

На правах рукописи



КУРОШЕВ ИЛЬЯ СЕРГЕЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ
ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ВЫБОРА
РЕСУРСООБЪЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ**

2.5.22. Управление качеством продукции.
Стандартизация. Организация производства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Казань – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном учреждении
«Научно-исследовательский институт
«Центр экологической промышленной политики»

Научный руководитель: **Скобелев Дмитрий Олегович**
доктор экономических наук, лауреат премии
Правительства Российской Федерации в области науки
и техники

Официальные оппоненты: **Клентак Анна Сергеевна**
доктор технических наук, доцент, федеральное
государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования «Самарский
национальный исследовательский университет имени
академика С. П. Королева», профессор кафедры
производства летательных аппаратов и управления
качеством в машиностроении;

Харитонов Дмитрий Викторович
доктор технических наук, доцент, заслуженный
изобретатель Российской Федерации, акционерное
общество «Обнинское научно-производственное
предприятие «Технология» имени А. Г. Ромашина»,
заместитель директора научно-производственного
комплекса по производственной деятельности –
начальник цеха 19.

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский технологический
университет «МИСИС», г. Москва.

Защита состоится 29 апреля 2026 года в 14:00 на заседании диссертационного
совета 24.2.312.08, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный
исследовательский технологический университет» (420015, г. Казань, ул. К. Маркса,
д. 68, зал заседаний Учёного совета, А – 330).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский
национальный исследовательский технологический университет» и на сайте
<https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=576098>.

Автореферат диссертации разослан «___» _____ 2026 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета 24.2.312.08,
доктор экономических наук, доцент



Кудрявцева
Светлана
Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

В сложных и непрерывно меняющихся условиях технологической модернизации промышленное производство ориентировано на внедрение современных технологических систем, способных обеспечивать высокую эффективность, сбережение ресурсов, повышение качества продукции и процессов. Metallургические производства имеют специфику организации и сопряжены с высокотемпературными процессами и неизбежными тепловыми потерями, что обуславливает существенное потребление энергии. Поэтому условием организации высокоэффективного металлургического производства является акцент на управление потреблением материальных, энергетических и топливных ресурсов. Важным сектором выступает производство алюминия, играющее ключевую роль в металлургии лёгких металлов и занимающее преобладающее место в структуре экспорта цветных металлов России (включая изделия из алюминия). Ожидается продолжение роста мирового потребления алюминия до 121 млн тонн в год к 2030 г. Прогноз роста потребления алюминия подкрепляется дополнительным спросом со стороны сектора зелёной экономики и энергетики.

Объём российского экспорта алюминия к 2030 г. планируется на уровне 3,1 млн тонн, что на 30 % превышает уровень 2021 г. Доля российской алюминиевой промышленности в валовой внутренней продукт оценивается в 1,5 %, производство – 4,7–4,8 млн тонн в год, что актуализирует направление повышения ресурсной эффективности и зафиксировано в: Федеральном законе от 31.12.2014 г. № 488-ФЗ «О промышленной политике в РФ», Указе Президента РФ от 07.05.2024 г. № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», Распоряжении Правительства РФ от 28.12.2022 г. № 4260-р «Об утверждении Стратегии развития металлургической промышленности РФ на период до 2030 года», Распоряжении Правительства РФ от 20.05.2023 г. № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года» и других нормативных правовых актах.

Мировая практика организации производственных систем показывает, что обеспечение условий для роста производительности и совершенствования качества продукции возможно при внедрении современных методов и новых подходов повышения ресурсной эффективности на основе наилучших доступных технологий (НДТ). По мере становления и модернизации концепции НДТ в Российской Федерации ресурсная эффективность технологий вышла на первый план и стала ключевой составляющей механизма организации производства.

Согласно российскому законодательству, крупные промышленные предприятия должны подтверждать соответствие требованиям наилучших доступных техноло-

гий; вывод о соответствии зависит от результатов сравнительного анализа фактических показателей расхода ресурсов (ресурсоёмкости) и технологических показателей, достигнутых предприятием, и официально установленных показателей НДТ. В этой связи существует необходимость разработки организационно-технических решений по стандартизации процесса выбора ресурсоэффективных технологий производства алюминия, что свидетельствует об актуальности выбранной темы исследования.

Степень разработанности темы исследования.

Исследователи уделяют большое внимание вопросам ресурсной эффективности в отраслях промышленности. В металлургии особое значение придается использованию топливных и энергетических ресурсов, что определяет приоритетность вопросов формирования единых подходов, стандартов и методик оценки и оптимизации расходования ресурсов в формате организационно-технических решений, в том числе в рамках перехода на НДТ.

Вопросы методологии повышения ресурсной эффективности для обеспечения устойчивого развития промышленных производств рассмотрены в трудах Бабушкина В. М., Васина С. А., Гусевой Т. В., Кудрявцевой С. С., Малышевой Т. В., Мешалкина В. П., Скобелева Д. О., Сопина В. Ф., Череповицына А. Е., Шинкевич М. В., Шинкевича А. И., Gauch H., Handoyo S., Li S., Morgado A. O., Punjwani A., Wen Y., Wu H., Zhang S. и др.

Концептуальные основы и частные вопросы технической, энергетической и экологической эффективности металлургических и машиностроительных производств изучены в трудах Боброва А. Л., Васильева В. А., Гапо Е. Г., Дмитриева А. Н., Клентак А. С., Козловского В. Н., Кудрявского И. П., Пятецкого В. Е., Скуратова А. П., Черниковой О. П., Чеснокова Ю. А., Чёрного С. А., Щёлокова Я. М., Ярошенко Ю. Г., Alex T. C., Ali Z., Barati M., Esfahani S., Gharfalkar M., Hillier G., Kumar S., Mehta K. D., Sahoo D. P., Utigard T. A. и др.

