

УДК 622.271:629.423.32
DOI: 10.18799/24131830/2025/12/5321
Шифр специальности ВАК: 2.4.2
Научная статья



Сценарное моделирование стоимости технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры аккумуляторного электротранспорта предприятий открытой добычи полезных ископаемых

И.Ю. Семькина^{1✉}, В.М. Завьялов¹, Е.Н. Таран¹, Я.А. Нечипоренко¹, Г.Н. Климова²

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, г. Кемерово

² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, г. Томск

✉ arinasemykina@gmail.com

Аннотация. Актуальность. Современные тенденции мировой экономики диктуют необходимость внедрения новых мер для снижения экологической нагрузки и повышения эффективности и безопасности в горнодобывающей отрасли. Цифровая трансформация выступает как стратегический инструмент, обеспечивающий конкурентоспособность и устойчивость горнодобывающих предприятий, в том числе предприятий открытой добычи полезных ископаемых. Центральным элементом данной трансформации является развитие электрифицированного транспорта, в частности аккумуляторных карьерных самосвалов, предназначенных для использования в автономном режиме. Внедрение беспроводных зарядных станций способствует автоматизации технологических процессов, однако требует проведения дополнительных исследований и адаптации к специфическим условиям эксплуатации на горных предприятиях. Вопросы размещения инфраструктуры и оценки затрат на подключение к сети электроснабжения являются актуальными и требуют детального изучения. **Объекты:** беспроводная зарядная инфраструктура для полностью электрических карьерных самосвалов; технологическое присоединение к сети электроснабжения. **Цель:** оценка стоимости технологического присоединения к сети электроснабжения беспроводной зарядной инфраструктуры аккумуляторного электротранспорта предприятий открытой добычи полезных ископаемых для разных сценариев заряда. **Методы:** сценарное моделирование, электротехнические расчеты. **Результаты.** Приведена методика оценки мощности технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры для разных сценариев беспроводного заряда и формулы для оценки стоимости технологического присоединения. Для модельного предприятия открытой добычи полезных ископаемых выполнены электротехнические расчеты, проведен выбор оборудования оценка стоимости технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры электрических карьерных самосвалов для трех сценариев беспроводного заряда. Расчеты показали, что наименьшие удельные затраты на технологическое присоединение зарядной инфраструктуры имеют станции динамического заряда, а наибольшие удельные затраты – станции стационарного типа для одного самосвала, размещаемые на пунктах погрузки и при необходимости на пунктах разгрузки. При этом суммарная мощность беспроводной зарядной инфраструктуры имеет обратное соотношение.

Ключевые слова: карьерный самосвал, аккумуляторный электротранспорт, станция беспроводного заряда, зарядная инфраструктура, электроснабжение

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (№ 075-03-2024-082-2).

Для цитирования: Сценарное моделирование стоимости технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры аккумуляторного электротранспорта предприятий открытой добычи полезных ископаемых / И.Ю. Семькина, В.М. Завьялов, Е.Н. Таран, Я.А. Нечипоренко, Г.Н. Климова // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2025. – Т. 336. – № 12. – С. 142–154. DOI: 10.18799/24131830/2025/12/5321



Scenario modeling of the utility connection charge for wireless charging infrastructure of battery electric vehicles in open-pit mines

I.Yu. Semykina^{1✉}, V.M. Zavyalov¹, E.N. Taran¹, Ya.A. Nechiporenko¹, G.N. Klimova²,

¹ T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

✉ arinasemykina@gmail.com

Abstract. Relevance. Current global economic trends necessitate the implementation of new measures to reduce environmental impact and improve efficiency and safety in the mining industry. Digital transformation is a strategic tool that ensures the competitiveness and sustainability of mining enterprises, including open-pit mines. The central element of this transformation is the development of electric transport, particularly battery-powered dump trucks designed for autonomous use. The introduction of wireless charging stations contributes to the automation of technological processes, but requires additional research and adaptation to specific operating conditions at open-pit mines. The issues of infrastructure placement and utility connection charge for connecting to the power supply are relevant and require a detailed study. **Objects.** Wireless charging infrastructure for battery-powered dump trucks and their utility connection to the electric power supply. **Aim.** To estimate the utility connection charge for the wireless charging infrastructure of battery electric vehicles in open-pit mines for different charging scenarios. **Methods.** Scenario modeling, electro-technical valuations. **Results.** The paper presents the methodology for assessing the power capacity of the wireless charging infrastructure and its technological connection for different scenarios of wireless charging, and the assessment formulas for the utility connection charge. The authors performed electro-technical valuations for a model open-pit mine, selected the equipment, and assessed the utility connection charge for the wireless charging infrastructure of battery-powered dump trucks for three wireless charging scenarios. The calculations showed that the lowest specific costs for the utility connection of the charging infrastructure are for dynamic charging stations, and the highest specific costs are for individual stationary stations located at loading and, if necessary, unloading points. At the same time, the total power capacity of the wireless charging infrastructure has an inverse ratio.

Keywords: dump truck, battery-powered electric transport, wireless charging station, charging infrastructure, electric power supply

Acknowledgements: The research was supported by the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (no. 075-03-2024-082-2).

For citation: Semykina I.Yu., Zavyalov V.M., Taran E.N., Nechiporenko Ya.A., Klimova G.N. Scenario modeling of the utility connection charge for wireless charging infrastructure of battery electric vehicles in open-pit mines. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2025, vol. 336, no. 12, pp. 142–154. DOI: 10.18799/24131830/2025/12/5321

Введение

Тенденции развития мировой экономики требуют радикального переосмысления подходов к производству и управлению природными ресурсами. Растущий спрос на сырье, минимизация негативного воздействия на окружающую среду, ужесточение требований к безопасности труда и стремление к повышению эффективности вынуждают промышленные предприятия, особенно в горнодобывающей отрасли, активно внедрять инновационные технологии [1, 2]. При этом цифровая трансформация становится стратегической необходимостью, определяющей конкурентоспособность и устойчивость предприятий в долгосрочной перспективе.

Цифровая трансформация в управлении объектами недропользования, основанная на внедрении передовых цифровых технологий, ведет к всеоб-

емлющему изменению подходов, процессов и культуры в горнодобывающей отрасли [3, 4]. Вместе с тем повышается эффективность, безопасность, производительность, снижаются затраты и обеспечивается устойчивое развитие на всех этапах жизненного цикла месторождения.

Внедрение безлюдных производственных технологий на предприятиях открытой добычи полезных ископаемых [5], включающих автономные системы управления техникой, роботизированные комплексы и дистанционный мониторинг, позволит значительно повысить безопасность персонала за счет его вывода из опасных зон, оптимизировать производственные циклы и обеспечить непрерывную работу оборудования. Однако их полноценное внедрение требует глубокой интеграции в существующие процессы и создания соответствующей цифровой инфраструктуры.

Ключевым звеном этой трансформации в контексте декарбонизации тяжелой карьерной техники является развитие электрифицированного транспорта [6–8], поскольку непосредственно добыча осуществляется экскаваторами, питающимися от сети электроснабжения. Для автономных систем предпочтительно использовать аккумуляторный электротранспорт [9], обладающий большей мобильностью, но требующий зарядной инфраструктуры. Такая инфраструктура может быть проводной и беспроводной [10].

В условиях безлюдного производства применение проводных зарядных станций стационарного типа требует разработки дополнительных средств автоматизации, таких как роботизированные коннекторы [11], однако в настоящее время отсутствуют готовые решения для мощных крупногабаритных электромобилей, используемых в условиях высокой запыленности и вибрации. Если рассматривать системы проводного заряда типа «троллей-пантограф», аналогичные [12], на предприятиях открытой добычи полезных ископаемых они будут подвержены высокому абразивному износу, проблемам с загрязнением и пробоем изоляторов, а также будут ограничивать скорость и маневренность самосвалов.

