

## ЭКОНОМИКА ЗНАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ

ОРИГИНАЛЬНАЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ СТАТЬЯ

JEL: O33; O14

УДК: 338.45:621, 311.21

EDN: KBUNPT

# Экономика технологий: эффективность, технико-экономические проблемы и особенности автоматизации в машиностроении

**А.П. Кузнецов**

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, <https://ror.org/00pb8h375>,  
Москва, Российская Федерация; e-mail: apk\_53@mail.ru

**Аннотация.** В статье с позиции методологии экономики технологий рассматриваются особенности формирования и обеспечения требуемого уровня автоматизации как машиностроительных производств, так и составляющих их функциональных систем. Выполнен анализ развития уровней автоматизации в парадигме технологических укладов и промышленных революций. Целью настоящего исследования является методологическое изучение и обоснование методов повышения эффективности и уровня автоматизации технологического оборудования, процессов, производств и предприятий. Методология изучения технологий и производств как энергоинформационной системы преобразований даёт возможность проводить обоснование форм и видов автоматизации в машиностроении на технико-экономическом уровне формирования их структур и типов взаимодействия. Приведён анализ содержания и сути показателей уровня автоматизации и методов оценки, представлены и обоснованы предложения по методологии изучения направлений эффективности автоматизации. Обоснованы и приведены примеры соотношений количественных оценок и эффектов изменения производительности и уровней значимости автоматизации для нового вида технологии и изменения составляющих времени технологического процесса.

**Ключевые слова:** экономика, технологии, машиностроение, автоматизация, эффективность

**Информация о финансировании:** Исследование выполнено без внешнего финансирования.

**Для цитирования:** Кузнецов, А.П. (2026). Экономика технологий: эффективность, технико-экономические проблемы и особенности автоматизации в машиностроении. *Экономика науки*, 12(1), 65–85. EDN: KBUNPT

## ECONOMICS OF KNOWLEDGE AND TECHNOLOGY

ORIGINAL RESEARCH ARTICLE

JEL: O33; O14

EDN: KBUNPT

# Economics of technology: efficiency, technical and economic problems and features of automation in mechanical engineering

**A.P. Kuznetsov**

Bauman Moscow State Technical University, <https://ror.org/00pb8h375>, Moscow, Russian Federation;  
e-mail: apk\_53@mail.ru

**Abstract.** This article examines the development and maintenance of the required level of automation in both mechanical engineering production and the functional systems that comprise them, using the methodology of technology economics. The article analyzes the evolution of automation levels within the paradigm of technological paradigms and industrial revolutions. The purpose of this study is to methodologically examine and substantiate methods for increasing the efficiency and level of automation of technological equipment, processes, production facilities, and enterprises. The methodology for studying technologies and production facilities as an energy-

information system of transformations makes it possible to substantiate the forms and types of automation in mechanical engineering at the technical and economic level of their structure and interaction types. The article analyzes the content and essence of automation level indicators and assessment methods, and presents and substantiates proposals for a methodology for studying automation efficiency trends. Examples of the relationships between quantitative assessments and the effects of productivity changes and automation significance levels for a new type of technology and changes in process time components are substantiated and provided.

**Key words:** economics, technology, mechanical engineering, automation, efficiency

**Funding:** This research received no external funding.

**For citation:** Kuznetsov, A.P. (2026). Economics of technology: efficiency, technical and economic problems and features of automation in mechanical engineering. *Economics of Science*, 12(1), 65–85. EDN: KBUHPT

## ВВЕДЕНИЕ

В современной экономической истории можно выделить пять последовательно сменяющихся друг друга длинных волн, называемых обычно по соответствующим им ключевым технологиям (Глазьев, 2012, с. 28; Глазьев, 2016, с. 21). В процессе экономической эволюции научно-технический прогресс, вклад которого в прирост ВВП передовых стран достигает 90%, обеспечивает поступательное развитие производительных сил и последовательный рост производительности труда и эффективности производства.

Учитывая большое количество видового разнообразия производимых изделий и их постоянный рост, в работе (Глазьев & Косакян, 2024, с. 15) особо указывается, что за разными продуктовыми позициями могут скрываться одни и те же технологии в разнообразных пропорциях и условиях применения.

В концепции сформулированного научного направления «экономика технологий» (Сухарев, 2024) отмечается, что в рамках анализа закономерностей научно-технологического развития на уровне микро- и мезоэкономических исследований и оценок необходимо разрабатывать методы достижения эффективности и производительности как на уровне отдельных технологий, так и на уровне предприятий или отраслей, что даёт возможность учёта их технологической специфики и особенностей, а на макроэкономическом уровне – анализа технологического развития на основе методов технологических укладов (Сухарев, 2025).

Технология представляет собой «обусловленные состоянием знаний и общественной эффективностью способы достижения целей, поставленных обществом» (Лем, 1968, с. 23).

А характеристика организационно-технологического принципа объединения сущностей позволила классифицировать этапы развития промышленного производства в виде наименований 1-й, 2-й, 3-й и 4-й промышленных революций (Шваб, 2016).

На всех этапах своего развития человечество стремилось создать орудия и механизмы, облегчающие труд. Станок – это машина, в которой полностью механизированы энергетические процессы и не полностью – информационные. Чтобы его превратить в автомат, надо дополнительно механизировать измерение изделия и механизировать процесс сравнения его фактических размеров с заданными. Иными словами, необходимо полностью механизировать все участки системы управления, включая участок, на котором происходят сбор и обработка информации непосредственно в процессе работы системы (Кобринский, 1967).

Автоматизация рассматривается как время, которое занимают функции человека в процессе производства. Автоматизация не является новой тенденцией, а представляет собой стремление избавиться от рутинного труда и занимает умы человечества, наверное, столько, сколько существуют потребности людей.

Приведем ряд дефиниций понятия «автомат» и автоматизация, определяющих саму логику их значения:

- «Автоматизированной машиной или машиной-автоматом мы называем машину, в которой механизированы также и операции управления» (Артоболевский, 1949);
- «Автомат – агрегат, представляющий собой систему механизмов и устройств

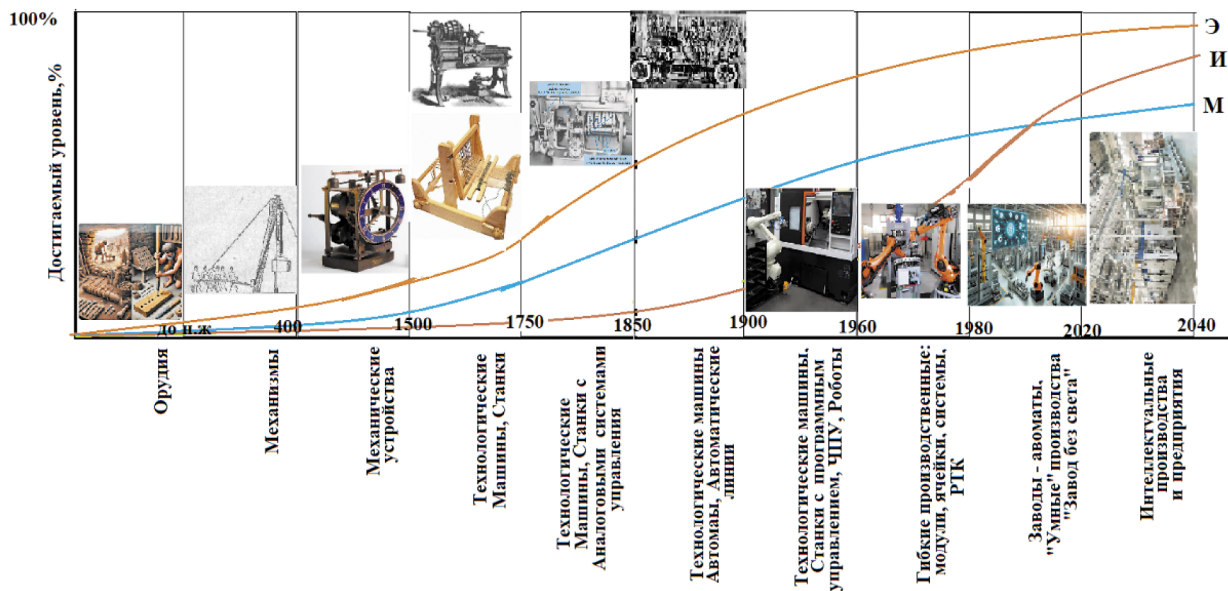
(электронных, электрических, пневматических, гидравлических), в которой полностью механизированы, то есть выполняются без непосредственного участия человека, процессы получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов и информации» – введен в 1962 г. академиком И.И. Артоболовским и профессором А.Е. Кобринским (Корендясев и др., 2006);

- «Автоматами» называются станки, осуществляющие обработку деталей с полностью автоматизированным циклом, для повторения которого не требуется вмешательство человека» (Богуславский, 1961);
- «Автоматизация есть совокупность мероприятий по разработке технологических процессов и созданию высокопроизводительных автоматически действующих средств производства, обеспечивающих непрерывный рост производительности труда на основе осуществления производственных

процессов без непосредственного участия человека» (Шаумян, 1961).

Наибольшая степень автоматизации в настоящее время достигается на автоматических линиях массового производства, а также в гибких производственных системах. Эти системы были разработаны для автоматического изготовления ряда различных деталей в рамках определенных семейств деталей, что является существенным ограничением для всеобъемлющей автоматизации и особенно в машиностроении.

В таком контексте изучения предлагаются градации этапов автоматизации (рисунк 1) для обеспечения потребностей, и достижения наивысших значений показателей с наилучшей эффективностью и производительностью, а уровень и степень автоматизации последовательно проходят этапы освобождения и/или дополнения функций к участию человека. Закономерности изменения, достигаемого удельного нормируемого уровня физических значений энергии (Э), материалов и скорости достижения из требуемых свойств (М),



**Рисунок 1.** Этапы автоматизации и достигаемый уровень эффективности процессов трансформации энергии (Э), скорости изменения свойств преобразуемого материала (М), информации в процессах производства (И)

**Figure 1.** Stages of automation and the achieved level of efficiency of the processes of transformation of energy (E), rate of change of the properties of the converted material (M), information in production processes (I)

Источник: разработано автором  
 Source: developed by the author

информации в управлении процессами и производств (И) приведены в работах (Кузнецов, 2024; Кузнецов, 2025a).