Проблемы автоматизации, моделирования замкнутого цикла, оптимизации расхода ресурсов в производственных системах получения алюминия рассмотрены в трудах российских и зарубежных учёных, таких как Бунтин О. В., Борисоглебский Ю. В., Галевский Г. В., Кулагин Н. М., Минцис М. Я., Сиразутдинов Г. А., Поляков П. В., Серджелъ Т., Степанов С. В., Усанов В. И., Шестаков А. К., Aciu C., Berlec T., Bleischwitz R., El Mofid W., Fernandes A. M., Geng Y., Hao H., Ilu-Varvara D.-A., Kwon H.-K., Smagowicz J., Szwed T., Tang C., Tian X., Zhao G. и др.

Однако организация металлургических производств в контексте повышения ресурсной эффективности сдерживается рядом недостаточно исследованных областей и отсутствием организационно-технических решений, формирующих управленческие рекомендации в области реализации концепции наилучших доступных технологий.

Цель диссертационного исследования состоит в разработке организационно-технических решений по стандартизации процесса выбора ресурсоэффективных технологий производства алюминия.

Для достижения поставленной цели исследования в диссертации сформулированы четыре **ключевые задачи**:

- 1) предложить новый подход к организации процесса управления ресурсной эффективностью производства на основе наилучших доступных технологий;
- 2) разработать способ комплексной оценки технической эффективности металлургического производства с применением современных методов анализа уровня организации производства;
- 3) разработать систему принятия управленческих решений по стандартизированному выбору ресурсоэффективных технологий металлургического производства;
- 4) провести апробацию предложенных научно-технических решений по реализации разработанного способа анализа уровня организации производства алюминия.

Объектом диссертационного исследования выступают процессы организации производственных систем получения алюминия в Российской Федерации.

Предметом исследования является процесс стандартизации выбора ресурсоэффективных промышленных технологий производства алюминия.

Соответствие содержания диссертации избранной специальности.

Область диссертационного исследования соответствует научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства в части пунктов: 2. Научно-практические основы технического регулирования, стандартизации, типизации, каталогизации, метрологического обеспечения, управления качеством и подтверждения соответствия; 18. Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем; 25. Разработка моделей описания, методов и алгоритмов решения задач проектирования производственных систем, организации производства и принятия управленческих решений в цифровой экономике.

Научная новизна заключается в формировании организационно-технических инструментов управления ресурсной эффективностью функционирования производственных систем в металлургии.

1. *Предложена* структурно-организационная модель повышения уровня организации производственной системы, *отличающаяся* от типовых моделей организации металлургического производства внедрением программно-целевой структуры управления ресурсной эффективностью, включением разработанного алгоритма последовательных действий по её реализации и использованием комплексного критерия ресурсной эффективности, *что позволяет* обеспечить интеграцию концепций

всеобщего управления качеством и наилучших доступных технологий (п. 18 паспорта специальности 2.5.22).

2. *Разработана* система показателей комплексной оценки эффективности функционирования производственной системы, включающая три взаимосвязанных алгоритма и детализирующая степень преобразования ресурсов в готовый продукт, *отличающаяся* учётом особенностей процесса производства алюминия, обусловившего выбор энергетического подхода к оценке, *что позволяет* стандартизировать нормы потребления производственных ресурсов и выявить приоритеты в управлении качеством производственных процессов (п. 2 паспорта специальности 2.5.22).

3. *Разработан* алгоритм принятия управленческих решений в области организации производства алюминия, *отличающийся* формализацией выбора ресурсоэффективных производственных процессов на основе интегрального показателя, позволяющего комплексно оценивать эффективность организации производственного процесса на технологическом уровне, *что позволяет* учитывать энергоёмкость производства и степень зрелости технологий (п. 25 паспорта специальности 2.5.22).

Методология и методы исследования

При проведении исследования использованы теоретические положения в области организации производства, теории устойчивого развития, концепции наилучших доступных технологий, бережливого производства, всеобщего управления качеством (TQM), энергетического и экологического менеджмента, представленные в теоретических и прикладных исследованиях отечественных авторов.

Для обоснования выдвинутых в диссертации положений применены такие общенаучные методы исследования, как системный подход, анализ и синтез, индукция и дедукция, аналогия; статистические методы, а также методы построения детерминированных и стохастических математических моделей производственных процессов.

Информационную базу исследования составили статистические данные, работы теоретического и эмпирического характера, включающие монографии, научные статьи, диссертации отечественных и зарубежных исследователей по проблематике диссертационной работы; нормативные правовые акты, документы профильных министерств и ведомств, национальные и межгосударственные стандарты, регламентирующие процессы ресурсной эффективности в российской экономике, в том числе в производстве алюминия (ГОСТ 30167–2014, ГОСТ Р 70089–2022, ГОСТ Р 113.00.12–2023, ГОСТ Р 56828.32–2017, ГОСТ Р 56828.14–2016, ГОСТ Р 56407–2023, ГОСТ 4784–2019, ГОСТ 11069–2019 и др.), база данных Российского Бюро наилучших доступных технологий, отчётность Объединенной Компании «РУСАЛ» и её структурных подразделений.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии подходов к определению уровня развития производственной технологии, разработке критериев си-

стемы оценки при выборе технологий в качестве наилучших доступных с учётом современных трендов промышленности, включая направленность на повышение ресурсной (в том числе энергетической) эффективности, сокращение углеродоёмкости и др.

Обобщены результаты исследований и разработок, прослежены тенденции и закономерности, отражающие современный уровень организации процессов металлургических производств, описанные в отечественных и зарубежных научных публикациях и документах практической направленности. Доказаны положения, подтверждающие целесообразность использования эксергетического метода анализа для оценки расхода энергетических ресурсов и степени зрелости технологий.

Практическая значимость исследования. Реализация поставленной в диссертации цели привела к формированию комплекса научно-технических и организационно-управленческих результатов, имеющих значение для повышения ресурсоэффективности металлургических производств за счёт снижения энергоёмкости, сокращения негативного воздействия на окружающую среду и снижения углеродоёмкости производства продукции и, тем самым, обеспечения соответствия принципам устойчивого развития. Результаты диссертационного исследования имеют существенную практическую значимость для развития национальной системы стандартов в области НДТ, реализации проектов по модернизации металлургических производств в части выбора и перехода к применению ресурсоэффективных технологий, разработки и реализации программ повышения ресурсной и экологической эффективности.