Альтернативой являются системы беспроводного заряда [13]. Они не только соответствуют концепции безлюдного производства, но и в большей мере, чем проводные системы, способствуют автоматизации технологических процессов, поскольку позволяют совмещать заряд аккумуляторов с технологическими операциями, такими как погрузка или движение по маршруту. Однако данная технология находится на начальных этапах своего внедрения, а следовательно, все аспекты ее практической реализации нуждаются в дополнительных исследованиях. Особое внимание следует уделить вопросам интеграции в существующую систему электроснабжения и оценке затрат на технологическое присоединение. Важность этих вопросов обусловлена несколькими факторами. Во-первых, разнообразие технологических процессов предприятий открытой добычи полезных ископаемых, зависящих от состава экскаваторно-автомобильного комплекса, расстояния транспортировки, параметров трасс и интенсивности горных работ. Эти различия существенно влияют на требования к системе беспроводного заряда и ее размещение. Во-вторых, экономическая целесообразность использования аккумуляторных карьерных самосвалов в сочетании с системой беспроводного заряда определяется в том числе стоимостью технологического присоединения к системе электроснабжения. Проведение такой оценки ввиду отсутствия реализованных на практике аналогичных проектов требует

предварительной методической проработки, а некорректная оценка затрат может привести к значительным финансовым потерям.

Таким образом, оценка затрат на технологическое присоединение к системе электроснабжения для системы беспроводного заряда полностью электрических карьерных самосвалов представляет собой важную нерешенную научную задачу.

Материалы и методы

Оценка мощности технологического присоединения для разных сценариев беспроводного заряда

Стоимость технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры зависит от типа и мощности зарядных станций, их расположения на плане ведения горных работ, выбора сетевого электрооборудования и других факторов. Для обеспечения реализуемости проекта с финансовой точки зрения необходимо оптимизировать элементы беспроводной зарядной инфраструктуры по критерию минимальной стоимости с ограничениями, обусловленными технологическим процессом. У данной задачи много оптимизационных факторов: оптимизация движения самосвала в соответствии с принятой схемой диспетчеризации разреза, оптимальное построение системы электроснабжения, оптимизация энергопотребления самосвала при работе и в процессе заряда и т. д. Рассмотрим вопросы, касающиеся мощности элементов системы.

Мощность, потребляемая от беспроводной зарядной станции для восполнения заряда аккумуляторной батареи карьерного самосвала, определяется соотношением длительности технологических операций, сопряженных с зарядом и разрядом, количественная оценка которых может быть принята по [14, 15], а также типом зарядной станции. В данной работе рассматриваются следующие варианты организации беспроводной зарядной инфраструктуры: А) зарядные станции стационарного типа для одного самосвала, размещаемые на пунктах погрузки и при необходимости на пунктах разгрузки; Б) одна зарядная станция стационарного типа за пределами технологических трасс, рассчитанная на одновременный заряд нескольких карьерных самосвалов; В) станция динамического заряда в процессе движения.

Оценка мощности зарядной станции выполняется исходя из принципа энергетического баланса:

$$P_l \Delta t_o = P_s \Delta t_c, \quad (1)$$

где P_l – среднее значение мощности, отдаваемой в нагрузку, Вт; P_s – мощность, получаемая от источника питания, Вт; Δt_o – время эксплуатации, с; Δt_c – время заряда, с.

При оценке P_l предполагается, что основным потребителем электроэнергии аккумуляторных карьерных самосвалов – мотор-колеса. Мощность других электроприемников незначительна, а скорость движения самосвала на маршруте является постоянной. Таким образом:

$$P_l = Mv \frac{i}{r}, \quad (2)$$

где v – скорость движения самосвала, м/с; i – передаточное число редуктора; r – радиус колес самосвала, м; M – момент сопротивления мотор-колес, Н·м, вычисляемый согласно [16] по формуле:

$$M = \left(f \cos \alpha - r \sin \alpha \sqrt{1 - \frac{f}{r}} \right) \frac{mg}{2i}, \quad (3)$$

где α – угол наклона дороги, °; f – коэффициент трения качения, м; m – масса самосвала, кг; g – ускорение свободного падения, м/с².

Для *варианта А* время заряда Δt_c определяется длительностью погрузки Δt_l и разгрузки Δt_u с учетом установки под погрузку и разгрузку, а время эксплуатации Δt_o – длительностью одного цикла работы:

$$\Delta t_o = l_o / v. \quad (4)$$

Мощность каждого из источников питания определяется из соотношения:

$$P_s = P_l \frac{\Delta t_o}{\Delta t_l + \Delta t_u}. \quad (5)$$

Если предприятие имеет N маршрутов с индивидуальными пунктами погрузки, то приняв P_l одинаковой суммарная мощность технологического присоединения к сети электроснабжения определяется:

$$P_e = P_s \frac{k}{\eta} N, \quad (6)$$

где k – коэффициент запаса; η – КПД зарядной станции.

Для *варианта Б* время заряда Δt_c определяется длительностью пересменки либо допустимой длительностью простоя на заряд в случае беспилотного электротранспорта, а время эксплуатации Δt_o (7) определяется длительностью одного цикла работы и числом циклов за смену с учетом коэффициента простоев:

$$\Delta t_o = \frac{l_o}{v} \left[\frac{T_s}{l_o / v} (1 - \delta) \right], \quad (7)$$

где T_s – длительность смены, с; δ – коэффициент простоев.

Мощность источника питания определяется из соотношения:

$$P_s = P_l \frac{\Delta t_o}{\Delta t_c}. \quad (8)$$

Для предприятия с N маршрутами одновременно на пересменке могут быть лишь $L < N$ карьерных самосвалов, при этом значение L определяется схемой диспетчеризации. Таким образом, мощность технологического присоединения к сети электроснабжения с учетом коэффициента запаса и КПД зарядной станции определяется согласно:

$$P_e = P_s \frac{k}{\eta} L. \quad (9)$$

Для *варианта В* время эксплуатации Δt_o определяется длительностью одного цикла работы, а время заряда Δt_c – длительностью движения по участку трассы, оборудованному соответствующей инфраструктурой. При движении карьерного самосвала с постоянной скоростью мощность, получаемая от источника питания, будет определяться из соотношения:

$$P_s = P_l \frac{l_o}{l_c}, \quad (10)$$

где l_c – длина оборудованного участка трассы, м.

Число карьерных самосвалов K , одновременно находящихся на участке трассы, оборудованном инфраструктурой для беспроводного динамического заряда, определяется схемой диспетчеризации. В случае интенсивного движения или образования заторов $1 < K < N_j$. Предельное значение K_m в целях расчета мощности технологического присоединения можно получить из граничного условия, что одновременно на пункте разгрузки может находиться только один карьерный самосвал. Тогда

$$K_m = \left\lfloor \frac{\Delta t_u}{l_c / v} \right\rfloor. \quad (11)$$

Таким образом, мощность технологического присоединения к сети электроснабжения с учетом коэффициента запаса и КПД зарядной станции определяется по формуле:

$$P_e = \frac{k}{\eta} P_s \sum_j \begin{cases} N_j & \text{при } N_j < K_m; \\ K_m & \text{при } N_j \geq K_m. \end{cases} \quad (12)$$

Оценка стоимости технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры

Точный объем затрат на организацию технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры в каждом конкретном случае будет определяться сетевой организацией индивидуально на основании нормативно утвержденных тарифов и с учетом предоставленных технических условий,

сформированных на основе поданной заявки. В то же время в целях проведения технико-экономической оценки проектных решений стоимость технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры может быть оценена приблизительно.

