

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.2023.6.1>

СОВРЕМЕННЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ЮЖНО-ИРАКСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

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

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

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. Железнодорожный транспорт играет ключевую роль в национальной экономике как основное средство перемещения грузов и пассажиров между регионами с минимальными затратами. Он эффективно перевозит большие объемы грузов на дальние расстояния, что делает его привлекательным для корпораций. Кроме того, он экологически более чистый по сравнению с другими видами транспорта. Инфраструктура железных дорог также способствует развитию регионов, предоставляя доступ к работе, образованию и здравоохранению. Технологические достижения улучшают безопасность и надежность. **Цель.** Одним из важных моментов, на котором делается акцент в статье, является превращение южной линии Иракских железных дорог, протяженностью 600 км, которая простирается от столицы Багдада в центральном Ираке до крайнего юга, в электрифицированную железную дорогу. **Материалы и методы.** Для успешной реализации проекта электрификации исследователи применили ассимиляционную систему, созданную с использованием программного обеспечения ETAP. Это мощное инструментальное средство обеспечивает возможность определения значений электрической нагрузки, потребляемой электропоездами, и моделирования работы всей электрической инфраструктуры с высокой точностью. **Результаты и обсуждение.** Результаты исследования предоставляют ценную информацию о сложных и единых системах переменного тока, а также о сетевых системах для расчета нагрузок на тяговые распределительные провода. Это позволяет оптимизировать работу системы, обеспечивая плавное и эффективное движение электрических поездов вдоль всего маршрута. **Заключение.** По итогам работы можно сделать вывод о том, что переход южной линии Иракских железных дорог к электрифицированной системе является знаковым событием для страны, отражающим ее стремление к развитию современной и устойчивой инфраструктуры транспорта. Это также подтверждает готовность Ирака внедрять передовые технологии в железнодорожную отрасль для дальнейшего развития и экономического процветания страны.

Ключевые слова: электрификация железных дорог, система тягового электроснабжения, моделирование тягового электроснабжения, тяговые подстанции переменного тока

Для цитирования: Алсултан М. Д. Д., Шевлюгин М. В. Современные принципы проектирования электрификации Южно-Иракских железных дорог // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2023. № 6 (99). С. 7–15. <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.1>

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.09.2023;

одобрена после рецензирования 21.09.2023;

принята к публикации 17.10.2023.

Research article

MODERN PRINCIPLES OF ELECTRIFICATION DESIGN OF THE SOUTHERN IRAQI RAILWAYS

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

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

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. Railway transportation plays a key role in the national economy as the primary means of moving goods and passengers between regions with minimal costs. It efficiently transports large volumes of cargo over long distances, making it attractive to corporations. Additionally, it is environmentally cleaner compared to other modes of transportation, contributing to sustainable development. Railway infrastructure also fosters regional development by providing access to employment, education, and healthcare. Technological advancements improve safety and reliability. **Goal.** One important focus of this article is the transformation of the 600-kilometer-long southern line of the Iraqi railways,

stretching from the capital Baghdad in central Iraq to the far south, into an electrified railway system. **Materials and methods.** For the successful implementation of the electrification project, researchers utilized an assimilation system created using ETAP software. This powerful tool enables the determination of electric load values consumed by electric trains and accurately models the entire electrical infrastructure. **Results and discussion.** During the research, valuable information about complex and unified alternating current systems, as well as network systems for calculating loads on traction distribution wires, was discovered. This allows for the optimization of the system's operation, ensuring smooth and efficient movement of electric trains along the entire route. **Conclusion.** Based on the conducted research, it can be concluded that the transition of the southern line of the Iraqi railways to an electrified system is a significant milestone for the country, reflecting its commitment to developing a modern and sustainable transportation infrastructure. This also confirms Iraq's readiness to implement advanced technologies in the railway sector, contributing to further development and economic prosperity of the nation.

Keywords: railroad electrification, traction power supply system, traction power supply modeling, alternating current traction substations

For citation: Alsultan M. J. J., Shevlyugin M.V. Modern principles of electrification design of the Southern Iraqi railways. Newsletter of North-Caucasus Federal University. 2023;6(99):7-15. (In Russ.). <https://doi.org/10.37493/2307-907X.2023.6.1>

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

The article was submitted 07.09.2023;

approved after reviewing 21.09.2023;

accepted for publication 17.10.2023.

