

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ / TECHNICAL SCIENCES

2.4.2 Электротехнические комплексы и системы

Научная статья

УДК 621.331.3.025.1

<https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.2.1>



МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УЧЕТОМ СИСТЕМЫ ПЕРВИЧНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ИРАКА

Мохаммед Джасим Алсултан^{1*}, Максим Валерьевич Шевлюгин²

^{1, 2} Российский университет транспорта (МИИТ) (д. 9, стр. 9, ул. Образцова, Москва, 127055, Российской Федерации)

¹ Университет Кербала (Кербала, Ирак)

¹ 1144648@edu.rut-miit.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8793-4030>

² mx_sh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3300-5193>

* Автор, ответственный за переписку

Аннотация. *Введение.* Электрификация железнодорожного транспорта является важным элементом модернизации транспортной инфраструктуры в любой стране. В условиях растущего спроса на эффективные и экологически чистые транспортные решения внедрение электроэнергетических систем становится ключевым фактором для обеспечения устойчивого развития. Железные дороги, работающие на переменном токе (AC), отличаются высокой энергетической эффективностью, что делает их привлекательными для крупных инфраструктурных проектов, особенно в регионах с развивающейся экономикой. *Цель.* Разработка комплексной модели электроэнергетической системы железной дороги переменного тока в южной части Ирака с учетом системы первичного электроснабжения. Модель должна обеспечить эффективное взаимодействие между железнодорожной сетью и существующей энергосистемой региона, учитывая такие факторы, как технические параметры энергоснабжения, эксплуатационные нагрузки. *Материалы и методы.* Исследование включает в себя создание усовершенствованной модели электрической системы с применением программы ETAP, которая учитывает электроэнергетические связи страны, помогает определить электрическую нагрузку, потребляемую поездами, и сравнить ее с нынешним уровнем выработки электроэнергии в Ираке. *Результаты и обсуждение.* Исследования дают сведения о проблемах, вызванных дефицитом выработки электроэнергии по сравнению с потреблением, а также предлагают решения для удовлетворения энергетических потребностей на юге Ирака. *Заключение.* В статье основное внимание было уделено обеспечению надежного энергоснабжения железной дороги Багдад-Басра в южной части Ирака. Электрификация сыграла ключевую роль в модернизации железнодорожного транспорта, продвижении регионального развития и улучшении электроснабжения обширных территорий страны.

Ключевые слова: электрификация железнодорожных путей, строительство железной дороги в южной части Ирака, моделирование тяговых сетей, основная система электроснабжения, генерация электроэнергии, энергопотребление, дефицит электроэнергии

Для цитирования: Алсултан М. Д. Модель электроэнергетической системы железной дороги переменного тока с учетом системы первичного электроснабжения в южной части Ирака / М. Д. Д. Алсултан, М. В. Шевлюгин // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2025. № 2 (107). С. 9–21. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.2.1>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 09.12.2024;
одобрена после рецензирования 10.02.2025;
принята к публикации 19.02.2025.

Research article

A MODEL OF THE ELECTRIC POWER SYSTEM OF AN ALTERNATING CURRENT RAILWAY WITH ACCOUNT OF PRIMARY POWER SUPPLY SYSTEM IN THE SOUTHERN PART OF IRAQ

Mohammed J. J. Alsultan^{1*}, Maksim V. Shevlyugin²

^{1,2} Russian University of Transport (MIIT) (9, building 9, Obraztsova str., Moscow, 127055, Russian Federation)

¹ University of Kerbala (Kerbala, Iraq)

¹ 1144648@edu.rut-miit.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8793-4030>

² mx_sh@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3300-5193>

* Corresponding author

Abstract. **Introduction.** The electrification of railway transport is the key component in the modernization of national transport infrastructure. With increasing demand for efficient and eco-friendly transportation solutions, it plays a vital role in meeting these needs. The introduction of electric power systems is becoming a key factor for ensuring sustainable development. Alternating current (AC) railways are characterized by high-energy efficiency, which makes them attractive for large infrastructure projects, especially in regions with developing economies. **Goal.** This study aims to create a comprehensive model of the AC railway power system in southern Iraq considering the primary power supply system. The model is designed to ensure efficient integration between the railway network and existing energy system in the region with account of such factors as technical specifications of power supply and operational loads. **Materials and methods.** The study involves developing an enhanced model of the electrical system using the ETAP software, which considers national electrical grid connections, aids in determining the electric load consumed by trains, and compares it with current electricity production levels in Iraq. **Results and discussion.** The studies provide information on the problems associated with a shortage of electricity production compared to consumption and offer solutions to meet energy needs in southern Iraq. **Conclusion.** The article centers on securing a reliable power supply for the Baghdad-Basra railway in southern Iraq. Electrification has been a crucial step in modernizing rail transport, promoting regional development, and enhancing the power supply system across vast areas of the country.

Keywords: electrification of railway tracks, railway construction of Iraq, modeling of traction networks, main power supply system, electricity generation, energy consumption, electricity shortage

For citation: Alsultan MJJ, Shevlyugin MV. A model of the electric power system of an alternating current railway with account of primary power supply system in the southern part of Iraq. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2025;2(107):9-21. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2025.2.1>

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interests.

The article was submitted 09.12.2024;

approved after reviewing 10.02.2025;

accepted for publication 19.02.2025.