Из этого следует, что функции, которые выполняет человек, являются неотъемлемой частью производственной системы и в течение её развития переходят от самых простых функциональных видов воздействия, контроля и управления до максимально полного освобождения человека от этих функций.

Целью настоящего исследования является обоснование методов достижения эффективности и уровня автоматизации технологического оборудования, процессов, производств и предприятий. Для достижения поставленной цели разработана методология изучения технологий и производств как энергоинформационной системы преобразований, что даёт возможность проводить обоснование форм и видов автоматизации в машиностроении на технико-экономическом уровне формирования и особенностей их структур и типов взаимодействия.

### Технико-экономические проблемы автоматизации

Важным аспектом в направлениях повышения производительности труда является осознание того, что, как указывал К. Маркс, не «...всякое вообще изменение в процессе труда, сокращающее рабочее время, общественно необходимое для производства данного товара, так что меньшее количество труда приобретает способность произвести большее количество потребительной стоимости» (Маркс & Энгельс, 1960, с. 325).

В 2025 г. Международная организация труда (МОТ) опубликовала статистические данные<sup>1</sup> о производительности труда, измеряемой как объём производства на единицу затраченного труда и выражаемой в ВВП на одного занятого или на один отработанный час, позволяющие оценивать уровень производительности труда в разных странах, в том числе в России. По этому показателю Россия заметно отстает от большинства развитых государств, а в рейтинге

производительности труда МОТ Россия находится в конце пятого десятка стран-участниц. Производительность труда в России сейчас оценивается в пять-шесть раз ниже, чем в Германии или США, в которых высока степень роботизации производства.

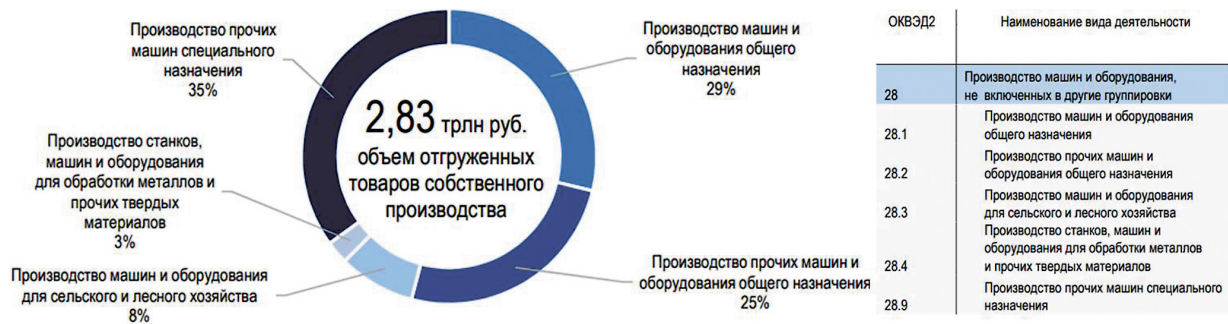
Показатель производительности труда определяется не только уровнем автоматизации, так как эффективность автоматизации не тождественна уровню автоматизации и требует соответствующей оценки и методов. Иначе можно прийти к *парадоксальному выводу* – *производительность труда* в виде объёма продукции на одного работающего на максимально автоматизированных предприятиях, например, на заводах-автоматах или «заводах без света» (на которых люди отсутствуют) *должна составлять бесконечно большую величину*. В этом и состоит «парадокс» *автоматизации*, так как элементы автоматизации – это не только роботы и иные подобные организационно-технико-технологические составляющие, которые освобождают человека от многих функций в процессе производства продукции. Экономические аспекты «парадокса» автоматизации и роста производительности и, в частности, такого показателя, как полная факторная производительность (англ. – total factor productivity) рассматривались в работе М.В. Дубовик и С.Г. Дмитриева (Дубовик & Дмитриев, 2023).

По данным Росстата, в 2024 г. объём выпуска машиностроительной продукции превысил 17 трлн. руб. (объём ВВП – 201 трлн. руб.), при работающих 439 тыс. чел. – абсолютный рекорд за последние 30 лет<sup>2</sup>.

Важнейшими машиностроительными отраслями промышленности являются: авиационная, судостроение, автомобилестроение, железнодорожное машиностроение, оборонно-промышленная, ракетно-космическая, энергетическое машиностроение, сельскохозяйственное машиностроение, двигателестроение, нефтегазовое машиностроение, химическое, станкостроение, приборостроение и электротехническая, подшипниковая и оптико-механическая.

<sup>1</sup> Международная организация труда (2025). <https://ilostat.ilo.org/topics/labour-productivity/> (дата обращения: 15.01.2026).

<sup>2</sup> Промышленное производство в России. (2025). Росстат. <https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225> (дата обращения: 15.01.2026).



**Рисунок 2.** Долевые соотношения долей производства машин и оборудования  
**Figure 2.** Share ratios of production shares of machinery and equipment

Источник: (Лола и др., 2025)  
Source: (Lola et al., 2025)

Производство машин и оборудования, по данным Росстата<sup>3</sup>, в 2024 г. составило 3,084 трлн. руб. При этом фундаментом развития всех машиностроительных отраслей является станкостроение, объём производства которого в 2024 г. составил 101,8 млрд. руб. (работающих – 42 тыс. чел., из них в производстве металлообрабатывающих станков – 9,2 тыс. чел.), из которых 54,7 млрд. руб. приходится на долю металлообрабатывающих станков (работающих – 9,2 тыс. чел.). Только около 40 предприятий и организаций специализируются на производстве станков, машин и оборудования для обработки металлов и других твердых материалов из числа организаций, специализирующихся на производстве машин и оборудования, не включённых в другие группировки. Повышение суверенитета и научно-технического уровня предприятий машиностроительного комплекса – одно из ключевых направлений их деятельности. Вклад машиностроительных отраслей в соответствии с ОКВЭД2 и их долевые соотношения приведены на рисунке 2.

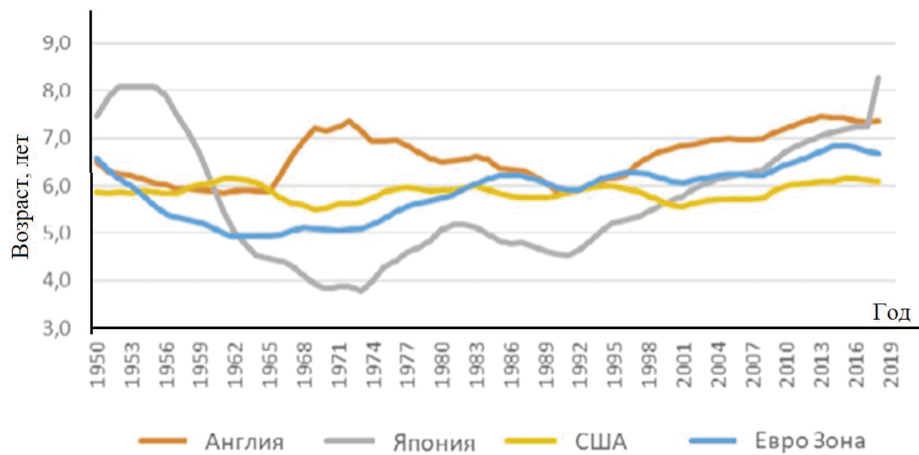
Современные машиностроительные производства, виды которых приведены выше, используют в своих организационно-технологических частях производства предприятия, созданные и в основном серийно выпускающие станки и технологическое оборудование (частично специализированные или специальные), конструктивные и типовые

ряды которых в настоящее время реализуют технологии, их принципы и методы, отраженные в классификациях (таблица 1), и формируются с учетом требований потребителей. Это также обеспечивает множество вариантов их структурно-организационного построения, сформированных разными факторами управления в виде комплексов, систем с различной долей человеческого функционала. При этом, как следует из данных рисунка 2, доля таких машин и оборудования составляет около 3% общего производства машин и оборудования или 0,05% ВВП России (лучшие показатели: Япония – 0,33% ВВП, Германия – 0,27% ВВП, Китай – 0,15% ВВП) (Кузнецов, 2025b).

Приведенные данные о скорости изменения технико-технологических характеристик обуславливают необходимость достаточно высокой скорости замены оборудования, которое технически, технологически и морально устаревает и снижает, в том числе, конкурентоспособность, что напрямую определяет технико-экономические показатели производств и, в первую очередь, их производительность и эффективность. В качестве примера приведём динамику частоты замены оборудования в 1950–2020 гг. (рисунок 3).

Приходится констатировать, что в СССР коэффициент обновления фондов машиностроительных предприятий в 70-х гг. составлял 12,7%, в 1985 г. он снизился до 6,6%, а к 1998 г. – до 0,4%. Несмотря на то, что позднее отмечался рост темпов обновления, достичь значений времён СССР отрасли пока не удалось.

<sup>3</sup> Промышленное производство в России. (2025). Росстат. <https://www.rosstat.gov.ru/folder/210/document/13225> (дата обращения: 15.01.2026).



**Рисунок 3.** Средний возраст основных средств производства  
**Figure 3.** Average age of productive assets

Источник: (Попов, 2021)  
Source: (Popov, 2021)

Кроме направления автоматизации, создание технологий на новых физических принципах и совершенствование существующих до уровня максимально достижимых физических пределов (Кузнецов, 2024) для повышения производительности являются одной из существенно значимых задач. Развитие знаний о процессах, технологиях, методах трансформации материалов, энергии и информации, как отмечалось, базируется в настоящее время на созданных классификациях (таблица 1) и закономерностях формирования технологий и методов, реализуемых всеми машиностроительными предприятиями в разных пропорциях и объёмах применения, что определяется факторами объекта производства и иными составляющими.