Примем, что у сетевой организации есть техническая возможность технологического присоединения энергопринимающих устройств. В таком случае расчет платы за технологическое присоединение П_{ТП}, р., может быть проведен с применением стандартизированных тарифных ставок согласно [17]:

$$P_{\text{ТП}} = C_{\text{ТП}} + C_{\text{ВЛ35}} L_{\text{ВЛ35}} + C_{\text{ВЛ10}} L_{\text{ВЛ10}} + C_{\text{КЛ10}} L_{\text{КЛ10}} + C_{\text{СП}} N_{\text{СП}} + C_{\text{КТП}} N_{\text{КТП}} + C_{\text{ПС35}} + C_{\text{КУ}} q, \quad (13)$$

где $C_{\text{ТП}}$ – расходы на технологическое присоединение энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, р.; $C_{\text{ВЛ35}}$ – расходы на строительство воздушных линий электропередачи на уровне напряжения 35 кВ, р./км; $L_{\text{ВЛ35}}$ – суммарная протяженность воздушных линий электропередачи на уровне напряжения 35 кВ, км; $C_{\text{ВЛ10}}$ – расходы на строительство воздушных линий электропередачи на уровне напряжения 10 кВ, р./км; $L_{\text{ВЛ10}}$ – суммарная протяженность воздушных линий электропередачи на уровне напряжения 10 кВ, км; $C_{\text{КЛ10}}$ – расходы на строительство кабельных линий электропередачи на уровне напряжения 10 кВ, р./км; $L_{\text{КЛ10}}$ – суммарная протяженность кабельных линий электропередачи на уровне напряжения 10 кВ, км; $C_{\text{СП}}$ – расходы на строительство пунктов секционирования на i -м уровне напряжения, р./шт.; $N_{\text{СП}}$ – количество секционирующих пунктов, шт.; $C_{\text{КТП}}$ – расходы на строительство комплектных трансформаторных подстанций с уровнем напряжения до 35 кВ, р.; $N_{\text{КТП}}$ – количество трансформаторных подстанций с уровнем напряжения до 35 кВ, шт.; $C_{\text{ПС35}}$ – расходы на строительство центров питания, подстанций (ПС) уровнем напряжения 35 кВ и выше, р.; $C_{\text{КУ}}$ – расходы на обеспечение средствами коммерческого учета электрической энергии (мощности), р./ед.; q – необходимое количество точек коммерческого учета электрической энергии (мощности) на i -м уровне напряжения, ед.

Определение количественных параметров (13) для разных сценариев беспроводного заряда является результатом проектирования системы электроснабжения беспроводной зарядной инфраструктуры согласно методике, описанной в [18–20].

Результаты исследования

Поскольку электроснабжение карьеров обладает особыми характеристиками, которые связаны с технологией ведения горных работ и уникальными условиями работы электрооборудования и электрических сетей, при проектировании необходимо определить рациональную схему электроснабжения, обеспечивающую надлежащую категорию

надежности, качество электроэнергии, а также выбрать электрооборудование, соответствующее ряду специфических требований для обеспечения безопасности, надежности и эффективности.

В качестве модельного примера предприятия открытой добычи полезных ископаемых рассмотрим карьер на рис. 1, анализ параметров трасс для которого выполнен в [21]. Расположение трасс определялось с помощью геоинформационных систем по спутниковому снимку (рис. 1). Результаты расчетов мощности технологического присоединения для разных сценариев беспроводного заряда по методике (1)–(12) представлены в табл. 1.

Для питания беспроводной зарядной инфраструктуры выбрана ТП 35/10 кВ, которая подключается к источникам питания высшего напряжения существующей системы внешнего электроснабжения карьера. Вопросы наличия свободной мощности при расчетах не рассматривались. При выборе числа и мест расположения для ТП 35/10 кВ, карьерных распределительных пунктов (КРП) и ТП 10/0,4 кВ учитывалась их удаленность от технологических трасс, соотношение мощности единичной беспроводной зарядной станции и мощности силового трансформатора согласно ряду номинальных мощностей. Выбранные места расположения используемые при расчетах системы электроснабжения беспроводных зарядных станций для вариантов А–В приведены на рис. 1, а длины воздушных и кабельных линий заданы с использованием картографических инструментов геоинформационных систем.

Таблица 1. Исходные данные для расчета

Table 1. Initial data for calculations

Параметр Parameter	Вариант/Option			
	A/A	Б/В	B/C	
N , ед./units	10			
M , ед./units	1	3	4	5
P_e , кВт/kW	5660	10564	13465	
P_p , кВт/kW	566	10564	5984	7517
$\cos\varphi$	0,9			
$L_{\text{ВЛ}35}$, км/ $L_{\text{ВЛ}35}$, km	0,5	0,5	0,5	
$L_{\text{ВЛ}10}$, км/ $L_{\text{ВЛ}10}$, km	1	3	1	1
$L_{\text{КЛ}10}$, км/ $L_{\text{КЛ}10}$, km	0.9÷4		1.5÷2	2÷3.5

Примечание: M – число одновременно заряжаемых самосвалов; P_p – потребляемая мощность единичной беспроводной зарядной станции; N – количество самосвалов; P_e – расчетная мощность технологического присоединения; $\cos \varphi$ – принимаемый коэффициент мощности БЗС; $L_{\text{ВЛ35}}$ – протяженность воздушной линии напряжением 35 кВ; $L_{\text{ВЛ10}}$ – протяженность воздушной линии напряжением 10 кВ; $L_{\text{КЛ10}}$ – протяженность кабельной линии напряжением 10 кВ.

Note: M is the number of simultaneously charged dump trucks; P_p is the power consumption of the single wireless charging station; N is the number of dump trucks; P_e is the estimated capacity of the utility connection; $\cos \varphi$ is the assumed power factor of the wireless charging station; $L_{\text{ВЛ35}}$ is the length of the 35 kV overhead line; $L_{\text{ВЛ10}}$ is the length of the 10 kV overhead line; $L_{\text{КЛ10}}$ is the length of a 10 kV cable line.



Рис. 1. Конфигурация сети электроснабжения для разных вариантов размещения беспроводных зарядных станций

Fig. 1. Power supply configuration for different wireless locations of the charging stations

Мощности трансформаторов 6–10/0,4 кВ передвижных станций и мощности трансформаторов 35/10 кВ определены методикой, описан-

ной в [18, 19], расчетные схемы сети электро-снабжения показаны на рис. 2–4. При расчетах не рассматривались схемные решения РУ 0,4 кВ, так как они не влияют на расчет нагрузок на стороне 10 кВ. Связи между элементами схем на рис. 2–4 являются кабельными или воздушными линиями. Сечения проводников воздушных и кабельных ЛЭП напряжением до и выше 1000 В выбраны по условиям нагрева токами нагрузки с проверкой на термическую устойчивость от воздействия токов короткого замыкания для кабельных ЛЭП 6–10 кВ, проверены на допустимую потерю напряжения. Выбор сечения проводников по нагреву сводится к сравнению расчетного тока с длительно допустимыми токами нагрузки, приводимыми для стандартных сечений.

Для *варианта А* питание беспроводных зарядных станций стационарного типа, размещаемых на пунктах погрузки, принято по схеме электроснабжения, показанной на рис. 2. От шин ТП 35/10 кВ отходят бортовые ЛЭП, выполненные проводом СИП-3, спуски от КРП представлены в кабельном исполнении.