По итогам проведённого исследования разработан и внедрён ряд моделей, алгоритмов, методик оценки уровня развития технологий получения алюминия, представлены рекомендации и предложения по дальнейшему совершенствованию процессов модернизации металлургических предприятий в части управления параметрами ресурсной эффективности и контроля выходных потоков на основе математических зависимостей и моделей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Структурно-организационная модель повышения уровня организации металлургического производства.
2. Система показателей комплексной оценки технической эффективности производственных систем в промышленности.
3. Алгоритм принятия управленческих решений в области организации производства алюминия.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность научных результатов подтверждается соответствием их положениям фундаментальной научной литературы по организации производственных процессов. Полученные теоретические результаты построены на известных научных положениях;

практические результаты достигнуты с применением признанных информационных технологий, а результаты работы согласуются с результатами внедрения на металлургических производствах.

Основные результаты диссертации доложены и представлены на следующих научно-практических конференциях: Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием «Проблемы развития современного общества» (г. Курск, 2026 г.); “Society, Science, Practice” (гг. Москва – Бишкек, 2025 г.); «Тенденции развития логистики и управления цепями поставок в условиях цифровизации» (г. Казань, 2024 г.); «Образование и наука для устойчивого развития» (г. Москва, 2024 г.); «Трансформация экономических процессов в условиях больших вызовов» (г. Казань, 2023 г.); «Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий» (г. Курск, 2022 г., 2023 г.); «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2022» (г. Апатиты, 2022 г.) и др.

Результаты диссертационного исследования получили практическое применение на предприятиях ОК РУСАЛ при решении задач по определению ресурсоэффективных технологий: использованы Техническим комитетом ТК 113 Росстандарта для разработки ГОСТ Р «Наилучшие доступные технологии. Методические рекомендации по оценке эффективности внедрения наилучших доступных технологий и эффективности реализации проектов по модернизации промышленных объектов», ГОСТ Р «Наилучшие доступные технологии. Методические рекомендации по определению технологических показателей»; при актуализации информационно-технических справочников по НДТ и определении технологий в качестве наилучших доступных (в частности, для производства первичного алюминия), что подтверждено справками о внедрении результатов диссертации.

Публикации. По теме исследования опубликовано 23 научных работы общим объемом 13,51 п. л. (в т. ч. лично автора – 9,87 п. л.), из них 8 статей в журналах из перечня рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России – «Компетентность», «Стандарты и качество», «Качество и жизнь»; 2 статьи в журналах, индексируемых в международной базе Scopus («Цветные металлы», «Теоретическая и прикладная экология»), 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и электронного ресурса.

Структура и объём работы. Диссертационное исследование состоит из введения, 4 глав, заключения, списка литературы, приложений, содержит 33 рисунка и 26 таблиц. Список литературы насчитывает 178 источников. Общий объём диссертационной работы – 177 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении освещена актуальность предлагаемого исследования; определены цели и задачи работы; раскрыты основные положения, выносимые на защиту, и их научная новизна; определена теоретическая и практическая значимость результатов исследования; обобщены основные результаты, полученные в рамках исследования.

В первой главе «Научно-технический обзор подходов к повышению уровня организации металлургического производства» рассмотрено современное состояние научных исследований в области повышения ресурсной эффективности производства в проекции концепции всеобщего управления качеством с учётом соответствия НДТ и специфики металлургических предприятий.

Установлено, что современные модели организации ресурсоэффективных металлургических производств не в полной мере описывают процедуру определения уровня развития производственной технологии и не учитывают возможности разработки оптимального набора критериев системы оценки при выборе технологий в качестве НДТ с ориентацией на современные тренды развития промышленности.

Структурирована база нормативных правовых документов в области ресурсной и технической эффективности промышленных производств, являющаяся основой для разработки стандартов по НДТ, устанавливающая правила функционирования промышленных предприятий для повышения ресурсной и экологической эффективности производства.

Систематизированы основные национальные и межгосударственные стандарты в сфере повышения ресурсной эффективности, в том числе в производстве алюминия. Выделено 4 блока стандартов в сфере ресурсосбережения, материало- и энергосбережения, НДТ, бережливого производства, производства алюминия, каждый из которых описывает инженерные инструменты, методы и алгоритмы развития ресурсоэффективных производственных систем.

Во второй главе «Концепция развития подходов к стандартизации процесса выбора ресурсоэффективных технологий производства» обосновано, что стандартизация процесса управления ресурсной эффективностью производства на основе НДТ является наиболее эффективным подходом к развитию производства и обеспечению его эколого-технологической модернизации.

Сформирован алгоритм стандартизации процесса повышения ресурсной эффективности производства на основе НДТ, отражающий последовательность действий по повышению эффективности использования ресурсов с выходом на ключевую идею диссертационного исследования – развитие методов идентификации технологий в качестве наилучших доступных, а именно, модернизация процедуры оценки ресурсной эффективности с применением эксергетического анализа (рисунок 1).

Обосновано, что для обеспечения объективности оценки ресурсной эффективности и степени развития производства может быть использован метод термодина-

мического анализа производственной системы с применением коэффициента полезного действия (КПД), являющегося критерием эффективности работы технологии или производственной системы в целом.



Рисунок 1 – Алгоритм стандартизации процесса управления ресурсной эффективностью производства на основе наилучших доступных технологий (разработан автором)

Сформированы ключевые аспекты понятия «ресурсная эффективность» с позиции НДТ. Фундаментальной концепцией повышения ресурсной эффективности определено (1) совершенствование структуры потребления различного рода ресурсов, (2) более глубокая переработка материальных ресурсов, вовлечение вторичных ресурсов в технологический процесс за счёт модернизации основной технологии производства (переход на качественно новый уровень).