Это позволяет судить о множестве возможных вариантов построения производственных систем (Кузнецов, 2024) и, следовательно, возникают задачи не только их выбора, но и оценки показателей производительности и эффективности для принятия оптимальных или рациональных решений в области создания, модернизации, развития и исследований.

### Методология. Особенности автоматизации и методов их оценки

Автоматизация может дать необходимый эффект только тогда, когда основные производственные процессы и технические системы

проектируются с учетом требований автоматизации. Таким образом, одной из существующих задач является разработка методов оценки и обоснования направлений комплексной автоматизации производства, систематизация и обобщение которых приведены в таблице 2.

Эффективность автоматизации обусловлена несколькими источниками. Одним из них является увеличение производительности самого оборудования, так как известно, что наибольший эффект получается при переходе к новому высокопроизводительному технологическому процессу, но и при автоматизации на существующей базе оборудования может увеличивать производительность на 1–5%, иногда и больше. Вторым источником эффективности является экономия материалов и энергии. Третьим комплексным источником эффективности является уменьшение «неупорядоченности» производства за счет движения информации о ходе производственного процесса и ее использования для управления.

Не существует простого и однозначного способа сделать автоматизацию ориентированной на человека, применимой во всех областях и видах работ. Различные процессы и области производств по-разному расставляют приоритеты в отношении гибкости, скорости и других характеристик, что требует особого внимания к выбору подходящего типа автоматизации.

**Таблица 1.** Характеристики и принципы классификация технологий и технологических процессов  
**Table 1.** Characteristics and principles of classification of technologies and technological processes

Классификация	Принцип классификации	Критерий классификации
Стандарт. DIN8580 Производственные процессы. Термины и классификация. (Германия), 1963,1974,1985,2003,2020,2022 гг.	6 групп процессов (154 технологии или метода) обработки: – первичное формообразование (27 методов); – пластическое формообразование (20 методов); – отделение материала (39 методов); – соединение (31 метод); – нанесение покрытий и финишная обработка (19 методов); – изменение свойств материала (18 методов).	Формообразование Изменение свойства материалов
Де Гармо (E. Paul DeGarmo, J T. Black, Ronald A. Kohser), (США), 1984 г.	7 групп процессов (технологий) обработки: – литье или прессование; – формоизменение или резка; – обработка (удаление материала); – термообработка; – финишная обработка; – сборка; – контроль.	Литье Формоизменение Свойства материала
Тодд (Todd R.H., Allen K., Altling L.), (США), 1993 г.	6 групп процессов формообразования: – уменьшение массы; – тепловое уменьшение массы; – химическое уменьшение массы; – сохранение массы; – объединение; – соединение. 4 группы процессов обработки поверхности: – упрочнение; – размягчение; – подготовка поверхности; – нанесение покрытий.	Форма: Изменяется; Не меняется.
Национальный исследовательский совет NRC, (США), 1995 г.	5 групп физических процессов: – изменения массы; – фазовых изменений; – структурных изменений; – деформирования; – объединения.	Физическое изменение
Эшби М.Ф. (M.F. Ashby), (Великобритания), 2005 г.	4 группы процессов (технологий) обработки: – процессы первичного формообразования; – процессы вторичного формообразования; – соединение; – финишная обработка.	Последовательность процессов преобразования материала
Калпакян (Kalpakjian S, Schmid S.R.), (США), 2009 г.	6 группы процессов (технологий) обработки: – литье – формование и формообразование – обработка (механическая) – соединение – отделка – микро- и нанообработка	Первичные и вторичные процессы
Кузнецов А.П. (Kuznetsov A.P.), (Россия), 2015 г.; Кузнецов А.П., Кориат Г-И. (Kuznetsov A.P., Koriath H.-J.), (Россия, Германия), 2018 г.	Физические явления, эффекты, процессы, структура взаимодействий видов и форм материи, энергии и информации: – Классы (группы) технологий – 8; – Виды возможных технологических процессов (методов) – 142980.	Изменения массы, размеров, формы, объема свойств, структуры и состояний материалов

Источник: разработано автором  
 Source: developed by the author

**Таблица 2.** Методы оценки производительности труда и технико-экономических показателей автоматизации**Table 2.** The methods for assessing labor productivity and technical and economic indicators of automation

Автор, год	Функция, зависимость	Параметры
Кобб Ч., Дуглас П., 1928 г.	$Y = A \cdot K^\alpha \cdot L^\beta$	Y – Объем выпуска; K – Количество капитала; L – Количество труда; A – коэффициент пропорциональности; $\alpha, \beta$ – Показатели степени ( $\alpha + \beta = 1$ )
Шаумян Г.А., 1967 г., 1973 г.	$A = \frac{W}{T} = \frac{Q_e \cdot N}{T}$ ; $A = \frac{Q_e \cdot N}{T} = \frac{Q_e \cdot N}{T_p + N(T_h + T_v)}$ ; $A_h = \frac{Q_e}{T_h}$ ; $A = A_h \cdot \frac{1}{(k/N) + m + 1}$ ; $T = T_p + N \cdot (T_h + T_v) =$ $= T_h \cdot [\frac{T_p}{T_h} + N \cdot (\frac{T_v}{T_h} + 1)] =$ $= T_h \cdot [k + N \cdot (m + 1)]$	$A[\frac{шт.}{чел. \cdot час}, [\frac{шт.}{руб.}], [\frac{руб.}{руб.}]$ – Производительность труда; $Q_e$ – Годовой объем выпуска; $A_h$ – Производительность живого труда; $k = T_p / T_h$ – Коэффициент технической вооруженности живого труда; $m = T_v / T_h$ – Коэффициент энергоматериалоёмкость живого труда; W – Годовой выпуск за срок службы; N – Срок службы техники; T – Суммарные трудовые затраты для выпуска продукции; $T_p$ – Единовременные затраты для выпуска продукции, оборудование, сооружения ...); $T_h$ – Затраты живого труда (рабочая сила); $T_v$ – Затраты прошлого труда (предметы труда: материалы, инструменты, энергия...)
Трапезников В.А., 1971 г., 1983 г.	$b = a \cdot \sqrt{Y \cdot \Phi}$	b – Производительность труда (выработка, руб./чел.); $\Phi$ – Фондовооруженность, руб./чел.; Y – Уровень знаний, руб./чел.; a – коэффициент
Кохно Н.П., 1998 г.	$\Pi = \frac{Q}{T}; Y = \frac{Q}{T_{жс}} \cdot \frac{Q}{T_n}$ ; $Q = (\sqrt{\frac{Q}{T_{жс}} \cdot \frac{Q}{T_n}}) \cdot \sqrt{T_{жс} \cdot T_n} =$ $= \sqrt{Y} \cdot \sqrt{T_{жс} \cdot T_n} = Y^{0,5} \cdot T_{жс}^{0,5} \cdot T_n^{0,5}$	$\Pi$ – Производительность труда; Q – Выпуск продукции $T$ – Затраты (издержки) труда; $T_{жс}$ – Объемные, на весь выпуск Q, издержки живого труда; $T_n$ – Объемные, на весь выпуск Q, издержки прошлого труда; Y – Уровень технологии равен произведению производительностей живого и прошлого труда.
Денисов И.В., 2008 г.	$MFP = \frac{VA}{C} = \frac{VA}{t \cdot (W \cdot n + D)}$	MFP – многофакторная производительность; VA – Добавленная стоимость; C – Совокупные издержки (затраты) на ед. продукции; t – Кол-во ед. времени на ед. продукции; W – Зарплата в час; n – количество работников, необходимых для изготовления продукции; D – Величина стоимости потребления основного капитала, переносимого на единицу продукции в час (амортизация);
Методика Минэкономразвития России, Приказ от 18.12.2018 г. № 748	$ПТ = ДС/Числ$	ПТ – Производительность труда; ДС – Добавленная стоимость; Числ – Численность
Nakajima S., 1980 г.; ГОСТ Р ИСО 22400 «Системы промышленной автоматизации и интеграция.	Показатели 4-х категорий: – управление производственными операциями; – управление операциями технического обслуживания;	– Параметрами являются показатели времени в моделях взаимосвязи процессов и операций. – Производительность: показатели, выражаемые через объем произведенной в рамках заказа продукции и фактическое время его выполнения; – Производительность работника;

Автор, год	Функция, зависимость	Параметры
Ключевые технико-экономические показатели (KPI) для управления производственными операциями. Часть 1. Общие положения, понятия и терминология. Часть 2. Определения и описания», 2014 г., 2019 г.	<ul style="list-style-type: none"> <li>– управление качеством;</li> <li>– управление операциями с товарно-материальными запасами.</li> </ul> Типы показателей: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Использование (utilization);</li> <li>– Производительность (efficiency);</li> <li>– Эффективность (effectiveness);</li> </ul> Состоят из 36 показателей, в том числе: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Производительность работника;</li> <li>– Производительность;</li> <li>– ОЕЕ-индекс = Эксплуатационная готовность * Показатель эффективности деятельности * Коэффициент готовой продукции</li> </ul>	характеризует взаимосвязь между фактическим временем работы персонала, связанным с производственными заказами, и фактическим временем нахождения персонала на рабочем месте; <ul style="list-style-type: none"> <li>– ОЕЕ-индекс характеризует показатели эксплуатационной готовности (доступности) рабочей операции, эффективности рабочей операции и коэффициента качества, которые объединены в единый показатель;</li> <li>– Эффективность – выражаемое в виде планового времени работы на единицу продукции, умноженного на объем произведенной продукции и деленного на фактическое время производства;</li> <li>– Техническая эффективность рабочей операции – это соотношение между фактическим временем производства и суммой фактического времени производства и фактического времени его задержки</li> </ul>

*Источник: разработана автором  
Source: developed by the author*

В области определения уровней автоматизации проведено множество исследований, рассматривающих различные аспекты. Так в работе (Frohм, Stahre, Winroth, 2008) приведена методология, фактически являющаяся во многом качественной оценкой уровня автоматизации (Level of automation, LoA) на основе сущности в заданной шкале, содержащей признак автоматизации на каждом из представленных 7 уровней (рисунки 4). Уровни рассматриваются как система координат (или матрица) уровней механизации и информационного (когнитивного) уровня участия человека. Данный принцип исходит из общепонятного определения автоматизации – как роли и участия человека в процессе производства. Методы анализа и обобщение шкалирования уровня автоматизации производств приведены в работе Ю.Б. Кузьмина (Кузьмин, 2020).

