

Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. № 4 (166). С. 32-39.
Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 4 (166). P. 32-39.

Научная статья
УДК 621.9:67.02+658.562
doi: 10.30987/2223-4608-2025-4-32-39

Научноёмкие технологии, обеспечивающие повышение производительности и надёжности изделий машиностроения

Виктор Иванович Бутенко¹, д.т.н.
Валерий Александрович Лебедев², к.т.н.
Роман Геннадьевич Кадач³, аспирант

^{1, 2, 3} *Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Россия*

¹ butenkowiktor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9260-1030>

² va.lebidev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1838-245X>

³ rkad925@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0000-000-0000>

***Аннотация.** Представлена методика экономической оценки внедрения на предприятиях машиностроения научноёмких технологий обработки деталей различного назначения из труднообрабатываемых сталей и сплавов. Показано, что общий экономический эффект от использования в производственных процессах научноёмких технологий складывается из прямого и дополнительного эффектов. Прямой экономический эффект может быть получен за счёт оптимизации режимов и изменения условий обработки деталей, повышения стойкости используемого металлорежущего инструмента и совершенствования технологической системы в целом путём повышения её надёжности и виброустойчивости. Для достижения прямого экономического эффекта предложено использовать в технологических процессах обработки деталей и заточки металлорежущего инструмента йодосодержащие средства, а также подачу в зону контакта инструмента и обрабатываемой поверхности детали охлажденно-ионизированного воздуха. Дополнительный экономический эффект может быть получен как за счёт повышения качества обработанной поверхности детали, так и совершенствования организационно-технологических мероприятий при проведении ремонтных работ, техническом обслуживании и выполнении регламентных работ в процессе эксплуатации изделий машиностроения. Рассмотрены основные составляющие дополнительного экономического эффекта и приведена методика их определения. На основе анализа разработанной методики экономической оценки эффективности научноёмких технологий обработки деталей и её апробации на ряде предприятий машиностроения авторы утверждают, что использование её даёт расчётные данные, сопоставимые с действительно получаемым эффектом, и может быть применена в любом типе производства, в том числе при ремонте машин.*

Ключевые слова: изделие машиностроения, деталь, технология, экономический эффект, инструмент, поверхностный слой, работоспособность

Для цитирования: Бутенко В.И., Лебедев В.А., Кадач Р.Г. Экономическая оценка эффективности внедрения научноёмких технологий обработки деталей в машиностроительное производство // Научноёмкие технологии в машиностроении. 2025. № 4 (166). С. 32–39. doi: 10.30987/2223-4608-2025-4-32-39

High-tech technologies for the improvement of the productivity and reliability of mechanical engineering products

Viktor I. Butenko¹, D. Eng.

Valery A. Lebedev², Ph.D. Eng.

Roman G. Kadach³, PhD student

^{1, 2, 3} Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia

¹ butenkowiktor@yandex.ru

² va.lebedev@yandex.ru

³ rkad925@mail.ru

Abstract. Economics evaluation method of high-tech technologies application for part process of various purpose made of hard-to-machone steel or alloys at machine-building enterprises is presented. It is shown that the overall economic effect of using high-tech technologies in production processes consists of direct and additional effects. Direct benefits can be obtained by optimizing the modes and changing the conditions of machining parts, increasing the durability of the used metal-cutting tool and improving the manufacturing system as a whole by increasing its reliability and vibration resistance. To achieve direct benefits, it is proposed to use iodine-containing agents in the machining parts processing procedure and metal-cutting tool sharpening, as well as the supply of cooled ionized air both to the contact zone of the tool and the surface of the part. Additive effect can be obtained both by improving the quality of the machined surface of the part, and by perfecting organizational and technological measures during repair work, maintenance and routine maintenance within the operation of mechanical engineering products. The main components of the additive economic effect are viewed and the technique for their determination is given. Based on the analysis of the developed technique for the economics evaluation for high-tech technologies in part process together with its testing at a number of machine-building enterprises, the authors prove that its use provides calculated data comparable to the actual benefits, and can be applied in any type of production, including machine maintenance.