Введение / Introduction. Железнодорожный сектор имеет мировое значение как важное связующее звено и стратегический игрок в развитии региона. Он соединяет сельскохозяйственные и промышленные регионы, рынки и города, при этом представляя также культурный аспект в рамках экономики страны и общества. Правительства всего мира признают его потенциал – это безопасное, экологически чистое и экономически эффективное средство транспорта для устойчивого развития. К сожалению, Ирак пострадал от пренебрежения этим сектором, особенно после 2003 года. Общая ситуация в стране, включая железные дороги и электроэнергетический сектор, пострадала, что привело к разрушению инфраструктуры, потере электроэнергетических сетей и локомотивов, а также существенному снижению безопасности, скорости, гибкости и комфорта. К сожалению, отсутствуют всесторонние планы развития и повышения эффективности железнодорожной системы во всех аспектах [1].

Электрификация железных дорог получила развитие в начале XX века, широко распространяясь во многих странах благодаря своим многочисленным преимуществам, включая снижение загрязнения воздуха, возможность перевозки тяжелых грузов и массового транспорта, высокую эффективность и вклад в сокращение выбросов CO₂. С момента начала электрификации железных дорог обеспечение качественной электроэнергией остается значительным приоритетом сторонников электрификации. Были предприняты значительные исследовательские усилия для улучшения качества электропитания в железнодорожных распределительных системах [2].

В различных странах мира, включая Российскую Федерацию, были реализованы различные варианты систем электроснабжения железных дорог. Выбор конкретной системы зависит от разных факторов, таких как специфические потребности поездов (например, пригородные поезда, грузовые поезда, легкий рельсовый транспорт), нагрузка поездов и наличие необходимых мощностей от энергетических компаний.

Электрификация железных дорог представляет значительную сложность как для железнодорожной компании, так и для энергетической компании, поскольку это одна из наиболее сложных и требовательных нагрузок для электроэнергетической генерации.

Энергопоставляющая компания, которая должна предусмотреть увеличение мощностей подстанций, может столкнуться со снижением качества электроэнергии для других своих потребителей [3].

Материалы и методы исследований / Materials and methods of research. В данной статье акцент сделан на значительное увеличение пропускной способности южной линии Иракских железных дорог, протяженностью 600 км, которая простирается от столицы Багдада в центральном Ираке до крайнего юга. Особое внимание уделяется ее модернизации в электрифицированную систему железной дороги переменного тока. Исследование включало создание разветвленной электроэнергетической системы с использованием программного комплекса ETAP, который облегчает расчеты электрической нагрузки, потребляемой электрическими поездами. Более того, результаты исследования предоставляют информацию о электроэнергетическом взаимодействии генерирующих мощностей и сетей передачи электроэнергии в системе первичного электроснабжения повышенного напряжения.

Результаты исследований и их обсуждение / Research results and their discussion. Исходные данные. Проект Южной железнодорожной линии Ирака играет не только важную роль, связывая крупные городские центры, но также служит жизненно необходимой линией для местных сообществ, проживающих в районах, через которые она проходит. Железная дорога предлагает надежный и удобный вид транспорта как для пассажиров, так и для грузов, способствуя экономическому росту и содействуя региональной интеграции [4].

Обширная Южная железнодорожная линия в Ираке, со впечатляющей протяженностью около 592 км, связывает оживленный центральный город Багдад с южной провинцией Басра. В таблице 1 представлены первичные исходные данные по размерам пассажирского и грузового движения, скорости и максимальной нагрузке на ось локомотива.

На рисунке 1 представлена карта Южного Ирака с отображением электрифицированной железнодорожной линии и системы первичного электроснабжения. Здесь мы можем видеть трассу железнодорожной магистрали с расставленными тяговыми подстанциями (ТП). Как видно из рисунка электропитание ТП получают от сети первичного электроснабжения – распределительных устройств повышенного напряжения и электростанций.

По мере того как поезд преодолевает свой путь, он делает 42 остановки, каждая из которых обозначена размещенными станциями вдоль железнодорожного пути. В таблице 2 представлена информация о расстоянии и высоте над уровнем моря для каждой станции, расположенной на железнодорожном маршруте. Эти станции учитывают потребности пассажиров и грузов, облегчая плавные переходы географического ландшафта и повышая общую эффективность железнодорожного сервиса.