Кроме этого, в отечественной практике известны следующие научно-методические работы и документы, устанавливающие подходы к оценке степени и уровня автоматизации производств:

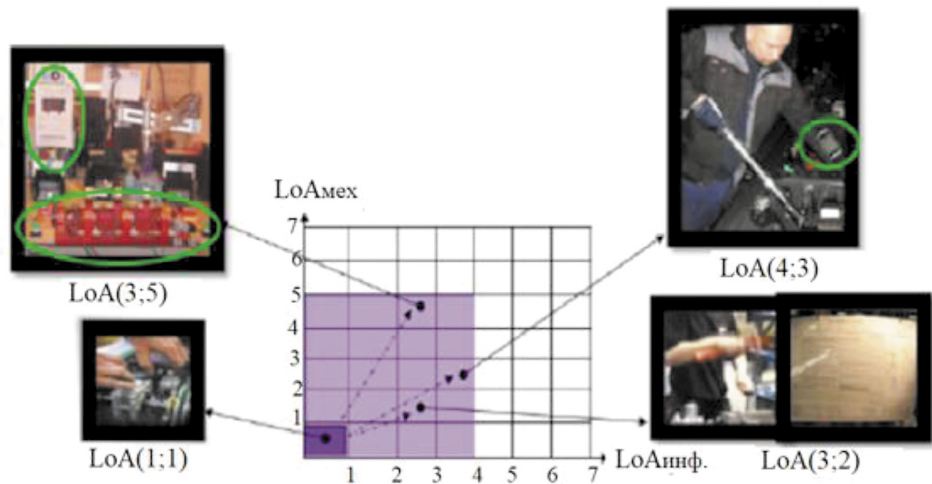
- Методические указания, утвержденные ГКНТ 07.08.1985 г. № 425, в которых приведена классификация машин, состоящая из 8 видов (уровней), основанная на замещаемых машинами рабочих функций на каждом уровне;

- ГОСТ 23501.108–85, устанавливающий оценку и обоснование уровня автоматизации цифровых информационных автоматизированных систем проектирования и управления, где указаны три уровня автоматизации и производительности;
- ГОСТ 23004–78, в котором установлены 10 ступеней и 10 категорий автоматизации технологических процессов в соответствии с ГОСТ 14.309–74.

Всё вышеприведенное указывает на различие терминологии, а следовательно, на различия в понимании и применении параметров и характеристик для анализа и оценок самого термина автоматизация и её различных сущностей, за исключением концептуального образа.

В отечественных и зарубежных работах таких учёных, как Г.А. Шаумян, И.И. Артоболевский, С.И. Артоболевский, Б.Л. Богуславский, В.Л. Кошкин, Л.И. Волчкевич, А.И. Дашенко, Ю.М. Соломенцев, J. Bright, G.H. Amber, P.S. Amber, T.B. Sheridan, M.R. Endsley, H. Kern, M. Schumann, R. Parasuraman, M.P. Groover, C. Duncheon, A. Fasth, J. Frohm, начиная с 1928 по 2025 гг., приведены исследования вопросов автоматизации как технических и технологических машин, производственных систем (таблица 2), так и вопросы экономических проблем автоматизации. Однако вопросы развития

Уровень автоматизации	Механика и оборудование	Информация и управление
1	Полностью ручной – инструменты не применяются, только мышечная сила работника	Полностью ручной – Пользователь формирует собственное понимание ситуации и разрабатывает план действий, опираясь на свой предыдущий опыт
2	Стационарный ручной инструмент – ручная работа с применением ручного стационарного инструмента. Например, отвертка	Принятие решения – пользователь получает информацию о том, что нужно сделать или о том как выполнить задание. Например заказ, производственное задание
3	Гибкий ручной инструмент – ручная работа с использованием гибкого инструмента. Например, разводной ключ	Обучение – исполнитель получает инструкцию о том, как можно выполнить задание. Например, руководство, инструкция
4	Автоматизированный ручной инструмент – Ручная работа с автоматизированным инструментом. Например, гидравлический болтоверт	Вопросы и уточнения – технологические вопросы выполнения, если они отклоняются от того, что принято технологически выполнимым. Например, контроль, проверка (верификация) перед исполнением
5	Стационарный станок / рабочая станция – Автоматическая работа станка, предназначенного для решения определенной задачи. Например, токарный станок	Наблюдение (надзор) – технология информирует пользователя о проблеме и обеспечивает, направляет на выполнение задачи. Например сигнал тревоги
6	Гибкий станок / рабочая станция – автоматизированная работа станка, который может перестраиваться на выполнение другого задания. Например, станок с ЧПУ	Вмешательство – технология берет на себя управление и корректирует выполнение действий, если процесс технологический отклонится от допустимого требования. Например, термостатирование
7	Полностью автоматический – полностью автоматическая работа. Машина самостоятельно решает все возникающие отклонения и проблемы. Например, автономные системы	Полная автоматизация – вся информация и управление выполняются технологией. Пользователь никогда не участвует в процессе. Например, автономные (самоуправляемые) системы



**Рисунок 4.** Шкала и матрица уровней автоматизации производственных систем  
**Figure 4.** Scale and matrix of automation levels of production systems

Источник: (Frohm и др., 2008)  
Source: (Frohm et al., 2008)

указанных работ автоматизации на современном этапе информационного и цифрового развития (см. рисунок 1) требуют осмысления и научного обоснования, хотя имеющиеся производственные решения не всегда имеют научное технико-экономическое обоснование, а скорее являются интуитивными, технически грамотными реализованными решения, требующими последующего осмысления.

Таким образом, оценка уровня автоматизации технологий, технологического оборудования, производств и предприятий всё еще требует научно-методологического обоснования не только количественной оценки, но и обоснованного развития возможностей более глубокой аналитической оценки рассмотрения проблем автоматизации.

## Принципы оценки эффективности уровней автоматизации

Применительно к «энергоинформационной технико-технологической» схеме концепции технологий, оборудования и производственной системы определим её как совокупность (множество), принцип организации которой основан на ресурсопреобразующих операциях (трансформация, преобразование и передача с учетом физических законов сохранения), функционально независимых частей (подсистем, элементов), обеспечивающих полезный эффект от её поведения в течение требуемого периода времени (Кузнецов, 2025a).

Для оценки эффективности уровней автоматизации показатели могут быть абсолютными и/или относительными величинами, полученными путём вычитания или деления их абсолютных значений, измеренных или рассчитанных соподчиненных величин. В соответствии с нормативными документами, ГОСТ серии «Номенклатура показателей...», а также (Ткачева & Кузнецов, 1984; Кузнецов и др., 1987; Кузнецов, 2015a, 2020, 2025a) и ГОСТ 72338–2025 в настоящем исследовании рассматриваются показатели: *точность (качество)*, *производительность*, *эффективность*, *ресурсоэффективность* и их производные.

Единство феноменологических законов и методов (Кузнецов, 2015b; Putz et al., 2019; Кузнецов, 2025a), описывающих процессы трансформации, преобразования, передачи различных форм и видов энергии, материалов, вещества и информации, определяется и обуславливается их независимостью от структуры, конструкции, компоновки, технического и технологического исполнения любого технологического оборудования и производственных систем. Такая модель как система содержит *начальные условия*, задаваемые величиной энергоинформационных потоков физических процессов, и *граничные условия*, которые определяются и зависят от достигаемых фактических и реализуемых значений параметров на пути преобразования этих потоков.

Отношение объемов (мощностей, энергии, материала, информации, времени, средств, затрат, стоимостей и т.п.) на выходе и на входе

технологических процессов, оборудования и систем является естественной и объективной оценкой их эффективности:

$$E_e = E_j / E_i = E_{out} / E_{inp} = E^f / E^r, \quad (1)$$

или для нескольких форм и видов ресурса:  $E_e = \sum E_j / \sum E_i$ , где числитель характеризует во всех случаях использование любого ресурса, и определяет его идеальное, обусловленное применяемым физическим процессом или явлением  $E^f$ , полезное (номинальное, идеальное, теоретически требуемое, достижимое или возможное) максимальное значение этого ресурса, обусловленное и определяемое применяемым физическим процессом или явлением в реализуемых ими технологии, технологическом процессе, оборудовании или производственной системе, а знаменатель  $E^r$  характеризует реальное значение, действительно (фактически) используемое технологическим процессом, технологической машиной или производственной системой ресурса. Данный подход позволяет рассматривать понятие и показатель «*эффективность*»  $E_e$  – как относительный коэффициент полезного действия (КПД) совокупности всех видов ресурсов, механизмов, структур, устройств и систем. По сути, это аналогично тому, как и для любого КПД системы, общий КПД всей системы равен произведению её компонентов  $\prod_{k=1}^n (E_e)_k$  и не зависит от их природы и самого КПД – показателя эффективности. Иными словами, аналогично тому, как событие отображения элементов множеств материала, энергии и информации и вероятность их свершения являются независимыми, а вероятность их свершений равна произведению вероятностей, что следует и постулируется теорией вероятностей – вероятность совместного появления независимых событий равна произведению вероятностей этих событий. В теории вероятностей случайные события называются независимыми, если наступление одного из них не изменяет вероятность наступления другого.