Keywords: mechanical engineering product, part, technology, benefits, tool, surface layer, operability

For citation: Butenko V.I., Lebedev V.A., Kadach R.G. High-tech technologies for the improvement of the productivity and reliability of mechanical engineering products / Science intensive technologies in mechanical engineering. 2025. № 4 (166). P. 32–39. doi: 10.30987/2223-4608-2024-4-32-39

Введение

Научно-технический прогресс в современном машиностроительном производстве, вызванный широким внедрением наукоёмких технологий, предусматривает не только повышение надёжности и работоспособности создаваемых изделий, но и предъявляет высокие требования к затратам на их изготовление и эксплуатацию [1 – 3]. В связи с этим на предприятиях машиностроения актуальной является проблема изготовления и эксплуатации деталей из труднообрабатываемых сталей и сплавов, вызванная особенностями их структуры и фазовых превращений при повышенных температурах [4, 5].

В настоящее время разработаны инновационные наукоёмкие технологии обработки деталей из хромоникелевых и высокомарганцовистых сталей и сплавов, позволяющие существенно повысить стойкость используемых металлорежущих инструментов и улучшить качество обработанных поверхностей деталей [4]. Однако, как показывают исследования, в

практике работы предприятий машиностроения при использовании разработанных технологий возникают трудности в оценке не только прямого (действительного) экономического эффекта от их внедрения, но и в определении дополнительного (ожидаемого) эффекта от повышения работоспособности деталей машин [6 – 8].

Методика экономической оценки эффективности наукоёмких технологий

В основу экономической оценки эффективности внедрения в машиностроительное производство наукоёмких технологий изготовления и эксплуатации деталей положен расчётно-экспериментальный метод с проведением подконтрольной эксплуатации изделий машиностроения [9, 10]. В общем случае экономическая оценка эффективности наукоёмких технологий обработки деталей на предприятиях машиностроения может быть осуществлена путём расчёта суммарного эффекта Э, складывающегося из прямого

(действительного) эффекта \mathcal{E}_1 , вызванного внедрением в производство рекомендуемых мероприятий, и дополнительного (ожидаемого) эффекта \mathcal{E}_2 , обусловленного повышением работоспособности обработанных деталей и, как следствие, увеличение срока службы изделий машиностроения:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2. \quad (1)$$

Данные для расчёта прямого эффекта \mathcal{E}_1 могут быть получены в результате проведения экспериментальных исследований предлагаемых нововведений в технологический процесс обработки детали, а для расчёта дополнительного эффекта \mathcal{E}_2 рекомендуется организация и проведение подконтрольной эксплуатации изделий машиностроения с использованием соответствующих статистических или справочных данных.

Экономическая оценка прямого (действительного) годового эффекта

Методика определения прямого годового экономического эффекта \mathcal{E}_1 основывается на сопоставлении приведённых затрат по существующим технологиям или процессам \mathcal{Z}_6 и разработанным наукоёмким \mathcal{Z}_3 , приуроченным к расчётному году:

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{Z}_6 - \mathcal{Z}_3. \quad (2)$$

В общем виде величина приведённых затрат \mathcal{Z}_i находится в соответствии с существующими методиками определения экономической эффективности использования в машиностроении новой техники и технологий [1, 6, 10]:

$$\mathcal{Z}_i = C_i + E_n \cdot K_i, \quad (3)$$

где C_i – себестоимость изделия (детали или машины), включая стоимость материалов, амортизацию и затраты как живого, так и овеществлённого труда; K_i – стоимость капитальных затрат на единицу изготавливаемого изделия (детали или машины); E_n – нормативный коэффициент окупаемости дополнительных капитальных вложений.

Конкретизируя выражение (3) для определения приведённых затрат \mathcal{Z}_i в случае механической обработки детали с учётом затрат на эксплуатацию инструмента, можно записать:

$$\mathcal{Z}_i = a_m + a_b + \frac{I + C_n + n_n}{T(n_n + 1)} + \frac{E_n \cdot K_i}{\Phi}, \quad (4)$$

где a_m, a_b – минутные затраты на работу оборудования (машинное время) и вспомогательное время на операцию, связанное с подготовительными работами и обслуживанием оборудования и оснастки; C_n – стоимость одной переточки инструмента; n_n – допустимое количество переточек инструмента; Φ – годовой фонд времени работы оборудования; I – начальная стоимость инструмента; T – срок окупаемости.