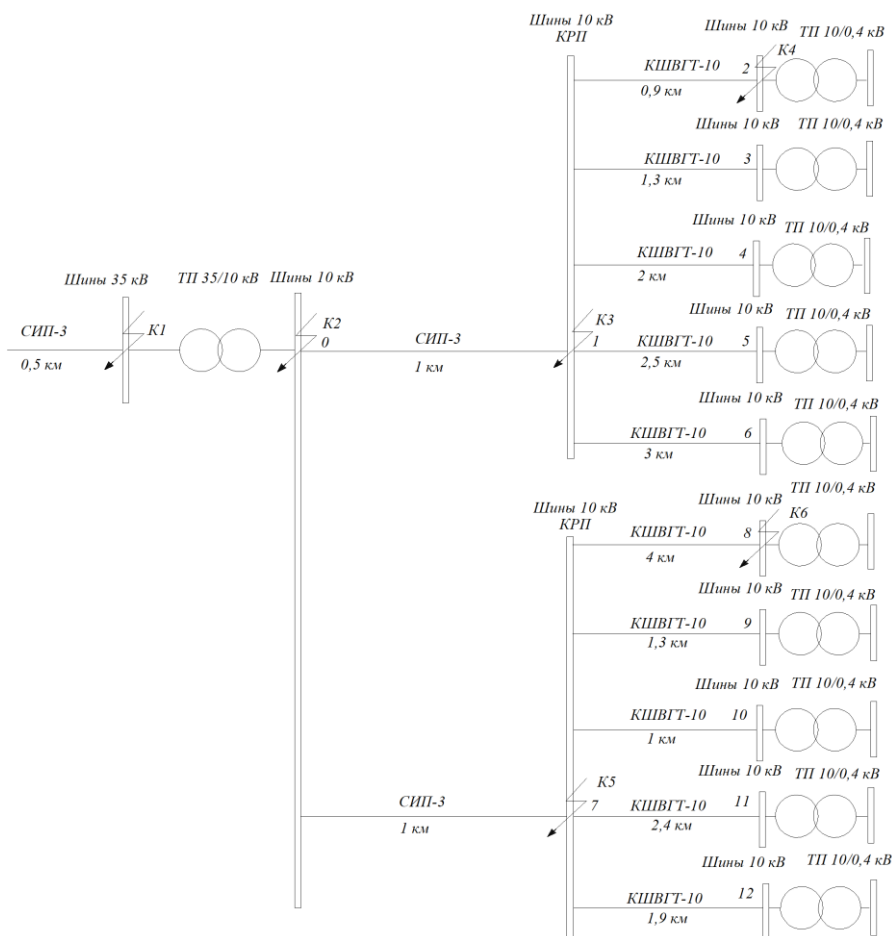


Рис. 2. Расчетная схема сети электроснабжения, вариант А

Fig. 2. Power supply calculation scheme, option A

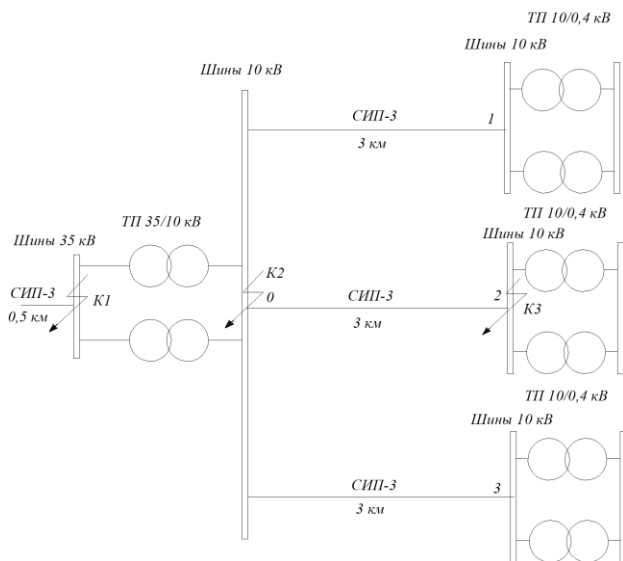


Рис. 3. Расчетная схема сети электроснабжения, вариант Б
Fig. 3. Power supply calculation scheme, option B

Для варианта Б станция беспроводного заряда стационарного типа, размещаемая за пределами технологических трасс, наиболее мощная по сравнению с другими сценариями. Для ее размещения необходимо выделять дополнительный земельный участок. Питание трех двухтрансформаторных подстанций 10/04 кВ осуществляется от ТП 35/10 кВ по ВЛ 10 кВ согласно рис. 3. Трансформаторы в

двухтрансформаторных подстанциях выбраны одинаковыми, что соответствует условиям выбора трансформаторов на параллельную работу.

Вариант В предусматривает установку двух беспроводных зарядных станций динамического типа, каждая из которых имеет модульное исполнение и более сложную конструкцию по сравнению со стационарными станциями, поскольку необходимо оборудовать участок трассы. Выбранная схема электроснабжения для питания такой беспроводной зарядной инфраструктуры представлена на рис. 4. От шин ТП 35/10 кВ отходят бортовые ЛЭП, выполненные проводом СИП-3, спуски от КРП представлены в кабельном исполнении.

Расчетные значения нагрузки трансформаторов $P_{\text{ТП}}$ 35/10 и 10/04 кВ, токов в линиях $I_{\text{Л}}$, а также потери напряжения ΔU на участках сети для разных сценариев беспроводного заряда, а также номинальная выходная мощность S выбранных трансформаторов представлены в табл. 2. Для проверки воздушных и кабельных линий на термическую устойчивость, а также для проверки оборудования произведен расчет токов короткого замыкания методом относительных единиц. На схемах сети электроснабжения БЗС (рис. 2–4) указаны места коротких замыканий, для которых рассчитывались токи трехфазного короткого замыкания. Результаты расчетов представлены в табл. 3.

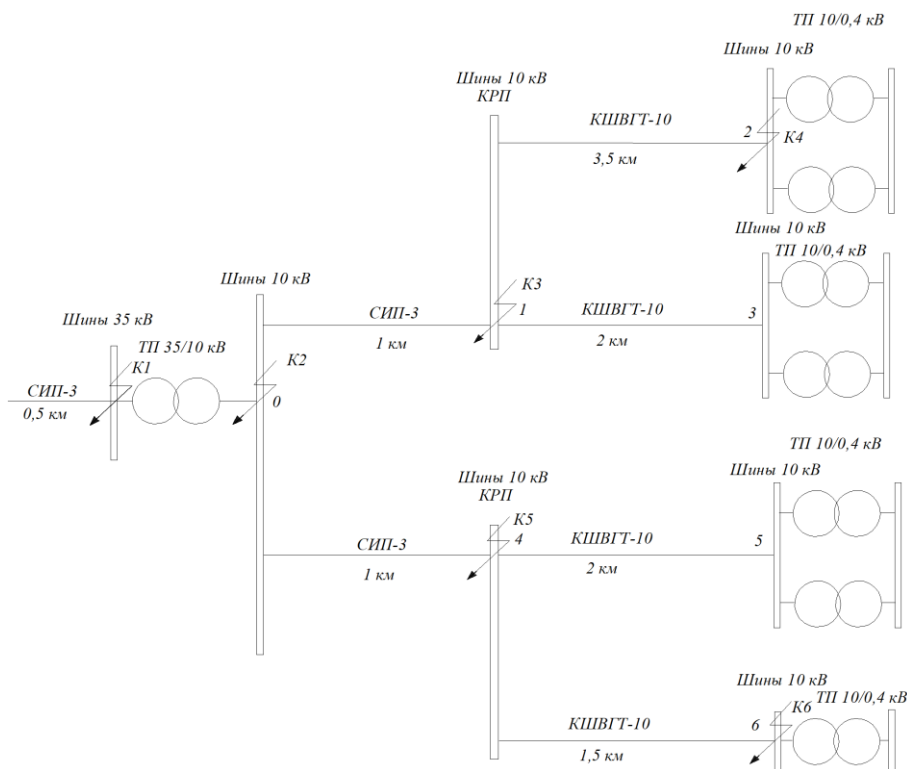


Рис. 4. Расчетная схема сети электроснабжения, вариант В
Fig. 4. Power supply calculation scheme, option C

