

# **Оценка эффективности технологических процессов на предприятиях машиностроительной отрасли ЭКОНОМИКИ**

## **Evaluation of the efficiency of technological processes at enterprises of the machine-building sector of the economy**

УДК 62-1

Получено: 19.01.2022

Одобрено: 11.02.2022

Опубликовано: 25.03.2022

### **Анисимов В.Г.,**

Д-р техн. наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Санкт-Петербургского Политехнического университета им. Петра Великого  
e-mail: an-33@yandex.ru

### **Anisimov V.G.**

Doctor of Engineering, professor, Honored Scientist of the Russian Federation, professor at Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University  
e-mail: an-33@yandex.ru

### **Анисимов Е.Г.,**

Д-р техн. наук, д-р военных наук, профессор, заслуженный деятель науки Российской Федерации, профессор Российского университета дружбы народов,  
e-mail: an-33@rambler.ru

### **Anisimov E.G.**

Doctor of Engineering, professor, Doctor of Military Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor Peoples' Friendship University of Russia,  
e-mail: anis.an-33@rambler.ru

### **Веселко А.А.**

Канд. экон. наук, старший преподаватель кафедры таможенного дела Российского университета дружбы народов,

### **Veselko A.A.**

Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer of Customs Department, Peoples' Friendship University of Russia,  
e-mail: veselko-aa@rudn.ru

### **Пак А.Ю.**

Канд. экон. наук, доцент кафедры таможенного дела Российского университета дружбы народов,  
e-mail: ay.pak@yandex.ru

### **Pak A.Yu.,**

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Customs, Peoples' Friendship University of Russia,  
e-mail: ay.pak@yandex.ru

## **Аннотация**

В статье рассматривается методический подход к построению моделей оценки эффективности технологических процессов предприятий машиностроительной отрасли экономики с целью обоснования решений по модернизации этих процессов в интересах обеспечения устойчивости и конкурентоспособности этих предприятий в изменяющихся условиях их деятельности. При этом под эффективностью понимается степень использования возможностей, определяемых имеющимися материальными, нематериальными и временными ресурсами предприятия для достижения поставленных целей модернизации технологического процесса. При математической формализации обобщенного показателя эффективности учитывается случайный характер значений показателей, характеризующих достижение частных целей технологического процесса, обусловленный воздействием различных внешних и внутренних случайных факторов, влияющих на результаты отдельных технологических операций технологического процесса. Предлагаемый обобщенный показатель обеспечивает доминирующую оценку эффективности технологического процесса с учетом рисков.

**Ключевые слова:** машиностроительная отрасль экономики, технологический процесс производства, оценка эффективности, модель.

## **Abstract**

The article discusses a methodological approach to building models for assessing the effectiveness of technological processes of enterprises in the engineering industry of the economy in order to justify decisions on the modernization of these processes in the interests of ensuring the sustainability and competitiveness of these enterprises in the changing conditions of their activities. At the same time, efficiency is understood as the degree of use of opportunities determined by the available material, intangible and temporary resources of the enterprise to achieve the goals of modernizing the technological process. The mathematical formalization of the generalized performance indicator takes into account the random nature of the values of indicators characterizing the achievement of particular goals of the technological process, due to the influence of various external and internal random factors that affect the results of individual technological operations of the technological process. The proposed generalized indicator provides a dominant assessment of the effectiveness of the technological process, taking into account risks.

**Keywords:** engineering industry of the economy; technological process of production; efficiency mark; model.

## **Введение**

В настоящее время на предприятиях машиностроительной отрасли производства наметилась тенденция резкого возрастания интенсивности модернизации технологических процессов. С одной стороны, это обусловлено стремлением обеспечить конкурентоспособность предприятий в условиях ускорения научно-технического прогресса, а с другой – необходимостью их адаптации к изменению экономических, экологических, социальных и политических факторов, влияющих на производственные процессы [1-3].

Особую остроту необходимости модернизации технологических процессов предприятий машиностроительной отрасли Российской Федерации придает возрастание санкционного давления на ее экономику [4-6]. Формирование рациональных решений по модернизации технологических процессов базируется на оценке эффективности их альтернативных вариантов. При этом эффективность целесообразно рассматривать как степень использования возможностей, определяемых имеющимися материальными, нематериальными и временными ресурсами предприятия для достижения поставленных целей модернизации технологического процесса [7-10]. В настоящее время об эффективности технологических процессов, как правило, судят по результатам оценки

средних уровней целевых показателей. В качестве таких показателей могут в частности использоваться характеристики качества производимой предприятием продукции [11-15]. Вместе с тем, вследствие случайности результатов реализации технологического процесса такая оценка не вполне корректна. Поскольку не учитывает риски, связанные с воздействием различных внешних и внутренних случайных факторов, влияющих на результаты отдельных технологических операций технологического процесса [16-20]. Поэтому, в интересах повышения корректности оценки эффективности технологического процесса, необходимо иметь инструментарий, позволяющий учитывать случайный характер его результатов. Таким инструментарием могут служить соответствующие стохастические модели оценки. Разработка методического подхода к построению таких моделей является целью настоящей статьи.