В третьей главе «Применение инструментов стандартизации для управления технической эффективностью производства алюминия» показано, что на современном этапе реформирование промышленности и экономики в целом, развитие всеобщего менеджмента качества на уровне предприятий невозможны без учёта

принципов НДТ. Внедрение концепции НДТ и TQM направлены на эффективное планирование и осуществление процессов управления с применением системного подхода с целью достижения единых целей – повышение качества продукции, оптимальное использование имеющихся ресурсов, управление технологическим процессом. При этом важным аспектом является постоянное улучшение и учёт текущих мировых тенденций развития и требований, а также запросов общества.

Показано, что для успешной организации и функционирования ресурсоэффективной производственной системы промышленного металлургического предприятия необходимо обеспечить внедрение программно-целевой (матричной) структуры (рисунок 2).

Обосновано, что для обеспечения наиболее успешного функционирования промышленного предприятия концепция НДТ должна стать неотъемлемым элементом интегрированной системы менеджмента предприятия. В таком случае осуществляется эффективное принятие управленческих решений, позволяющих развивать конкурентоспособное предприятие с высоким качеством продукции, низкой себестоимостью, а также соблюдать установленные требования в части ресурсной и экологической эффективности.

В целях разработки комплексного подхода к внедрению НДТ на уровне предприятия предложено показатели НДТ рассматривать как единую систему оценки:

- показатели ресурсной эффективности производства (ПР); допустимый уровень устанавливается для ключевых материальных, энергетических и топливных ресурсов, исходя из специфики отрасли;
- показатели углеродоёмкости (ПУ) (удельные выбросы парниковых газов, ПГ); характеризуют углеродоёмкость производства продукции;
- технологические показатели (ТП); допустимый уровень содержания загрязняющих веществ в выбросах отходящих газов, характеризующие производственный процесс с точки зрения экологической эффективности.

Предложено для определения показателей ресурсной эффективности в качестве научно обоснованного стандартизированного инструмента использовать эксергетический метод анализа. Показано, что эксергетический анализ применим для оценки потерь и определения минимально необходимого расхода энергетических ресурсов, а также оценки степени зрелости технологий. Ключевым элементом определён коэффициент полезного действия эксергии (КПД эксергии), который характеризует эффективность технологического процесса и представляет собой отношение полезной работы и полной работы, совершаемой системой:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{\sum E_{\text{затр}}}{\sum E_{\text{полн}}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где $\sum E_{\text{полн}}$ – полная работа, совершаемая системой; $\sum E_{\text{затр}}$ – работа, которая затрачивается на производство основной продукции.

В целях унификации и стандартизации процесса определения ТП предложено расчёт приводить к стандартным условиям.

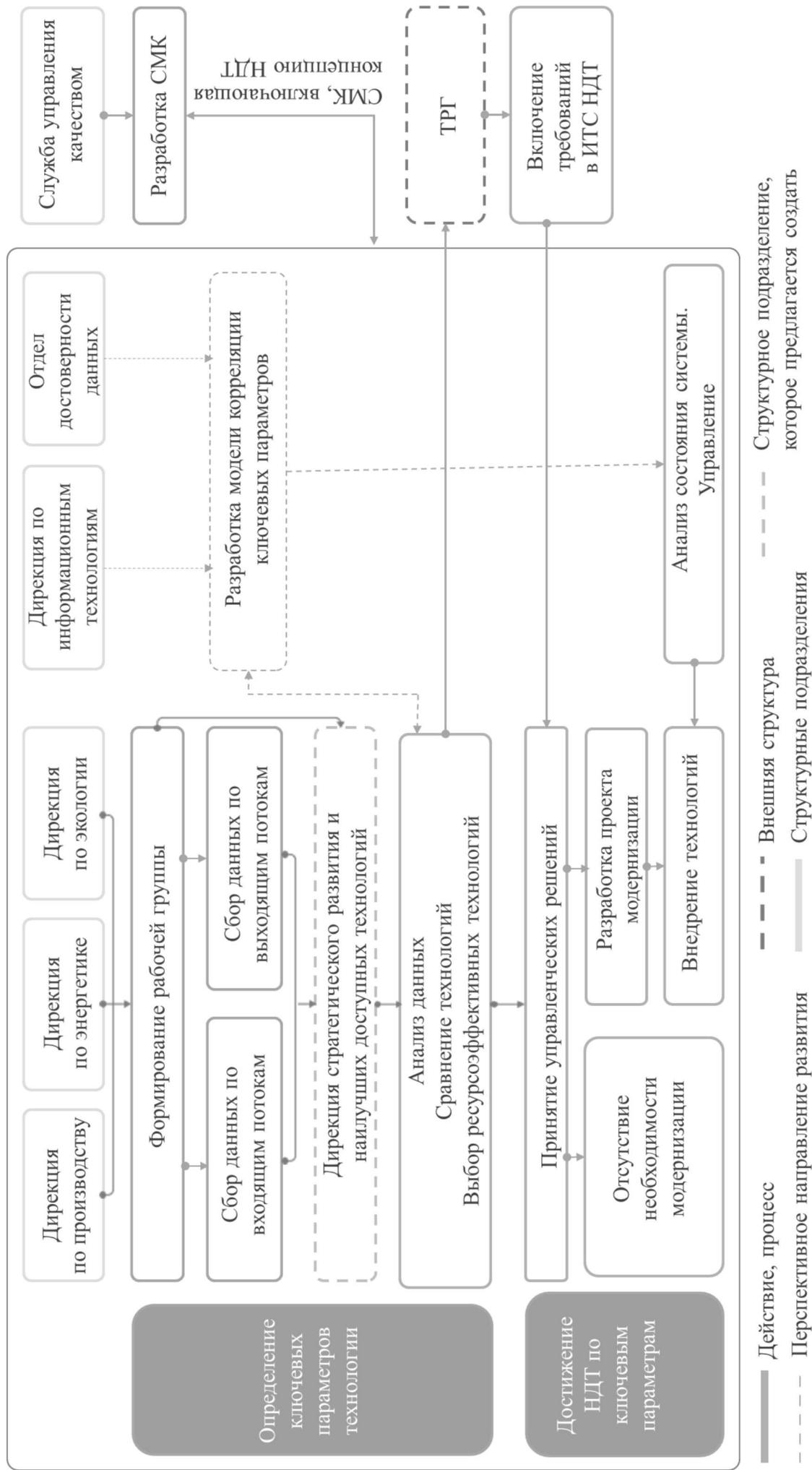


Рисунок 2 – Структурно-организационная модель процесса управления ресурсной эффективностью металлургического производства (разработана автором)