Введение / Introduction. Электроснабжение железнодорожного транспорта является важной составляющей его эффективной работы, особенно в условиях интенсивного роста транспортной инфраструктуры. В регионах с жарким климатом, таких как южная часть Ирака, энергетические системы сталкиваются с рядом специфических вызовов, обусловленных высокими температурами, нерегулярностью поставок электроэнергии и особенностями первичного электроснабжения. Системы электроснабжения железных дорог применяются по-разному в различных странах, и выбор зависит от таких факторов, как требования к поездам, нагрузка и пропускная способность энергетических компаний и пр. Однако электрификация железных дорог представляет собой серьезную проблему как для железнодорожных, так и для энергетических компаний, поскольку это большая нагрузка на системы производства электроэнергии и потенциально может повлиять на качество энергоснабжения других потребителей [1].

Катастрофические последствия войны нанесли значительный ущерб электротехнической инфраструктуре, что привело к перебоям в подаче электроэнергии и ограничению энергоснабжения [2]. Прогрессу в решении этих вопросов препятствовал ряд проблем, а именно нарушение инфраструктуры, нехватка ресурсов и сложности в управлении. Несмотря на тщательные инициативы, направленные на увеличение мощностей по производству электроэнергии, спрос по-преж-

нему превышает имеющееся предложение. Для адекватного решения этих проблем необходимо провести масштабные реформы, которые не только ускорят экономический рост, но и обеспечат устойчивый прогресс электроэнергетического сектора, особенно в сфере производства и распределения электроэнергии [3].

Актуальность исследования заключается в необходимости создания модели электроэнергетической системы железной дороги, способной эффективно функционировать в данных условиях. В статье представлена разработанная модель, в которой рассматриваются конкретные характеристики электроснабжения железнодорожных систем переменного тока на южных территориях Ирака. Основная цель этого исследования заключается в укреплении энергетической инфраструктуры, гарантирующей непрерывное и экономически выгодное функционирование железнодорожного транспорта, а также в повышении надежности электроснабжения в соответствии с региональными особенностями.

Материалы и методы исследований / Materials and methods of research.

1. Проект железнодорожной линии Багдад – Басра / Railway Line Project Baghdad – Basra.

Южная железная дорога в Ираке служит не только важным связующим звеном между крупными городскими центрами, но и незаменимым транзитным коридором для местного населения, проживающего в пересекаемых ею районах и территориях. Этот железнодорожный коридор является надежным и эффективным средством транзита как для физических лиц, так и для грузов, способствуя тем самым экономическому развитию и региональной сплоченности [4]. Обширная Южная железнодорожная линия в Ираке протяженностью примерно 592 км обеспечивает жизненно важную связь между оживленным городским центром Багдада и южной провинцией Басра.

На рис. 1 представлено картографическое изображение юга Ирака, иллюстрирующее предлагаемую электрифицированную железнодорожную сеть и базовую инфраструктуру электроснабжения в регионе. Первоначально она иллюстрирует железнодорожный коридор с расположением тяговых подстанций (ТП). Как показано на рисунке, подстанция получает электроэнергию из первичной распределительной сети, включающей высоковольтные распределительные устройства и генерирующие объекты.

По мере продвижения по назначенному пути железнодорожное транспортное средство сталкивается в общей сложности с 42 остановками, каждая из которых очерчена терминалами, расположенными вдоль железнодорожной линии. Эти станции приспособлены к потребностям пассажиров и грузов, обеспечивая плавное преодоление географических препятствий и повышение общей эффективности железнодорожного сервиса [5].

2. Энергетическая система электроснабжения поездов / The energy system of electric supply of trains. Электрифицированные железнодорожные системы получают электроэнергию из основных сетей электроснабжения, состоящих из нескольких секторов электросетей и генерирующих станций. Электрическая энергия, вырабатываемая генераторами на этих энергообъектах, затем передается тяговым грузам, в том числе электровозам. Передача энергии происходит через различные промежуточные элементы, в частности трансформаторные подстанции, распределительные устройства, линии электропередач с различным номинальным напряжением и тяговые подстанции [4].

На этих тяговых подстанциях электрическая энергия преобразуется в определенный уровень напряжения, необходимый для функционирования электровозов. После этого преобразования электроэнергия затем передается локомотивам через сложную сеть, известную как тяговая сеть. Эта сеть состоит из контактных сетей и железнодорожных путей, которые эффективно предоставляют электроэнергию в локомотивы [4].

3. Система первичного электроснабжения (СПЭ) / Primary Power Supply System (SPE). Общая установленная мощность энергогенерации в южном Ираке превышает 10 489,7 МВт и распределена по 276 генерирующими установкам с мощностями от 1,3 до 2000 МВт каждая. Эти установ-

ки разбросаны по 13 тепловым электростанциям, которые обеспечивают совокупную мощность около 3 088 МВт. Особую роль играют 28 газотурбинных станций, суммарная мощность которых составляет около 7 351,7 МВт. Также имеются 2 гидроэлектростанции с общей мощностью около 53,05 МВт и более 100 малых дизельных генераторов, специально предназначенных для управления пиковыми нагрузками [3]. Сформированная на основе официальных отчетов МЭЭРИ [6] таблица 1 подводит итоги этим данным.