Практикой работы машиностроительных предприятий установлено, что величина приведённых затрат \mathcal{Z}_i , зависящая от элементов режимов резания, может изменяться от значений, допускаемых мощностью станка $N_{\text{доп}}$

$$\mathcal{Z}_N = \frac{\mathcal{Z}_p^N \cdot m_T}{1 - m_T} \left(\frac{v_N}{v_T} \right)^{\frac{1}{m_T}} + \frac{E_n \cdot K_i}{\Phi}, \quad (5)$$

до значений, соответствующих минимально допустимой нормированной стойкости используемого инструмента $T_{\text{доп}}$

$$\mathcal{Z}_T = \frac{\mathcal{Z}_p^T \cdot x_v}{1 - x_v} \left(\frac{T_N}{T} \right)^{\frac{1}{x}} + \frac{E_n \cdot K_i}{\Phi}, \quad (6)$$

где \mathcal{Z}_p – переменные минутные затраты работы оборудования; v_T – скорость резания, допускаемая нормированной стойкостью инструмента $T_{\text{доп}}$; T_N – стойкость инструмента, соответствующая допустимой мощностью станка $N_{\text{доп}}$; m_T, x_v – показатели степеней в формуле зависимости стойкости инструмента от элементов режима резания [11].

Тогда прямой (действительный) экономический эффект \mathcal{E}_1 , получаемый от внедрения в производство наукоёмкой технологии, направленной на оптимизацию показателей качества поверхностного слоя детали и повышение производительности обработки, или способа заточки металлорежущего инструмента, повышающего его стойкость, определится по формуле

$$\Delta_1 = \left(\sum_{j=1}^m 3_j (t_{шт})_j - \sum_{i=1}^n 3_i (t_{шт})_i \right) \cdot k_n, \quad (7)$$

где $3_j, 3_i$ – общие минутные приведённые затраты соответственно для j -го и i -го сравниваемых вариантов технологий; $(t_{шт})_j, (t_{шт})_i$ – штучное время обработки детали соответственно для j -го и i -го сравниваемых вариантов технологий; m, n – количество операций по каждому сравниваемому варианту технологии или процесса; k_n – коэффициент приращения, учитывающий народнохозяйственную неравномерность доходов, получаемых от использования результатов внедрения новой техники в разное время [1, 7].

В работе [12] дана технико-экономическая оценка эффективности использования йодосодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств при выполнении сверлильных операций, показавшая возможность увеличения производительности обработки и улучшения качества поверхностей деталей резанием. Применение в процессе заточки металлоорежущего инструмента охлаждённо-ионизированного воздуха или йодосодержащих средств [13] также обеспечивает прямой экономический эффект за счёт существенного повышения стойкости инструмента.

Экономическая оценка дополнительного (ожидаемого) эффекта

Помимо увеличения стойкости металлоорежущего инструмента и оптимизации режима обработки, целью внедрения наукоёмких технологий является повышение ресурса и надёжности изделий машиностроения за счёт улучшения показателей качества поверхностного слоя деталей. В результате снижаются эксплуатационные затраты, связанные с техническим обслуживанием и ремонтами машины, вызванные, например, износом её деталей.

Структурная схема расчёта экономической эффективности от повышения износостойкости поверхностей деталей при технологическом обеспечении показателей качества поверхностного слоя приведена на рис. 1, согласно которой ожидаемый дополнительный (ожидаемый) годовой экономический эффект Δ_2 определяется сокращением затрат на

обслуживание и ремонт машины Δ'_2 и осуществлением ею функциональных действий Δ''_2 за увеличенный срок службы $T''_{сл}$:

$$\Delta_2 = \Delta'_2 + \Delta''_2. \quad (8)$$

Согласно структурной схеме на рис. 1 годовые текущие затраты Δ'_2 , входящие в состав затрат на обслуживание и ремонт машины, делятся на две группы: затраты, зависящие от повышения срока службы изделия $T''_{сл}$ в результате внедрения наукоёмких технологий или процессов $C_{эф}$, и затраты, не зависящие от $T_{сл}$ (капитальные затраты) $K_{эф}$.

