ISSN 1816-4528 (Print) **ISSN 2949-0634 (Online)**

Научная статья

УДК 622.311
DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-12-23

Кудряшов Дмитрий Семенович*, Паскарь Иван Николаевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: kudryashovds@kuzstu.ru

ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ДОПУСТИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ IV КАТЕГОРИИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Аннотация.
Введение IV категории надежности электроснабжения в нормативное регулирование технологического присоединения в 2026 г. сформировало новый режим подключения крупных потребителей, допускающих ограничение нагрузки без жестко нормированных параметров по длительности и частоте перерывов. Для горных предприятий данный вопрос имеет особую значимость, поскольку ограничение электроснабжения на таких объектах затрагивает не только производительность, но и условия безопасного ведения работ, устойчивость технологического процесса и функционирование систем жизнеобеспечения. Целью исследования является разработка инженерного подхода к оценке допустимости применения IV категории надежности на горных предприятиях. В работе использованы анализ действующей нормативной базы, сравнительное рассмотрение категорий надежности электроснабжения, поэтапная инженерная проверка структуры нагрузки, а также расчетная оценка технико-экономических последствий применения IV категории для типового объекта горного профиля. Предложен алгоритм предварительной проверки готовности предприятия, включающий выделение неотключаемой, ограничиваемой и отключаемой нагрузки, проверку наблюдаемости и управляемости объекта, оценку совместимости режима разгрузки с противоаварийной автоматикой и анализ условий безопасного восстановления режима. Для типовой угольной шахты сформирована классификация электроприемников по допустимости ограничения и предложен расчетный критерий, позволяющий сопоставить эффект ускоренного технологического присоединения с прямыми потерями от ограничений и технологическим ущербом. Показано, что применение IV категории на горных предприятиях может рассматриваться только при сохранении электроснабжения систем водоотлива, вентиляции, подъема, связи, диспетчерского контроля и иных функций безопасности. Полученные результаты могут быть использованы при выборе схемы присоединения, подготовке инженерного паспорта управляемости нагрузки и предварительной оценке допустимости применения IV категории на объектах горной промышленности.

CC BY

Информация о статье
Поступила:
15 апреля 2026 г.

Одобрена после рецензирования:
01 сентября 2026 г.

Принята к печати:
15 сентября 2026 г.

Ключевые слова:
IV категория надежности, надежность электроснабжения, технологическое присоединение, горное предприятие, управляемая нагрузка, телеметрия, противоаварийная автоматика, промышленная безопасность

Для цитирования: Кудряшов Д.С., Паскарь И.Н. Инженерная оценка допустимости применения IV категории надежности электроснабжения на горных предприятиях // Горное оборудование и электромеханика. 2026. № 4 (186). С. 12-23. DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-12-23, EDN: QNAEHB

Введение

Постановлением Правительства РФ от 07.02.2026 № 103 в систему регулирования электроэнергетики введены IV категория надежности электроснабжения и специальный порядок технологического присоединения для потребителей, готовых принимать ограничения режима без жестко нормированных параметров по длительности и частоте перерывов [1]. Появление IV категории связано с двумя тенденциями последних лет: ростом числа заявок на присоединение крупных нагрузок, включая центры обработки данных, майнинговую инфраструктуру и энергоемкие промышленные объекты, а также ограниченной пропускной способностью отдельных сетевых узлов при длитель-

ных сроках строительства сетевой и генерирующей инфраструктуры.

IV категория предполагает предварительное согласие потребителя на ограничение нагрузки по диспетчерской команде либо путем дистанционного ввода ограничения со стороны сетевой организации. Восстановление электроснабжения таких потребителей осуществляется после восстановления питания потребителей более высоких категорий [1, 3, 4]. Тем самым в нормативной базе закрепляется особый режим электроснабжения, при котором управляемая нагрузка рассматривается как ресурс, способный использоваться при дефиците мощности, сетевых ограничениях и выполнении режимных мероприятий. В мировой литературе управляемая промышленная нагрузка рассматривается как один из ключевых ресурсов гибкости энергосистем, однако для крупных производств ее использование ограничивается требованиями непрерывности технологического процесса, цифровой готовности и предсказуемости ущерба от ограничений [18–21].

Для горных предприятий данная проблема имеет особую специфику. Перерыв электроснабжения здесь может приводить не только к снижению производительности, но и к нарушению условий безопасного ведения работ, поскольку ряд электроприемников связан с водоотливом, вентиляцией, подъемом, связью, диспетчерским контролем и устойчивой работой систем автоматизации. По этой причине применение IV категории на объектах горного профиля возможно только при четком разделении нагрузки на ответственные и отключаемые группы и при наличии технических средств, обеспечивающих контролируемую разгрузку.

Цель исследования состоит в разработке инженерного подхода к оценке допустимости применения IV категории на горных предприятиях и в демонстрации его использования на типовой угольной шахте. В работе предлагаются алгоритм предварительной проверки готовности объекта, классификация нагрузки для целей ограничений и расчетный критерий, позволяющий сопоставить эффект ускоренного технологического присоединения и совокупные потери от ограничений.

Категорирование надежности электроснабжения традиционно основывалось на логике резервирования. Для I категории предусматривается питание от двух независимых взаимно резервирующих источников с допустимой паузой только на время автоматического включения резерва. Для II категории также требуется резервирование, однако допускается перерыв на время оперативного переключения. Для III категории в общем случае допускается питание от одного источника при нормативно ограниченном сроке восстановления [2, 7]. Такая система на протяжении длительного времени формировала устойчивую модель ожиданий: если объект присоединен к сети, то условия допустимых отключений и порядок восстановления электроснабжения заранее определены.

Ситуация начала меняться по мере роста крупных энергоемких заявок и исчерпания свободной пропускной способности в отдельных узлах энергосистемы. В 2023-2025 гг. в профессиональной повестке обозначилась потребность в механизме, который позволял бы подключать часть крупных нагрузок до завершения полного комплекса сетевых и генерирующих мероприятий. Иными словами, речь пошла о поиске технически и экономически допустимого компромисса между сроком присоединения и объемом гарантий по надежности электроснабжения. Подобная постановка вопроса соответствует и современным исследованиям по гибкости промышленной нагрузки, где она рассматривается как инструмент системной адаптации, но подчеркивается, что ее практическая применимость определяется не только экономическими стимулами, но и особенностями производственной среды, управляемости и допустимости вмешательства в технологический цикл [18–21].