Таблица 2. Результаты электротехнических расчетов

Table 2. Results of electrical calculations

Наименование/Name		Значения/Values			
		Вариант/Option			
		A/A	B/B	B/C	
$P_{ТП}$, кВт	10/0,4 кВ/kV	628,9	1956,3	6648,9	8352,2
$P_{ТР}$, kW	35/10 кВ/kV	5660	10564	13501	
I_L , А I_L , A	ВЛ 35 кВ/kV overhead line	93,4	174,26	222,71	
	ВЛ 10 кВ/kV overhead line	181,8	225,9	383,9	482,2
	КЛ 10 кВ/kV cable line	36,3	–	128 255,9	241,1
ΔU , % (материал линии line material)	ВЛ 35 кВ/kV overhead line	0,16 (СИП-3/SIP-3 1×50)	0,3 (СИП-3/SIP-3 1×50)	0,28 (СИП-3/SIP-3 1×70)	
	ВЛ 10 кВ/kV overhead line	2 (СИП-3/SIP-3 1×50)	4,1 (СИП-3/SIP-3 1×120)	1,76 (СИП-3/SIP-3 1×185)	2,22 (СИП-3/SIP-3 1×185)
	КЛ 10 кВ/kV cable line	0,38 ÷ 1,71 (КШВГТ-10 KShVGT-10 3×25+3×6)	–	0,84 ÷ 1,12 (КШВГТ-10 KShVGT-10 3×120+3×16)	1,4 ÷ 2,46 (КШВГТ-10 KShVGT-10 3×120+3×16)
S , кВА (единиц) kVA (units)	10/0,4 кВ/kV	630 (10)	2×2500 (3)	2×2500 (1) 2500 (1)	2×2500 (2)
	35/10 кВ/kV	6300 (1)	2×6300 (1)	16000 (1)	

Note: $P_{ТР}$ is the calculated value of transformer loads; I_L is current in lines; SIP is the type of self-insulating wire; S is the nominal rated capacity of selected transformers; KShVGT is the type of cable with copper-stranded conductive cores, intended for the power supply of mobile consumers.

Таблица 3. Расчетные значение токов короткого замыкания

Table 3. Calculated values of short-circuit currents

Точка КЗ Short-circuit point	Вариант/Option					
	А/А		Б/В		В/С	
	кА/кА					
	$I_{\text{по}}^{(3)}/I_{\text{пл}}^{(S)}$	i_y/i_g	$I_{\text{по}}^{(3)}/I_{\text{пл}}^{(S)}$	i_y/i_g	$I_{\text{по}}^{(3)}/I_{\text{пл}}^{(S)}$	i_y/i_g
К1	8,98	21,06	8,98	21,06	9,04	22,33
К2	3,83	9,36	6,8	16,53	6,89	17,77
К3	3,01	5,51	3,24	5,69	5,18	8,67
К4	2,54	4,08	–	–	3,79	6,54
К5	3,01	5,51	–	–	5,18	11,44
К6	1,47	2,11	–	–	4,53	8,67

Note: $I_{pi}^{(S)}$ is the initial effective value of the periodic component of the short-circuit current; i_g is the ground fault setting current.

Поскольку окончательная схема электроснабжения выбирается путем расчетов и технико-экономического обоснования, а также в связи с тем, что местоположение пунктов погрузки будет постепенно изменяться по ходу продвижения горных работ, рассмотрены различные варианты сечений и длин проводов и кабелей для случаев, когда потери напряжения на участке сети 10 кВ не превышают 5 %.

Такой анализ для варианта А (рис. 5) показал, что максимальная длина кабеля сети 10 кВ, при которой обеспечивается $\Delta U < 5\%$, зависит от протяженности и сечения ВЛ 10 кВ, граничные значения приведены на рис. 6, при этом существует вариант увеличения сечения токопроводящей жилы СИП-3, позволяющий повысить протяженность КЛ, однако расходы на сооружение ВЛ в этом случае вырастут на 55 %.

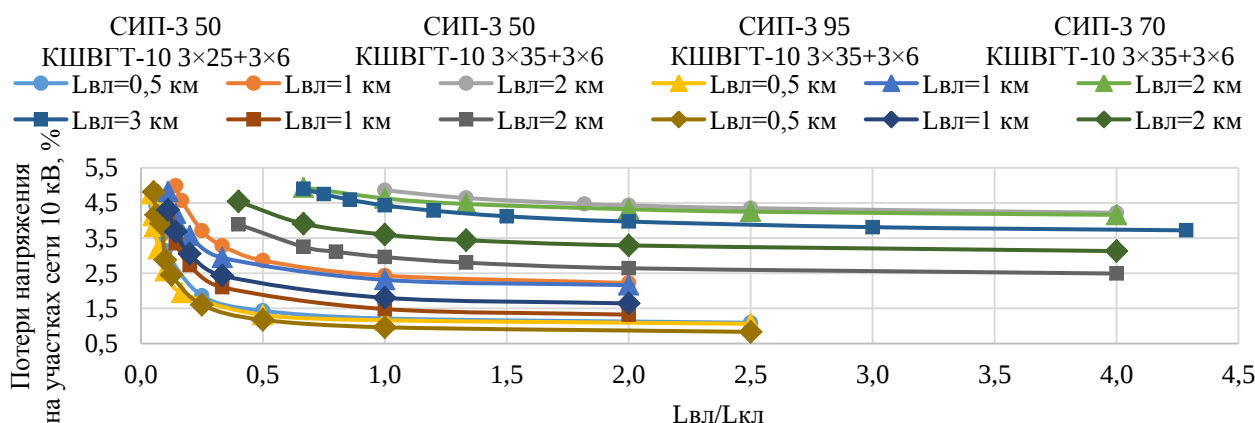


Рис. 5. Зависимость потерь напряжения в сети 10 кВ от протяженности и сечений участков сети для варианта А
Fig. 5. Dependence of voltage losses in a 10 kV line on the length and cross-sections for option A

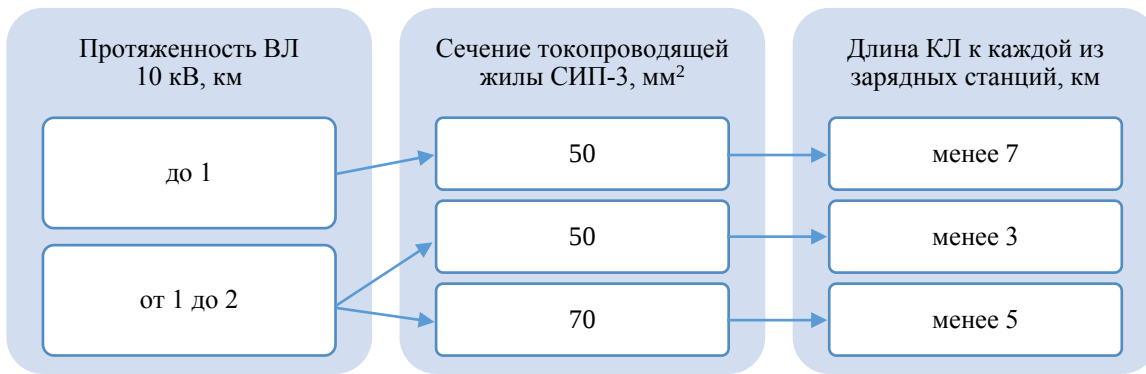


Рис. 6. Граничные значения длин линий для варианта А
Fig. 6. Boundary values of line lengths for option A

