

УДК 658.512.88

DOI 10.22213/2410-9304-2017-4-55-58

Б. А. Якимович, доктор технических наук, профессор  
 С. И. Соломенникова, кандидат технических наук, доцент  
 Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова  
 В. Н. Сяктерев, кандидат технических наук  
 В. В. Сяктерева, кандидат технических наук  
 ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## ОТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ К НЕКОПИРУЕМОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассматриваются основные этапы «жизненного цикла» сложной технической системы. Предложены с позиций системного подхода критерии эффективности (производительность, качество, издержки), которые срабатывают на определенных этапах жизненного цикла технической системы. Показано, что при переходе от одного этапа к другому формируются критические зоны, в которых могут проявиться новые свойства сложной технической системы, что позволяет обоснованно подойти к совершенствованию как самой системы, так и выпускаемых ею изделий.

В работе показано, что в условиях высокой конкуренции в различных отраслях промышленности актуальной задачей является продление нормативной длительности жизненного цикла сложной технической системы. На основе проведенного анализа сформулирован вывод о необходимости создания сложных технических систем, копирование которых и производимых ими изделий в заданный промежуток времени становится невозможным. Для этого наряду с известными критериями, такими как производительность, качество и издержки, авторами сформулирован новый критерий эффективности «некопируемость», выполнение которого позволит значительно продлить жизненный цикл сложной технической системы при условии востребованности выпускаемой продукции в требуемых объемах.

Предлагаемый авторами подход «Эволюции критериев эффективности сложных технических систем от производительности к некопируемости» позволяет с позиций системного анализа предложить механизмы эффективного управления сложной технической системой на всех этапах ее жизненного цикла.

**Ключевые слова:** сложная техническая система, критерии эффективности, производительность, управление качеством, бережливое производство, некопируемость.

Современные сложные технические системы характеризуются следующими особенностями:

- усложнением изготавливаемых изделий;
- частой сменой изделий или их параметров;
- разнообразием, десинхронизацией материальных, энергетических, информационных и других ресурсов между компонентами системы;
- возрастанием требований к уровню взаимодействия внутренних подсистем с внешней средой и пр.

Необходимость системного совершенствования сложных технических систем на всех этапах

жизненного цикла стимулирует создание новых и развитие известных теоретических методов оценки их эффективности на основе комплекса обоснованных критериев и показателей. Такой подход позволяет системно подойти к созданию оптимальных математических моделей сложных технических систем.

Рассмотрим простейший жизненный цикл сложной технической системы (далее ЖЦТ ТС), производящей некоторую совокупность изделий ( $n$ ) (рис. 1).

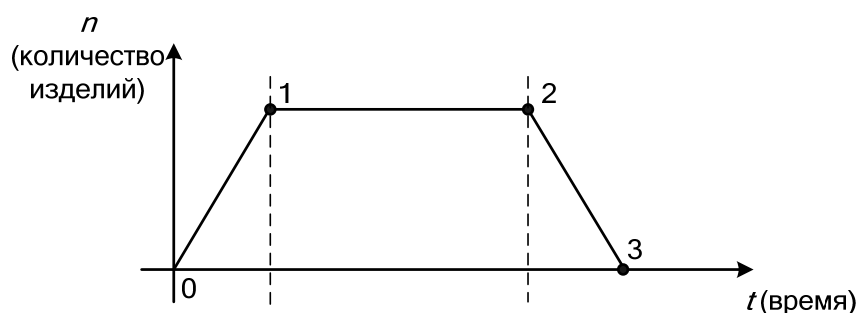


Рис. 1. Жизненный цикл сложной технической системы

Упрощенно основные этапы ЖЦТ ТС:

– (0, 1) – рост объема изготавливаемых изделий ( $n$ );

– (1, 2) – изготовление требуемого количества изделий ( $n$ );

– (2, 3) – снижение объема выпуска изделий из-за внутренних и внешних факторов (поломки компонентов, неэффективность поддерживающих систем, изменение конъюнктуры рынка, появление новых технических решений и технологий и пр.), которое приводит к завершению жизненного цикла сложной технической системы и ее гибели.

Для каждого этапа жизненного цикла сложной технической системы определяющим является система критериев и показателей, характеризующих ее эффективность.