Таблица 1

Первичные исходные данные по проекту электрифицированных скоростных железных дорог на юге Ирака / The primary project data for the electrified high-speed railways in southern Iraq

Название проекта	Длина, км	Максимальная нагрузка на ось, т	Количество путей	Максимальная скорость, км / час		Объем перевозок, млн	
				Пассажир	Груз	Пассажир	Груз
Багдад – Басра	680	18	Два	270	140	10	70

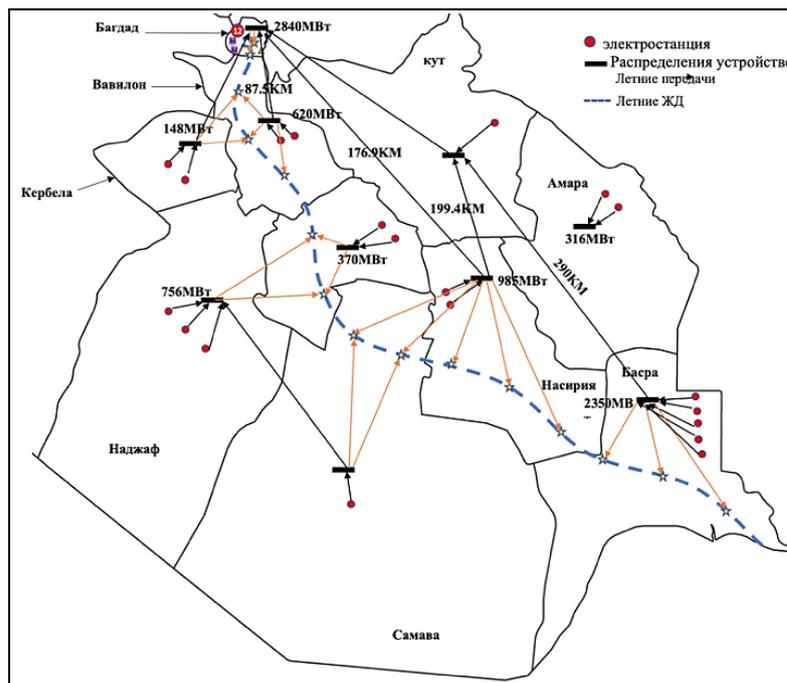


Рис. 1. Карта Южного Ирака с отображением электрифицированной железнодорожной линии и системы первичного электроснабжения / Map of Southern Iraq showing the electrified railway line and the primary electrical supply system

Однако следует заметить, что для выполнения тяговых расчетов при моделировании движения электропоезда высотных отметок только станций недостаточно: необходимы подробные профили пути на протяжении всей линии железнодорожной магистрали. От этого в значительной степени будут зависеть электротехнические показатели работы локомотивов. Данную задачу удалось решить с помощью орбитального сканирования исследуемой местности. На рисунке 2 представлено формирование профиля пути участка железнодорожной магистрали с помощью сканирования космическими спутниками. Благодаря данному инструменту удалось ликвидировать дефицит данных по профилю пути.

Полученная информация позволяет визуально представить изменения высоты вдоль маршрута, выделяя значительные подъемы или спуски, т. е. нагрузки, которые может испытывать поезд. Эта информация особенно ценна для железнодорожных инженеров, так как она позволяет планировать и оптимизировать производительность поезда, учитывая такие факторы, как энергопотребление и скоростные настройки, а также служит ценным источником информации для широкого круга профессионалов и энтузиастов, предоставляя ценную информацию о железнодорожном маршруте от Багдада до Басры и предоставляя разнообразные географические аспекты центрального и южного Ирака [5].

Таблица 2

Железнодорожные станции и их пикетаж железных дорог на юге Ирака / Railway Stations and their Mileage on the Southern Railways of Iraq