Для угледобывающих регионов, в том числе для Кемеровской области – Кузбасса, такая постановка вопроса имеет прикладное значение. Горные предприятия, в том числе шахты, разрезы и обогатительные фабрики, нередко характеризуются высокой присоединенной мощностью. При этом внутри одного объекта присутствуют как электроприемники, связанные с безопасностью и непрерывностью технологического процесса, так и группы нагрузки, допускающие временное ограничение без критических последствий. Именно это обстоятельство делает применение IV категории предметом инженерного, а не только нормативного анализа.

Нормативное оформление нового механизма произошло постановлением Правительства РФ от 07.02.2026 № 103, которым были изменены правила технологического присоединения, правила оптового рынка и правила ограничения режима потребления [1, 5]. Вслед за этим постановлением Правительства РФ от 14.02.2026 № 141 был дополнительно уточнен порядок полного и частичного ограничения режима потребления, в том числе применительно к объектам IV категории [4]. В результате IV категория получила не только формальное закрепление в процедуре технологического присоединения, но и операционное продолжение в правилах фактического ограничения нагрузки.

По существу, введенный механизм основан на технико-экономическом компромиссе. Более ранний ввод крупной нагрузки в дефицитном узле достигается за счет согласия потребителя на управляемый характер электроснабжения и принятия риска ограничений без нормативного предела по частоте и длительности. Для горных предприятий такой подход допустим лишь при условии, что ограничение не затрагивает системы жизнеобеспечения и не создает неприемлемых рисков для персонала и технологического комплекса.

Введенная IV категория закреплена как особый режим технологического присоединения и последующего электроснабжения. Отнесение энергопринимающих устройств к IV категории осуществляется только по инициативе заявителя и допускается лишь при одновременном соблюдении условий, перечисленных в разделе XII Правил технологического присоединения [1, 2]. Ключевой критерий

сформулирован прямо: перерывы электроснабжения должны допускаться без ограничения по частоте и длительности, однако такие перерывы не должны приводить к недопустимым нарушениям технологических процессов, угрозам жизни и безопасности либо к иным неприемлемым последствиям [1].

Нормативная конструкция IV категории была дополнительно уточнена постановлением Правительства РФ от 14.02.2026 № 141, внесшим изменения в правила полного и частичного ограничения режима потребления электрической энергии. Указанные изменения закрепили процессуальную сторону применения ограничений в отношении энергопринимающих устройств IV категории, в том числе их приоритетное включение в графики временных отключений. Тем самым правовой режим IV категории получил завершенное оформление не только на стадии присоединения, но и на стадии последующей эксплуатации объекта [4].

В нормативном тексте IV категория ориентирована прежде всего на крупных заявителей. При максимальной мощности более 5 МВт заявитель может выразить согласие на IV категорию, включая вариант этапа технологического присоединения без реализации части мероприятий по строительству, реконструкции генерации и усиления единой энергосистемы 220 кВ и выше, если такие мероприятия были бы необходимы для присоединения по заявленной категории [1]. При этом присоединение по IV категории допускается на напряжении 6 кВ и выше и только при соблюдении ограничений по объектам и рискам, установленным правилами [1, 2].

Важная практическая особенность состоит в том, что IV категория может выступать не только конечной категорией объекта, но и выделенным этапом в рамках одного договора технологического присоединения. В этом случае технические условия должны содержать последующие мероприятия, обеспечивающие достижение первоначально заявленной категории надежности на следующих этапах [1]. Следовательно, применение IV категории для уже подключенного объекта возможно через изменение условий технологического присоединения или выделение отдельного этапа при реконструкции и изменении точки присоединения, однако практическая реализуемость такого решения определяется составом обязательств в технических условиях и договоре.

Для IV категории установлены специальные оговорки по надежности услуги передачи: положения о допустимом числе часов отключения в год и сроках восстановления, предусмотренные правилами недискриминационного доступа к услугам по передаче, к таким энергопринимающим устройствам не применяются [1, 2]. В правилах ограничения режима потребления закреплено, что энергопринимающие устройства IV категории включаются в графики временных отключений в приоритетном порядке, а восстановление подачи электроэнергии осуществляется в последнюю очередь [3, 4].

Круг затрагиваемых объектов определяется не отраслью как таковой, а профилем нагрузки и готовностью к управляемости. В первую очередь это крупные промышленные потребители с возможностью выделения отключаемых групп нагрузки, центры обработки данных, объекты майнинговой инфраструктуры, объекты с собственной генерацией или возможностью автономной работы части систем, а также горные предприятия, на которых возможно выделение неответственной нагрузки при сохранении питания систем жизнеобеспечения.

Методы

С инженерной точки зрения IV категория надежности означает не просто согласие потребителя на возможные ограничения, а реальную тех-

Таблица 1. Сравнительная характеристика категорий надежности электроснабжения
Table 1. Comparative characteristics of power supply reliability categories

Категория	Цель	Резервирование	Перерывы и восстановление	Особенности ограничений
I	Непрерывность питания критичных электроприемников	Два независимых источника, АВР	Допустима краткая пауза на АВР	Ограничения минимизируются
II	Снижение риска длительного перерыва	Резервный источник, возможны оперативные переключения	Допускается перерыв на время переключения	Ограничения учитывают категорию и броню
III	Базовая надежность при минимальном резервировании	Один источник	Восстановление в нормативный срок	Ограничения по общим правилам
IV	Быстрый ввод крупной управляемой нагрузки в дефицитном узле	Не является обязательным условием режима	Число часов отключения и сроки восстановления не нормируются	Приоритетное включение в графики ограничений, возможен дистанционный ввод ограничений

ническую готовность объекта к управляемому изменению режима. Для этого электроснабжение потребителя должно обладать тремя обязательными свойствами: наблюдаемостью, управляемостью и разделяемостью нагрузки.