## 2. Описание подхода

Формально достигнутые в результате реализации технологического процесса значения частных целевых показателей могут быть представлены матрицей

$$X = \|x_{ik}\|, \quad (0 \leq x_{ik} \leq 1), \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (1)$$

где  $x_{ik}$  – частное значение целевого показателя;

$i$ - идентификатор показателя;

$k$ - идентификатор производимого изделия;

$I$  – количество учитываемых целевых показателей технологического процесса;

$K$  – количество оцениваемых изделий.

Компоненты матрицы (1) в первом приближении определяются соотношением

$$x_{ik} = \frac{\sum_{n \in N_i} d_{nk}}{\sum_{n \in N_i} d_n}, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad (2)$$

где  $n$  – идентификатор технологической операции;

$N_i$  – множество технологических операций, влияющих на  $i$ -й целевой показатель;

$d_{nk}$  – значение частного показателя качества выполнения  $n$ -й, технологической операции при производстве  $k$ -го изделия;

$d_n$  – максимальное значение частного показателя качества выполнения  $n$ -й, технологической операции.

Достижение цели реализации технологического процесса состоит в обеспечении установленного уровня целевых показателей (1). Формально эта цель может быть представлена в виде множества условий:

$$\Omega = \{x_{1k} \geq x_1^A, x_{2k} \geq x_2^A, \dots, x_{Ik} \geq x_I^A\}, \quad k=1, 2, \dots, K, \quad (3)$$

где  $x_i^A$  ( $i=1, 2, \dots, I$ ) – минимально допустимые уровни частных целевых показателей технологического процесса.

С учетом принятых обозначений технологический процесс производства продукции предприятия можно представить в виде отображения  $Q$  распределения имеющихся материальных, нематериальных и временных ресурсов  $Z$  в множество  $X$  целевых показателей:

$$Q(Z) \Rightarrow X, \quad (4)$$

Если при этом

$$X \in \Omega, \quad (5)$$

то результаты рассматриваемого технологического процесса удовлетворяют установленным требованиям. Если же условие (5) не выполняется, то цели процесса не достигаются.

При установленном распределении материальных, нематериальных и временных ресурсов результаты реализации технологического процесса в общем случае не являются детерминированными. Это обусловлено множеством как объективных, так и субъективных факторов и проявляется в различии значений целевых показателей при конкретных реализациях оцениваемого технологического процесса [21-26]. Недетерминированность результатов рассматриваемого процесса формально может быть учтена рассмотрением матрицы  $X$  как выборки из генеральной совокупности

распределения многомерной случайной величины  $\hat{X}$  формируемых целевых показателей.

С учетом случайности формируемых в ходе реализации технологического процесса значений учитываемых частных показателей, достижение его цели характеризуется наступлением случайного события

$$\hat{X} \in \mathcal{C}. \quad (6)$$

Следовательно, оценивание эффективности технологического процесса заключается в определении вероятности того, что результаты его реализации обеспечивают достижение поставленных целей:

$$S = P(\hat{X} \in \mathcal{C}). \quad (7)$$

В общем случае определение значения показателя  $S$  связано с существенными аналитическими трудностями. Они обусловлены тем, что вероятность события (6) представляется как совместная вероятность наступления  $I$  взаимозависимых событий:  $\hat{x}_i \geq x_i^d$ , ( $i=1,2,\dots,I$ ). Задача несколько упрощается, если предположить, что события  $\hat{x}_i \geq x_i^d$ , ( $i=1,2,\dots,I$ ) независимы. При таком предположении оценка (7) эффективности технологического процесса принимает вид:

$$\bar{S} = \prod_{i=1}^I P_i(\hat{x}_i \geq x_i^d), \quad (9)$$

где  $P_i(\hat{x}_i \geq x_i^d)$  - вероятность наступления события  $\hat{x}_i \geq x_i^d$ .

Поскольку  $\bar{S} \leq S$ , то соотношение (8) характеризует нижнюю границу показателя эффективности рассматриваемого технологического процесса и, следовательно, принятое допущение о независимости частных показателей обеспечивает доминирование оценки эффективности по этому соотношению над оценкой по показателю (7).