Следовательно, общий или интегральный показатель эффективности любой технологической или производственной системы – ресурсоэффективность  $E_{re}$  будет равен произведению эффективностей использования системой вещества

(материала) –  $E_e^m$ , энергии –  $E_e^e$  и информации –  $E_e^i$ , то есть аналогично определению вероятности независимых событий:

$$E_{re} = E_e^e \cdot E_e^m \cdot E_e^i. \quad (2)$$

Каждую составляющую числителя и знаменателя выражения (2) – показателя ресурсоэффективности  $E_{re}$  – можно представить состоящей из показателя  $E_{us}^f$  – физического процесса применения (теоретически необходимый (полезный) ресурс), требуемый для физического процесса и других, связанных с ним процессов, в том числе и иной физической природы, обеспечивающих выполнение физического процесса) и показателя  $E_{ch}^f$  – другого физического процесса обеспечения и/или пространственно-временного (кинематического) изменения положения/состояния физического процесса применения (теоретически необходимый ресурс, требуемый для изменения положения/состояния в пространстве вектора физического процесса – вектора обобщенной силы). Знаменатель также содержательно и понятийно аналогичных составляющих  $(E_{us}^f)^r$ ,  $(E_{ch}^f)^r$  – как реальных, фактических значений применения и обеспечения при реализации технологий, оборудования, машин и систем. Тогда выражение (2) запишется в виде:

$$E_{re} = \left[ \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_e^e \cdot \left[ \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_e^m \cdot \left[ \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_e^i. \quad (3)$$

Таким образом, учитывая вышесказанное, предложен метод и приведено описание способа оценки ресурсоэффективности (или в общем виде эффективности) технологий, оборудования, производственных систем и предприятий, как энергоинформационного процесса получения объекта (детали, изделия, продукта) на основе отображения (преобразования, передачи) элементов множества материи (вещества, материалов), энергии и информации в их образы.

В свою очередь, каждый из составляющих множителей в (3) может быть преобразован и записан:

$$\begin{aligned} U_e &= \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \\ &= \frac{E_{us}^f}{(E_{us}^f)^r} \cdot \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{E_{us}^f} \cdot \frac{(E_{us}^f)^r}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \\ &= U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $U_{us}^{fr}$  – характеризует эффективность ресурса физического процесса применения;

$U_{us}^{fch}$  – характеризует эффективность использования физических ресурсов для процесса его применения;

$U_{usch}^{fr}$  – характеризует реальную эффективность ресурса физического процесса применения.

Выражение эффективности технологий, оборудования, производств в данном виде (4) является достаточно универсальным методом оценки.

Потери ресурсов при переходе из одной формы  $k$  в другую форму  $n$  состоят из внутренних потерь  $\delta E_{k,k}$  и  $\delta E_{k,n}$  потерь перехода (диссипации). Потери ресурсов происходят при преобразовании одной формы  $k$  в другую форму  $n$ , а также при передаче одной формы  $k$  в другую форму  $n$ . Тогда можно записать общее выражение потерь ресурсов:

$$\Delta E_{k,n} = \delta E_{k,k} + \delta E_{k,n}, \quad (5)$$

и учитывая выражение (5), выражение (4) может быть записано:

$$\begin{aligned} U_e &= \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \\ &= \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f + E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f} = \\ &= U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr} = \\ &= \frac{1}{1 + (\Delta E_{k,n})_{us}^f / E_{us}^f} \cdot \frac{1 + E_{ch}^f / E_{us}^f}{1} \cdot \\ &\cdot \frac{1}{1 + (E_{ch}^f / E_{us}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f) / (E_{ch}^f)] \cdot [(E_{us}^f) / (E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]} \end{aligned} \quad (6)$$

Введение в выражение (4) физических параметров ресурса процесса (времени и мощности (производительности), энергии или информации и других) позволяет использовать математический аппарат для выявления общих закономерностей протекания процессов его

преобразования. Следовательно, на основании выражений (4) и (6) можно получить базовый типовой набор показателей уровня эффективности (таблица 3).

В рассматриваемой нами энергоинформационной системе общее количество информации  $I_0$  состоит из информации о продукте (изделии, детали), его параметрах и свойствах  $I_w$ , физическом процессе и параметрах  $I_f$ , а также управлении процессом и параметрами  $I_c$ .

$$I_0 = \sum_{k=1}^K I_w + \sum_{m=1}^M I_f + \sum_{n=1}^N I_c = I_{in} + I_{ot} + I_{us}, \quad (7)$$

где  $K, M, N$  – количество рассматриваемых событий (параметров, характеристик, свойств, элементов и так далее). Каждая из этих составляющих включает соответствующее множество  $K, M, N$  каждого вида информации,  $I_{in}$  – количество входной информации,  $I_{ot}$  – количество выходной информации,  $I_{us}$  – общее количество

информации, перерабатываемой и преобразуемой системой.

Тогда, подставляя в модель в выражения (4), (5) и (6) значения количества информации, получим характеристику и показатели (таблица 4) уровня информационной эффективности, в том числе по параметру точности как количественного содержания информации:

$$U_e^i = \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} = \frac{I_w^{ot} + I_{ch}^{ot}}{I_w^{ot} + I_w^{in} + I_{ch}^{in}} = \frac{I_w^{ot}}{I_w^{ot} + I_w^{in}} \cdot \frac{I_w^{ot} + I_{ch}^{ot}}{I_w^{ot}} \cdot \frac{I_w^{in} + I_{ch}^{in}}{I_w^{in} + I_{ch}^{in}} = (U_{us}^{fr})^i \cdot (U_{us}^{fch})^i \cdot (U_{usch}^{fr}) \quad (8)$$

Учитывая сходство применяемого метода оценки и типизацию закономерности характера изменения эффективности, нормированного от 0 до 1 и инвариантного по отношению к его природе, можно предложить, исходя из равномерного ряда, следующие уровни значений

**Таблица 3.** Базовые показатели уровня эффективности

**Table 3.** Basic performance indicators

Показатель эффективности	Формула	Диапазон изменения
Потенциальная эффективность	$(U_{us}^{fch})^{-1} = \frac{E_{us}^f}{E_{us}^f + E_{ch}^f}$	0 ÷ 1
Использования ресурса	$U_{us}^{fr} = \frac{E_{us}^f}{(E_{us}^f)^r}$	0 ÷ 1
Процесса	$U_{us}^{ch} = E_{ch}^f / E_{us}^f$	0 ÷ ∞
Ресурсов обеспечивающих процессов	$U_{ch}^f = (E_{ch}^f) / (E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f)$	0 ÷ 1
Применения ресурса	$U_{\Delta}^f = (E_{us}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f)] / [(E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]$	0 ÷ ∞
Применения обеспечивающих процессов	$U_{\Delta}^{ch} = (E_{ch}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f)] / [(E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]$	0 ÷ ∞
Преобразования (трансформации) ресурсов	$U_{usch}^{fr} = \frac{1}{1 + (E_{ch}^f / E_{us}^f) \cdot [(E_{ch}^f + (\Delta E_{k,n})_{ch}^f) / (E_{ch}^f)] \cdot [(E_{us}^f) / (E_{us}^f + (\Delta E_{k,n})_{us}^f)]}$	0 ÷ 1
Фактический (реальный)	$U_{usch}^{fr} = \frac{(E_{us}^f)^r}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r}$	0 ÷ 1
Ресурсонасыщенность	$U_{usch}^f = U_{us}^{fr} \cdot U_{usch}^{fr} = \frac{E_{us}^{fr}}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r}$	0 ÷ 1
Повышение ресурсонасыщенности	$(U_{us}^{fch})^{-1} (U_{usch}^{fr})^{-1} = U_r^f$	0 ÷ ∞
Интегральный	$U_e = U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr}$	0 ÷ 1

Источник: разработана автором  
Source: developed by the author

**Таблица 4.** Показатели уровня информационной эффективности  
**Table 4.** Indicators of the level of information efficiency

Наименование показателя	Зависимость	Характеристика	Диапазон изменения
Информационная производительность системы	$U_{fh} = \frac{t_f}{t_h}$	Определяет отношение времени функционирования системы для производства единицы продукта ко времени подготовки требуемого объема входной информации, поступающей в систему	$0 \div 1$
Уровень автоматизация процесса функционирования системы	$U_{ap} = \frac{t_h}{t_f + t_h} = \frac{1}{1 + U_{fh}}$	Определяет долю времени ручного труда по подготовке входной информации в общем объеме времени функционирования системы	$0 \div 1$
Уровень автоматизации производственной системы	$U_{as} = \frac{t_f}{t_f + t_h} = \frac{1}{1 + \frac{t_h}{t_f}}$	Определяет отношение времени функционирования системы для производства единицы продукта к общему времени	$0 \div 1$
Сложность входной информации	$U_{intf} = I_{in}^{ot} / I_{in}^{tf}$	Характеризует долю входной информации, не участвующей в функционировании системы, относительно информации процесса функционирования системы	$0 \div 1$
Ёмкость входной информации	$U_{oitf} = I_{ot}^{tf} / I_{in}^{tf}$	Характеризует количество информации, на единицу входной информации, обеспечивающей функционирование системы	$0 \div 1$
Информативность входной информации	$U_{ibtf} = I_{ib} / I_{in}^{tf}$	Характеризует объем используемой информации, на единицу входной информации для управления функционированием системы	$0 \div 1$
Снижение нетворческого труда в процессе функционирования системы	$U_{htf} = \frac{1 + U_{intf}}{1 + U_{oitf}}$	Характеризует снижение трудозатрат на формирование данных, полученных при функционировании системы	$0 \div 1$
Информативность или Информационная ёмкость входной информации	$U_{vil} = \frac{1 + U_{intf}}{2U_{intf} + U_{oitf} + U_{ibtf}}$	Характеризует долю входной информации в объеме преобразуемой информации для осуществления одного цикла функционирования системы	$0 \div 0,5$
Повышение информационной производительности	$U_{ip} = \frac{1 + U_{intf}}{U_{intf} + U_{oitf} + U_{ibtf}} = \frac{U_{vil}}{1 - U_{vil}}$	Характеризует снижение при применении системы количества информации, перерабатываемой вручную	$0 \div \infty$

Источник: разработана автором  
Source: developed by the author

показателей (таблица 5) и соответствующую ей классификацию технологических процессов, оборудования, производств и систем по уровню ресурсоэффективности.