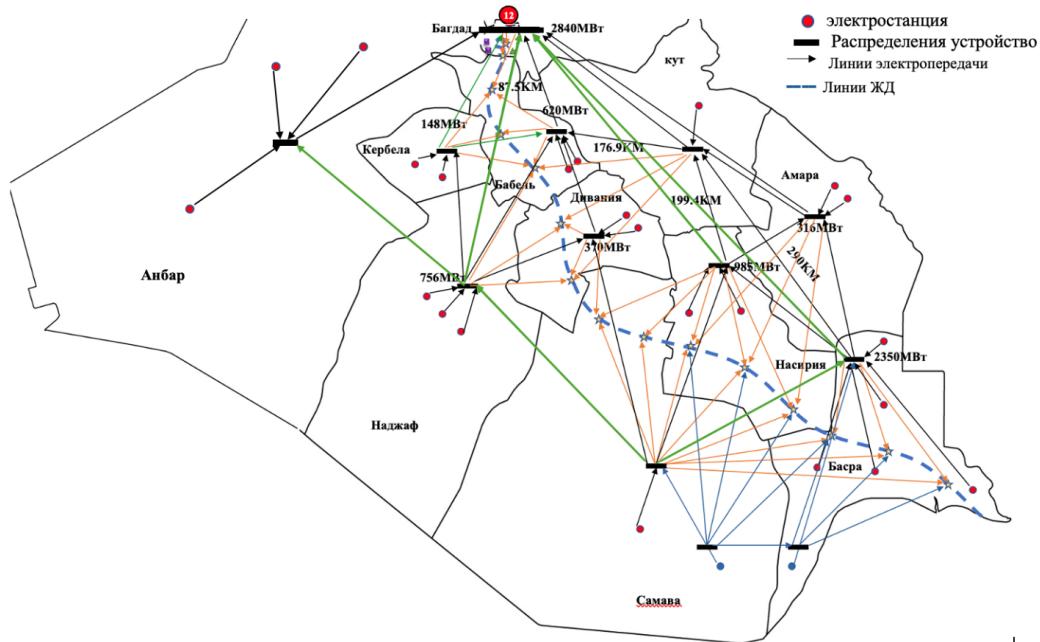


Рис. 1. В южной части Ирака, где представлена выставка электрифицированных железнодорожных транспортных систем и основных систем энергоснабжения / Fig. 1. In the southern part of Iraq, where an exhibition of electrified railway transport systems and basic energy supply systems is presented

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

Таблица 1 / Table 1
Электростанции южного Ирака / Power plants in southern Iraq

Район	Электростанции	Тип энергоносителя	Число генераторов	МВт
Багдад	Таджи 1	Газ	7	54
	Таджи 2	Газ	4	100
	Дора	Дизель	4	211
	Дора	Газ	4	37
	Южный Багдад	Дизель	3	29
	Кудис	Газ	14	511,7
	Обручальный газ	Газ	1	13
	Южный Багдад-1	Газ	2	88
	Южный Багдад -2	Газ	16	98
	Садр	Газ	4	436
	Басмайя	Газ	8	534
	Новая Басмая	Газ	10	1800

Бабель	Хилла	Газ	8	107
	Хилла 2	Газ	2	103
	Мусайиб	Дизель	4	619
	Мусайиб	Газ	10	178
	Хиндия	Гидро	4	3,05
Кербола	Кербола	Газ	2	144,7
	Восточная Кербола	Дизель	10	82
	Альхайрат	Газ	10	533
Наджаф	Наджаф	Газ	4	136
	Новый Наджаф	Газ	2	174
	Альхайдария	Газ	5	446
Дивания	Восточная Дивания	Дизель	2	73
	Северная Дивания	Дизель	2	77
	Газ Дивании	Газ	4	401
Самава	Газ Самава	Газ	1	21,04
Насирия	Насирия	Дизель	4	410
	Газ в Насирии	Газ	1	0
Кут	Зубайдия	Дизель	6	1,447
Амараа	Северная Амара	Дизель	48	75
	Газ Амара	Газ	4	196
Аланбар	Haditha Dam	Hydro	6	50
	Fallujah Desiel	Diesel	12	0
		Diesel	12	0
Басра	Шуайба 2	Газ	2	17
	Наджибия	Дизель	2	0
	Наджибия	Газ	4	187
	Хур аль-Зубайр	Газ	6	338
	Харта	Дизель	2	65
	Шатт эль-Басра	Газ	10	507
	новая Румайла	Газ	9	564

Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion

1. Система тягового электроснабжения (СТЭ) / Traction Power Supply System (TPSS). С использованием программы ЕТАР было проведено детальное моделирование каждой электроэнергетической системы [8] и ее взаимодействия с инфраструктурой потребителей [9], обеспечивая оптимальную эффективность движения поездов на протяжении всего маршрута [10].

Система тягового электроснабжения состоит из 15 тяговых подстанций переменного тока, расположенных с интервалом 40 км вдоль всей магистрали. На участке с переменным током этой электрифицированной линии используется схема группового подключения тяговых подстанций, при которой напряжение подается от центрального источника по общей линии электропередачи. Эта схема направлена на снижение асимметрии токов и напряжений в фазах линии электропитания электрифицированного участка за счет чередования использования менее нагруженной фазы от различных тяговых подстанций при переходах между ними [11, 12].