Под наблюдаемостью понимается возможность получения достоверной информации о мощности, напряжении, состоянии коммутационных аппаратов и фактическом исполнении команды на ограничение. Под управляемостью следует понимать способность объекта принять внешнее управляющее воздействие и обеспечить снижение нагрузки в согласованном объеме и в требуемое время. Разделяемость нагрузки означает наличие такой внутренней структуры электроснабжения, при которой ограничение или отключение отдельных групп электроприемников не приводит к недопустимому нарушению технологического процесса и не затрагивает системы, связанные с безопасностью.

Для целей настоящей работы под неотключаемой нагрузкой понимаются электроприемники, отключение которых недопустимо по условиям промышленной безопасности, жизнеобеспечения и устойчивого управления объектом. Ограничиваемая нагрузка представляет собой группу электроприемников, для которых допускается временное снижение потребления или кратковременное ограничение режима без полной остановки функции. Отключаемая нагрузка включает электроприемники, допускающие полное отключение по режимной команде на установленный интервал времени без недопустимых последствий для безопасности объекта. Такое трехуровневое деление согласуется с современными обзорами по промышленной управляемой нагрузке, где принципиально различаются полностью недопустимые к отключению функции, частично управляемые процессы и процессы, допускающие полную разгрузку или останов по внешней команде [18–21].

В контуре цифрового управления реализация такого режима опирается на взаимодействие системного оператора, сетевой организации и самого потребителя. Системный оператор формирует режимные требования и управляющие воздействия, а сетевая организация обеспечивает их реализацию на уровне сети и точки присоединения, включая дистанционный ввод ограничений из центра управления сетями. Со стороны потребителя требуется готовность не только принять команду, но и подтвердить ее исполнение по каналам технологического обмена в соответствии с требованиями к отображению технологической информации, дистанционному управлению и организации каналов связи [9, 10, 13, 14].

Для объектов горного профиля этого недостаточно. На угольных шахтах необходимо заранее определить, какие электроприемники относятся к категории ответственных и не могут ограничиваться в рамках IV категории. В первую очередь это касается систем водоотлива, главного и местного проветривания, подъемных установок, связи, сигнализации, диспетчерского контроля, а также собственных нужд систем управления и защиты. Применение IV категории без выделения таких нагру-

Таблица 2. Классификация нагрузки типовой угольной шахты для целей применения IV категории
Table 2. Load classification of a typical coal mine for the purposes of applying the IV category

Группа электроприемников	Мощность, МВт	Функция	Допустимость ограничения	Допустимое время ограничения	Примечание
Системы водоотлива и дренажа	2,5	Обеспечение безопасности и устойчивости работы объекта	Не допускается	0	Подлежат резервированию
Главные и местные вентустановки	2,0	Проветривание и газовая безопасность	Не допускается	0	Отключение недопустимо
Подъем, связь, диспетчеризация, РЗА, АСУ ТП	1,5	Безопасное ведение работ и управление объектом	Не допускается	0	Неотключаемая группа
Транспортно-складской комплекс	4,0	Вспомогательный производственный цикл	Ограничение допускается	До 2 ч	Требуется регламент восстановления
Дробильно-сортировочный комплекс	5,0	Основной, но допускающий останов технологический узел	Отключение допускается	По режимной команде	Запуск после проверки режима
Вспомогательные механизмы и ремонтная инфраструктура	3,0	Обслуживающие процессы	Отключение допускается	По режимной команде	Приоритетная разгрузка
Участок подготовки и переработки горной массы	2,0	Технологический процесс с допустимой паузой	Ограничение допускается	До 1 ч	Требуется оценка технологического ущерба и времени восстановления режима

зок в самостоятельный контур электроснабжения выходит за пределы допустимого инженерного решения [15]. Такой вывод подтверждается и современными исследованиями по электроснабжению горных объектов, где надежность и безопасность работы шахт связываются не только с резервированием, но и с качеством напряжения, устойчивостью изоляции, корректностью защит и возможностью непрерывного контроля электрических параметров сети [22–25].

Предлагаемый авторами порядок оценки допустимости применения IV категории на горном предприятии включает семь последовательных этапов:

1. выделение неотключаемой нагрузки, связанной с безопасностью персонала и устойчивостью опасного производственного объекта;

2. идентификацию ограничиваемой и отключаемой нагрузки с указанием допустимого времени ограничения;

3. проверку наличия телеметрии мощности, напряжения и состояния основных коммутационных аппаратов;

4. проверку возможности дистанционного управления и подтверждения исполнения команд;

5. проверку совместимости алгоритма разгрузки с действующими устройствами релейной защиты и противоаварийной автоматики [8, 11, 12];

6. оценку безопасного восстановления режима после снятия ограничения и сопутствующего технологического ущерба;

7. принятие итогового решения о допустимости применения IV категории к объекту: объект признается допустимым при условии, что выделена неотключаемая нагрузка, подтверждена техническая управляемость, обеспечена совместимость с противоаварийной автоматикой и выполнены расчетные условия экономической оправданности; в противном случае объект подлежит присоединению по иной категории либо требует доработки схемы электроснабжения и средств управления.

Итогом предложенного алгоритма является формирование инженерного паспорта управляемости, который рассматривается в работе как основной документ для принятия решения о допустимости применения IV категории к конкретному объекту. В таком документе должны быть зафиксированы состав ограничиваемой и отключаемой нагрузки, минимально допустимое питание технологического процесса, алгоритм разгрузки, регламент взаимодействия с сетевой организацией и условия безопасного восстановления режима после ограничения.

Приведенная структура не претендует на универсальность для всех горных объектов, однако отражает принципиальный подход: в состав неотключаемой нагрузки включаются электроприемники, связанные с безопасностью и непрерывностью жизнеобеспечивающих функций, тогда как ограничиваемая и отключаемая нагрузка формируется из вспомогательных и технологически допускающих останов групп. Именно такое разбиение позволяет перейти от общего нормативного описания IV категории к предметной инженерной оценке. В отличие от общего нормативного подхода для шахтных объектов инженерная оценка должна учитывать специфические режимные и эксплуатационные факторы: длинные линии питания, выраженные колебания напряжения, ускоренное старение изоляции, риски утечек и влияние качества электроэнергии на безопасность технологического процесса [22–25].