Фактические выбросы загрязняющих веществ приводятся к эквивалентной (приведённой) массе с учётом их воздействия по отношению к базовой норме (стандартное вещество). Стандартное вещество принимается за «единицу токсичности». Используется параметр токсичности (вредности) веществ – метод приведения по предельно допустимой концентрации (ПДК) вещества в воздухе, которая не наносит вреда здоровью человека при длительном воздействии.

Разработана методика комплексной оценки эффективности организации металлургического производства, включающая 3 алгоритма расчёта показателей. Предложен единый комплексный интегральный показатель (ИП) для сравнения технологий и алгоритм его расчёта, учитывающий различную степень влияния показателей (рисунк 3).

Введена градация, позволяющая упростить процедуру интерпретации результатов расчёта, а также использовать полученные значения для классификации и ранжирования технологий по уровню их эффективности для формализации, обоснованности и прозрачности процесса принятия управленческих решений в отношении рассматриваемых технологий.

Предложенные показатели формируют вектор оценок, позволяющий получить количественную характеристику технологий.

Для каждой технологии t_j вводится набор частных показателей $\{PR, PU, TP\}$, каждому из которых сопоставляется функция оценки $f_i(t_j)$.

Области допустимых значений для каждого вида показателя: $D_{PR} \in \{0,1,3\}$; $D_{PU} \in \{0,1,3\}$; $D_{TP} \in \{0,1,2\}$ (таблица 1).

Таблица 1 – Порядок присвоения баллов (предложен автором)

Наименование показателя технологии	Основной критерий	Балл	Дополнительный критерий	Балл
Показатели ресурсной эффективности (PR)	Достижение показателей НДТ по каждому виду ресурса	1	Для каждого показателя (PR_i), который эффективнее НДТ более чем на 10%	2
Показатель углеродоёмкости (ПУ)	Достижение показателей НДТ	1	Эффективнее нижнего установленного уровня	2
Технологические показатели (ТП)	Достижение показателей НДТ по каждому веществу	1	Исключение выброса хотя бы одного вещества	1

Показатели разделяются на входные параметры (ресурсная эффективность PR) и выходные (ПУ и TP). Показатель PR характеризует эффективность использования материальных, энергетических и топливных ресурсов и оказывает влияние на значение показателя углеродоёмкости производства и показателей выбросов загрязняющих веществ в атмосферу; PR характеризуется как базовый (первичный) показатель.

На показатели углеродоёмкости, помимо используемых ресурсов, значительное влияние оказывают параметры технологического процесса (температура, давление, анодные эффекты и т. д.). Предложены весовые коэффициенты: для показателя ПР «2», для ПУ «1» и «0,5» для ТП.

В отличие от технологических показателей и показателя углеродоёмкости, которые представлены одним агрегированным значением, показатель ресурсной эффективности формируется на основе совокупности частных показателей, характеризующих различные аспекты использования ресурсов (таблица 1). Между показателями показано принципиальное методическое различие: ПР – многокомпонентный базовый показатель, включающий несколько частных показателей; ПУ и ТП – результирующие показатели, представленные единичными значениями.

В связи с тем, что для ПР могут быть выделены для сравнения несколько видов различного рода ресурсов:

$$f_{\text{пр}}^{\text{сред}}(t_j) = \frac{\sum_{i=1}^n f_{\text{пр},i}(t_j)}{n_{\text{пр}}} \quad (2)$$

итоговая формула для расчёта ИП с учётом принятых коэффициентов примет вид:

$$\text{ИП}(t_j) = 2 \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{пр}}} f_{\text{пр},i}(t_j)}{n_{\text{пр}}} + 1 \cdot f_{\text{пу}}(t_j) + 0,5 \cdot f_{\text{тп}}(t_j) \quad (3)$$

Диапазон возможных значений интегрального показателя ИП(t_j) определяется совокупностью допустимых значений частных показателей и составляет:

$$0 \leq \text{ИП}(t_j) \leq 10 \quad (4)$$

Диапазон интервалов значений для последующей интерпретации результатов расчёта выбран с учётом следующих факторов.

1. Минимально допустимый уровень эффективности ($0 \leq \text{ИП} < 3$) (низкий уровень). Соответствует ситуациям, при которых технология не набирает существенного количества баллов ни по одному из ключевых показателей либо демонстрирует положительное значение только по одному из них. В этом случае совокупный эффект от применения технологии является недостаточным для её практического использования.

2. Промежуточный (средний) уровень ($3 \leq \text{ИП} < 6$) характеризует технологии, обладающие частично выраженными преимуществами. Данный диапазон включает комбинации показателей, при которых технология демонстрирует удовлетворительные значения по одному или двум критериям, однако не обеспечивает устойчиво высокого уровня по всей совокупности показателей.

3. Высокий уровень интегральной эффективности ($6 \leq \text{ИП} \leq 10$). Значения соответствуют технологиям, набирающим высокий суммарный балл за счёт положительных значений большинства частных показателей. Такие технологии характеризуются сбалансированностью и высокой степенью соответствия установленным требованиям.

Выбор десятибалльной шкалы в исследовании обусловлен методическими, интерпретационными и прикладными соображениями. Выбранные границы интервалов обеспечивают логичное разделение технологий на группы, различающиеся по степени их практической применимости, и позволяют избежать чрезмерной детализации при интерпретации результатов.