Для определения вероятностей, входящих в соотношение (8), необходимо знать их функции распределения. Поскольку случайные величины  $\hat{x}_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) непрерывны и могут принимать значения в диапазоне ( $0 \leq x_i \leq 1$ ), то их функции распределения целесообразно строить в классе бэта-функций.

Бэта-распределение характеризуется плотностью вероятностей [1]

$$f(x_i) = \begin{cases} \frac{\Gamma(\alpha_i + \beta_i)}{\Gamma(\alpha_i)\Gamma(\beta_i)} x_i^{\beta_i - 1} (1 - x_i)^{\alpha_i - 1}, & 0 \leq x_i \leq 1, ; \\ 0, & -\infty < x_i < 0, \quad 1 < x_i < \infty, \quad i = 1, 2, \dots, I, \end{cases} \quad (9)$$

где  $\Gamma(\cdot)$  – гамма-функция.

Его математическое ожидание определяется соотношением

$$M[x_i] = \frac{\beta_i}{\alpha_i + \beta_i}, \quad (10)$$

а дисперсия – соотношением

$$\sigma_i^2 = \frac{\beta_i \alpha_i}{(\alpha_i + \beta_i)^2 (\alpha_i + \beta_i + 1)}. \quad (11)$$

Из (10) – (11) следует, что для идентификации распределения (9) для конкретного технологического процесса необходимо знать математические ожидания и дисперсии частных целевых показателей. Поскольку имеющаяся для оценки качества технологического процесса информация исчерпывается знанием элементов матрицы (1), то в качестве математических ожиданий и дисперсий случайных величин  $\hat{x}_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) целесообразно использовать их оценки, определяемые этой матрицей. При этом величина математического ожидания достигнутого уровня  $\hat{x}_i$   $i$ -й ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) показателя определяется соотношением

$$M[\hat{x}_i] \approx \frac{\sum_{k=1}^K x_{ik}}{K} = \bar{x}_i. \quad (12)$$

Дисперсия  $\sigma_i^2$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) достигнутого уровня  $\hat{x}_i$   $i$ -й ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) показателя определяется соотношением

$$\bar{\sigma}_i^2 = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K \{x_{ik} - M[\hat{x}_i]\}^2, \quad (i = 1, 2, \dots, I), \quad (13)$$

Подставив полученные значения математических ожиданий (12) в соотношение (10), а дисперсий (13) - в соотношение (11), для каждого  $i$ -го ( $i=1,2,\dots,I$ ) частного

показателя получим систему двух алгебраических уравнений с двумя неизвестными  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ . Разрешив ее относительно этих неизвестных, получим

$$\beta_i = \frac{A_i - \bar{\sigma}_i^2 (A_i + 1)^2}{\bar{\sigma}_i^2 (A_i + 1)^3}, \quad (14)$$

$$\alpha_i = A_i \beta_i, \quad (15)$$

где  $A_i = \frac{1 - M[\hat{x}_i]}{M[\hat{x}_i]}$ .

Параметры (14), (15) обеспечивают идентификацию функции (9) распределения случайных значений  $\hat{x}_i$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) частных целевых показателей технологического процесса. С учетом известной функции (9) вероятность события  $\hat{x}_i \geq x_i^H$ , ( $i = 1, 2, \dots, I$ ) определяется соотношением

$$P_i(\hat{x}_i \geq x_i^H) = 1 - \int_0^{x_i^H} f(x_i) dx_i. \quad (16)$$

С учетом (16) обобщенный показатель (8) эффективности технологического процесса принимает вид

$$\bar{S} = \prod_{i=1}^I [1 - \int_0^{x_i^H} f(x_i) dx_i]. \quad (17)$$

В целом полученные соотношения (1) – (17) представляют собой модель, позволяющую оценивать эффективность технологических процессов. Ее практическое применение позволяет обеспечить повышение обоснованности решений по модернизации этих процессов.

#### Литература

1. *Анисимов В.Г.* Стратегическое управление инновационной деятельностью: анализ, планирование, моделирование, принятия решений, организация, оценка.- Санкт-Петербург, 2017. - 312 с.

2. *Сауренко Т.Н.* Оптимизация параметрических рядов продукции предприятия с учетом случайности рыночного спроса // Журнал исследований по управлению. 2022. Т. 8. № 1. С. 10-16.

3. *Анисимов Е.Г.* Макромодель структурных изменений оборонно-промышленного комплекса // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2021. № 1 (116). С. 31-36.