Годовые текущие затраты $C_{эф}$, связанные с внедрением эффективных наукоёмких технологий и направленные на увеличение срока службы машины $T''_{сл}$, могут быть представлены следующим образом [15]:

$$C_{эф} = \frac{(C_a + C_{тр} + C_{то} + C_{ни})}{N}, \quad (9)$$

где C_a – амортизационные отчисления на реновацию и капитальный ремонт машины; $C_{тр}$ и $C_{то}$ – плановые затраты на текущий ремонт и техническое обслуживание машины, включая проведение регламентных работ; $C_{ни}$ – суммарные годовые затраты на неучтённые работы, связанные, например, с испытанием машины; N – число изделий (деталей или машин), при изготовлении которых были использованы наукоёмкие технологии.

Срок службы машины после его повышения $T''_{сл}$ определится по формуле

$$T''_{сл} = \frac{T_{сл} \cdot T''_{г}}{n_u \cdot T'_{г}}, \quad (10)$$

где $T_{сл}$ – срок службы (ресурс) машины до внедрения наукоёмкой технологии обработки деталей; $T'_{г}, T''_{г}$ – годовой фонд времени работы машины до и после повышения его срока службы:

$$T''_{г} = T'_{г} + \Delta T''_n, \quad (11)$$

где $\Delta T''_n$ – дополнительный фонд времени эксплуатации машины повышенной надёжности и ресурса:

$$\Delta T_n'' = T_n'' - T_n', \quad (12)$$

где T_n' , T_n'' – время простоя машины в ремонтах, техническом обслуживании и при выполнении регламентных работ в течение года соответственно до и после повышения её ресурса:

$$T_n = \frac{T_{з(в)} \cdot T_{\Gamma}'}{T_{\text{пер}}}, \quad (13)$$

где $T_{з(в)}$ – среднее время замены или восстановления деталей в транспортном средстве; $T_{\text{пер}}$ – периодичность замены деталей или восстановления деталей в транспортном средстве.

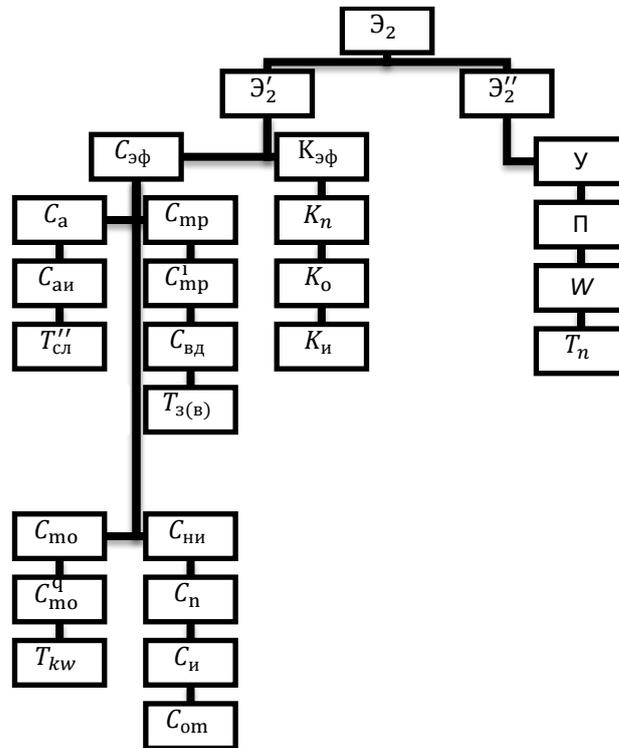


Рис. 1. Структурная схема дополнительного эффекта \mathcal{E}_2 , обусловленного повышением износостойкости поверхностей деталей машин

Fig. 1. Block diagram of the addition \mathcal{E}_2 effect due to increased wear resistance of machine parts surfaces

Годовые затраты на текущий ремонт (плановый и неплановый) изделия машиностроения $C_{\text{тр}}$ складываются из затрат на замену или восстановление i -х деталей в год:

$$C_{\text{тр}} = \frac{\sum_{i=1} C_{\text{т.р}}^i \cdot T_{\Gamma}'}{T_{\text{пер}}}, \quad (14)$$

где $C_{\text{т.р}}^i$ – затраты на каждый вид работы, связанной с текущим или капитальным ремонтом машины; i – число деталей, отказавших в эксплуатируемой машине за год.