В четвёртой главе «Практическое применение организационно-технических инструментов управления ресурсной эффективностью функционирования производственных систем промышленного получения алюминия» в рамках проведения оценки уровня ресурсной эффективности рассмотрены различные технологии производства первичного алюминия в России, заключающиеся в электролитическом восстановлении оксида алюминия (глинозёма), растворённого в расплавленном электролите (криолите) при высокой температуре:

- рядовая технология электролиза с верхним подводом тока (ВТ);
- электролиз в электролизёрах Содерберга с боковым подводом тока (БТ);
- электролиз в электролизёрах с верхним подводом тока по технологии «Экологический Содерберг» («ЭкоСодерберг»);
- электролиз в электролизёрах с предварительно обожжёнными анодами мощностью до 300 кА ($OA < 300 \text{ кА}$) и выше ($OA > 300 \text{ кА}$).

Для производства первичного алюминия определено минимальное теоретическое значение затрат энергии через энтальпию образования элементов.

В работе рассмотрено два идеализированных аналога технологии получения алюминия: с углеродным анодом – минимум затрат электроэнергии на осуществление процесса составляет 20,1 ГДж на тонну продукции; с инертным анодом аналогичный показатель составляет 31,06 ГДж на тонну продукции.

КПД эксергии идеализированного процесса с углеродным анодом равен 85,2 %, технологии с инертным анодом – 94,8 %. Для дальнейших расчётов относительного КПД процесса предложено использовать значение для технологии с инертным анодом:

$$n_{\text{отн}} = \frac{n_{\text{экс}}}{n_{\text{ид}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $n_{\text{экс}}$ – эксергетический КПД реального процесса; $n_{\text{ид}}$ – эксергетический КПД идеализированного процесса (инертный анод).

В исследовании проведены расчёты по всем рассматриваемым технологиям (таблица 2).

С применением алгоритма балльной системы получено распределение, представленное в таблице 3.

По результатам проведённых расчётов показано, что рядовая технология ВТ не удовлетворяет существующим требованиям к производству алюминия. При проведении дальнейшей модернизации производственных мощностей следует в первую

очередь рассматривать технологии электролиза с предварительно обожжёнными анодами, которые характеризуются высокой эффективностью по всем сравниваемым показателям.

Таблица 2 – Сводная таблица сравнения технологий производства алюминия (показатели рассчитаны автором)

Показатель	ВТ	БТ	«ЭкоСодерберг»	ОА < 300 кА	ОА > 300 кА	Показатели НДТ
Показатели ресурсной эффективности (ПР)						
Электроэнергия, кВт·ч/т продукции	15700,00	15400,00	15280,00	14200,00	13200,00	16111,00
Глинозём, т/т продукции	1,93	1,94	1,93	1,92	1,92	1,94
Анодная масса, т/т продукции	0,52	0,49	0,52	0,43	0,41	0,53
Технологические показатели (ТП) (кг/т продукции)						
Смолистые вещества (включая бенз(а)пирен)	1,70	0,69	1,00	–	–	1,5
Серы диоксид	4,37	8,23	6,58	14,03	11,98	30
Фтористый водород, фториды плохо растворимые в пересчёте на фтор	3,10	0,66	1,86	0,99	0,37	3,3
Показатель углеродоёмкости (ПУ)						
т СО ₂ -экв./т продукции	2,54	1,98	2,51	1,70	1,48	1,97–2,51
Эксергетический анализ технологии						
КПД процесса, %	41,17	42,30	42,20	46,27	49,60	–
КПД идеализированного аналога технологии, %	94,80					–
КПД относительный, %	43,43	44,62	44,52	48,81	52,32	–

Таблица 3 – Интегральные показатели эффективности организации производства алюминия по различным технологиям (составлена автором)

Технология	ПР, балл	ПУ, балл	ТП, балл	Интегральный показатель (ИП)
ВТ	3	0	0	2,00 (низкий уровень)
БТ	3	1	1	3,50 (средний уровень)
«ЭкоСодерберг»	3	1	1	3,50 (средний уровень)
ОА <300 кА	7	3	2	8,67 (высокий уровень)
ОА >300 кА	7	3	2	8,67 (высокий уровень)

Определены основные эффекты от внедрения технологий с обожжёнными анодами по сравнению с технологией «ЭкоСодерберг» (при проведении модернизации производства с полной заменой технологии «Экосодерберг») (таблица 4).

Таблица 4 – Полученный эффект от применения предложенных организационно-технических решений по организации выбора ресурсоэффективных технологий (показатели рассчитаны автором)

Наименование параметра производства	Организация производства до (технология ВТ)	Организация производства после (технология ОА)	Прогнозируемый эффект
Удельный расход энергетических ресурсов в производстве алюминия, кВт*ч/т продукции	15280	13200 – 14200	Снижение удельного расхода энергоресурсов на 10,3 % (до 3 906,8 млн кВт*ч/год в валовом выражении)
Сопутствующие выходные потоки – удельный выброс смолистых веществ, кг/т продукции	1,00	–	Снижение удельного выброса смолистых веществ на 100% (до 2 472,7 тыс. т/год в валовом выражении)
Углеродоёмкость производства, т CO ₂ -экв./т продукции	2,54	1,48-1,70	Уменьшение удельных выбросов парниковых газов на 37,4% (до 2,27 млн т CO ₂ -экв./год в валовом выражении)
Расход анодной массы, кг/т Al	520	410-430	Уменьшение удельного расхода анодов на 19,2 % (на 100 кг/т Al)

В целях минимизации ошибок при расчётах и использования результатов исследования в практической управленческой деятельности разработан программный комплекс, предназначенный для автоматизации расчётов при выборе и сравнении технологий производства алюминия (ТЭПАЛ), в виде веб-калькулятора (рисунок 4).

Реализация программного комплекса в веб-формате обусловлена следующими факторами: доступность и универсальность; удобство использования; возможность масштабирования; практическая направленность.