Для практической реализации ограничений по IV категории важна не только структура нагрузки, но и набор обязательных технических условий. Они сведены в Таблицу 3.

Результаты исследования

Экономическая логика IV категории сводится к сопоставлению двух групп эффектов. Первая связана с более ранним вводом мощности и сокраще-

Таблица 3. Типовые инженерные требования к присоединению по IV категории
Table 3. Typical engineering requirements for connection under the IV category

Блок требований	Что должно быть обеспечено	Практическая проверка	Нормативная/справочная база
Наблюдаемость	Телеметрия мощности, напряжения и состояний в сторону СО и ЦУС	Перечень измеряемых параметров, протокол обмена, акт проверки каналов связи	СТО 59012820.27.010.001-2022 [13]
Управляемость	Возможность ограничения или отключения выделенной нагрузки по команде	Регламент действий, испытания телеуправления, подтверждение исполнения команды	СТО 59012820.35.110.002-2022 [14], ГОСТ Р 59948-2021 [10]
Разделяемость нагрузки	Выделение ограничиваемых и отключаемых групп без недопустимых последствий	Схема внешнего и внутреннего электроснабжения, перечень групп нагрузки	ПУЭ, гл. 1.2 [7]
Безопасность техпроцесса	Допустимость остановки и восстановления оборудования	Технический отчет по рискам, согласование с технологическими службами и службами промышленной безопасности	Отраслевые нормы для горных предприятий [15]
Совместимость с противоаварийной автоматикой (ПАА)	Корректная работа защит и автоматики при ограничении нагрузки	Проверка расчетной схемы режимов, заключение по РЗА и противоаварийной автоматике	ГОСТ Р 55105-2019 [8], ГОСТ 34045-2023 [11], ГОСТ Р 59979-2025 [12]

нием срока ожидания технологического присоединения. Вторая обусловлена необходимостью обеспечить управляемость нагрузки и принять риск ограничений, который для разных объектов может иметь различную стоимость. Поэтому решение о выборе IV категории должно приниматься не по формальному признаку, а по результатам сопоставления выигрыша от ускоренного присоединения и совокупного технологического ущерба.

Для горных предприятий такая оценка имеет повышенную сложность. Здесь последствия ограничения нагрузки не исчерпываются недоотпуском энергии или снижением производительности. Даже кратковременный перерыв питания может вызывать дополнительную нагрузку на оборудование, усложнять восстановление технологического режима и затрагивать параметры безопасности. По этой причине экономическая оценка IV категории на объектах горного профиля должна проводиться с учетом внутренней структуры нагрузки и последствий отключения каждой ее группы.

В качестве типового объекта рассмотрим угольную шахту с присоединенной мощностью 20 МВт на напряжении 110 кВ. Выбор именно такого объекта обусловлен тем, что для шахт наиболее жестко проявляется противоречие между допустимостью ограничения части нагрузки и необходимостью безусловного сохранения электроснабжения систем жизнеобеспечения. В соответствии с Таблицей 2 неотключаемая нагрузка, связанная с безопасностью и устойчивостью управления объектом, составляет 6 МВт, а потенциально ограничиваемая или отключаемая нагрузка – 14 МВт. Именно эта величина далее используется в расчетах, что позволяет связать оценку с внутренней структурой объекта.

Оценка годовых потерь от ограничений выполняется по выражению

$$L_{\text{огр}} = P_{\text{огр}} \cdot t_{\text{огр}} \cdot m$$

где $P_{\text{огр}}$ – средняя ограничиваемая мощность, МВт; $t_{\text{огр}}$ – суммарная продолжительность ограничений, ч/год; m – маржинальная стоимость потребления, руб./(МВт·ч).

Для расчета маржинальная добавленная стоимость потребления принята на уровне 3500 руб./(МВт·ч) как условная консервативная оценка для энергоемкого промышленного объекта. В рамках настоящей статьи данная величина используется не как универсальный норматив, а как расчетное допущение, позволяющее сопоставить эффект ускоренного присоединения и прямые потери от ограничений.

Предположим, что при присоединении по III категории срок выполнения мероприятий по усилению узла составляет 36 месяцев, а при выборе IV категории потребитель получает возможность этапного ввода мощности через 12 месяцев. Рассмотрим три сценария ограничений: S_1 – 40 ч/год, S_2 – 200 ч/год, S_3 – 600 ч/год.

При P_огр = 14 МВт расчетные потери составляют: для S_1 – 1,96 млн руб./год; для S_2 – 9,80 млн руб./год; для S_3 – 29,40 млн руб./год.

Эти значения следует сопоставлять с эффектом ускоренного ввода. Если более ранний запуск проекта обеспечивает дополнительный денежный поток $E_{\text{уск}}$, например, 150 млн руб./год после начала эксплуатации, то экономическая мотивация выбора IV категории в общем случае сохраняется даже при сценарии S3. Однако такой вывод допустим только для тех объектов, где ограничение нагрузки не приводит к несопоставимым косвенным потерям: повреждению оборудования, срыву технологического цикла, пиковым пусковым нагрузкам и рискам для безопасности. Как показывают исследования ущербов от перерывов электроснабжения, стоимость таких последствий нередко носит нелинейный характер и не сводится к простому недоотпуску энергии [16]. Для горных предприятий это особенно существенно, поскольку величина технологического ущерба определяется не только длительностью ограничения, но и состоянием сети, качеством напряжения, поведением защит, условиями повторного пуска и риском деградации элементов системы электроснабжения [22–25].

В дальнейшей оценке величины $E_{\text{уск}}$, $L_{\text{огр}}$ и $L_{\text{тех}}$ должны быть приведены к одному расчетному периоду. В демонстрационном примере ниже они рассматриваются в годовом выражении, что позво-

Таблица 4. Анализ выгод и издержек участников процесса
Table 4. Analysis of benefits and costs for process participants

Участник	Потенциальная выгода	Основные издержки	Ключевые риски и узкие места
Потребитель	Ускорение ввода, возможность получить мощность этапом	Капитальные и эксплуатационные затраты на управляемость, потери от ограничений	Отключения без лимита, спорные ситуации по ответственности
Сетевая организация	Снижение давления по дефициту, гибкость управления узлом	Операционные затраты на ЦУС, регламенты и каналы связи	Рост сложности управления, влияние на показатели качества услуг
Системный оператор	Дополнительный ресурс для управления режимом и устойчивостью	Требования к технологической информации, каналам связи и верификации	Недостоверная телеметрия, несрабатывание разгрузки
Генерация и сбыт	Снижение риска аварийных ограничений для приоритетных потребителей	Неопределенность профиля спроса, договорная адаптация	Влияние диспетчерских ограничений на договорные и коммерческие расчеты

ляет сопоставить эффект более раннего ввода объекта и годовые потери, обусловленные ограничением нагрузки.