Тогда, выражение интегральной эффективности (2), с учетом преобразований (4) и (6), можно записать в развернутом виде:

$$E_{re} = U_e = (U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr})_e^e \cdot (U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr})_e^m \cdot (U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr})_e^i \cdot (9)$$

Из выражения (9) могут быть получены и другие производные или частные показатели эффективности, что определяется структурой и составляющими как самих физических процессов, так и возможностью рассмотрения функциональных составляющих уровня эффективности.

Отметим, что сравнение технологий, например, базовых В и новых N можно проводить на основе следующего выражения используя выражения (4).

**Таблица 5.** Классы оборудования и производств по интегральному показателю ресурсоэффективности

**Table 5.** Classes of equipment and production according to the integrated resource efficiency indicator

Класс	Наименование класса	Значение показателя уровня Энергоэффективности $E_e^e$	Значение показателя уровня Производительности (или скорости изменения свойств материала) $E_e^m$	Значение показателя уровня Точности (или использования информации) $E_e^i$	Значение интегрального уровня ресурсоэффективности $E_{re}$
1	Предельно высокий	1,00–0,95	1,00–0,95	1,00–0,95	1,00–0,86
2	Очень высокий	0,949–0,9	0,949–0,9	0,949–0,9	0,85–0,73
3	Высокий	0,899–0,85	0,899–0,85	0,899–0,85	0,72–0,62
4	Выше среднего	0,849–0,8	0,849–0,8	0,849–0,8	0,61–0,52
5	Средний	0,799–0,75	0,799–0,75	0,799–0,75	0,51–0,43
6	Ниже среднего	0,749–0,65	0,749–0,65	0,749–0,65	0,42–0,28
7	Низкий	0,649–0,5	0,649–0,5	0,649–0,5	0,27–0,13

Источник: разработана автором  
Source: developed by the author

$$\begin{aligned}
 KU_e &= \frac{\left[ \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_N}{\left[ \frac{E_{us}^f + E_{ch}^f}{(E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r} \right]_B} = \frac{\left[ E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_N}{\left[ E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_B} \cdot \frac{\left[ (E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_B}{\left[ (E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_N} = \frac{\left[ U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr} \right]_N}{\left[ U_{us}^{fr} \cdot U_{us}^{fch} \cdot U_{usch}^{fr} \right]_B} \\
 &= \frac{\left[ E_{us}^f \right]_N}{\left[ E_{us}^f \right]_B} \cdot \frac{\left[ (E_{us}^f)^r \right]_B}{\left[ (E_{us}^f)^r \right]_N} \cdot \frac{\left[ E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_N}{\left[ E_{us}^f + E_{ch}^f \right]_B} \cdot \frac{\left[ E_{us}^f \right]_B}{\left[ E_{us}^f \right]_N} \cdot \frac{\left[ (E_{us}^f)^r \right]_N}{\left[ (E_{us}^f)^r \right]_B} \cdot \frac{\left[ (E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_B}{\left[ (E_{us}^f)^r + (E_{ch}^f)^r \right]_N} \quad (10)
 \end{aligned}$$

На рис. 5 приведены примеры кодов показателей для первых значений второго и третьего уровней.

Например, код показателя КП=100400700 может быть идентифицирован, на основании выражения (9) и значений эффективности (таблица 4), как показатель потенциальной эффективности использования всех трех ресурсов – материала, энергии и информации.

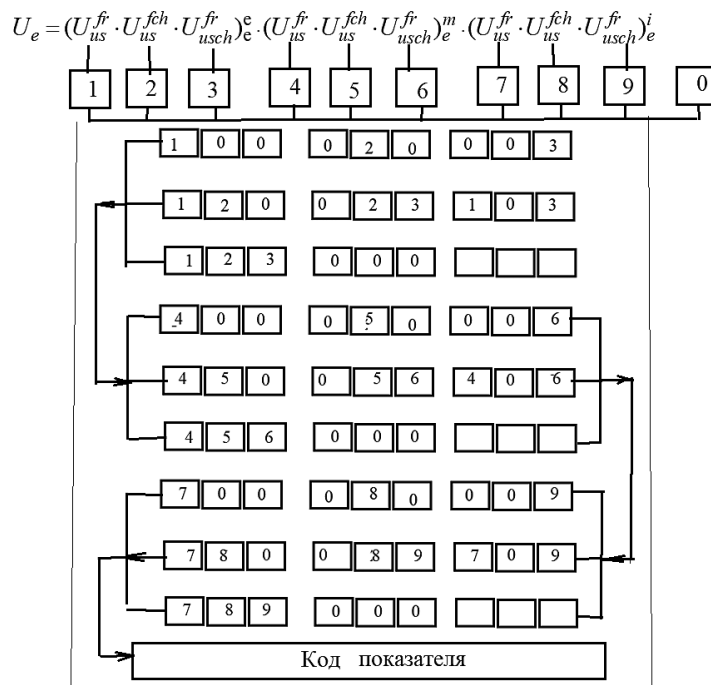
Приведем некоторые примеры оценок, иллюстрирующие изложенный методический подход, в частности для оценки эффективности автоматизации.

### Автоматизация за счет изменения технологии изготовления деталей

В качестве примера рассмотрим технологический процесс производства детали двумя

диаметрально противоположными по структуре видами:

- базовый технологический процесс, вид которого основан на модели процесса уменьшения массы физическим процессом пластического деформирования для формирования параметров размера и формы детали, то есть процесс резания, а другие свойства детали формируются и определяются процессами изменения свойств;
- новый технологический процесс, вид которого основан на модели процесса увеличения массы физическим процессом плавления для формирования параметров размера и формы детали, то есть аддитивный процесс, а другие свойства детали формируются и определяются процессами изменения свойств согласно таблице 1.



Матрица кодов показателей 1-го и 2-го уровней

	100	020	003	120	023	103	123	000
400	100400	020400	003400	120400	023400	103400	123400	000400
050	100050	020050	003050	120050	023050	103050	123050	000050
006	100006	020006	003006	120006	023006	103006	123006	000006
450	100450	020450	003450	120450	023450	103450	123450	000450
056	100056	020056	003056	120056	023056	103056	123056	000056
406	100406	020406	003406	120406	023406	103406	123406	000406
456	100456	020456	003456	120456	023456	103456	123456	000456
000	100000	020000	003000	120000	023000	103000	123000	000000

Матрица части кодов показателей 1-го, 2-го и 3-го уровней

	700	080	009	780	089	709	789	000
100400	100400700	100400080	100400009	100400780	100400089	100400709	100400789	100400000
100050	100050700	100050080	100050009	100050780	100050089	100050709	100050789	100050000
100006	100006700	100006080	100006009	100006780	100006089	100006709	100006789	100006000
100450	100450700	100450080	100450009	100450780	100450089	100450709	100450789	100450000
100056	100056700	100056080	100056009	100056780	100056089	100056709	100056789	100056000
100406	100406700	100406080	100406009	100406780	100406089	100406709	100406789	100406000
100456	100456700	100456080	100456009	100456780	100456089	100456709	100456789	100456000
100000	100000700	100000080	100000009	100000780	100000089	100000709	100000789	100000000

**Рисунок 5.** Схема формирования кодов вида показателя эффективности**Figure 5.** Scheme for generating codes for the type of performance indicator

Источник: разработана автором  
Source: developed by the author

Тогда, последовательно преобразуя составляющие выражения (4) и подставляя их в выражение (2), получим (более подробный вывод можно найти в (Kuznetsov et al., 2017):

$$KU_e = (\xi - 1)^2 \cdot \frac{Q^n}{Q^b} \cdot \frac{\sum V_{yp}^{\Delta} + Q^b t_h^b}{V_{\Delta}^n + Q^n t_h^n} \cdot \frac{[(\varepsilon_{fp}^n \cdot V_{\Delta}^n) + E_{fv}^n]}{[(\varepsilon_{fp}^b \cdot V_{\Delta}^n) + E_{fv}^b (\xi - 1)]} \cdot \left[ \frac{\delta_v^b}{\delta_v^n} \right]^3 \cdot \frac{3 \log_2(\delta_v^n) - \log_2[(\xi - 1)(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}{3 \log_2(\delta_v^b) - \log_2[(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}$$

Для упрощения вычислений и сохранения сути рассмотрения и получаемых выводов, примем значение времени  $E_{ch}^f$  стремящимся к достаточно малой величине для каждого случая или близким к нулевому значению. Тогда можно записать:

$$KU_e = (\xi - 1)^2 \cdot \frac{Q^n}{Q^b} \cdot \frac{[(\varepsilon_{fp}^n \cdot V_{\Delta}^n) + (E_{ch}^f)^n]}{[(\varepsilon_{fp}^b \cdot V_{\Delta}^n) + (E_{ch}^f)^b (\xi - 1)]} \cdot \left[ \frac{\delta_v^b}{\delta_v^n} \right]^3 \cdot \frac{3 \log_2(\delta_v^n) - \log_2[(\xi - 1)(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}{3 \log_2(\delta_v^b) - \log_2[(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})]}$$

где  $Q^b$ ,  $Q^n$ ,  $V^b$ ,  $V^n$ ,  $V_{\Delta}^n$  обозначены соответственно удельные производительности ( $m^3/c$ ), объёмы ( $m^3$ ) удаляемого, нарощенного материала и полученной детали;

$\xi = \frac{V}{(V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+})} = \frac{V}{\sum V_{yp}^{\Delta}}$  – относительный коэффициент объема исходной детали к объему удаленного материала;

$V_{внр}^{\Delta}$ ,  $V_{нр}^{\Delta}$ ,  $V_{нр}^{\Delta+}$ ,  $\sum V_{yp}^{\Delta}$  – соответственно внутреннее, внешнее, внешние дополнительные и сумма всех объемов детали, удаляемые базовым физическим процессом (резанием);

$\varepsilon^b$ ,  $\varepsilon^n$  – удельная энергоёмкость физического процесса базового и нового, Дж/ $m^3$ ;

$\delta_v^b$ ,  $\delta_v^n$  – наибольшая точность характерного размера базового и нового физического процесса обработки.