4. *Гарькушев А.Ю., Селиванов А.А., Чварков С.В.* Сущность и проблемы управления обеспечением безопасности и обороной государства // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 3 (93). С. 3-10.

5. *Николаев Г.А., Сауренко Т.Н.* Методический подход к экспресс-оценке политической и военно-политической обстановки // Вестник Академии военных наук. 2021. № 3 (76). С. 60-68.

6. *Сауренко Т.Н., Чварков С.В.* Экономическая политика в системе национальной безопасности российской федерации // Национальные приоритеты России. 2016. № 3 (21). С. 22-32.

7. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Черныш А.Я.* Эффективность инвестиций. Методологические и методические основы.- Москва: Военная Ордена Ленина, Краснознамённая, Ордена Суворова Академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации, 2006.- 123 с.

8. *Тебекин А.В.* Методический подход к моделированию процессов формирования планов инновационного развития предприятий // Журнал исследований по управлению. 2019. Т. 5. № 1. С. 65-72.

9. *Чварков С.В.* Модель и алгоритм оптимизации решений по технической подготовке предприятия к выполнению государственного оборонного заказа // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2020. № 4. С. 5-11.

10. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Босов Д.Б.* Сетевые модели и методы ресурсно-временной оптимизации в управлении инновационными проектами.- Москва, 2006.- 117 с.

11. *Сауренко Т.Н.*, Концептуальные положения оценки эффективности инновационного развития компании // Экономические стратегии ЕАЭС: проблемы и инновации: сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции. – Москва: Российский университет дружбы народов. 2019. С. 217-234.
12. *Тебекин А.В.* Способ формирования комплексных показателей качества инновационных проектов и программ // Журнал исследований по управлению. 2018. Т. 4. № 11. С. 30-38.
13. *Тебекин А.В.* Методика сравнительной оценки инновационных проектов по совокупности количественных показателей // Журнал исследований по управлению. 2019. Т. 5. № 5. С. 84 - 90.
14. *Тебекин А.В.* Модель сравнительной оценки инновационных проектов по совокупности качественных показателей // Журнал исследований по управлению. 2019. Т. 5. № 4. С. 77-83.
15. *Анисимов В.Г.* Анализ и оценивание эффективности инвестиционных проектов в условиях неопределенности. Москва: Военная академия Генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации; 2006. 288 с.
16. *Зегжда П.Д.* Методический подход к построению моделей прогнозирования показателей свойств систем информационной безопасности // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2019. № 4. С. 45-49.
17. *Песчанникова Е.Н.* Стохастическая модель динамики частных показателей технических инноваций // Журнал исследований по управлению. 2021. Т. 7. № 1. С. 36-43.
18. *Гапов М.Р., Сауренко Т.Н.* Модель поддержки принятия решений при формировании товарной стратегии и производственной программы предприятия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2016. № 2. С. 62-73.
19. *Черныш А.Я.* Стохастическая модель оценки сроков окупаемости инвестиций в инновационные проекты // Журнал исследований по управлению. 2022. Т. 8. № 1. С. 3-9.
20. *Чварков С.В.* Обоснование путей обеспечения устойчивости планов инновационного развития оборонно-промышленного комплекса // Военная мысль. 2019. № 7. С. 114-119.
21. *Ковальчук А.М., Романюта А.Е., Сазыкин А.М.* Оценка эффективности перспективного вооружения и военной техники на основе натуральных испытаний // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2022. № 1 (121). С. 42-46.
22. *Ковальчук А.М., Романюта А.Е.* Методический подход к оценке надежности циклически применяемых сложных технических систем // Журнал технических исследований. 2021. Т. 7. № 4. С. 57-62.
23. *Черныш А.Я.* Оценка эффективности перспективных автоматизированных информационно-управляющих систем военного назначения на основе натуральных испытаний // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2022. № 1. С. 37-41.
24. *Зегжда П.Д.* Модели и метод поддержки принятия решений по обеспечению информационной безопасности информационно-управляющих систем // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2018. № 1. С. 43-47.
25. *Сазыкин А.М., Ковальчук А.М., Романюта А.Е.* Методический подход к оценке надежности вооружения и военной техники на основе ограниченного объема натуральных испытаний // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2022. № 3-4 (165-166). С. 95-98.
26. *Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Мартыщенко Л.А., Шатохин Д.В.* Методы оперативного статистического анализа результатов выборочного контроля качества промышленной продукции.- Санкт-Петербург, Тула: Международная академия информатизации.- 2001.- 72 с.