Для формализованной оценки допустимости применения IV категории предлагается использовать расчетный критерий

$$K_{IV} = \frac{E_{\text{уск}}}{L_{\text{огр}} + L_{\text{тех}}}$$

где $E_{\text{уск}}$ – эффект ускоренного присоединения и более раннего ввода объекта; $L_{\text{огр}}$ – прямые потери от ограничений нагрузки; $L_{\text{тех}}$ – технологический ущерб, связанный с остановом и восстановлением процесса.

Экономически применение IV категории оправдано при $K_{IV} > 1$. Однако для горных предприятий это условие является необходимым, но недостаточным. Дополнительно должны быть выполнены инженерные ограничения: сохранение неотключаемой нагрузки систем жизнеобеспечения, наличие телеметрии и дистанционного управления, а также совместимость режима разгрузки с противоаварийной автоматикой.

Следовательно, итоговое решение о допустимости применения IV категории к объекту горного профиля может быть принято только при одновременном выполнении двух условий: $K_{IV} > 1$ и выполнены требования промышленной безопасности и управляемости. Такая постановка позволяет связать нормативный режим присоединения с предметной инженерной оценкой объекта.

Обсуждение

Разграничение IV категории и управления спросом в рамках данной работы рассматривается лишь как фоновое условие. Для целей инженерной оценки принципиально важно, что в первом случае управляемость является обязательным элементом договорного режима электроснабжения, а во втором – добровольной рыночной услугой за вознаграждение [5, 17]. Поэтому для горных предприятий ключевым остается не правовой статус механизма сам по себе, а допустимость и безопасность ограничения конкретных групп нагрузки. Полученные результаты показывают, что применимость IV категории на горных предприятиях определяется не столько самим фактом допустимости ограничений, сколько сочетанием трех условий: наличием управляемой неответственной нагрузки, подтвержденной технической готовностью к внешнему управлению и приемлемой величиной совокупного ущерба. Для подземных горных объектов первичными являются требования электробезопасности, надежности защит и сохранения функций жизнеобеспечения [18–25].

Выводы

1. Введение IV категории надежности электроснабжения закрепило в нормативной базе особый режим технологического присоединения и последующей эксплуатации для крупных потребителей, допускающих ограничение нагрузки без нормативно установленного предела по длительности и частоте перерывов.

2. Для горных предприятий применение IV категории допустимо только при условии четкого разделения нагрузки на неотключаемую, ограничиваемую и отключаемую группы. Электроприемники, обеспечивающие водоотлив, вентиляцию, подъем, связь, диспетчерский контроль и иные функции безопасности, не должны включаться в состав нагрузки, подлежащей ограничению.

3. Научно-практический результат работы состоит в предложении инженерного подхода к оценке допустимости применения IV категории на горных предприятиях. Подход включает алгоритм предварительной проверки готовности объекта, классификацию нагрузки типовой угольной шахты и расчетный критерий K_{IV}, учитывающий эффект ускоренного присоединения, прямые потери от ограничений и технологический ущерб.

4. Для типового объекта горного профиля с присоединенной мощностью 20 МВт показано, что при наличии 6 МВт неотключаемой нагрузки и 14 МВт ограничиваемой или отключаемой нагрузки применение IV категории может быть предварительно признано экономически оправданным, если эффект ускоренного ввода превышает прямые потери от ограничений и дополнительно подтверждена допустимость технологического ущерба и требований промышленной безопасности.

5. Практическая реализуемость IV категории определяется не только договорными условиями, но прежде всего инженерной готовностью объекта: наличием телеметрии, дистанционного управления, устойчивых каналов связи, корректной структуры собственных нужд и согласованного алгоритма разгрузки.

6. Для объектов горного профиля применение IV категории целесообразно прежде всего в тех случаях, когда возможно выделение управляемой неответственной нагрузки, а решение о допустимости такого режима принимается по результатам последовательной инженерной проверки структуры нагрузки, технической управляемости, совместимости с ПАА и расчетной оценки эффекта ускоренного присоединения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 07.02.2026 № 103 «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202602070011 (дата обращения: 30.03.2026).

2. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2004 № 861 «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг, Правил недискриминационного доступа к услугам по оперативно-диспетчерскому управлению в электроэнергетике и оказания этих услуг, Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого

хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102090372 (дата обращения: 30.03.2026).

3. Постановление Правительства Российской Федерации от 04.05.2012 № 442 «О функционировании розничных рынков электрической энергии, полном и (или) частичном ограничении режима потребления электрической энергии». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102156905 (дата обращения: 30.03.2026).

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 14.02.2026 № 141 «О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 4 мая 2012 г. № 442». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202602200043 (дата обращения: 30.03.2026).

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2010 № 1172 «Об утверждении Правил оптового рынка электрической энергии и мощности». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?backlink=1&docbody=&nd=102146413&prevDoc=102119092 (дата обращения: 30.03.2026).

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 13.08.2018 № 937 «Об утверждении Правил технологического функционирования электроэнергетических систем и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201808160007 (дата обращения: 30.03.2026).

7. Правила устройства электроустановок. Издание 7. Глава 1.2. Электроснабжение и электрические сети: утв. приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204. Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200030217 (дата обращения: 30.03.2026).

8. ГОСТ Р 55105-2019. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. Текст: электронный // ФГБУ «Российский институт стандартизации». URL: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=236861 (дата обращения: 30.03.2026).

9. ГОСТ Р 59947-2021. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Дистанционное управление. Требования к информационному обмену при организации и осуществлении дистанционного управления. Текст: электронный // ФГБУ «Российский институт стандартизации». URL: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=242707 (дата обращения: 30.03.2026).