Рассмотрим этот вопрос более подробно. На первом этапе рационально предложить в качестве определяющего критерия эффективности сложной технической системы производительность ( $P$ ), тогда показатели, оценивающие качество ( $Q$ ) и издержки ( $S$ ), можно считать неприоритетными, и в математической модели оптимизации эффективности сложной технической системы их можно включить в систему ограничений. На втором этапе (1, 2), когда сложная техническая система вышла на требуемый уровень производства изделий ( $n$ ), можно предположить, что в качестве критерия эффективности предпочтительнее выбрать критерий, определяющий качество ( $Q$ ) выпускаемых изделий, тогда показатели ( $P$ ) и ( $S$ ) выступают в качестве ограничений. На третьем этапе (2, 3) целесообразно в качестве критерия эффективности выбрать снижение издержек ( $S$ ), а в систему ограничений могут быть включены показатели ( $P$ ) и ( $Q$ ).

Предлагаемый подход «Эволюции критериев эффективности сложных технических систем от производительности к не копируемости» позволяет предложить механизмы эффективного управления сложной технической системой на этапах ее жизненного цикла.

С целью исследования развития сложных технических систем необходимо решить следующие задачи [1]:

- выделение требуемых компонентов системы (компонентный аспект);
- определение структуры выделенных компонентов (компонентный аспект);
- построение иерархии компонентов при достижении поставленной цели (функциональный аспект);
- анализ взаимодействия компонентов (интегративный аспект);
- определение реакций от других систем, взаимодействующих с моделируемой системой (коммуникативный аспект);

– определение изменения свойств системы в процессе его жизненного цикла (исторический аспект).

Решение указанных задач позволяет построить объективную и динамичную модель сложной технической системы.

Для выбора модели управления сложной технической системы, с помощью которой формируются управляющие воздействия на объект управления с целью его совершенствования, необходимо учитывать критические зоны, через которые осуществляется переход от одного этапа к другому. В критических точках происходит потеря устойчивости [2], а значит, теряют всякий смысл критерии оптимальности. Особенностью критических зон является то, что именно здесь могут проявиться новые свойства системы и ее компонентов. Включение в блок управления сложной технической системой специальных алгоритмов, обнаруживающих эти свойства, позволяет совершенствовать как саму систему, так и эффективность ее функционирования. В работах [3–5] получены результаты исследований, показывающие целесообразность применения эвристических подходов и методов для реализации подобных алгоритмов.

Актуальной задачей для оценки функционирования сложной технической системы является определение нормативной длительности жизненного цикла, а также создание методологии ее продления.

В условиях высокой конкуренции в различных отраслях промышленности необходимо создавать такие технические системы, копирование которых и производимых ими изделий становится невозможным в заданный период времени.

Наряду с известными критериями, такими как производительность ( $P$ ), качество выпускаемой продукции ( $Q$ ) и снижение издержек ( $S$ ), представим в общем виде критерий не копируемости ( $N$ ). Критерий не копируемости характеризуется как сложностью технической системы, так и сложностью выпускаемых ею изделий. Следует различать понятие не копируемости сложной технической системы ( $N_C$ ) и понятие не копируемости выпускаемых изделий ( $N_n$ ). При этом следует отметить, что не копируемость сложной технической системы обеспечивает и не копируемость выпускаемых ею изделий, и наоборот, легко копируемые технические системы способствуют быстрому распространению и тиражированию аналогичных изделий.

Определение сложной технической системы дано в работах [6–8], а сложности изделий на примере машиностроительной продукции – в [9, 10]. Еще одним важным свойством не копируемости технической системы является ее соответствие и выпускаемых ею изделий отечественным и международным стандартам [11–14]. Причем следует отметить последовательность появления нормативных документов: первыми появились нормативы в области производительности, затем в области управления качеством и, наконец, в области бережливого производства, регламентирующие снижение издержек с учетом встроенного качества в производственную систему.

Некопируемость определяется также уникальным сочетанием ресурсов системы. В [15] определены необходимые и достаточные виды ресурсов, предложена методика формирования и определения их состояния. К таким ресурсам отнесены: материально-технические, трудовые, информационные, технологические, организационные, управленческие и интеллектуальные.