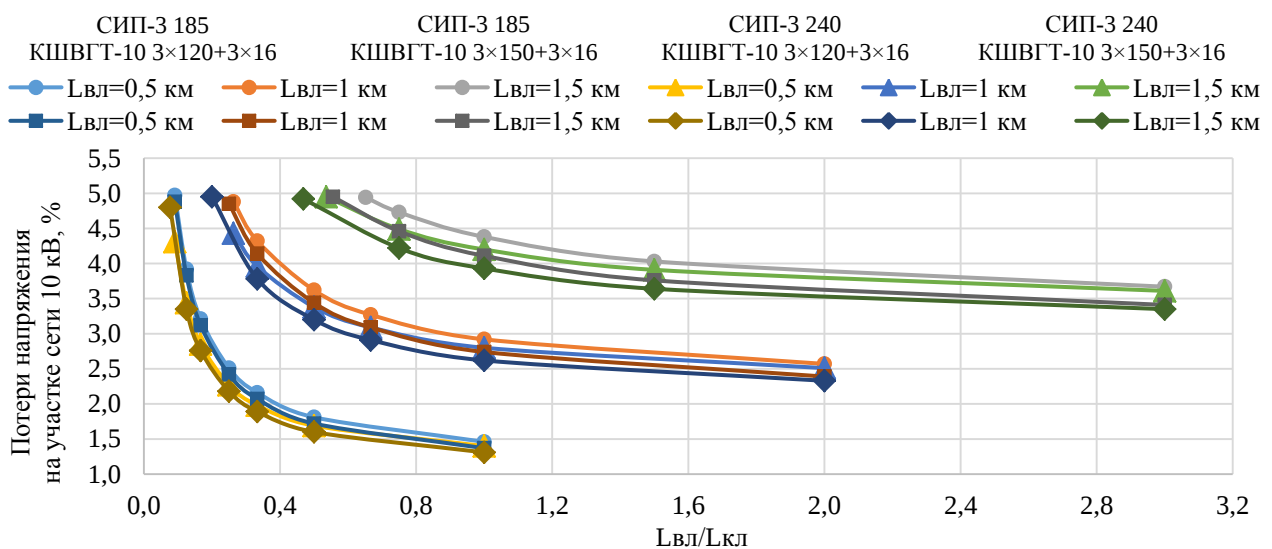


Рис. 7. Зависимость потерь напряжения в сети 10 кВ от протяженности и сечений участков сети для случая В
Fig. 7. Dependence of voltage losses in a 10 kV line on the length and cross-sections for option C

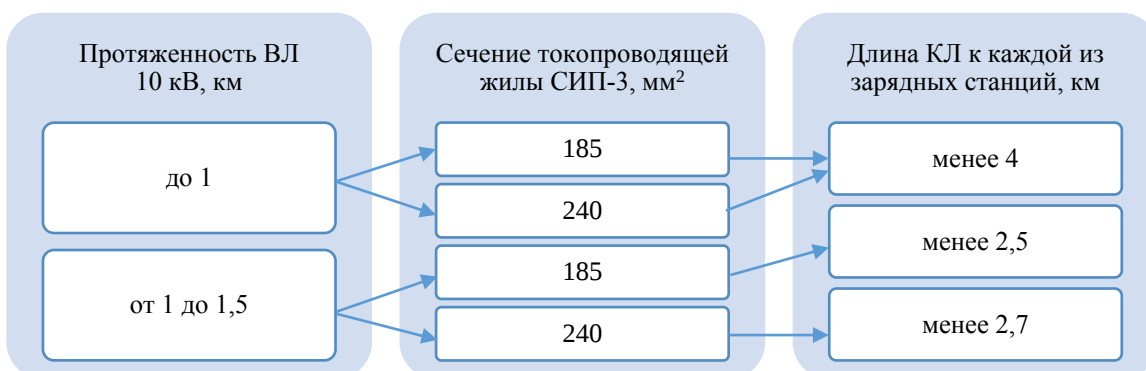


Рис. 8. Граничные значения длин линий для варианта В
Fig. 8. Boundary values of line lengths for option C

Аналогичные связи выявлены для *варианта В* (рис. 7), где с целью повышения протяженности КЛ может быть увеличено сечение ВЛ с соответствующим повышением стоимости. Граничные значения длин линий приведены на рис. 8.

Для *варианта Б*, не предусматривающего использование кабельных линий, установлено, что с уменьшением протяженности сечение ВЛ 10 кВ может быть снижено (рис. 9), что соответствующим образом отразится на стоимости линии.

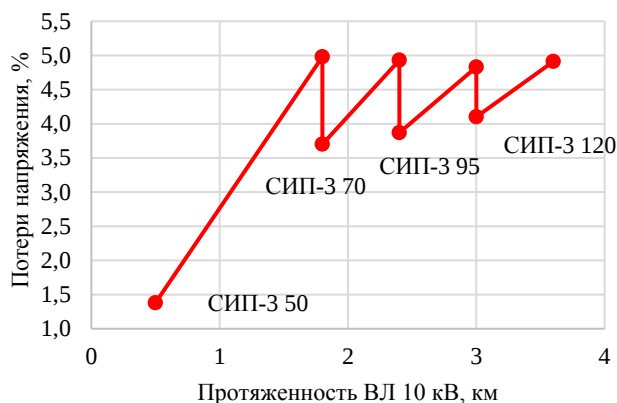


Рис. 9. Зависимость потерь напряжения в сети 10 кВ от протяженности и сечений линии для случая В
Fig. 9. Dependence of voltage losses in a 10 kV line on the length and cross-sections for option B

Показанные вариации соотношений протяженности линий для разных вариантов инфраструктуры беспроводного заряда отразятся на стоимости технологического присоединения в соответствии с (13). Следует отметить, что в зависимости от региона размеры фиксированных ставок существенно различаются [22], а информация по ставкам зачастую отсутствует в открытом доступе. Для иллюстрации приведенного модельного примера размер тарифов принят согласно [23]. Полученные в итоге графики приведенных к суммарной мощности удельных затрат для разных вариантов беспроводной зарядной инфраструктуры показаны на рис. 10. Отдельными цветами для вариантов А и В показаны расчетные значения затрат для разных вариантов материала линии в соответствии с рис. 5, 7.

На рис. 10, а отдельно вынесены стоимости ВЛ 10 кВ, поскольку именно вариации сечения этих линий формируют переменную составляющую стоимости технологического присоединения. В то же время, как видно из рис. 10, б, стоимость ТП 35/10 кВ, ТП 10/0,4 кВ. КРП и средств коммерческого учета электрической энергии суммарно может оказаться выше стоимости ВЛ 10 кВ. Это можно проследить, сопоставив между собой варианты В и В.

Обращает на себя внимание, что из-за сложности внутренней структуры беспроводная зарядная инфраструктура по варианту А имеет большие удельные затраты при любой рассматриваемой длине кабельных линий. В то же время ее суммарная мощность ниже, поэтому затраты в абсолютном выражении могут оказаться сопоставимыми или даже ниже, чем в других вариантах.

Заключение

В работе поставлена задача оценки стоимости технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры для полностью электрических карьерных самосвалов к сети электроснабжения на предприятии открытой добычи полезных ископаемых.

Для иллюстрации рассмотрен модельный пример электроснабжения беспроводного заряда аккумуляторных карьерных самосвалов по трем сценариям с определением схемы и параметров сети электроснабжения, выбором и проверкой оборудования, а также определены возможные вариации длин и сечений линий по трем вариантам и их влияние на стоимость технологического присоединения.