10. ГОСТ Р 59948-2021. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Дистанционное управление. Требования к управлению электросетевым оборудованием и устройствами релейной защиты и автоматики. Текст: электронный // ФГБУ «Российский институт стандартизации». URL: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=242667 (дата обращения: 30.03.2026).

11. ГОСТ 34045-2023. Электроэнергетические системы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования. Текст: электронный // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: https://docs.cntd.ru/document/1301396123 (дата обращения: 30.03.2026).

12. ГОСТ Р 59979-2025. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Устройства локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости. Нормы и требования. Текст: электронный // ФГБУ «Российский институт стандартизации». URL: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=265352 (дата обращения: 30.03.2026).

13. СТО 59012820.27.010.001-2022. Правила отображения технологической информации. Текст: электронный // АО «СО ЕЭС». URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_inform_2022.pdf (дата обращения: 30.03.2026).

14. СТО 59012820.35.110.002-2022. Организация каналов информационного обмена между объектами электроэнергетики, центрами управления сетями сетевых организаций, центрами управления ветровыми электростанциями, центрами управления солнечными электростанциями и диспетчерскими центрами АО «СО ЕЭС» в сетях связи с коммутацией пакетов. Текст: электронный // АО «СО ЕЭС». URL: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_inform_change_2022.pdf (дата обращения: 30.03.2026).

15. Приказ Ростехнадзора от 08.12.2020 № 507 «Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». Текст: электронный // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012210103 (дата обращения: 30.03.2026).

16. Кронгауз Д. Э. Оценка ущербов от перерывов в электроснабжении потребителей // Электроэнергия. Передача и распределение. 2017. № 6(45). URL: https://eepir.ru/article/ocenka-uscherbov-ot-

pereryvov-v-elektrosnabghenii-potrebiteley/ (дата обращения: 30.03.2026).

17. Папков Б. В., Илюшин П. В., Куликов А. Л. Особенности управления электропотреблением в сложных производственных системах // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2024. № 4. С. 36–50. DOI: 10.31857/S0002331024040039. URL: https://energeticsras.ru/10-31857-s0002331024040039-1/ (дата обращения: 30.03.2026).

18. Ranaboldo M., Aragüés-Peñalba M., Arica E. [et al.] A comprehensive overview of industrial demand response status in Europe // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2024. Vol. 203. Art. 114797. DOI: 10.1016/j.rser.2024.114797. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032124005239 (дата обращения: 31.03.2026).

19. Dos Santos S.A.B., Soares J.M., Barroso G.C., de Athayde Prata B. Demand response application in industrial scenarios: A systematic mapping of practical implementation // Expert Systems with Applications. 2023. Vol. 215. Art. 119393. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119393. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417422024113 (дата обращения: 31.03.2026).

20. Yasmin R., Amin B. M. R., Shah R., Barton A. A Survey of Commercial and Industrial Demand Response Flexibility with Energy Storage Systems and Renewable Energy // Sustainability. 2024. Vol. 16. № 2. Art. 731. DOI: 10.3390/su16020731. URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/16/2/731 (дата обращения: 31.03.2026).

21. Long X., Ni Z., Li Y. [et al.] Industry demand response in dispatch strategy for high-proportion renewable energy power system // Journal of Automation and Intelligence. 2024. Vol. 3. № 4. Pp. 191–201. DOI: 10.1016/j.jai.2024.08.002. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949855424000352 (дата обращения: 31.03.2026).

22. Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Babyr N.V. [et al.] Modelling of Reliability Indicators of a Mining Plant // Mathematics. 2024. Vol. 12. № 18. Art. 2842. DOI: 10.3390/math12182842. URL: https://www.mdpi.com/2227-7390/12/18/2842 (дата обращения: 31.03.2026).

23. Fu W., Xu Y., Lv T., Zhang L. On Voltage Regulation Technology for Long-Distance Power Supply in Underground Coal Mines Based on On-Load Voltage Regulation // Processes. 2025. Vol. 13. № 12. Art. 3808. DOI: 10.3390/pr13123808. URL: https://www.mdpi.com/2227-9717/13/12/3808 (дата обращения: 31.03.2026).

24. Pang S., Wang Y., Cao J., Ma T. Leakage Detection Method of Coal Mine Power Supply System Based on 3AC // Applied Sciences. 2025. Vol. 15. № 7. Art. 3798. DOI: 10.3390/app15073798. URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/7/3798 (дата обращения: 31.03.2026).

25. Karpov A.S., Yaroshevich V.V., Gubskaya E.I. Research on Electrical Energy Parameters in the Distribution System of a Mining Facility // Applied Sciences. 2025. Vol. 15. № 21. Art. 11355. DOI: 10.3390/app152111355. URL: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/21/11355 (дата обращения: 31.03.2026).

© 2026 Авторы. Эта статья доступна по лицензии CreativeCommons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:
Кудряшов Дмитрий Семенович, кандидат технических наук, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: kudryashovds@kuzstu.ru.
Паскарь Иван Николаевич, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), e-mail: pin.egpp@kuzstu.ru.

Заявленный вклад авторов:
Кудряшов Дмитрий Семенович – постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ нормативной базы, разработка инженерного подхода, подготовка текста рукописи.
Паскарь Иван Николаевич – сбор и анализ материалов, участие в подготовке таблиц, обсуждение результатов, редактирование рукописи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-12-23

Dmitriy S. Kudryashov *, Ivan N. Paskar

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: kudryashovds@kuzstu.ru

ENGINEERING ASSESSMENT OF THE APPLICABILITY OF THE IV POWER SUPPLY RELIABILITY CATEGORY AT MINING ENTERPRISES

Abstract.