Годовые затраты на техническое обслуживание изделия машиностроительного производства, включая проведение регламентных

работ, складываются из затрат на проведение q – 1, 2, 3... видов обслуживаний в год и определяется по формуле

$$C_T = \frac{\sum_{q=1}^l (C_{\text{то}}^q + 3_{\text{см}} + 3_{\text{вм}}) \cdot T_{\Gamma}'}{T_{\text{пер}}^{(m)q}}, \quad (15)$$

где $C_{\text{то}}^q$ – затраты на выполнение q -го технического обслуживания в год; $T_{\text{пер}}^{(m)q}$ – периодичность выполнения q -го технического обслуживания в год; $3_{\text{см}}$ – затраты на смазочные материалы; $3_{\text{вм}}$ – затраты на вспомогательные материалы (прокладки, уплотнения и т.д.); l – число видов обслуживания технического обслуживания транспортного средства в год.

Затраты по видам работ (осмотр, мойка, диагностирование, регулирование, смазка и т.д.), проводимых при техническом обслуживании, включая регламентные работы, определяются по формуле

$$C_{\text{то}}^q = \sum_{k=1}^p \sum_{w=1}^r C_{kw} \cdot T_{kw} + C_{\text{от}}, \quad (16)$$

где C_{kw} – тарифная ставка w -го рабочего при выполнении им k -го вида операции; T_{kw} – штучное время выполнения k -й операции технического обслуживания w -м рабочим; $C_{\text{от}}$ – затраты на использование необходимого оборудования, приспособлений, инструмента; p – число рабочих, выполняющих операции технического обслуживания; r – число операций в каждом виде технического обслуживания машины.

Суммарные годовые затраты на неучтённые работы, связанные с потребностями производственной системы в материальных ресурсах и испытанием изделия машиностроения $C_{\text{ни}}$, включающие затраты на изготовление приборов и устройств контроля показателей качества поверхностного слоя деталей $C_{\text{п}}$, инструментов $C_{\text{и}}$, испытательных стендов $C_{\text{от}}$ и т.д., могут быть получены в результате подконтрольной эксплуатации машины и рассчитаны по формуле [15]

$$C_{\text{ни}} = C_{\text{п}} + C_{\text{и}} + C_{\text{от}} + \dots \quad (17)$$

Годовые капитальные вложения $K_{\text{эф}}$, не зависящие от $T'_{\text{сл}}$ вычисляются по формуле

$$K_{\text{эф}} = K_{\text{п}} + K_{\text{о}} + K_{\text{и}}, \quad (18)$$

где $K_{\text{п}}$, $K_{\text{о}}$, $K_{\text{и}}$ – соответственно капитальные затраты на разработку и проектирование наукоемких технологий обработки деталей, изготовление дополнительной оснастки, испытание изделия машиностроения повышенной надёжности и долговечности.

Вторая составляющая дополнительного экономического эффекта \mathcal{E}''_2 находится из выражения

$$\mathcal{E}''_2 = Y' + Y'', \quad (19)$$

где Y' и Y'' – ущербы от простоя машины в ремонте, техническом обслуживании или при выполнении регламентных работ до и после внедрения наукоемких технологий, зависящие от структуры производственной системы и проводимых при внедрении инновационных технологий организационно-технических мероприятий [14].

Согласно структурной схеме дополнительного эффекта \mathcal{E}_2 (рис. 1) ущербы Y' и Y'' определяются прибылью Π от функционирования машины, числом рабочих W , не задействованных в получении этой прибыли, и временем простоя $T_{\text{п}}$, которые могут быть установлены при проведении подконтрольной эксплуатации машины.