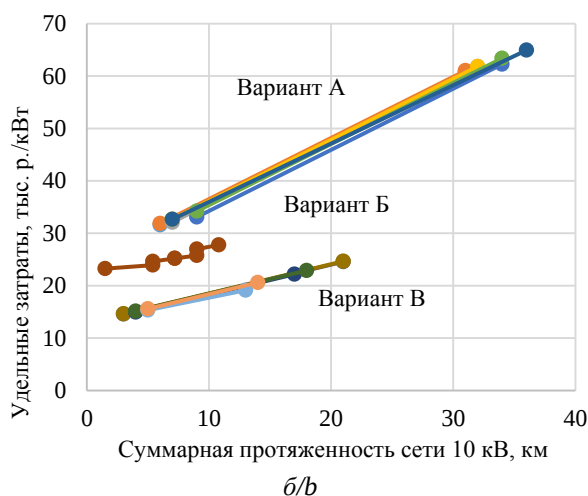
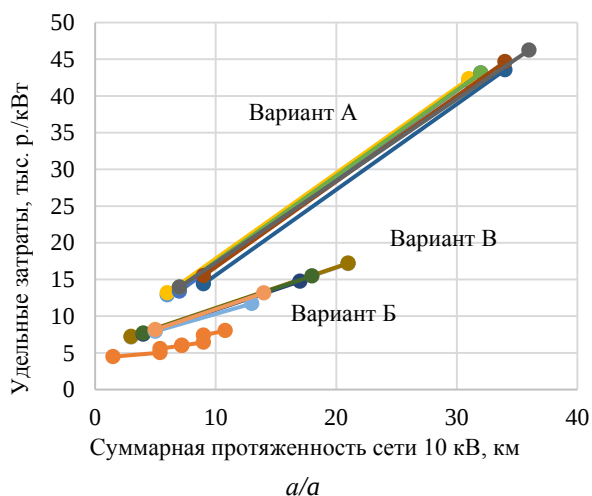


Рис. 10. Зависимость удельных затрат: а) на строительство ВЛ 10 кВ; б) на технологическое присоединение в совокупности

Fig. 10. Dependences of specific costs: а) for 10 kV overhead line construction; б) for the utility connection in total

Расчеты показали, что наименьшие удельные затраты на технологическое присоединение у варианта В, а наибольшие – у варианта А. В то же время суммарная мощность беспроводной зарядной инфраструктуры имеет обратное соотношение.

Полученные результаты будут полезны для дальнейших исследований по выбору оптимально-

го сценария беспроводного заряда аккумуляторных карьерных самосвалов, а также для оптимизации построения схемы электроснабжения на таких предприятиях и изучения вопросов интеграции беспроводных зарядных станций в сеть электроснабжения предприятий открытой добычи полезных ископаемых.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Optimal energy efficiency control framework for distributed drive mining truck power system with hybrid energy storage: a vehicle-cloud integration approach / Q. Tang, M. Hu, Y. Bian, Y. Wang, Z. Lei, X. Peng, K. Li // *Applied Energy*. – 2024. – Vol. 374. – P. 123989. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123989.
2. Li J., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment // *Engineering*. – 2018. – Vol. 4. – № 3. – P. 381–391. DOI: 10.1016/j.eng.2018.05.013.
3. Fusion planner: a multi-task motion planner for mining trucks via multi-sensor fusion / S. Teng, L. Li, Y. Li, X. Hu, L. Li, Y. Ai, L. Chen // *Mechanical Systems and Signal Processing*. – 2024. – Vol. 208. – P. 111051. DOI: 10.1016/j.ymssp.2023.111051.
4. Database-driven model predictive control system for online adaptation of an autonomous excavator to environmental conditions / T. Okada, T. Yamamoto, T. Doi, K. Koiwai, K. Yamashita // *Control Engineering Practice*. – 2024. – Vol. 145. – P. 105843 DOI: 10.1016/j.conengprac.2024.105843.
5. Exploring digital twin systems in mining operations: a review / P. Nobahar, C. Xu, P. Dowd, R. Shirani Faradonbeh // *Green and Smart Mining Engineering*. – 2024. – Vol. 1. – № 4. – P. 474–492. DOI: 10.1016/j.gsme.2024.09.003.
6. Extracting unstructured roads for smart open-pit mines based on computer vision: implications for intelligent mining / Y. Yang, W. Zhou, I.M. Jiskani, Z. Wang // *Expert Systems with Applications*. – 2024. – Vol. 249. – P. 123628. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.123628.
7. A model predictive control algorithm for autonomous mining dump trucks / M. Lalezar, I. Izadi, S.H. Hoseinie, H. Mohamadrezaie // *IFAC-PapersOnLine*. – 2023. – Vol. 58. – № 22. – P. 60–65. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.09.291.
8. Comparative life cycle assessment of battery-electric and diesel underground mining trucks / V. Balboa-Espinoza, J. Segura-Salazar, C. Hunt, D. Aitken, L. Campos // *Journal of Cleaner Production*. – 2023. – Vol. 425. – P. 139056. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139056.
9. Tokac B., Zhang Q., Sari Y.A. Environmental and economic comparison of diesel and electric trucks in open-pit mining operations // *Journal of Cleaner Production*. – 2025. – Vol. 507. – P. 145540. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145540.
10. Sadeq A.Q.M. A comprehensive state-of-the-art re-view of wired/wireless charging technologies for battery electric vehicles: classification/common topologies/future research issues // *IEEE Access*. – 2021. – Vol. 9. – P. 19572–19585. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3055027.
11. Integrated design and YOLO based control framework for autonomous EV charging robot platforms / V.C. Mahaadevan, R. Narayanamoorthi, S.P.P. Logeshwer et al. // *Results in Engineering*. – 2025. – Vol. 26. – P. 105438. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.105438.
12. Methodological approach to analyze vehicle data in electric road systems: case study – ELISA, the eHighway project / Ö. Öztürk, R. Linke, F. Schöpp, E. Kassens-Noor // *Transportation Research Procedia*. – 2004. – Vol. 82. – P. 2724–2736. DOI: 10.1016/j.trpro.2024.12.215.
13. Система беспроводного заряда аккумуляторов для рудничного электровоза / В.М. Завьялов, И.Ю. Семыкина, Е.А. Дубков, А.С. Велияев // *Записки Горного института*. – 2023. – Т. 261. – С. 428–442.
14. Кузнецов И.В. Оценка ресурса металлоконструкций задних мостов автосамосвалов при эксплуатации на разрезах Кузбасса: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2015. – 138 с.
15. Воронов А.Ю. Оптимизация показателей эксплуатационной производительности экскаваторно-автомобильных комплексов разрезов: дис. ... канд. техн. наук. – Кемерово, 2015. – 200 с.
16. Ососков Д.В., Ляхомский А.В. Моделирование работы карьерных электросамосвалов // *Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета*. – 2017. – Т. 21. – № 3 (77). – С. 72–78.
17. Методические указания по определению размера платы за технологическое присоединение к электрическим сетям. Приказ ФАС России от 30.06.2022 N 490/22 (с изменениями от 13.11.2024). – 563 с.
18. РТМ 12.25.006-90. Расчет и построение систем электроснабжения угольных разрезов. – М.: Министерство угольной промышленности СССР, 1990. – 169 с.
19. Электроснабжение и электрооборудование горных предприятий / В.С. Куликовский, О.А. Кручек, А.И. Герасимов и др. – Красноярск: Сиб. федер.ун-т, 2021. – 140 с.
20. Бебихов Ю.В., Волотковская Н.С., Семёнов А.С. Электроснабжение промышленных предприятий: учеб. пособие. – М.: Изд-во «Спутник +», 2018. – 87 с.
21. Оценка мощности технологического присоединения беспроводной зарядной инфраструктуры для аккумуляторных карьерных самосвалов / И.Ю. Семыкина, В.М. Завьялов, Е.А. Дубков, Я.А. Нечипоренко // *Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: материалы Международной научно-технической конференции*. – Чебоксары, 22 ноября 2024. В 2 ч. – Чебоксары: Чуваш. гос. ун-т им. И. Н. Ульянова, 2024. – Ч. 1. – С. 265–273.
22. Рэнкинг субъектов Российской Федерации по стоимости подключения к сетям инженерно-технического обеспечения 2021–2023: информ.-аналит. сб. / И.А. Долматов, А.Н. Коваль, И.С. Сухолитко, Д.Х. Пак. – М.: ИД Высшей школы экономики, 2023. – 162 с.

23. Стандартизированные тарифные ставки для расчета платы за технологическое присоединение к электрическим сетям территориальных сетевых организаций Кемеровской области – Кузбасса с 01.01.2025 по 31.12.2025. Постановление Региональной энергетической комиссии Кузбасса от 30.11.2024 N 463 (с изменениями от 10.04.2025). – 10 с.