Разработанный программный комплекс поддержки управленческих решений ТЭПАЛ представляет собой инструмент, обеспечивающий практическую реализацию методического подхода, предложенного в диссертационной работе. Использование программного комплекса повышает достоверность и воспроизводимость расчётов, расширяет возможности применения эксергетического анализа в задачах оценки эффективности производства алюминия.

ТЭПАЛ
Электролитическое получение алюминия на электролизерах «ЭкоСодерберг» с верхним токоподводом
Курошев Илья Сергеевич ▾

Выпуск алюминия (электролитического) M_{Al} т / год

Расчет показателей ресурсной эффективности
 Расчет КПД Эксергии

Расчет технологических показателей

Расчет показателей углеродоёмкости
 Расчет выбросов диоксида углерода

Расчет показателей углеродоёмкости
 Расчет выбросов перфторуглеродов

Расчет показателей углеродоёмкости
 Расчет CO₂-эквивалента

Наименование вещества	Валовый выброс, т/год	Удельный выброс ЗВ, т/т	Приведенная валовая масса ЗВ, т у.з.в./год
Введите ▾	0		-
<div style="background-color: #333; color: white; width: 20px; height: 20px; display: flex; align-items: center; justify-content: center; margin: 0 auto;">+</div>			
Итого			

Рисунок 4 – Вид программного комплекса ТЭПАЛ (расчет технологических показателей) (разработан автором)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогам проведённого исследования получены важные научно-технические результаты в области принятия управленческих решений по повышению эффективности функционирования и качества организации производственных систем в алюминиевой промышленности. Обобщающий результат работы заключается в стандартизации процесса выбора наилучших доступных технологий производства алюминия.

1. Исследование современного уровня научно-практических разработок в области управления ресурсной эффективностью функционирования производственных систем позволило доказать целесообразность интеграции концепций всеобщего управления качеством и наилучших доступных технологий, а также разработать структурно-организационную модель повышения уровня организации металлургического производства, включающую разработанный алгоритм последовательных действий по её реализации и предполагающую использование комплексного критерия ресурсной эффективности. Прогнозируемые эффекты реализации предложенных решений (модернизации производства алюминия с полной заменой технологии «ЭкоСодерберг» на технологию с обожжёнными анодами) составят: снижение расхода энергетических ресурсов на 10,3 %, сокращение углеродоёмкости продукции на 37,4 %, снижение расхода материальных ресурсов на 19,2 % (анодная масса).

2. По итогам обобщения нормативной правовой и нормативно-технической базы, устанавливающей методические решения по оценке эффективности производственных технологий, и моделирования взаимосвязей параметров эффективности сформирована система показателей комплексной оценки технической эффективности производственных систем в промышленности. Формализация оценки позволяет

сократить время разработки документов национальной системы стандартизации на 25–30 %.

3. Репрезентативное исследование применяемых и перспективных технологий и уровней организации производственных систем, проектов модернизации предприятий алюминиевой промышленности привело к созданию базы знаний для последующей разработки алгоритма принятия управленческих решений в области организации производства алюминия. Алгоритм включает: процедуры всеобщего менеджмента качества, учёт степени зрелости технологий, стандарты выбора технологий в качестве наилучших доступных, расчёт интегрального показателя эффективности функционирования производственных систем.

4. Разработанные в ходе исследования инструменты реализованы и зарегистрированы в виде программного комплекса «Комплексная оценка технической эффективности производства алюминия с применением эксергетического анализа» (ТЭПАЛ). Предложенные научно-технические решения внедрены в устойчивую отраслевую практику применения на отечественных предприятиях по производству первичного алюминия Объединенной компании «РУСАЛ». В 2023–2025 гг. проекты, направленные на отказ от устаревших технологий и внедрение технологий, признанных наилучшими доступными в производстве первичного алюминия, прошли процедуры конкурсного отбора и получили доступ к мерам государственной поддержки в размере порядка 65,8 млн руб.

Рекомендуется использовать результаты исследования в практике хозяйствования крупных металлургических предприятий в процессе принятия управленческих решений по реализации программ инновационного развития; в деятельности федеральных органов исполнительной власти при формировании приоритетов технологического развития и создании документов национальной системы стандартизации; а также при цифровой трансформации управления производственными системами.

Перспективы дальнейшей разработки темы состоят в развитии инструментов межотраслевого сравнения уровня организации производственных систем в промышленности.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах, входящих в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России:

1. Курошев, И. С. Об организации ресурсоэффективных производственных систем в металлургической отрасли / И. С. Курошев // Компетентность. – 2025. – № 4. – С. 22–27. – 0,49 п. л.

2. Курошев, И. С. Эффективность внедрения НДТ. Управление выбором ресурсоэффективных технологий / Д. О. Скобелев, И. С. Курошев, А. Г. Берняцкий. // Компетентность. – 2024. – № 5. – С. 10–17. – 0,68 п. л./0,40 п. л.

3. Курошев, И. С. Показатели наилучших доступных технологий / Д. О. Скобелев, И. С. Курошев, И. С. Филютнич // Качество и жизнь. – 2024. – № 3. – С. 93–96. – 0,30 п. л./0,20 п. л.

4. Курошев, И. С. Роль наилучших доступных технологий в управлении качеством продукции / Д. О. Скобелев, И. С. Курошев // Стандарты и качество. – 2023. – № 12. – С. 72–76. – 0,45 п. л./0,30 п. л.

5. Курошев, И. С. Ресурсная и экологическая эффективность производства алюминия на принципах НДТ / И. С. Курошев, И. С. Бахтина, Д. О. Скобелев // Компетентность. – 2022. – № 4. – С. 10–15. – 0,56 п. л./0,30 п. л.

6. Курошев, И. С. Показатели ресурсной и энергетической эффективности в информационно-технических справочниках по наилучшим доступным технологиям в области чёрной металлургии / М. Л. Рахманов, И. С. Курошев, А. С. Курчакова // Стандарты и качество. – 2021. – № 10 (1012). – С. 54–57. – 0,43 п. л./0,25 п. л.