Область, города	Железнодорожная магистраль		
	Багдад – Басра		
	станция	КМ	Высота над уровнем моря
Багдад	Аламия	0	40 М
	Мансур	9.100	38 М
	Дура	17.350	39 М
	Юсуфия	29.912	33 М
	Махмодия	41.977	34 М
	Эскандария	58.760	35 М
Вавилон	Моссайяб	72.975	35 М
	Махавель	90.650	32 М
	Хиллах	109.925	32 М
	Хадид	120.530	26 М
	Хашумия	136	28 М
	Коджан	149.375	28 М
	Шарифия	157.440	26 М
Дивания	Сения	172.650	23 М
	Дивания	185.500	23 М
	Наби Мидиен	200.520	21 М
	Хамза	215.500	21 М
Самава	Этбеж	231.400	17 М
	Ромайита	247.350	16 М
	Хаджама	260.290	14 М
	Сава	277.040	14 М
	Самава	285.400	12 М
	Кафора	299.060	11М
	Хидир	313.500	11 М
	Дарраджи	328.350	10 М
Насирия	Батха	346.250	8 М
	Фузия	364.100	7 М
	Насриа	381.057	6 М
	хандак	395.980	4 М
	Сук Аль-Шуох	407.280	5 М
	Кармашия	419.703	4 М
	Шуваирия	433.390	3 М
	Лакит	448.500	3 М
	кабишия	461.400	6 М
Басра	Артави	487.170	8 М
	Румила	504.590	4 М
	Тубаа	521	7 М
	Шааби	536.630	7 М
	Маакаль	552.590	6 М
	Аль-Зубир	546.400	15 М
	Марбид	571	10 М
	Аум Касер	591.983	7 М

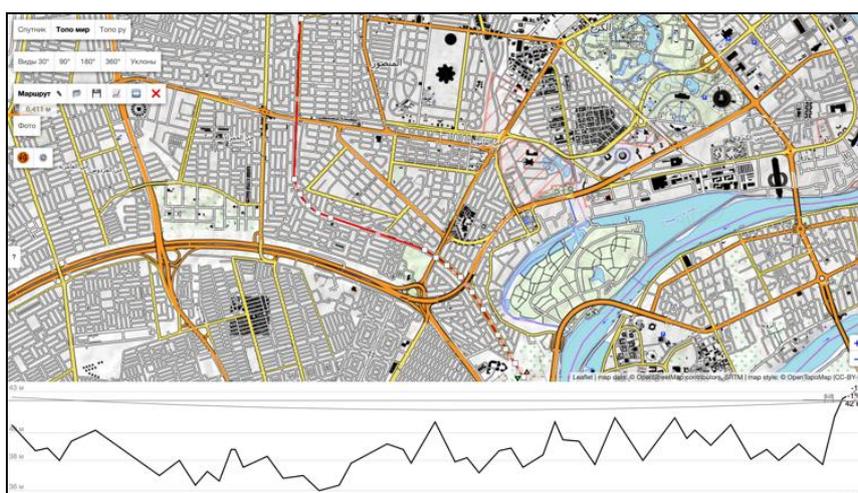


Рис. 2. Формирование профиля пути железнодорожной магистрали с помощью сканирования космических спутников / Creating a railway track profile using satellite scanning

Формирование электрической схемы тягового электроснабжения. Электрифицированные железные дороги получают электроэнергию от систем первичного электроснабжения, которые объединяют в себе несколько сетевых районов и электростанций. Электрическая энергия, производимая генераторами каждой электростанции, передается к тяговым нагрузкам, включая электровазны. Эта передача от электростанций осуществляется: через трансформаторные подстанции с повышающими трансформаторами, через линии электропередачи (ЛЭП) с разными напряжениями и через тяговые подстанции. На ТП электрическая энергия преобразуется в заданный уровень напряжения, используемый электровазонами. Затем она передается локомотивам через тяговую сеть, которая включает контактную сеть и ходовые рельсы.

В общей электроэнергетической системе питания поездов можно выделить две составляющие:

- 1) система первичного (или внешнего) электроснабжения (СПЭ), которая включает все элементы от электростанции до тяговой подстанции, включая ЛЭП и распределительные устройства (РУ);
- 2) система тягового электроснабжения (СТЭ), которая включает ТП и тяговую сеть, которая, в свою очередь, включает контактную сеть, рельсовую цепь (железнодорожные ходовые рельсы), подводящие линии (фидеры), линии обратного тока тяговых подстанций, а также другие устройства, связанные с контактной сетью и рельсами на всем протяжении железнодорожного участка.