На рисунке 3 показана часть моделирования системы электроснабжения железной дороги Багдад – Басра с учетом системы первичного электроснабжения в интерфейсе программного пакета ETAP. Система первичного электроснабжения представляет собой комплекс инфраструктуры, включающий все элементы от электростанции до тяговой подстанции: линии электропередач, распределительные устройства и систему тягового электроснабжения. Система тягового электроснабжения включает в себя тяговые подстанции и тяговую сеть, а именно: контактную сеть, рельсы железной дороги, линии питания, обратные токовые линии тяговых подстанций, – а также другие устройства, подключенные к контактной сети и рельсам на протяжении всего железнодорожного участка.

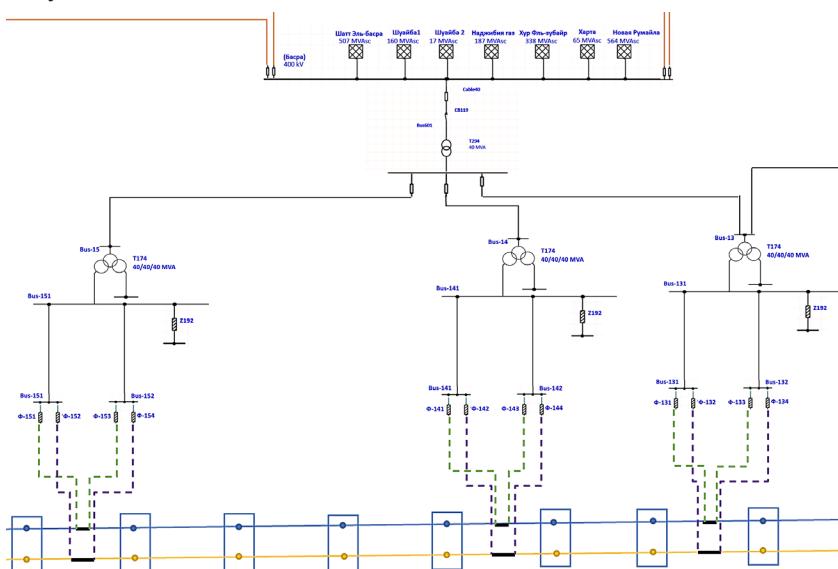


Рис. 2. Система тягового электроснабжения железной дороги в рамках программного комплекса ETAP /
Fig. 2. The traction power supply system of the railway within the framework of the ETAP software package.

*Источник: составлено авторами / *Source: compiled by the authors

Результаты расчета включают определение мощности тяговых трансформаторов на тяговых подстанциях (ТП). На рисунке 4 показана зависимость мощности в течение 6-часового периода, полученная из системы моделирования, которая демонстрирует объём энергии, потребляемой электропоездом.

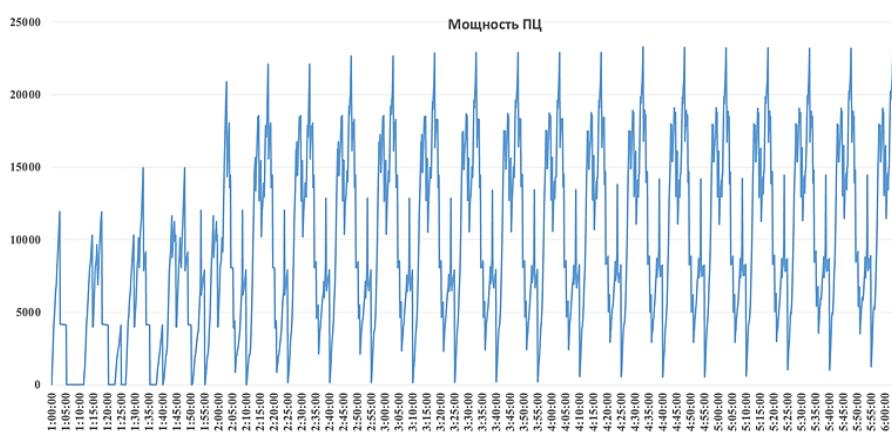


Рис. 3. Мощность ТП (Вт на время) / Fig. 3. Traction substation power (W at a time)

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

2. Ситуация с электроэнергией в южной части Ирака / Electricity situation in southern Iraq.

Кризис становится все более серьезным в результате того, что потребление электроэнергии в Ираке с 2003 г. стабильно и последовательно растет на 6–7 % в год. Этот рост потребления электроэнергии можно объяснить в первую очередь двумя основными факторами: ростом населения и экстремальными температурами, – которые в летний сезон часто превышают 50 °C. Важно отметить, что летом 2018 г. в стране был достигнут пиковый спрос, который по оценкам достиг поразительных 25 000–30 000 МВт. Тем временем центральная генерация мощности составляла всего 15 000 МВт. К 2022 г. разрыв между спросом и предложением увеличился до потрясающих 20 000 МВт. Более того, прогнозы показывают, что общий пик спроса продолжит расти экспоненциально и может достичь от 50 000 до 60 000 МВт к 2030 г. Этот рост спроса можно связать с ожидаемым восстановлением потребления электроэнергии в течение следующих 5 лет, поскольку Ирак стремится перейти к экономике, менее зависимой от нефти. В этих условиях очевидно, что ситуация становится все более тяжелой и требует немедленного внимания и вмешательства [13].