7. Курошев, И. С. Использование метода оценки жизненного цикла для управления отходами и вторичными ресурсами / А. В. Дербенев, И. С. Курошев // Качество и жизнь. – 2019. – № 4 (24). – С. 31–36. – 0,35 п. л./0,25 п. л.

8. Курошев, И. С. Оценки ресурсной эффективности промышленного производства. «Энциклопедия технологий» / Д. О. Скобелев, М. В. Доброхотова, И. С. Курошев // Качество и жизнь. – 2019. – № 4 (24). – С. 66–69. – 0,31 п. л./0,15 п. л.

**Публикации в рецензируемых научных изданиях,
индексируемых в международных базах данных:**

9. Курошев, И. С. Рейтинг металлических и неметаллических покрытий в секторе гальванохимической обработки поверхности / Е. Г. Винокуров, Т. Ф. Бурухина, И. С. Курошев // Цветные металлы. – 2021. – № 4. – С. 54–58. – 0,43 п. л./0,15 п. л.

10. Курошев, И. С. Ресурсная и экологическая эффективность гальванического производства: вопросы водопотребления / Е. Г. Винокуров, Х. А. Невмятулина, Т. В. Гусева, И. С. Курошев // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – № 3. – С. 118–125. – 0,47 п. л./0,15 п. л.

**Статьи в коллективных монографиях и научных журналах,
индексируемых в Российском индексе научного цитирования:**

11. Курошев, И. С. НДТ и эффективность систем менеджмента металлургических предприятий / И. С. Курошев // Методы менеджмента качества. – 2024. – № 11. – С. 30–33. – 0,41 п. л.

12. Курошев, И. С. Общие подходы к определению показателей наилучших доступных технологий / И. С. Курошев, М. В. Доброхотова // Наилучшие доступные технологии и регуляторные практики. Экологическая промышленная политика. Коллективная монография. – Москва : ООО «ФУТУРИС», 2024. – С. 26–33. – 0,44 п. л./0,3 п. л.

13. Курошев, И. С. Цифровизация инструментов эколого-технологической трансформации промышленности на основе наилучших доступных технологий / И. С. Курошев, О. С. Ежова, Ю. В. Ухина // Инновации и инвестиции. – 2023. – № 10. – С. 472–475. – 0,62 п. л./0,4 п. л.

14. Курошев, И. С. Цифровая платформа как экосистемный интегратор для промышленных предприятий в сфере повышения ресурсной и экологической эффективности / Т. О. Толстых, Н. В. Шмелева, И. Г. Супруненко, И. С. Курошев // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2023. – № 3 (47). – С. 53–69. – 0,87 п. л./0,5 п. л.

15. Курошев, И. С. Производство алюминия / А. Л. Юрков, И. С. Курошев, М. В. Доброхотова // Энциклопедия технологий 2.0: Производство металлов. Москва, Санкт-Петербург : Реноме, 2022. – С. 11–120. – 6,5 п. л./4,0 п. л.

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ и электронного ресурса:

16. Курошев И. С., Шупеня В. И. Комплексная оценка технической эффективности производства алюминия с применением эксергетического анализа // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025697131 от 23.12.2025 г.

17. Курошев И. С. Алгоритм организации контроля технологического процесса производства алюминия по параметру углеродоёмкости // Свидетельство о регистрации электронного ресурса с оценкой новизны № 25188 от 24.08.2023 г. ОФЭРНиО.

Публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных и научно-практических конференций:

18. Курошев, И. С. Интегральный показатель комплексной оценки эффективности организации производственного процесса на принципах наилучших доступных технологий / И. С. Курошев // Материалы 11-й Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием «Проблемы развития современного общества». – Курск, 2026. – Т. 4. – С. 239–242. – 0,2 п. л.

19. Курошев, И. С. Организация процесса выбора ресурсоэффективных технологий на металлургическом производстве / И. С. Курошев // Материалы VII Международной научно-практической конференции. Москва-Бишкек, 2025. – С. 9–15. – 0,4 п. л.

20. Курошев, И. С. Внедрение наилучших доступных технологий в системы управления металлургическим производством / И. С. Курошев // Сборник статей V международной научно-практической конференции «Тенденции развития логистики и управления цепями поставок в условиях цифровизации». – Курск, 2024. – С. 112–116. – 0,22 п. л.

21. Курошев, И. С. Роль наилучших доступных технологий в управлении выбором технологий с высоким уровнем ресурсной и энергетической эффективности / И. С. Курошев, И. С. Филютич // Материалы XVI Международной научно-практической конференции, посвященная 300-летию Российской академии наук «Образование и наука для устойчивого развития». – Москва, 2024. – С. 232–235. – 0,2 п. л./0,15 п. л.

22. Курошев, И. С. Интеграционное взаимодействие предприятий как фактор устойчивого технологического развития экономики / Т. О. Толстых, Н. В. Шмелева, И. С. Курошев // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Трансформация экономических процессов в условиях больших вызовов». – Казань, 2023. – С. 124–132. – 0,25 п. л./0,15 п. л.

23. Курошев, И. С. Цифровизация инструментов эколого-технологических доступных технологий / И. С. Курошев, О. С. Ежова // Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий». – Курск, 2023. – С. 148–154. – 0,45 п. л./0,25 п. л.

24. Курошев, И. С. Наилучшие доступные технологии. Стандартизация и цифровизация принятия решений / И. С. Курошев, Д. О. Скобелев // Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные тренды цифровой трансформации промышленных предприятий». – Курск, 2022. – С. 176–179. – 0,2 п. л./0,15 п. л.

25. Курошев, И. С. Роль наилучших доступных технологий в модернизации промышленных предприятий и повышении ресурсной эффективности производства / И. С. Курошев // Материалы XI Международной научно-практической конференции «Север и Арктика в новой парадигме мирового развития. Лузинские чтения – 2022». – Апатиты. 2022. – С. 21–22. – 0,1 п. л./0,1 п. л.