The introduction of the IV power supply reliability category into the regulation of grid connection procedures in 2026 has established a new connection regime for large consumers that accept load curtailment without strictly standardized limits on the duration and frequency of interruptions. This issue is of particular importance for mining enterprises because power supply restrictions at such facilities affect not only productivity, but also occupational safety, technological stability and the operation of life-support systems. The purpose of the study is to develop an engineering approach to assessing the applicability of the IV reliability category at mining enterprises. The research is based on the analysis of the current regulatory framework, comparison of power supply reliability categories, a step-by-step engineering assessment of load structure, and a calculated evaluation of the technical and economic consequences of applying the IV category to a typical mining facility. The paper proposes a preliminary assessment algorithm including the identification of non-disconnectable, limitable and disconnectable loads, verification of observability and controllability, compatibility assessment with emergency control automation, and analysis of safe post-curtailment restoration conditions. For a typical coal mine, a classification of electrical loads by admissibility of restriction is developed, and a calculated criterion is proposed to compare the effect of accelerated grid connection with direct curtailment losses and technological damage. It is shown that the IV category can be considered for mining enterprises only if uninterrupted supply is maintained for dewatering, ventilation, hoisting, communication, dispatching and other safety-related systems. The obtained results may be used in selecting a connection scheme, preparing an engineering controllability passport, and conducting a preliminary assessment of the applicability of the IV category at mining industry facilities.

Article info
Received:
15 April 2026

Accepted for publication:
01 September 2026

Accepted:
15 September 2026

Keywords: *IV reliability category, power supply reliability, grid connection, mining enterprise, controllable load, telemetry, emergency control automation, industrial safety*

For citation: Kudryashov D.S., Paskar I.N. Engineering Assessment of the Applicability of the IV Power Supply Reliability Category at Mining Enterprises. Mining Equipment and Electromechanics, 2026; 4(186):12-23 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2026-4-12-23, EDN: QNAEHB

REFERENCES

1. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 07.02.2026 No. 103 "O vnesenii izmenenii v nekotorye akty Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii" [On introducing amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2026. Available at: https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202602070011 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

2. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.12.2004 No. 861 "Ob utverzhdenii Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po peredache elektricheskoi energii i okazaniya etikh uslug, Pravil nediskriminatsionnogo dostupa k uslugam po operativno-dispetcherskomu upravleniyu v elektroenergetike i okazaniya etikh uslug, Pravil tekhnologicheskogo prisoedineniya energoprinimayushchikh ustroistv potrebitelei elektricheskoi energii, ob'ektov po proizvodstvu elektricheskoi energii, a takzhe ob'ektov elektrosetevogo khozyaistva, prinadlezhashchikh setevym organizatsiyam i inym litsam, k elektricheskim setyam" [On approval of the Rules for non-discriminatory access to electric power transmission services and provision of these services, Rules for non-discriminatory access to dispatch control services in the electric power industry and provision of these services, Rules for technological connection of consumers' power receiving devices, electric power generation facilities and electric grid facilities to electric networks]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2004. Available at: https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102090372 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

3. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 04.05.2012 No. 442 "O funktsionirovanii roznichnykh rynkov elektricheskoi energii, polnom i (ili) chastichnom ogranichenii rezhima potrebleniya elektricheskoi energii" [On functioning of retail electricity markets and full and/or partial restriction of electricity consumption]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2012. Available at: https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102156905 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

4. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 14.02.2026 No. 141 "O vnesenii izmenenii v postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 4 maya 2012 g. No. 442" [On amendments to the Resolution of the Government of the Russian Federation of May 4, 2012 No. 442]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2026. Available at:

https://publication.pravo.gov.ru/document/0001202602200043 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

5. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 27.12.2010 No. 1172 "Ob utverzhdenii Pravil optovogo rynka elektricheskoi energii i moshchnosti" [On approval of the Rules of the wholesale electricity and capacity market]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2010. Available at: https://pravo.gov.ru/proxy/ips/?backlink=1&docbody=&nd=102146413&prevDoc=102119092 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

6. Postanovlenie Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 13.08.2018 No. 937 "Ob utverzhdenii Pravil tekhnologicheskogo funktsionirovaniya elektroenergeticheskikh sistem i o vnesenii izmenenii v nekotorye akty Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii" [On approval of the Rules for technological functioning of electric power systems and amendments to certain acts of the Government of the Russian Federation]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2018. Available at: https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201808160007 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

7. Pravila ustroistva elektroustanovok. Izdanie 7. Glava 1.2. Elektrosnabzhenie i elektricheskie seti: utv. prikazom Minenergo Rossii ot 08.07.2002 No. 204 [Electrical Installation Code. Edition 7. Chapter 1.2. Power supply and electric networks]. Elektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. 2002. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1200030217 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

8. GOST R 55105-2019. Edinaya energeticheskaya sistema i izolirovanno rabotayushchie energosistemy. Operativno-dispetcherskoe upravlenie. Avtomaticheskoe protivoavariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Protivoavariinaya avtomatika energosistem. Normy i trebovaniya [Unified power system and isolated power systems. Operational dispatch control. Automatic emergency control of power system operation. Emergency control automation of power systems. Norms and requirements]. Rossiiskii institut standartizatsii. Available at: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=236861 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

9. GOST R 59947-2021. Edinaya energeticheskaya sistema i izolirovanno rabotayushchie energosistemy. Operativno-dispetcherskoe upravlenie. Distantsionnoe upravlenie. Trebovaniya k informatsionnomu obmenu pri organizatsii i osushchestvlenii distantsionnogo upravleniya [Unified power system and isolated power systems. Operational dispatch control. Remote control. Requirements for information exchange in remote control organization and implementation]. Rossiiskii institut standartizatsii. Available at: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=242707 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

10. GOST R 59948-2021. Edinaya energeticheskaya sistema i izolirovanno rabotayushchie energosistemy. Operativno-dispetcherskoe upravlenie. Distantsionnoe upravlenie. Trebovaniya k upravleniyu elektrosetevym oborudovaniem i ustroistvami releinoi zashchity i avtomatiki [Unified power system and isolated power systems. Operational dispatch control. Remote control. Requirements for control of electric grid equipment and relay protection and automation devices]. Rossiiskii institut standartizatsii. Available at: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=242667 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

11. GOST 34045-2023. Elektroenergeticheskie sistemy. Operativno-dispetcherskoe upravlenie. Avtomaticheskoe protivoavariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Protivoavariinaya avtomatika energosistem. Normy i trebovaniya [Electric power systems. Operational dispatch control. Automatic emergency control of power system operation. Emergency control automation of power systems. Norms and requirements]. Elektronnyi fond pravovykh i normativno-tekhnicheskikh dokumentov. Available at: https://docs.cntd.ru/document/1301396123 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