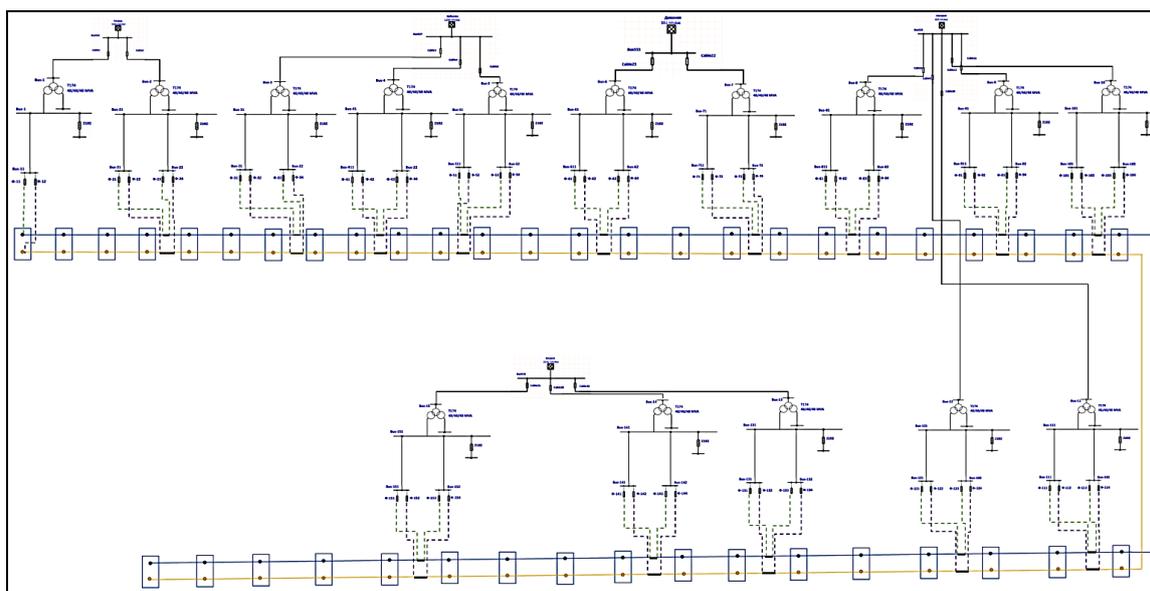


Рис. 3. Электроэнергетическая система железнодорожной магистрали Багдад – Басра в программном комплексе ETAP / Power system of the Baghdad – Basra railway line in the ETAR software suite

С использованием симуляции ETAP было осуществлено детальное моделирование (рисунок 3) каждой системы питания [6] и ее взаимодействия с инфраструктурой потребителей [7], обеспечивая оптимальную производительность поездов на протяжении всего маршрута [8].

СТЭ линия включает в себя 15 ТП переменного тока, которые были размещены с интервалами 40 км вдоль всей протяженности магистрали. На данном участке электрифицированной линии с переменным током в случаях подачи напряжения от одного питающего центра по общей ЛЭП используется схема подключения группы тяговых подстанций, которая называется «противовесной», или «двойной винтовой», схемой. Ее целью является снижение асимметрии токов в фазах линии электропитания электрифицированного участка путем чередования использования менее нагруженной фазы линии электропередачи от тяговых подстанций при переходе от одной подстанции к другой [9].

На рисунке 4 представлен увеличенный фрагмент – схема подключения ТП с помощью трехфазного трансформатора к тяговой сети переменного тока в интерфейсе программного комплекса ETAP [10].

Система питания работает на промышленной частоте 50 Гц, используя переменный ток напряжением 25 кВ [11]. Для подачи тяговых нагрузок применяются трехфазные трансформаторы, которые обычно являются трехобмоточными со специфической схемой подключения обмоток $Y / \Delta - 11$. Среди этих обмоток одна из низковольтных обмоток запланирована для нетяговых потребителей при напряжении 35 кВ. С другой стороны, обмотка, отвечающая за питание тяговой нагрузки и работающая на напряжении 27,5 кВ, всегда соединена в «треугольник».