В таблице 3 представлен полный обзор пикового спроса, наблюдавшегося в центральных и южных регионах Ирака летом 2023 г., когда было зафиксировано поразительное пиковое потребление в 17 707 МВт. Следует отметить, что центральная генерирующая мощность, сыгравшая ключевую роль в удовлетворении этого огромного спроса, составила около 10 990 МВт [6].

Таблица 2 / Table 2

Максимальные потребности и производственная мощность генерации энергии на юге Ирака / Maximum energy generation needs and production capacity in southern Iraq

№ п.п.	Район	Генерация	Требование
1	Багдад	3 375	5 900
2	Бабель	750	1 400
3	Карбала	635	1 267
4	Наджаф	630	1 161
5	Дивания	490	830
6	Кут	560	1 050
7	Насирия	985	1 356
8	Аммара	505	910
9	Аланбар	665	1 346
10	Басра	2 395	2 487

*Источник: составлено авторами по данным [6] / Source: compiled by authors according to data [6]

Информация о потреблении электроэнергии и структуре использования на железнодорожных магистралях, полученная из имитационной модели в рамках 24-часового периода моделирования в программе ЕТАР, в трех городах (Багдад, Бабель и Давания) 29.12.2022, представлена на рисунках 5, 6 и 7. Это позволяет выявить масштабы дефицита электроэнергии в национальной электросети Ирака и разработать соответствующие решения [14–16].

На рисунках 4, 5 и 6 график, изображенный серой линией, отражает скорость производства электроэнергии электростанциями в течение 24 часов, синяя линия отображает уровень потребления энергии, а красная линия представляет потребление, включая энергопотребление железнодорожного транспорта.

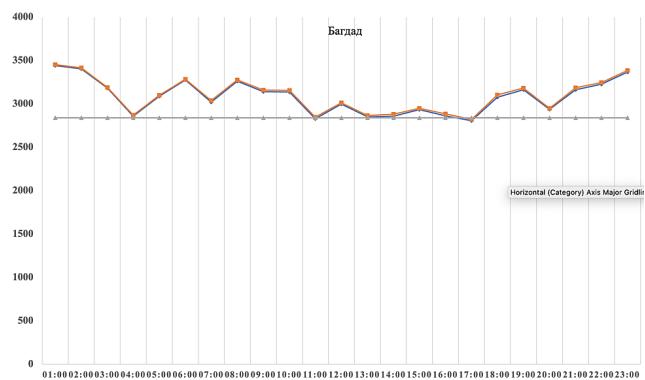


Рис. 4. Производство и потребление энергии в течение суток в области Багдада (МВт на время) /
 Fig. 4. Energy production and consumption during the day in the Baghdad region (MW at a time)

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

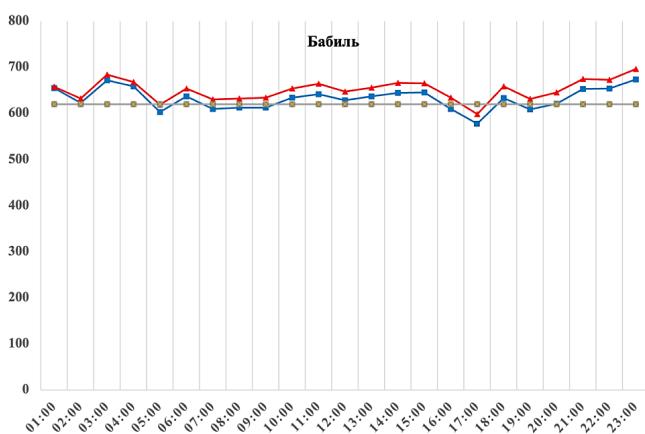


Рис. 5. Производство и потребление энергии в течение суток в области Бабель (МВт на время) /
 Fig. 5. Energy production and consumption during the day in the Babel region (MW at a time)

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

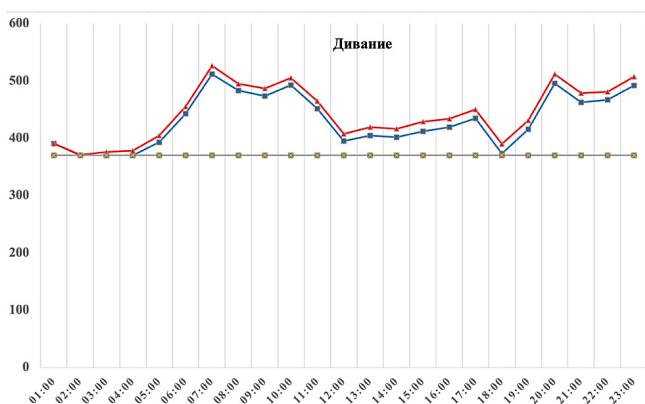


Рис. 6. Производство и потребление энергии в течение суток в области Диваня (МВт на время) /
 Fig. 6. Energy production and consumption during the day in the field of irrigation (MW at a time)

*Источник: составлено авторами / Source: compiled by the authors

На рис. 7 показано расположение трех городов: Багдада, Бабель и Дивания, – которые отмечены красным цветом.

Таким образом, дефицит энергии в пиковые часы оценивается в 7 000 МВт, и решается через строительство нескольких газовых станций, подключенных к Национальной энергетической сети.