Учитывая приведённые зависимости (7), (8), (18) определения составляющих дополнительного (ожидаемого) эффекта в год \mathcal{E}_2 , обусловленного увеличением ресурса N изделий машиностроения за счёт повышения у них качества обработанных поверхностей деталей и организационно-технологических мероприятий при проведении ремонтных работ, техническом обслуживании и выполнении регламентных работ в процессе эксплуатации, может быть рассчитана по формуле

$$\mathcal{E}_2 = \left(\frac{C_i(T''_{\text{сл}} - T'_{\text{сл}})}{T'_{\text{сл}}} + \mathcal{E}''_2 - E_{\text{н}} \frac{K_{\text{эф}}}{N} \right) N. \quad (20)$$

Представленная методика оценки экономической эффективности внедрения наукоемких технологий обработки деталей в машиностроительное производство, включая оптимизацию режимов обработки и применение новых способов заточки металлорежущего инструмента, прошла апробацию на ряде машиностроительных предприятиях Южного федерального округа. Полученные расчётные значения прямого \mathcal{E}_1 и дополнительного \mathcal{E}_2 экономических эффектов оказались сопоставимыми с реально полученными эффектами.

Выводы

1. Экономическая оценка эффективности наукоемких технологий обработки деталей машин должна проводиться по двум показателям: прямому \mathcal{E}_1 и дополнительному \mathcal{E}_2 экономическим эффектам. Расчёт прямого

экономического эффекта Δ_1 основывается на сопоставлении приведённых затрат по существующим технологиям или процессам и разработанным наукоёмким, приуроченным к расчётному году. Он может быть получен за счёт оптимизации режимов и изменения условий обработки деталей, повышения стойкости используемого металлорежущего инструмента и совершенствования технологической системы в целом путём повышения её надёжности и виброустойчивости. Дополнительный экономический эффект Δ_2 достигается как за счёт повышения качества обработанной поверхности детали, так и совершенствования организационно-технологических мероприятий при проведении ремонтных работ, техническом обслуживании и выполнении регламентных работ в процессе эксплуатации изделия машиностроения.

2. Предложенная методика расчёта дополнительного экономического эффекта Δ_2 обладает универсальностью, т.к. может быть применена как для оценки наукоёмких технологий, внедряемых в процесс обработки детали, так и изделия машиностроения в целом.

3. Данные, полученные в результате предварительного расчёта составляющих прямого Δ_1 и дополнительного Δ_2 экономических эффектов от внедрения в производство наукоёмких технологий обработки деталей, могут быть использованы как для прогнозирования целесообразности внесения их в технологический процесс, так и для определения эксплуатационно-технологических путей повышения ресурса (срока службы) изделий машиностроения в целом.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Чернова О.В.** Экономическая эффективность новой техники, технологии и организации производства: методические указания. Ковров: КГТА, 2011. 32 с.

2. **Сустина Т.А., Сафина Д.М.** Методика оценки экономической эффективности инвестиций во внедрение мероприятий бережливого производства // Российское предпринимательство. 2018. Т. 19. № 10. С. 3085–3094. doi.org/10.18334/rp.19.10.39490.

3. **Батьковский А.М., Кравчук П.В., Стяжкин А.Н.** Оценка экономической эффективности производства высокотехнологичной продукции инновационно-активными предприятиями отрасли //

Креативная экономика. 2019. Т. 13. №1. С. 115–128. doi.org/10.18334/ce.13.139738.

4. **Бутенко В.И., Дуров Д.С., Шаповалов Р.Г.** Наукоёмкие технологии создания высокоресурсных деталей машин. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2014. 404 с.

5. **Бутенко В.И.** Научные основы функциональной инженерии поверхностного слоя деталей машин. Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2017. 481 с.

6. **Яковлева Е.А.** Анализ экономической эффективности нововведений на основе стоимостного подхода // Креативная экономика. 2015. Т. 9. №11. С. 1385–1396. doi.org/10.18334/ce.9.11.2169.

7. **Румянцева Е.Е.** Новая экономическая энциклопедия. М.: ИНФРА-М, 2008. 826 с.

8. **Уколов А.И.** Оценка рисков: учебник. М.: Директив-Медиа, 2018. 627 с.

9. **Коган А.Б., Болдырев Н.П.** Теоретические аспекты эффективности экономических систем // Вестник Оренбургского государственного университета. 2016. № 58. С. 45–55.

10. **Экономическая эффективность технических решений:** учеб. пособие / С.Г. Баранчикова [и др.]; под общ. ред. Проф. И.В. Ершовой. Екатеринбург: Изд-во Урал. Ун-та, 2016. 140 с.