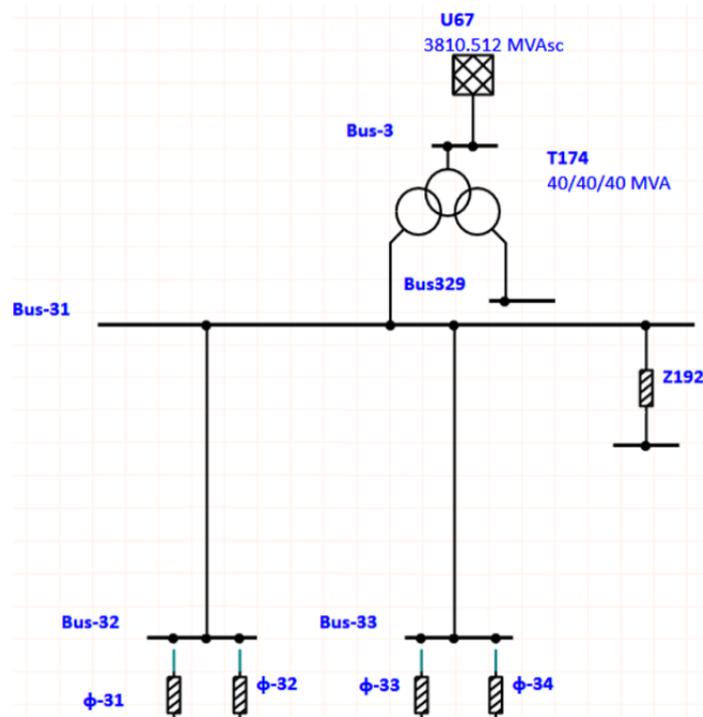


Рис. 4. Схема подключения ТП, с помощью трехфазного трансформатора, к тяговой сети переменного тока в программном комплексе ETAP / Connection diagram of the traction substation (TS) to the alternating current traction network in the ETAR software suite using a three-phase transformer

Результаты расчета показателей работы электроэнергетической системы железнодорожной магистрали – это определение мощности тяговых трансформаторов на ТП, минимальный уровень напряжения на шинах ТП 27,5 кВ и минимальный уровень напряжения в тяговой сети на токоприемнике локомотива.

На рисунках 6, 7, и 8 представлены зависимости мощности, напряжения на шинах и ток ТП в функции времени в течение 6 часов.

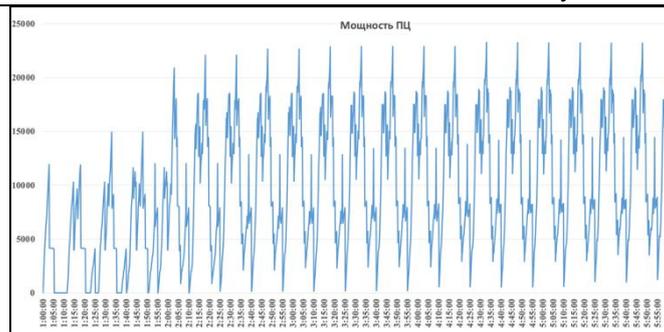


Рис. 5. Мощность ТП (кВт на время) / Traction Substation Power (kW over time)

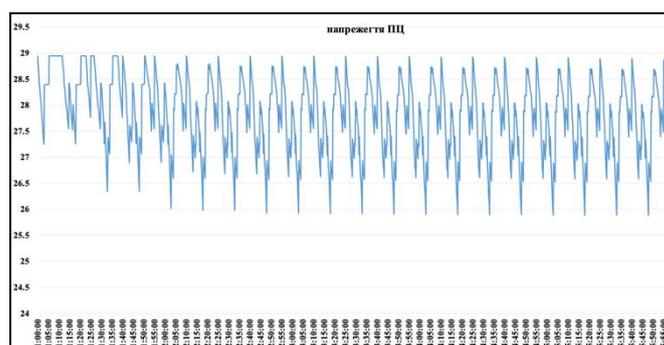


Рис. 6. Напряжения ТП (кВ на время) / Traction Substation Voltages (kV over time)

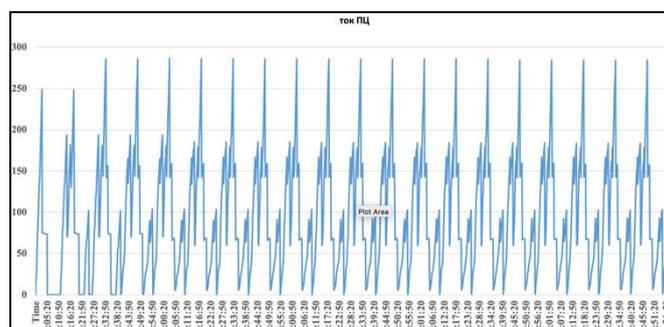


Рис. 7. Ток ТП (Ампер на время) / Traction Substation Current (Amperes over time)

Как видно из осциллограмм, пиковая мощность ТП доходит до 23 000 кВт, пиковый ток ТП составляет около 280А, а напряжение на шинах составляет в минимальном значении около 26кВ. Учитывая, что номинальное напряжение в тяговой сети железных дорог переменного тока составляет 25кВ, тяговые трансформаторы можно выбирать в пределах 25МВА, а кабельные линии с допустимым током до 300А [12, 13].

