -\frac{\partial V(Q)}{\partial Q}, \quad (12)$$

в котором синергетический потенциал имеет вид

$$V = \frac{Q^2}{2} \left\{ 1 - \frac{F_e}{F_c} \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^{-2} \ln \left[1 + \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 \right] \right\}, \quad (13)$$

где $F_c \equiv (a_Q a_G)^{-1}$.

В результате эволюция системы ЖЦ машиностроительного изделия описывается следующим образом. При уровне научно-технического прогресса, который обеспечивает величину F_e , не превышающую критическое значение F_c , синергетический потенциал имеет монотонно возрастающий вид с минимумом в точке $Q_0=0$ (рис. 3), отвечающей низкоэффективному состоянию использующей системы. С ростом F_e до значений, превышающих F_c , синергетический потенциал приобретает минимум при ненулевом значении параметра порядка

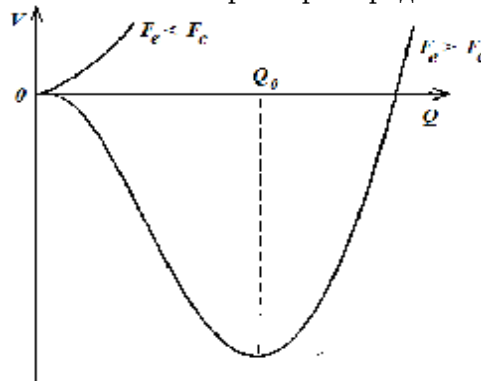


Рисунок 3 – Зависимость синергетического потенциала от параметра порядка при различных значениях параметра F_e

$$Q_0 = Q_{\max} \sqrt{\frac{F_e - F_c}{F_c}}, \quad (14)$$

которое отвечает высокоэффективному состоянию.

При переходе системы в область, характеризуемую значением $F_e > F_c$, она за время $\tau = \tau_Q \left(\frac{F_e}{F_c} - 1 \right)^{-1}$ приобретает стационарное значение параметра порядка (14). При этом зависимость $Q(t)$ имеет обычный дебаевский вид

$$Q = Q_0 \left(1 - e^{-t/\tau} \right). \quad (15)$$

ВЫВОДЫ

Таким образом, повышение эффективности машиностроительного производства определяется интеграцией в общую систему на всех этапах и уровнях ЖЦ изделия. Это создает условия обеспечения качественно новой совокупности свойств и меры полезности изделий, а также повышения технико-экономических показателей его производства и эксплуатации. При этом процесс совместного взаимодействия на всех этапах ЖЦ должен выполняться на базе общих критериев и подходов. Для решения этой задачи в данной работе предложено использовать модель эндогенного научно-технического прогресса, основанной на идее накопления человеческого капитала. Исследование динамики состояний объектов системы ЖЦ осуществляется на базе синергетического подхода. Эволюция системы ЖЦ представлена системой самосогласованных уравнений, которые описывают совместное поведение проектирующей, производящей и использующей систем.

SUMMARY

SYNERGETICS DESCRIPTION OF ENGINEERING WARE LIFE-CYCLE

V.O. Zaloga, K.O. Dyadyura, O.V. Yushenko, O.I. Olemskoy*

Sumy State University;

*Institute of Applied Physics of NAS of Ukraine

Within the framework of the endogeneous model of science-and-technical progress, the problem of improving the integration efficiency to the general system are considered at all stages and levels of engineering ware life-cycle. A life-cycle evolution is presented by means of a system of self-consistent equations, which describe self-consistent behavior of design, manufacturing and exploiting systems.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Залога В.А., Дядюра К.А. К вопросу о выборе стратегии отечественных машиностроительных предприятий в отношении конкурентоспособности продукции / В.А. Залога, К.А. Дядюра // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків, 2007. – Вип. 2(15). – С. 91-96.
2. Современные технологии в машиностроении: Сборник научных статей. Т. 2 / Под ред. А.И. Грабченко. - Харьков: Харьковский политехнический институт, 2006. - 488с.
3. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. Введение: Пер. с англ./ Г. Николис, И. Пригожин – М.: Мир, 1990. – 344 с.
4. Хакен Г. Информация и самоорганизация: Макроскопический подход к сложным системам: Пер. с англ./ Г. Хпкен – М.: Мир, 1991. – 240 с.
5. Romer P.M. The origins of endogenous growth // J. Econ. Perspect. -1994.-Vol.8.- P.3-22.
6. Клейнер Г.Б. Производственные функции: Теория, методы, применение/ Г.Б. Клейнер – М.: Финансы и статистика, 1986. - 240 с
7. Олемской А.И. Синергетика сложных систем: феноменология и статистическая теория / А.И. Олемской - М.: Эдиториал УРСС, 2009. – 384 с.
8. Хакен Г. Синергетика. Пер. с англ./Г. Хакен – М.: Мир, 1980. – 406 с.

Поступила в редакцию 12 мая 2009 г.