При рассмотрении результатов вычислений по выражениям (9) и (10), когда сравниваются технологии, оборудование или производства, получаемые результаты и их значения могут иметь следующие оценки:

- $KU_e = 1$  или близкие к единице – в этом случае варианты по показателям эффективности не отличаются;
- $KU_e > 1$  в этом случае новый объект рассмотрения превосходит предыдущий или сравниваемый по показателям

эффективности и является предпочтительнее или при обоснованиях относительно лучше и чем больше значение, тем выше эффективность;

- $KU_e < 1$  новый объект рассмотрения менее предпочтителен по показателю эффективности, а степень отличия определяет принимаемое решение в сочетании с другими составляющими показателями или целей.

В качестве примера рассмотрим достаточно типовой случай на современном этапе, анализ показателя  $U_{us}^{fr}$  (таблица 3) для вариантов сопоставления аддитивного процесса и традиционного процесса удаления материала позволяет сделать однозначный вывод о целесообразности производства топологически (сложной пространственной как внутренней, так и внешней формы и архитектуры) сложных изделий аддитивным методом и чем сложнее изделие тем выше эффект производительности. Так, при  $\xi = 1,1$ ,  $Q^n = 1$  (условная единица) и  $Q^b = 5$  (условных единиц), получим  $U_{us}^{fr} = 2$  – двукратный рост эффективности производительности, а при требуемых равных дополнительных операциях и процедурах  $(E_{ch}^f)^b = (E_{ch}^f)^n = 1$  (условная единица) получим  $U_{us}^{fr} = \frac{1}{5} \cdot \frac{\sum V_{yp}^{\Delta} + 5 \cdot 1}{V_{\Delta}^n + 1 \cdot 1}$ .

Простейшей базой для сравнения и оценке показателя эффективности технологических процессов, противоположных по способу и физической модели достижения поставленной цели, и без учета всего цикла производства, включающего проектирование и изготовление, в качестве объекта или детали как конечной цели может быть выбран простейший геометрический объект – цилиндр, параметры которого могут взаимообусловлено варьироваться, имеющий характерные размеры диаметров внутреннего и внешнего цилиндров, в том числе исходной заготовки, а также соответствующие длины.

$$\sum V_{yp}^{\Delta} = (V_{внр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta} + V_{нр}^{\Delta+}) = \pi L(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2),$$

а объем детали после обработки составит

$$V_{\Delta}^n = \pi L(R_H^2 - R_B^2) = \pi L R_3^2 - \pi L(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2),$$

$$\xi = \frac{\pi L R_3^2}{\pi L(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2)} = \frac{R_3^2}{(R_B^2 + R_3^2 - R_H^2)}.$$

Определим интегральный показатель для следующих исходных данных:

$$L = 100 \text{ мм}; R_3 = 60 \text{ мм}; R_H = 50 \text{ мм}; R_B = 20 \text{ мм};$$

$$V_{\Delta}^n = 210\pi \text{ см}^3; \sum V_{\text{ур}}^n = 150\pi \text{ см}^3;$$

$$\xi = 2,4; Q^n = 0,04 \text{ см}^3/\text{с} [24];$$

$$\varepsilon_{fp}^n = 230 \text{ кДж}/\text{см}^3 [24]; (E_{us}^f)^n = 9700 \pi \text{ кДж};$$

$$\delta_v^n = 2 \cdot 10^{-3} \text{ см} [24]; (E_{ch}^f)^n = 0,$$

$$Q^b = 0,4 \text{ см}^3/\text{с} [5,6]; \varepsilon_{fp}^b = 10 \text{ кДж}/\text{см}^3 [4,5,6];$$

$$(E_{us}^f)^b E_{fv}^b = 420 \pi \text{ кДж};$$

$$\delta_v^b = 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}; (E_{ch}^f)^b = 0.$$

$$KU_e^I = (0,072) \cdot (30,4) \cdot (1,12 \cdot 10^{-3}) = 2,45 \cdot 10^{-3}.$$

Рассмотрим второй вариант производства более сложной детали, для которой из вышеприведенных исходных данных изменятся следующие:

$$\delta_v^n = 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}; V = 360\pi \text{ см}^3,$$

$$V_{\Delta}^n = 47,5\pi \text{ см}^3, \sum V_{\text{ур}}^n = 312,5\pi \text{ см}^3;$$

$$\xi = 1,15; (E_{ch}^f)^b = 450 \text{ с}.$$

$$KU_e^II = (0,7785) \cdot (3,1) \cdot (1,07 \cdot 10^{-1}) = 2,58 \cdot 10^{-1}.$$

Таким образом, несмотря на то, что аддитивный физический процесс как по производительности, так и по энергетическим показателям уступает физическому процессу пластического деформирования (обработка резанием), в целом ряде случаев его применение более эффективно, а в некоторых вариантах применения может быть и трудно заменимо.

### Автоматизация на основе изменения составляющих времени технологического процесса

Компонент  $E_e^m$ , характеризующий скорость изменения свойств материала, будет определяться компонентами времени выполнения физического процесса и времени обеспечения и/или времени изменения пространственно-временного положения или состояния приложения физического процесса.

Принимая во внимание, что теоретическая (идеальная, требуемая, достижимая) производительность физического процесса на входе системы равна величине, обратно пропорциональной времени ее выполнения, и реальная производительность на выходе системы – величина обратно пропорциональная времени ее реального, фактического исполнения, тогда значения в выражениях (4), (5) и (6) будут

характеризовать временные показатели и их потери. Следовательно, временные потери за рассматриваемый период времени будут обусловлены следующими видами (группами):

- перед обработкой (физической процесс);
- в процессе обработки (выполнения физического процесса);
- после обработки (для оценки качества физического процесса и других изменений пространственно-временного положения / состояния).

Анализ метода, получившего популярность для оценки показателей ООЕ и ООЕ-индекса (см. таблицу 2 и ГОСТ 22400–2–2019), с точки зрения определения состава исходных элементов, которые обуславливают и составляют методологический принцип и основу этого метода, позволяет утверждать, что в соответствии с вышеизложенной нами методологией, каждая составляющая ООЕ и ООЕ-индекса равна отношению времени завершения события к общему времени события и поэтому также записана как произведение трех вероятностей. Тогда, преобразуем выражение для ООЕ, в обозначениях (Кузнецов, 2020) и ГОСТ 22400, запишем в следующем виде:

$$OOE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{F}{E} = \frac{F}{A} \text{ или,}$$

$$OOE = \frac{F + \delta E + \delta D}{F + \delta E + \delta D + \delta B} \cdot \frac{F + \delta E}{F + \delta E + \delta D} \cdot \frac{F}{F + \delta E},$$

где обозначено

$$E = F + \delta E, D = E, C = D + \delta D,$$

$$B = C, A = B + \delta B, A = F + \delta E + \delta D + \delta B.$$

Следовательно, можно записать в структуре выражения (6):

$$OOE = \frac{B}{A} \cdot \frac{D}{C} \cdot \frac{F}{E} = \frac{F}{A} = \frac{F}{F + \delta E + \delta D + \delta B}.$$

Из этого следует, что предлагаемая методология является более общим случаем оценок эффективности, а показатели ООЕ являются лишь её частным случаем. Во всех случаях и методах оценок ООЕ нормируемой постоянной величиной является рассматриваемый или установленный период времени, а варьируемыми составляющими являются градация количества групп событий и видов потерь времени внутри каждой группы таких событий. Подробно структурные составляющие времен и их классификация указаны для

производственных систем в (Кузнецов, 1987; Кузнецов & Каляшина, 2020).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог проведенному анализу, формулируем следующие выводы:

1. Современное состояние, темпы и скорость развития технологии, оборудования и производственных систем, их достигнутая многовариантность, значительное количество возможных решений (как показано в статье) требует не только технического и экономического осмысления целесообразности применения, но и разработки методов комплексной, максимально объективной и достоверной оценки нахождения технически осознанных решений и их практического применения для выбора наиболее эффективно технико-экономического направления автоматизации как при создании, так и при модернизации предприятий и производств.
2. Следует признать, что в настоящее время развитие технологий для машиностроительных производств как самостоятельного объекта, уровни их показателей эффективности по многим параметрам, за исключением производительности, достигли максимально возможных или предельно достижимых значений, а методы, способы, приёмы и технологические процессы достигли также относительно высокого совершенства, что подтверждается практикой.

3. В автоматизированном производстве более высокие затраты (материальные, энергетические, информационные, финансовые) приводят к улучшению технико-экономических показателей за счет более высокой производительности, повышения качества, сокращения численности производственных рабочих, что в целом приводит также и социально-экономическим эффектам, но не гарантирует максимальную экономическую эффективность. Поэтому, чтобы социальные и технико-экономические эффекты при автоматизации не вступали в неразрешимые противоречия, необходимо достоверно и объективно определять и понимать количественные взаимосвязи между ними.
4. Принципиальным вопросом технической политики в области автоматизации на всех уровнях является возможное наилучшее сочетание методов и средств автоматизации на основе ясного понимания закономерностей развития технологий и на основе научно – обоснованной методологии такого анализа и оценок принимаемых решений и понимания сути концепций направлений автоматизации.

## Конкурирующие интересы

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Competing Interests

The author declares no conflict of interest.