Рис. 7. Схема трех регионов (Багдад, Бабель, Давания) /
Fig. 7. The diagram of the three regions (Baghdad, Babel, Diwaniya)

3. Объединение питающих центров в единую ЭЭС. Кольцевые электрические сети – это тип электрической сети, в которой энергия имеет возможность передаваться по кольцу линий электропередачи. Замкнутые сети представляют собой сети, в которых электроэнергия доставляется к потребителям как минимум с двух сторон. Это позволяет обеспечить высокую надежность и отказоустойчивость системы, так как при повреждении одного из элементов сети, подача электроэнергии может быть перенаправлена по другим линиям и кольцо продолжит функционировать [17].

В случае выхода из строя какого-либо участка радиальных (не кольцевых) сетей многие потребители остаются без электричества, что является значительным недостатком таких сетей. В связи с этим, для обеспечения надежного электроснабжения важных потребителей, которым нельзя позволить длительные перерывы в электроснабжении, используются замкнутые сети [18].

Существуют различные типы замкнутых сетей, включая простые, где нагрузки питаются только с двух сторон, и сложные, где электроэнергия может подаваться к узловым точкам с трех и более сторон [19].

Объединение питающих центров в кольцевую систему, помимо надежности электроснабжения, имеет еще очень важную функцию – возможность маневра и перераспределения потребляемых и генерирующих мощностей в режиме реального времени для компенсации их дефицита и избытка [20].

Следует отметить, что полное объединение питающих центров всех районов южной части Ирака (рисунок 2.4) снижает дефицит мощности отдельных регионов за счет перераспределения во времени.

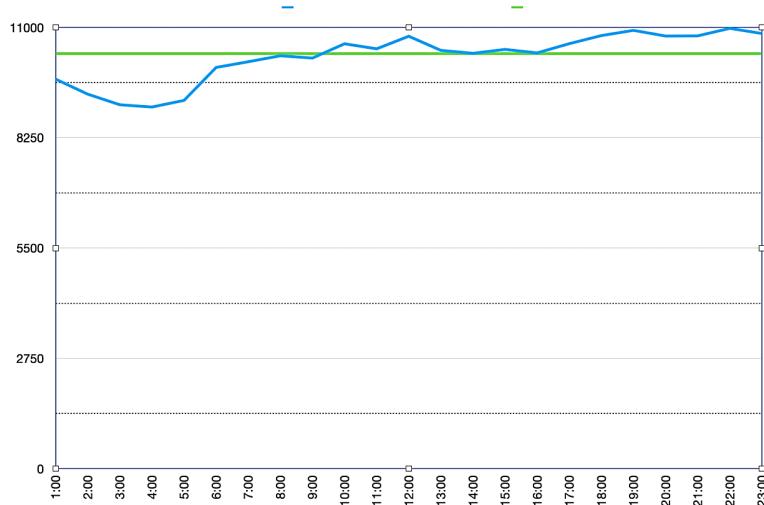


Рис. 8. Результат объединения ЭЭС всех районов южной части Ирака /
Fig. 8. The result of combining the electric power of the plant in all areas of southern Iraq

Заключение / Conclusion. В статье рассматривается обеспечение надежного энергоснабжения железной дороги Багдад – Басра на юге Ирака. Электрификация сыграла ключевую роль в модернизации железнодорожного транспорта, способствуя региональному развитию и улучшению энергоснабжения значительной части страны.

Для успешной реализации проекта электроснабжения исследователи применили комплексную систему сбора и обработки первичных данных в условиях недостатка информации, разработанную с использованием программного пакета ETAP. Этот подход позволил точно оценить электрическую нагрузку, потребляемую электропоездами, тщательно смоделировать работу всей электрической инфраструктуры и подобрать необходимое оборудование для тяговых подстанций и устройств СТЭ [21].

Переход Иракской Южной железнодорожной линии на электрифицированную систему представляет собой важное событие для страны, отражающее ее стремление к развитию современной и устойчивой транспортной инфраструктуры, а также с помощью собственных энергосистем обеспечению доступности электроэнергии в условиях нехватки производственных мощностей для производства электроэнергии. В данном исследовании кратко рассматривается прогноз будущего спроса в отношении ВВП страны. Рассчитанный спрос на период с 2012 по 2030 гг. был сопоставлен с прогнозами, представленными в генеральном плане министерства. Результаты показали, что спрос превышает оценку базовой рабочей нагрузки, изначально предусмотренной в генеральном плане [3].

Для модернизации ЭЭС необходимо, как минимум, ввод двух газовых электростанций в провинции Самава и Басра, а также объединение всех питающих центров в единую систему для оперативного и аварийного перетока мощности между различными регионами страны и зарубежных импортеров

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gazafrudi S. M. M., Langerud A. T., Fuchs E. F., Al-Haddad K. Power quality issues in railway electrification: A comprehensive perspective // IEEE transactions on industrial electronics. 2014. No. 62(5). P. 3081–3090. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7000530> [Accessed 18 June 2024].