12. GOST R 59979-2025. Edinaya energeticheskaya sistema i izolirovanno rabotayushchie energosistemy. Releinaya zashchita i avtomatika. Avtomaticheskoe protivoavariinoe upravlenie rezhimami energosistem. Ustroistva lokal'noi avtomatiki predotvrashcheniya narusheniya ustoichivosti. Normy i trebovaniya [Unified power system and isolated power systems. Relay protection and automation. Automatic emergency control of power system operation. Local automation devices for preventing stability нарушения. Norms and requirements]. Rossiiskii institut standartizatsii. Available at: https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=265352 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

13. STO 59012820.27.010.001-2022. Pravila otobrazheniya tekhnologicheskoi informatsii [Rules for display of technological information]. AO SO EES. 2022. Available at: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_inform_2022.pdf (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

14. STO 59012820.35.110.002-2022. Organizatsiya kanalov informatsionnogo obmena mezhdu ob'ektami elektroenergetiki, tsentrami upravleniya setyami setevykh organizatsii, tsentrami upravleniya vetrovymi elektrostantsiyami, tsentrami upravleniya solnechnymi elektrostantsiyami i dispetcherskimi tsentrami AO SO EES v setyakh svyazi s kommutatsiei paketov [Organization of information exchange channels between power facilities, grid control centers of network organizations, wind and solar power plant control centers and dispatch centers of SO UPS in packet-switched communication networks]. AO SO EES. 2022. Available at: https://www.so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_inform_change_2022.pdf (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

15. Prikaz Rostekhnadzora ot 08.12.2020 No. 507 "Ob utverzhdenii Federal'nykh norm i pravil v oblasti promyshlennoi bezopasnosti 'Pravila bezopasnosti v ugol'nykh shakhtakh'" [Order of Rostekhnadzor No. 507 of 08.12.2020 'On approval of the Federal norms and rules in the field of industrial safety “Safety rules in coal mines”"]. Ofitsial'nyi internet-portal pravovoi informatsii. 2020. Available at: https://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012210103 (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

16. Krongauz D.E. Otsenka ushcherbov ot pereryvov v elektrosnabzhenii potrebitelei [Assessment of damage from power supply interruptions to consumers]. Elektroenergiya. Peredacha i raspredelenie = Electric Power. Transmission and Distribution. 2017;(6):45. Available at: https://eepir.ru/article/ocenka-uscherbov-ot-pereryvov-v-elektrosnabghenii-potrebiteley/ (accessed 30.03.2026). (In Russ.).

17. Papkov B.V., Ilyushin P.V., Kulikov A.L. Osobennosti upravleniya elektropotrebleniem v slozhnykh proizvodstvennykh sistemakh [Features of power consumption control in complex industrial systems]. Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Energetika = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. *Power Engineering.* 2024; 4:36-50. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002331024040039. Available at: https://energeticsras.ru/10-31857-s0002331024040039-1/ (accessed 30.03.2026).

18. Ranaboldo M., Aragues-Penalba M., Arica E. [et al.] A comprehensive overview of industrial demand response status in Europe. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2024; 203:114797. DOI: 10.1016/j.rser.2024.114797.

19. Dos Santos S.A.B., Soares J.M., Barroso G.C., de Athayde Prata B. Demand response application in industrial scenarios: A systematic mapping of practical implementation. *Expert Systems with Applications.* 2023; 215:119393. DOI: 10.1016/j.eswa.2022.119393.

20. Yasmin R., Amin B.M.R., Shah R., Barton A. A Survey of Commercial and Industrial Demand Response Flexibility with Energy Storage Systems and Renewable Energy. *Sustainability.* 2024; 16(2):731. DOI: 10.3390/su16020731.

21. Long X., Ni Z., Li Y. [et al.] Industry demand response in dispatch strategy for high-proportion renewable energy power system. *Journal of Automation and Intelligence.* 2024; 3(4):191-201. DOI: 10.1016/j.jai.2024.08.002.

22. Malozyomov B.V., Martyushev N.V., Babyr N.V. [et al.] Modelling of Reliability Indicators of a Mining Plant. *Mathematics.* 2024; 12(18):2842. DOI: 10.3390/math12182842. Available at: https://www.mdpi.com/2227-7390/12/18/2842 (accessed 30.03.2026).

23. Fu W., Xu Y., Lv T., Zhang L. On Voltage Regulation Technology for Long-Distance Power Supply in Underground Coal Mines Based on On-Load Voltage Regulation. *Processes.* 2025; 13(12):3808. DOI: 10.3390/pr13123808. Available at: https://www.mdpi.com/2227-9717/13/12/3808 (accessed 30.03.2026).

24. Pang S., Wang Y., Cao J., Ma T. Leakage Detection Method of Coal Mine Power Supply System Based on 3AC. *Applied Sciences.* 2025;15(7):3798. DOI: 10.3390/app15073798. Available at: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/7/3798 (accessed 30.03.2026).

25. Karpov A.S., Yaroshevich V.V., Gubskaya E.I. Research on Electrical Energy Parameters in the Distribution System of a Mining Facility. *Applied Sciences.* 2025; 15(21):11355. DOI: 10.3390/app152111355. Available at: https://www.mdpi.com/2076-3417/15/21/11355 (accessed 30.03.2026).

© 2026 The Authors. This is an open access article under the CC BY license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:
Dmitriy S. Kudryashov, Cand. Sc. (Engineering), T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 Vesennyaya St., Kemerovo 650000, Russia), e-mail: kudryashovds@kuzstu.ru
Ivan N. Paskar, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (28 Vesennyaya St., Kemerovo 650000, Russia), e-mail: pin.egpp@kuzstu.ru

Contribution of the authors:
Dmitriy S. Kudryashov– research problem statement, conceptualisation of the study, regulatory analysis, development of the engineering approach, manuscript drafting.
Ivan N. Paskar– collection and analysis of materials, participation in preparing tables, discussion of results, manuscript editing.

Authors have read and approved the final manuscript.