Заклучение / Conclusion. По итогам работы можно сделать вывод о том, что переход южной линии Иракских железных дорог к электрифицированной системе является знаковым событием для страны, отражающим ее стремление к развитию современной и устойчивой инфраструктуры транспорта, электроэнергетической доступности в условиях дефицита энергогенерирующих мощностей, что также подтверждает готовность Ирака внедрять передовые технологии в железнодорожную отрасль, а также в отрасль электроэнергетики, для дальнейшего развития и экономического процветания страны.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Manihal M. A. Estimation and Analysis of Demand Structure for the Rail Transport Sector in Iraq for the Period (1999–2016) // International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2019. Vol. 10. Issue 02. P. 424–445. Available from: <https://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=02> [Accessed 21 August 2023].

2. Mousavi S. M. G., Tabakhpour Adel L., Fuchs Ewald F. Power Quality Issues in Railway Electrification: A Comprehensive Perspective // IEEE Transactions on Industrial Electronics. Vol. 62. Issue 5. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7000530> [Accessed 21 August 2023].
3. Bharat Bhargava. Railway electrification systems and configurations // IEEE Transactions on Industrial Electronics. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/784389/authors#authors> [Accessed 21 August 2023].
4. Тер-Оганов Э. В., Пышкин А. А. Электроснабжение железных дорог. URL: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1400426538.pdf (дата обращения: 21.08.2023).
5. Iraqi Republic Railways 2018 (IRR). Available from: <http://iraq-jccme.jp/files/railway-projects-Iraq-rr25032018.pdf> [Accessed 21 August 2023].
6. Шевлюгин М. В., Щегловитова Е. В. Имитационная модель системы тягового электроснабжения железных дорог переменного тока для оценки качества электроэнергии на вводах подстанций // Энергобезопасность и энергосбережение. 2023. № 1. С. 89–92.
7. Шевлюгин М. В., Ермоленко Д. В., Королев А. А. Анализ взаимных электромагнитных влияний между системой тягового электроснабжения и энергосистемой на единой цифровой модели в программном комплексе ETAP // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. М., 2019. С. 73–81.
8. Шевлюгин М. В., Королев А. А., Голицына А. Е., Плетнев Д. С. Цифровой двойник электроподвижного состава в тяговой сети метрополитена // Электротехника. 2019. № 9. С. 41–46.
9. Getachew B. W., Aseged B. K. Modeling and simulation of traction of power supply system case study: modjohawassa railway line in ethiopia // Journal of EEA. 2018. Vol. 36. July. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/344491968> [Accessed 2 September 2023].
10. Шевлюгин М. В., Королев А. А., Александров И. А. Цифровая модель тяговой подстанции двух родов тока // Электротехника. 2018. № 9. С. 40–44.
11. Шевлюгин М. В., Антонов В. С., Максименко Н. В. Современные подходы к проектированию устройств тяговой сети железных дорог с помощью Vim-технологий // Мир транспорта. 2022. Т. 20. № 1 (98). С. 6–12.
12. Tulsy V., Murzintsev A., Zhgun K., Silaev M., Khrpushkin N., Shevlyugin M., Korolev A., Baambitov R. Application Of Etaptm extraxtm software Package For Digital Simulation Of Distribution Network That Feeds An Ac Traction Power Supply System // E3S Web of Conferences. Ser. «ENERGY-21 – Sustainable Development and Smart Management» 2020. P. 07011.
13. Андреев В. В., Шевлюгин М. В., Гречишников В. А. Расчёт интегральных показателей работы разветвлённых систем тягового электроснабжения // Электротехника. 2012. № 12. С. 32–36.
14. Андреев В. В., Гречишников В. А., Привезенцев Н. Н., Шевлюгин М. В. Расчёт относительной реализуемой мощности трансформатора тяговой подстанции по старению изоляции // Электротехника. 2011. № 8. С. 46–49.
15. Шевлюгин М. В. Энергосберегающие технологии на железнодорожном транспорте и метрополитенах, реализуемые с использованием накопителей энергии: автореф. дис. ... д-ра технических наук / Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ. Москва, 2013.