2. Altai H. D. S., Abed F. T., Lazim M. H., ALRikabi H. T. S. Analysis of the problems of electricity in Iraq and recommendations of methods of overcoming them // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2022. Vol. 10(1). P. 607–614.
3. Istepanian H. H. Iraq's electricity crisis // The Electricity Journal. 2014. No. 27(4). P. 51–69. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040619014000827> (accessed: 15.06.2024).
4. Пушкин А. А. Электроснабжение железных дорог / А. А. Пушкин, Э. В. Тер-Оганов. Екатеринбург: УрГУПС, 2014. 432 с. URL: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1400426538.pdf (дата обращения: 15.06.2024).
5. Iraqi Republic Railways 2022 (IRR). URL: <http://iraq-jccme.jp/files/railway-projects-Iraq-rr25032022.pdf> (accessed: 11.06.2024).
6. Ministry of Electric Power Industry of the Republic of Iraq. URL: <http://www.oco.moelc.gov.iq/> (accessed: 06.02.2024).
7. Хуссейн А. Т. Х. Анализ потерь мощности и энергии в электрических сетях Ирака с разработкой мероприятий по их снижению: дис. ... канд. техн. наук / А. Т. Х. Хуссейн. Ставрополь, 2022. 159 с.
8. Шевлюгин М. В. Имитационная модель системы тягового электроснабжения железных дорог переменного тока для оценки качества электроэнергии на вводах подстанций / М. В. Шевлюгин, Е. В. Щегловитова // Энергобезопасность и энергосбережение. 2023. № 1. С. 89–92.
9. Шевлюгин М. В. Анализ взаимных электромагнитных влияний между системой тягового электроснабжения и энергосистемой на единой цифровой модели в программном комплексе ETAP / М. В. Шевлюгин, Д. В. Ермоленко, А. А. Королев // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. М., 2019. С. 73–81.
10. Шевлюгин М. В. Современные подходы к проектированию устройств тяговой сети железных дорог с помощью ВМ-технологий / М. В. Шевлюгин, В. С. Антонов, Н. В. Максименко // Мир транспорта. 2022. № 1(98). С. 6–12.
11. Модель совмещенной тяговой подстанции метрополитена с учетом тяговой нагрузки и потребителей собственных нужд / Л. М. Клячко, М. В. Шевлюгин, М. Н. Белов, А. Е. Голицына // Электротехника. 2021. № 9. С. 22–25.
12. Tulsky V., Murzintsev A., Zhgun K., Silaev M., Khripushkin N., Shevlyugin M., Korolev A., Subhanverdiev K., Baembitov R. Application of ETAP eTraX software Package for Digital Simulation of Distribution Network That Feeds an Ac Traction Power Supply System // E3S Web of Conferences. "ENERGY-21 – Sustainable Development and Smart Management" Series. 2020. P. 07011.
13. Harry H. I. Solar Energy in Iraq: From Outset to Offset. Iraq Energy Institute. 2018. P. 25. URL: <https://www.researchgate.net/publication/328345510>. (accessed: 13.02.2024).
14. Khazaal H. F., Alrikabi H. T. S., AbedF. T., KadhmS. I. Water desalination and purification using desalination units powered by solar panels / // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. 2019. No. 7(3). P. 1373–1382.
15. Abass A. Z., Pavlyuchenko D. A. Southern Iraq gas station conversation to integrated solar combined cycle // E3S Web of Conferences. EDP Sciences; 2019. Vol. 114 (05008).
16. Majhool M., Farhan M. S. Design and Implementation of Sunlight Tracking Based on the Internet of Things // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 877 (012026). P. 11.
17. Barth D., Mautor T., de Moissac A., Watel D., Weisser M-A. Optimisation of electrical network configuration: Complexity and algorithms for ring topologies // Theoretical Computer Science. 2021. Vol. 859. P. 162–173.
18. De Groot R. J. W., Morren J., Slootweg J. G. Closed-ring operation of medium voltage distribution grids: theory meets practice // 23rd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2015). 2015. P. 1–5.
19. Simpson-Porco J. W., Dörfler F., Bullo F. Voltage collapse in complex power grids // Nature communications. 2016. T. 7. No. 1. P. 10790.
20. Brinkis K., Kreslinsh V., Mutule A., Oleinikova I., Krishans Z., Kochukov O. Fulfilment of criteria of electricity supply reliability in the Baltic region // Latvian Journal of Physics and Technical Sciences. 2011. Vol. 48. No. 6. P. 3–14.
21. Шевлюгин М. В. Энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / М. В. Шевлюгин. М., 2013. 48 с.
22. Аль-Руфаи Ф. М., Абдали Л. М., Кувшинов В. В. Электроэнергия в Ираке: кризис и решение // Энергетические установки и технологии. 2019. № 5(2). С. 74–79.