В заключение отметим следующее:

– на этапах жизненного цикла сложной технической системы критерии эффективности срабатывают в последовательности: производительность – качество – издержки;

– при переходе от одного этапа к другому формируются критические зоны, в которых могут проявиться новые свойства системы, что позволяет обоснованно подойти к совершенствованию как самой системы, так и выпускаемых изделий;

– дано определение понятия «некопируемость сложной технической системы», под которой понимается уникальное сочетание ресурсов предприятия (в том числе ключевые компетенции персонала), позволяющих создавать конкурентные изделия (технику), копирование которых невозможно в заданный период времени (при существующем уровне затрат);

– предложен новый критерий эффективности «некопируемость», выполнение которого в заданный период времени позволяет значительно продлить жизненный цикл сложной технической системы при условии востребованности выпускаемой продукции в требуемых объемах;

– предложенный в настоящей работе подход «Эволюции критериев эффективности сложных технических систем от производительности к не копируемости» позволяет обоснованно подойти к реализации математической модели сложной технической системы и эффективных алгоритмов управления ею.

### Библиографические ссылки

1. Якимович Б. А. Анализ эффективности и совершенствования перенастраиваемых производственных систем машиностроения : дис. ... д-ра техн. наук. Ижевск, 1994. 333 с.

2. Якимович Б. А., Ренко В. Н. Проектирование технических систем на основе анализа упорядоченных во времени критических состояний : учеб. пособие. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 1999. 268 с.

3. Трофимов Ю. Л. Техническое творчество в САПР (психологические аспекты). К. Выща шк. : Издательство Киевского университета, 1989. 184 с.

4. Кудрявцев А. В. Методы интуитивного поиска технических решений (методы анализа проблем и поиска решений в технике). М. : Речной транспорт, 1991. 110 с.

5. Поспелов Д. А. Искусственный интеллект. В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник. М. : Радио и связь, 1990. 304 с.

6. Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. М. : Сов. радио, 1973. 444 с.

7. Лазарев И. А. Композиционное проектирование сложных агрегативных систем. М. : Радио и связь, 1986. 312 с.

8. Колесников Г. С. Моделирование сложных систем : учеб. пособие. М. : Изд-во МИРЭА, 1986. 95 с.

9. Якимович Б. А. Анализ эффективности и совершенствования перенастраиваемых производственных систем машиностроения : дис. ... д-ра техн. наук. Ижевск, 1994. 333 с.

10. Якимович Б. А., Коршунов А. И., Кузнецов А. П. Теоретические основы конструктивно-технологической сложности изделий и структур-стратегий производственных систем машиностроения: монография. Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2007. 280 с.

11. Пиликов Н. А., Юсупов Р. М. Пять уровней стандартизации в инженерной подготовке современного производства // Металлообработка. 2005. № 4 (22). С. 34–37.

12. ГОСТ Р ИСО 9000–2015. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. М. : Стандартиформ, 2015. 49 с.

13. ГОСТ Р ИСО 9004–2010. Менеджмент для достижения устойчивого успеха организации. Подход на основе менеджмента качества. М. : Стандартиформ, 2011. 41 с.

14. ГОСТ Р 56404–2015. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента. М. : Стандартиформ, 2015. 42 с.

15. Соломенникова С. И. Разработка информационно-аналитической подсистемы интеллектуальной поддержки высокотехнологического предприятия : дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2011. 180 с.

### References

1. Yakimovich B. A. (1994). *Analiz effektivnosti i sovershenstvovaniya perenalazhivaemykh proizvodstvennykh sistem mashinostroeniya* [Analysis of the effectiveness and improvement of reconfigurable manufacturing systems engineering]: Dr. Habil thesis. Izhevsk (in Russ.).

2. Yakimovich B. A., Repko V. N. (1999). *Proektirovanie tekhnicheskikh sistem na osnove analiza uporyadobchennykh vo vremeni kriticheskikh sostoyanii* [The design of a technical system based on analysis organized by time critical conditions]. Izhevsk: Izd-vo IzhGTU (in Russ.).

3. Trofimov Yu. L. (1989). *Tekhnicheskoe tvorchestvo v SAPR (psikhologicheskie aspekty)* [Technical creativity in CAD (psychological aspects)]. Kiev: Izdatel'stvo Kievskogo universiteta (in Russ.).

4. Kudryavtsev A. V. (1991). *Metody intuitivnogo poiska tekhnicheskikh reshenii (metody analiza problem i poiska reshenii v tekhnike)* [Methods of intuitive technical solutions (methods of analysis of problems and solutions in technology)]. Moscow: Rechnoi transport (in Russ.).

5. Pospelov D. A. (1990). *Iskusstvennyi intellekt. V 3 kn. Kn. 2. Modeli i metody: Spravochnik* [Artificial intelligence. In 3 vol. KN. 2. Models and methods: Handbook]. Moscow: Radio i svyaz' (in Russ.).