Информация об авторах

Ирина Юрьевна Семыкина, доктор технических наук, доцент, старший научный сотрудник, лаборатория цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; arinasemykina@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6874-1735>

Валерий Михайлович Завьялов, доктор технических наук, доцент, профессор, кафедра электропривода и автоматизации, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; vmzavyalov@sevsu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8485-9864>

Елена Николаевна Таран, кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; taranelena23@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9656-9457>

Ярослава Аджайевна Нечипоренко, аспирант, техник, лаборатория цифровой трансформации предприятий минерально-сырьевого комплекса, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, Россия, 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28; yanechiporenko@sevsu.ru

Галина Николаевна Климова, кандидат технических наук, доцент, доцент отделения электроэнергетики и электротехники, Инженерная школа энергетики, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30; gariki@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6930-3603>

Поступила в редакцию: 29.09.2025

Поступила после рецензирования: 08.10.2025

Принята к публикации: 17.11.2025

REFERENCES

1. Tang Q., Hu M., Bian Y., Wang Y., Lei Z., Peng X., Li K. Optimal energy efficiency control framework for distributed drive mining truck power system with hybrid energy storage: a vehicle-cloud integration approach. *Applied Energy*, 2024, vol. 374, pp. 123989. DOI: 10.1016/j.apenergy.2024.123989.
2. Li J., Zhan K. Intelligent mining technology for an underground metal mine based on unmanned equipment. *Engineering*, 2018, vol. 4, no. 3, pp. 381–391. DOI: 10.1016/j.eng.2018.05.013.
3. Teng S., Li L., Li Y., Hu X., Li L., Ai Y., Chen L. Fusion planner: a multi-task motion planner for mining trucks via multi-sensor fusion. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2024, vol. 208, pp. 111051. DOI: 10.1016/j.ymssp.2023.111051.
4. Okada T., Yamamoto T., Doi T., Koiwai K., Yamashita K. Database-driven model predictive control system for online adaptation of an autonomous excavator to environmental conditions. *Control Engineering Practice*, 2024, vol. 145, pp. 105843. DOI: 10.1016/j.conengprac.2024.105843.
5. Nobahar P., Xu C., Dowd P., Shirani R. Faradonbeh exploring digital twin systems in mining operations: a review. *Green and Smart Mining Engineering*, 2024, vol. 1, no. 4, pp. 474–492. DOI: 10.1016/j.gsme.2024.09.003.
6. Yang Y., Zhou Y., Jiskani I.M., Wang Z. Extracting unstructured roads for smart open-pit mines based on computer vision: implications for intelligent mining. *Expert Systems with Applications*, 2024, vol. 249, pp. 123628. DOI: 10.1016/j.eswa.2024.123628.
7. Lalezar M., Izadi I., Hoseinie S.H., Mohamadrezaie H. A model predictive control algorithm for autonomous mining dump trucks. *IFAC-PapersOnLine*, 2023, vol. 58, no. 22, pp. 60–65. DOI: 10.1016/j.ifacol.2024.09.291.
8. Balboa-Espinoza V., Segura-Salazar J., Hunt C., Aitken D., Campos L. Comparative life cycle assessment of battery-electric and diesel underground mining trucks. *Journal of Cleaner Production*, 2023, vol. 425, pp. 139056. DOI: 10.1016/j.jclepro.2023.139056.
9. Tokac B., Zhang Q., Sari Y.A. Environmental and economic comparison of diesel and electric trucks in open-pit mining operations. *Journal of Cleaner Production*, 2025, vol. 507, pp. 145540. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145540.
10. Sadeq A.Q.M. A Comprehensive state-of-the-art re-view of wired/wireless charging technologies for battery electric vehicles: classification/common topologies/future research issues. *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 19572–19585. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3055027.
11. Mahaadevan V.C., Narayanamoorthi R., Logeshwer S.P.P. Integrated design and YOLO based control framework for autonomous EV charging robot platforms. *Results in Engineering*, 2025, vol. 26, pp. 105438. DOI: 10.1016/j.rineng.2025.105438.
12. Öztürk Ö., Linke R., Schöpp F., Kassens-Noor E. Methodological approach to analyze vehicle data in electric road systems: case study – ELISA, the eHighway project. *Transportation Research Procedia*, 2004, vol. 82, pp. 2724–2736. DOI: 10.1016/j.trpro.2024.12.215.
13. Zavyalov V.M., Semykina I.Yu., Dubkov E.A., Velilyaev A.S. The wireless charging system for mining electric locomotives. *Journal of Mining Institute*, 2023, vol. 261, pp. 428–442.
14. Kuznetsov I.V. *Evaluation of the resource of metal structures of rear axles of dump trucks during operation in Kuzbass open pit mines*. Cand. Diss. Kemerovo, 2015. 138 p. (In Russ.)
15. Voronov A.Yu. *Optimization of operational performance indicators of excavator-automobile complexes in open-pit mines*. Cand. Diss. Kemerovo, 2015. 200 p. (In Russ.)

16. Ososkov D.V., Lyachomsky A.V. Modeling of all-electric haul truck operation. *Bulletin of Ufa State Aviation Technical University*, 2017, vol. 21, no. 3 (77), pp. 72–78. (In Russ.)
17. *Guidelines for determining the fee for technological connection to electric grids*. Order of the Federal Antimonopoly Service of Russia dated June 30, 2022 No. 490/22 (as amended on November 13, 2024). 563 p. (In Russ.)
18. RTM 12.25.006-90. *Calculation and construction of power supply systems for open-pit coal mines*. Moscow, Ministry of Coal Industry of the USSR, 1990. 169 p. (In Russ.)
19. Kulikovskiy V.S., Kruchek O.A., Gerasimov A.I. *Power supply and electrical equipment of mining enterprises*. Krasnoyarsk, Siberian federal university, 2021. 140 p. (In Russ.)
20. Bebikhov Yu.V., Volotkovskaya N.S., Semenov A.S. *Power supply of industrial enterprises*. Moscow, Sputnik+ Publ. house, 2018. 87 p. (In Russ.)
21. Semykina I.Yu., Zavvalov V.M., Dubkov E.A., Nechiporenko Ya.A. Assessment of the power of a utility connection of a wireless charging infrastructure for battery-powered mining dump trucks. *Problems and Prospects of Development of Power Engineering, Electrical Engineering, and Energy Efficiency. Proc. of the International Scientific and Technical Conference*. Cheboksary, November 22, 2024. Cheboksary, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov Publ., 2024. P. 1, pp. 265–273. (In Russ.)
22. Dolmatov I.A., Koval A.N., Sukholitko I.S., Pak D.Kh. *Ranking of constituent entities of the Russian Federation by the cost of connection to utility networks 2021-2023*. Information and analysis collection. Moscow, Higher School of Economics Publ. house, 2023. 162 p. (In Russ.)
23. *Standardized tariff rates for calculating fees for utility connection to the electric networks of territorial grid organizations of the Kemerovo Region – Kuzbass*. January 1, 2025 to December 31, 2025. Resolution of the Regional Energy Commission of Kuzbass dated November 30, 2024 N 463 (as amended on April 10, 2025). 10 p. (In Russ.)

Information about the authors

Irina Yu. Semykina, Dr. Sc., Associate Professor, Senior Researcher, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation; arinasemykina@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-6874-1735>

Valery M. Zavvalov, Dr. Sc., Associate Professor, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation; vmzavvalov@sevsu.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8485-9864>

Elena N. Taran, Cand. Sc., Researcher, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation; taranelena23@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0005-9656-9457>

Yaroslava A. Nechiporenko, Postgraduate Student, Technician, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya street, Kemerovo, 650000, Russian Federation; yanechiporenko@sevsu.ru

Galina N. Klimova, Cand. Sc., Associate Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation; gariki@tpu.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6930-3603>

Received: 29.09.2025

Revised: 08.10.2025

Accepted: 17.11.2025