REFERENCES

1. Manihal M. A. Estimation and Analysis of Demand Structure for the Rail Transport Sector in Iraq for the Period (1999–2016). International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). 2019;10(02):424-445. Available from: <https://www.iaeme.com/ijciet/issues.asp?JType=IJCIET&VType=10&IType=02> [Accessed 21 August 2023].
2. Mousavi S. M. G., Tabakhpour Adel L., Fuchs Ewald F. Power Quality Issues in Railway Electrification: A Comprehensive Perspective. IEEE Transactions on Industrial Electronics. 62(5). Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7000530> [Accessed 21 August 2023].
3. Bharat Bhargava. Railway electrification systems and configurations // IEEE Transactions on Industrial Electronics. Available from: <https://ieeexplore.ieee.org/document/784389/authors#authors> [Accessed 21 August 2023].
4. Ter-Oganov E. V., Pyshkin A. A. Railroad electrical supply. Available from: http://static.scbist.com/scb/uploaded/1_1400426538.pdf [Accessed 21 August 2023]. (In Russ.).
5. Iraqi Republic Railways 2018 (IRR). Available from: <http://iraq-jccme.jp/files/railway-projects-Iraq-rr25032018.pdf> [Accessed 21 August 2023].
6. Shevlyugin M. V., Shcheglovitova E. V. Simulation Model of the Alternating Current Traction Power Supply System for Assessing the Quality of Electrical Energy at Substation Inputs. Energobezopasnost' i energosberezhenie = Energy Security and Energy Conservation. 2023;1:89-92. (In Russ.).
7. Shevlyugin M. V., Ermolenko D. V., Korolev A. A. Analysis of Mutual Electromagnetic Interactions between the Traction Power Supply System and the Power System Using a Unified Digital Model in the ETAP Software Suite. In Proceedings: Current Issues in the Development of Railroad Transport. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference on the 75th Anniversary of the Postgraduate Studies of the Scientific Research Institute of Railroad Transport. M., 2019. P. 73-81. (In Russ.).

8. Shevlyugin M. V., Korolev A. A., Golitsyna A. E., & Pletnev D. S. Digital Twin of the Rolling Stock in the Traction Network of the Metro. *Elektrotehnika = Electrical Engineering*. 2019;9:41-46. (In Russ.).
9. Getachew B. W., Aseged B. K. Modeling and simulation of traction of power supply system case study: modjohawassa railway line in ethiOPIA. *Journal of EEA*. 2018;36. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/344491968> [Accessed 2 September 2023].
10. Shevlyugin M. V., Korolev A. A., Korolev A. O., Alexandrov I. A. Digital Model of a Dual-Type Current Traction Substation. *Elektrotehnika = Electrical Engineering*. 2018;9:40-44. (In Russ.).
11. Shevlyugin M. V., Antonov V. S., Maksimenko N. V. Modern approaches to the design of railway traction network devices using Bim technologies *Mir transporta = The world of transport*. 2022;20(1(98)):6-12. (In Russ.).
12. Tulsy V., Murzintsev A., Zhgun K., Silaev M., Khripushkin N., Shevlyugin M., Korolev A., Subhanverdiev K., Baembitov R. Application Of Etaptm etraxtm software Package For Digital Simulation Of Distribution Network That Feeds An Ac Traction Power Supply System. *E3S Web of Conferences. Ser. «ENERGY-21 – Sustainable Development and Smart Management» 2020*. P. 07011.
13. Andreev V. V., Shevlyugin M. V., Grechishnikov V. A. Calculation of integral performance indicators of branched traction power supply systems. *Elektrotehnika = Electrical Engineering*. 2012;12:32-36. (In Russ.).
14. Andreev V. V., Grechishnikov V. A., Privezentsev N. N., Shevlyugin M. V. Calculation of the Relative Achievable Power of a Traction Substation Transformer Due to Insulation Aging. *Elektrotehnika = Electrical Engineering*. 2011;8:46-49. (In Russ.).
15. Shevlyugin M. V. Energy-Saving Technologies in Railway Transport and Metros Implemented Using Energy Stor-age Systems: Doctoral Dissertation Abstract. Moscow State University of Railway Engineering (МИИТ). Ministry of Railways of the Russian Federation. Moscow, 2013. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мохаммед Джафар Джасим Алсултан – аспирант кафедры электроэнергетики транспорта Российского университета транспорта (МИИТ).

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

ВКЛАД АВТОРОВ

Мохаммед Джафар 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 Electric Power Engineering of Transport Russian University of Transport (MIIT).

Maxim V. Shevlyugin – Dr. Sci. (Techn.), Associate Professor, Head of the Department 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.

Maxim V. Shevlyugin

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