---

## Список источников/References

1. Артоболевский, С.И. (1949). *Машины – автоматы (теория и расчет)*. Mashgiz. Artobolevsky, S.I. (1949). *Automatic machines (theory and calculation)*. Mashgiz. (in Russian)
2. Богуславский, Б.Л. (1961). *Токарные полуавтоматы, автоматы и автоматизированные линии*. Профтехиздат. Boguslavsky, B.L. (1961). *Semiautomatic lathes, automatic machines, and automated lines*. Proftekhizdat. (in Russian)
3. Глазьев, С.Ю. (2012). Современная теория длинных волн в развитии экономики. *Экономическая наука современной России*, 2(57), 27–42. EDN: OZEJDT  
Glazyev, S.Yu. (2012). Modern theory of long waves in economic development. *Economics of Contemporary Russia*, 2(57), 27–42. EDN: OZEJDT (in Russian)
4. Глазьев, С.Ю. (2016). Мировоззренческие уклады в глобальном экономическом развитии. *Экономика и математические методы*, 52(2), 3–29. EDN: VZSVFJ

- Glazyev, S.Yu. (2016). National economy structures in the global economic development. *Economics and the Mathematical Methods*, 52(2), 3–29. EDN: VZSVFJ (in Russian)
5. Глазьев, С.Ю., & Косакян, Д.Л. (2024). Состояние и перспективы формирования 6-го технологического уклада в Российской экономике. *Экономика науки*, 10(2), 11–29. EDN: GJOIYC, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>  
Glazyev, S.Yu., & Kosakyan, D.L. (2024). State and prospects of 6th technological mode in Russian economy. *Economics of Science*, 10(2), 11–29. EDN: GJOIYC (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-2-11-29>
  6. Дубовик, М.В., & Дмитриев, С.Г. (2023). Промышленные революции и «парадокс производительности» в свете новой институциональной экономической теории. *Креативная экономика*, 17(4), 1159–1176. EDN: YZKQWQ  
Dubovik, M.V., & Dmitriev, S.G. (2023). Industrial revolutions and the “productivity puzzle” in the standpoint of the new institutional economic. *Creative Economy*, 17(4), 1159–1176. EDN: YZKQWQ (in Russian)
  7. Кобринский, А.Е. (1967). *Кто – кого? Молодая гвардия*.  
Kobrinisky, A.E. (1967). *Who vs Whom? Molodaya Gvardiya*. (in Russian)
  8. Корендясев, А.И., Саламандра, Б.Л., & Тывес, Л.И. (2006). *Теоретические основы робототехники. Книга 1. Наука*.  
Korendyasev, A.I., Salamandra, B.L., & Tyves, L.I. (2006). *Theoretical foundations of robotics. Book 1. Nauka*. (in Russian)
  9. Кузнецов, А.П. (2015a). Структуры процессов и оборудования для обработки резанием. Часть 1. Энергоинформационная модель структуры процессов обработки. *Вестник машиностроения*, (2), 73–83. EDN: ULYTVT  
Kuznetsov, A.P. (2015a). Structures of processes and equipment for cutting processing. Part 1. Energy informational model of structure of manufacturing processes. *Vestnik Mashinostroeniya*, (2), 73–83. EDN: ULYTVT (in Russian)
  10. Кузнецов, А.П. (2015b). Структуры процессов и оборудования для обработки резанием. Часть 2. Структуры технологических процессов и их классификация. *Вестник машиностроения*, (3), 65–76. EDN: UNRHVV  
Kuznetsov, A.P. (2015b). Temperature control of metal-cutting machines. *Russian Engineering Research*, (3), 194–199. EDN: UNRHVV (in Russian) <https://doi.org/10.3103/S1068798X15030090>
  11. Кузнецов, А.П. (2020). Направления развития металлорежущих станков: Системные принципы. Часть 1. *Станкоинструмент*, 3(20), 30–41. EDN: QSCBWR, <https://doi.org/10.22184/2499-9407.2020.20.03.30.41>  
Kuznetsov, A.P. (2020). Directions of development of metal-cutting machines: system principles Part 1. *Stankoinstrument*, 3(20), 30–41. EDN: QSCBWR (in Russian) <https://doi.org/10.22184/2499-9407.2020.20.03.30.41>
  12. Кузнецов, А.П. (2024). Эволюция технологии обработки резанием и металлорежущих станков в парадигме устойчивости технологических укладов. *Экономика науки*, 10(4), 75–99. EDN: HRNXXK, <https://doi.org/10.22394/2410-132X.481>  
Kuznetsov, A.P. (2024). The evolution of cutting technology and metal-cutting machines in the paradigm of technological modes. *Economics of Science*, 10(4), 75–99. EDN: HRNXXK (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X.481>
  13. Кузнецов, А.П. (2025a). *Оценка и обеспечение точности металлорежущих станков. Системные и физические основы. Системная концепция эволюции. ТЕХНОСФЕРА*.  
Kuznetsov, A.P. (2025a). *Assessing and ensuring the accuracy of machine tools. systemic and physical foundations. a systemic concept of evolution. TEKHNOSFERA*. (in Russian)
  14. Кузнецов, А.П. (2025b). Технологический суверенитет в станкостроении: статистика, неопределенность, особенность измерения развития. *Экономика науки*, 11(3), 47–66. EDN: NGMXHU  
Kuznetsov, A.P. (2025b). Technological sovereignty in machine-tool industry: statistics, uncertainty, and specifics of development measurement. *Economics of Science*, 11(3), 47–66. EDN: NGMXHU (in Russian)
  15. Кузнецов, А.П., & Каляшина, А.В. (2020). Методы оценки эффективности промышленного оборудования. *Технология машиностроения*, (5), 66–75. EDN: QFCUTE  
Kuznetsov, A.P., & Kalyashina, A.V. (2020). Methods for assessing the efficiency of industrial equipment. *Manufacturing Engineering*, (5), 66–75. EDN: QFCUTE
  16. Кузнецов, А.П., Завгородний, Ю.П., & Чернявский, Л.Б. (1987). *Технико-экономические проблемы создания ГПС. ВНИИТЭМР*.  
Kuznetsov, A.P., Zavgorodniy, Yu.P., & Chernyavsky, L.B. (1987). *Technical and economic problems of creating a GPS. VNIITEMR*. (in Russian)
  17. Кузьмин, Ю.Б. (2020). Шкалирование уровня автоматизации на производстве. *Информационные технологии*, 26(2), 116–127. EDN: RHSXHP  
Kuzmin, Yu.B. (2020). Taxonomy the level of automation in production. *Information Technologies*, 26(2), 116–127. EDN: RHSXHP (in Russian)

18. Лем, С. (1968). *Сумма технологии*. Мир.  
Lem, S. (1968). *Summa Technologiae*. Mir. (in Russian)
19. Лола, И.С., Асосков, Д.Г., Рахимова, А.Д., & Усов, У.А. (2025). *Машиностроение: ключевые тренды 2024 года*. <https://issek.hse.ru/news/1033711639.html> (дата обращения: 12.01.2026)  
Lola, I.S., Asoskov, D.G., Rakhimova, A.D., & Usov, U.A. (2025). *Mechanical engineering: key trends of 2024*. Retrieved January 12, 2026 from <https://issek.hse.ru/news/1033711639.html> (in Russian)
20. Маркс К. & Энгельс Ф. (1960). *Сочинения*. Т. 23, Издание второе. Политиздат.  
Marx, K., & Engels, F. (1960). *Collected Works*. Vol. 23, Second edition. Politizdat.
21. Попов, А.К. (2021). Состояние мировой экономической системы с позиции теории длинноволнового развития. *Вопросы инновационной экономики*, 11(4), 1949–1970. EDN: WLQAPM, <https://doi.org/10.18334/vines.11.4.113878>  
Popov, A.K. (2021) The world economic system from the long wave theories perspective. *Russian Journal of Innovation Economics*, 11(4), 1949–1970. EDN: WLQAPM (in Russian) <https://doi.org/10.18334/vines.11.4.113878>
22. Сухарев, О.С. (2024). «Экономика технологий» как направление науки: ретроспектива и перспектива. *Экономика науки*, 10(1), 41–53. EDN: ASECCX, <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>  
Sukharev, O.S. (2024). Economics of technology as a scientific field: Retrospective and prospective aspects. *Economics of Science*, 10(1), 41–53. EDN: ASECCX (in Russian) <https://doi.org/10.22394/2410-132X-2024-10-1-41-53>
23. Сухарев, О.С. (2025). *Научно-технологический потенциал и промышленная политика: монография*. Финансы и статистика.  
Sukharev, O.S. (2025). *Scientific and technological potential and industrial policy: a monograph*. Finance and Statistics. (in Russian)
24. Ткачева, О.Н., & Кузнецов, А.П. (1984). *Современные системы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении*. НИИмаш.  
Tkacheva, O.N., & Kuznetsov, A.P. (1984). *Modern systems of automated design of technological processes in mechanical engineering*. NIIImash. (in Russian)
25. Шаумян, Г.А. (1961). *Автоматы и автоматические линии*. ГНТИ машиностроительной литературы.  
Shaumyan, G.A. (1961). *Automatic machines and automatic lines*. State Scientific and Technical Institute of Mechanical Engineering Literature. (in Russian)
31. Шваб, К. (2016). *Четвертая промышленная революция*. Эксмо. EDN: VUJSVF  
Schwab, K. (2016). *The fourth industrial revolution*. Eksmo. EDN: VUJSVF (in Russian)
32. Frohm, J., Stahre, J.O., & Winroth, M.P. (2008). Levels of Automation in Manufacturing. *International Journal of Ergonomics and Human Factors*, 30(3), 1–27.
33. Kuznetsov, A.P., Koriath, H.-J., & Kalyashina, A.V. (2017). Comparative Integrated Manufacturing Efficiency in Production Engineering. *Procedia CIRP*, 63, 527–532. EDN: XNUUUC, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.135>
34. Putz, M., Koriath, H.-J., & Kuznetsov, A.P. (2019). Resource consumption classes of machine tools. *MM Science Journal, 2019(Special Issue HSM 2019)*, 3301–3309. EDN: DCTTUA, [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2019\\_11\\_2019085](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2019_11_2019085)

## Информация об авторе

**Кузнецов Александр Павлович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Металлорежущие станки», факультет Машиностроительные технологии, МГТУ им. Н. Баумана (национальный исследовательский университет); SPIN-код РИНЦ: 8565–5652, Scopus Author ID: 57205242165, ORCID: 0000-0001-8398-337X (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1; e-mail: apk\_53@mail.ru).

## Author

**Alexander P. Kuznetsov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Machine tools, Faculty of Mechanical Engineering Technologies, Bauman Moscow State Technical University (National Research University); Scopus Author ID: 57205242165, ORCID: 0000-0001-8398-337X (5, building 1, 2nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail: apk\_53@mail.ru).

Поступила в редакцию (Received) 10.12.2025

Поступила после рецензирования (Revised) 25.02.2026

Принята к публикации (Accepted) 16.03.2026