6. Buslenko N. P., Kalashnikov V. V., Kovalenko I.N. (1973). *Lektsii po teorii slozhnykh sistem* [Lectures on the theory of complex systems]. Moscow: Sov. radio (in Russ.).

7. Lazarev I. A. (1986). *Kompozitsionnoe proektirovanie slozhnykh agregativnykh sistem* [Compositional design of complex aggregate systems] Moscow: Radio i svyaz' (in Russ.).

8. Kolesnikov G. S. (1986). *Modelirovanie slozhnykh sistem: uchebnoe posobie* [Modeling of complex systems] Moscow: Izd-vo MIREA (in Russ.).

9. Yakimovich B. A. (1994). *Analiz effektivnosti i sovershenstvovaniya perenalazhivaemykh proizvodstvennykh sistem mashinostroeniya* [Analysis of the effectiveness and improvement of reconfigurable manufacturing systems engineering]: Dr. Habil thesis. Izhevsk (in Russ.).

10. Yakimovich B. A., Korshunov A. I., Kuznetsov A.P. (2007). *Teoreticheskie osnovy konstruktivno-tekhnologicheskoi slozhnosti izdelii i struktur-strategii proizvodstvennykh sistem mashinostroeniya: monografiya* [The theoretical basis of the constructive-technological complexity of products and structures-strategies production systems engineering: monography] Izhevsk: Izd-vo IzhGTU (in Russ.).

11. Polikov N. A. R. M. Yusupov (2005). *Five levels of standards in the engineering development of modern production* [Metalwork]: Saint-Petersburg: Publishing house of Polytechnic (in Russ.).

12. *Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozeniya i slovar', GOST R ISO 9000-2015* [The quality management system. Basic provisions and dictionary, State Standart R ISO 9000-2015], Moscow, Standartinform, 2015.

13. *Menedzhment dlya dostizheniya ustoichivogo uspekha organizatsii. Podkhod na osnove menedzhmenta kachestva, GOST R ISO 9004-2010* [Management to achieve sustainable success of the organization. Quality Management Approach, State Standart R ISO 9004-2010], Moscow, Standartinform, 2010.

14. *Berezhlivoe proizvodstvo. Trebovaniya k sistemam menedzhmenta, GOST R 56404-2015* [Economical production. Requirements to the systems of management, State Standart R 56404-2015], Moscow, Standartinform, 2015.

15. Solomennikova S. I. (2011). *Razrabotka informatsionno-analiticheskoi podsistemy intellektual'noi podderzhki vysokotekhnologichnogo predpriyatiya* [Development of information-analytical subsystem of intellectual support high-tech enterprises]: PdD thesis. Izhevsk (in Russ.).

\*\*\*

B. A. Yakimovich, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov ISTU

S. I. Solomennikova, PhD in Engineering, Associate Professor, Votkinsk branch of Kalashnikov ISTU

V. N. Syakterev, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

V. V. Suaktereva, PhD in Engineering, Kalashnikov ISTU

### From Productivity to Uncopy of Complex Technical Systems

*The paper considers the main stages of the life-cycle of complex technical system. The basic stages of "life cycle" of complex technical system are provided. The efficiency criterion complex is offered from positions of system concept, productivity, quality and cost 'work' at the certain stages of technical system "life cycle". It is shown that the transition from one stage to another forms "critical points" in which new properties of system might become apparent, allowing to approach reasonably improvement of both the system and manufactured products.*

*The approach proposed by the authors allows offering mechanism of efficient management of complex technical systems at all stages of its life cycle from the standpoint of system analysis. It is shown that the actual problem is the extension of the normative duration of the life-cycle of complex technical systems in conditions of high competition in industries. On the basis of the analysis, a conclusion is made about necessity of creation of complex technical systems, a copy of which and their manufactured products becomes impossible. For this purpose, in addition to well-known criterion like productivity, quality and costs, a new criterion of effectiveness – "uncopy" (something that cannot be copied) was stated to allow for prolonging the "life cycle" of complex technical systems provided that there is demand of output goods on the required scale.*

*The proposed approach "Evolution of criteria of efficiency of complex technical systems for productivity to uncopy" allows for proposing the mechanisms of effective controlling the technical system at all stages of its life-cycle from the point of view of the system analysis.*

**Keywords:** complex technical system, efficiency criterion, productivity, quality control, lean manufacturing, "uncopy" (something that cannot be copied).