REFERENCES

1. Gazafrudi SMM, Langerudy AT, Fuchs EF, Al-Haddad K. Power quality issues in railway electrification: A comprehensive perspective. *IEEE transactions on industrial electronics*. 2014;62(5):3081-3090. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7000530> [Accessed 18 June 2024].
2. Altai HDS, Abed FT, Lazim MH, ALRikabi HTS. Analysis of the problems of electricity in Iraq and recommendations of methods of overcoming them. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2022;10(1):607-614. [Accessed 12 June 2024].
3. Istepanian HH. Iraq's electricity crisis. *The Electricity Journal*. 2014;27(4):51-69. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1040619014000827> [Accessed 15 June 2024].
4. Pyshkin AA, Ter-Oganov EV. Electricity supply of railways. Yekaterinburg: UrGUPS; 2014. 432 p. Available from: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1400426538.pdf [Accessed 15 June 2024]. (In Russ.).
5. Iraqi Republic Railways 2022 (IRR). Available from: <http://iraq-jccme.jp/files/railway-projects-Iraq-rr25032022.pdf> [Accessed 11 June 2024].
6. Ministry of Electric Power Industry of the Republic of Iraq. Available from: <http://www.oco.moelc.gov.iq/> [Accessed 6 February 2024].
7. Hussein ATH. Analysis of power and energy losses in Iraq's electrical networks with the development of measures to reduce them: dissertation of cand. tech. sciences. Stavropol; 2022. 159 p. (In Russ.).
8. Shevlyugin MV, Shcheglovitova EV. Simulation model of an AC traction power supply system for assessing the quality of electricity at substation inputs. *Energy security and energy conservation*. 2023;(1):89-92. (In Russ.).
9. Shevlyugin MV, Yarmolenko DV, Korolev AA. Analysis of mutual electromagnetic influences between the traction power supply system and the power system on a single digital model in the ETAP software package. In *Actual issues of railway transport development. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 75th anniversary of postgraduate studies at the Scientific Research Institute of Railway Transport*. 2019. P. 73-81. (In Russ.).
10. Shevlyugin MV, Antonov VS, Maksimenko NV. Modern approaches to the design of railway traction network devices using BIM technologies. *The world of transport*. 2022;1(98):6-12. (In Russ.).
11. Klyachko LM, Shevlyugin MV, Belov MN, Golitsyna AE. A model of a combined traction substation of the metro, considering the traction load and consumers of their own needs. *Electrical Engineering*. 2021;(9):22-25. (In Russ.).
12. Tulsky V, Murzintsev A, Zhgun K, Silaev M, et al. Application of ETAP eTraX software Package for Digital Simulation of Distribution Network That Feeds an Ac Traction Power Supply System, E3S Web of Conferences. "ENERGY-21 – Sustainable Development and Smart Management" Series; 2020. P. 07011.
13. Harry HI. Solar Energy in Iraq: From Outset to Offset. *Iraq Energy Institute*. 2018. P. 25. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/328345510> [Accessed 13 February 2024].
14. Khazaal HF, Alrikabi HTS, Abed FT, and Kadhm SI. Water desalination and purification using desalination units powered by solar panels, *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*. 2019;7(3):1373-1382.
15. Abass AZ, Pavlyuchenko DA. Southern Iraq gas station conversation to integrated solar combined cycle. E3S Web of Conferences, EDP Sciences; 2019. Vol. 114 (05008).
16. Majhool M, Farhan MS. Design and Implementation of Sunlight Tracking Based on the Internet of Things. *IOP Conference Series, Earth and Environmental Science*; 2021. Vol. 877 (012026). P. 11.
17. Barth D, Mautor T, de Moissac A, Watel D, et al. Optimisation of electrical network configuration: Complexity and algorithms for ring topologies. *Theoretical Computer Science*. 2021;(859):162-173.
18. De Groot RJW, Morren J, Slootweg JG. Closed-ring operation of medium voltage distribution grids: theory meets practice. *23rd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2015)*; 2015. P. 1-5.
19. Simpson-Porco JW, Dörfler F, Bullo F. Voltage collapse in complex power grids. *Nature communications*. 2016;7(1):10790.
20. Brinkis K, Kreslinsh V, Mutule A, Oleinikova I, et al. Fulfilment of criteria of electricity supply reliability in the Baltic region. *Latvian Journal of Physics and Technical Sciences*. 2011;48(6):3-14.
21. Shevlyugin MV. Energy-saving technologies in railway transport and subways implemented using energy storage devices: abstract of dissertation of dr. tech. sciences. Moscow; 2013. 48 p. (In Russ.).
22. Al-Rufai FM, Abdali LM, Kuvшинов VV. Electricity in Iraq: crisis and solution, Energy installations and technologies. 2019;5(2):74-79. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мохаммед Джасим Алсултан – аспирант кафедры электроэнергетики транспорта Российской государственной университета транспорта (МИИТ).

Максим Валерьевич Шевлюгин – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта (МИИТ).

ВКЛАД АВТОРОВ

Мохаммед Джасим Алсултан. Подготовка и редактирование текста. Проведение исследования – сбор, интерпретация и анализ полученных данных. Утверждение окончательного варианта – принятие ответственности за все аспекты работы, целостность всех частей статьи и ее окончательный вариант.

Максим Валерьевич Шевлюгин. Составление черновика рукописи и формирование его окончательного варианта, участие в научном дизайне.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Mohammed J. J. Alsultan – Postgraduate Student of the Department of Electric Power Engineering of Transport, Russian University of Transport (MIIT).

Maksim V. Shevlyugin – Dr. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Department of Electric Power Engineering of Transport, Russian University of Transport (MIIT).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Mohammed J. J. Alsultan. Text preparation and editing. Conducting research – data collection, analysis, and interpretation. Approval of the final manuscript – acceptance of responsibility for all types of the work, integrity of all parts of the paper and its final version.

Maksim V. Shevlyugin. Drafting of the manuscript and its final version, contribution to the scientific layout.