11. **Справочник технолога-машиностроителя:** в 2-х т. / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. М.: Машиностроение-1, 2001.

12. **Бутенко В.И., Куприк А.В.** Технико-экономическая оценка эффективности использования йодосодержащих смазочно-охлаждающих технологических средств при выполнении сверлильных операций // Фундаментальные основы физики, химии и механики наукоёмких технологических систем формообразования и сборки изделий: Сборник трудов международного научного симпозиума технологов-машиностроителей. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2022. С. 20–26.

13. **Бутенко В.И.** Применение йода и его соединений в процессах обработки и эксплуатации деталей машин. Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2023. 242 с.

14. **Скляренко В.К., Прудников В.М.** Экономика предприятия: учебник. М.: ИНФРА-М, 2009. 528 с.

15. **Терешина В.В.** Анализ потребности производственной системы в материальных ресурсах для оценки эффективности деятельности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ecsocman.hse.ru>.

REFERENCES

1. Chernova O.V. Economic efficiency of new equipment, technology and production organization: methodological guidelines. Kovrov: KGTA, 2011, 32 p.

2. Sustina T.A., Safina D.M. Methodology for assessing the economic efficiency of investments in the implementation of lean manufacturing measures// Russian

Entrepreneurship, 2018, vol. 19, no. 10, pp. 3085–3094. doi.org/10.18334/tp.19.10.39490

3. Batkovsky A.M., Kravchuk P.V., Styazhkin A.N. Evaluation of the economic efficiency of the production of high-tech products by innovative and active enterprises of the industry // Creative economy, 2019, vol. 13, no. 1. pp. 115–128. doi.org/10.18334/ce .13.139738.

4. Butenko V.I., Durov D.S., Shapovalov R.G. High-tech technology to create high-efficiency machine parts. Taganrog: SFU Publishing House, 2014, 404 p.

5. Butenko V.I. Scientific foundations of functional engineering of the machine parts of the surface layer. Rostov-on-Don: Publishing house of the DSTU Center, 2017, 481 p.

6. Yakovleva E.A. Analysis of the economic efficiency of innovations based on the cost approach // Creative economy. 2015, vol. 9, no. 11, pp. 1385–1396. – doi.org/10.18334/ce .9.11.2169.

7. Rumyantseva E.E. New Economic Encyclopedia. Moscow: INFRA–M, 2008, 826 p.

8. Ukolov A. I. Risk assessment: textbook. Moscow: Direct-Media, 2018. 627 p.

9. Kogan A.B., Boldyrev N.P. Theoretical aspect of economic systems effectiveness// Bulletin of Orenburg State University, 2016, No. 58, pp. 45–55.

10. Cost effectiveness of engineering solution: study guide / S.G. Baranchikova [et al]; under general editorship of Prof. I.V. Ershova. Yekaterinburg: Ural Un-ty, 2016, 140 pp.

11. Handbook of a machine-building technologist: in 2 volumes / edited by A.M. Dalsky, A.G. Kosilova, R.K. Meshcheryakov, A.G. Suslov. Moscow: Mashinostroenie-1, 2001.

12. Butenko V.I., Kuprik A.V. Technical and economic assessment of the effectiveness of using iodine-containing lubricating and cooling technological means when performing drilling operations // Fundamental principles of physics, chemistry and mechanics of high-tech technological systems for forming and assembling products: Proceedings of the international scientific symposium of engineering technologists. Rostov-on-Don: DSTU, 2022. pp. 20–26.

13. Butenko V.I. The use of iodine and its compounds in the pro-cessing and operation of machine parts. Rostov-on-Don: Publishing center of DSTU, 2023, 242 p.

14. Sklyarenko V.K., Prudnikov V.M. Enterprise economics: textbook. Moscow: INFRA-M, 2009, 528 p.

15. Tereshina V.V. Analysis of the production system demand for material resources for estimation of operational efficiency [Electronic resource]. – Access mode: <https://ecsocman.hse.ru>.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 23.01.2025; одобрена после рецензирования 16.02.2025; принята к публикации 19.02.2025.

The article was submitted 23.01.2025; approved after reviewing 16.02.2025; assepted for publication 19.02.2025.