

А.А.Яблочкин, В.В.Голубев, Е.Ю. Пузина

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСИЛЕНИЯ СТЭ УЧАСТКА АН-ТК ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Аннотация. *С нарастающим промышленным потенциалом страны увеличиваются объемы грузоперевозок по железнодорожному сообщению. В связи с этим возникает потребность в совершенствовании транспортных узлов для регулирования движения на стратегически важных объектах. Расширение промышленной деятельности приводит к росту перевозок и необходимости усиления инфраструктуры транспортной системы.*

Использование современных тяжеловесных поездов на внутренних железнодорожных магистралях и увеличение суточных объемов движения значительно повышают нагрузку на все компоненты системы тягового электроснабжения. Некоторые участки контактной сети уже работают на пределе своей пропускной способности, что приводит к возрастанию токовой нагрузки и интенсивному нагреву оборудования. Это сопровождается снижением уровня напряжения в контактной сети и увеличением потерь электроэнергии.

С учетом понижения показателей работы системы тягового электроснабжения возникает необходимость в ее усилении. В настоящее время проводятся работы по модернизации сложных участков и разработке новых способов усиления системы тягового электроснабжения. Однако, некоторые способы ее усиления могут быть неэффективны с экономической точки зрения, несмотря на достижение желаемых технических результатов. Поэтому оценка экономической эффективности данных способов является неотъемлемой частью процесса разработки и реализации усовершенствованной системы тягового электроснабжения.

В результате, совершенствование системы тягового электроснабжения становится ключевым элементом развития железнодорожного транспорта и обеспечения эффективности грузоперевозок. Это требует комплексного подхода, включающего модернизацию инфраструктуры, разработку новых технологий и оценку экономической эффективности предлагаемых решений.

Ключевые слова: *экономическая эффективность, система тягового электроснабжения, способы усиления*

A.A.Yablochkin, V.V.Golubev, E.Y. Puzina

Irkutsk State Transport University, t. Irkutsk, Russia

EVALUATION OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF STRENGTHENING THE SITE STE AN-TK EASTERN POLYGON

Abstract. *With the growing industrial potential of the country, the volume of cargo transportation by rail is increasing. In this regard, there is a need to improve transport hubs to regulate traffic at strategically important facilities. The expansion of industrial activity leads to an increase in traffic and the need to strengthen the infrastructure of the transport system.*

The use of modern heavy-duty trains on internal railway lines and the increase in daily traffic volumes significantly increase the load on all components of the traction power supply system. Some sections of the contact network are already operating at the limit of their capacity, which leads to an increase in current load and intense heating of the equipment. This is accompanied by a decrease in the voltage level in the contact network and an increase in electricity losses.

Taking into account the decrease in the performance of the traction power supply system, there is a need to strengthen it. Currently, work is underway to modernize complex sections and develop new ways to strengthen the traction power supply system. However, some ways of strengthening it may be inefficient from an economic point of view, despite the achievement of the desired technical results. Therefore, the evaluation of the economic efficiency of these methods is an integral part of the development and implementation of an improved traction power supply system.

As a result, the improvement of the traction power supply system is becoming a key element in the development of railway transport and ensuring the efficiency of freight transportation. This requires an integrated approach, including the modernization of infrastructure, the development of new technologies and the evaluation of the economic efficiency of the proposed solutions.

Keywords: *economic efficiency, traction power supply system, amplification methods*

Введение

Одним из важнейших вопросов при реализации усиления систем электроснабжения является оценка их экономической эффективности. Увеличение масс и процентного соотношения в графике движения современных тяжеловесных поездов значительно увеличивает нагрузку на все элементы системы тягового электроснабжения (СТЭ) [1-6]. Некоторые участки контактной сети работают на пределе своей пропускной способности. Существенно возрастает токовая нагрузка в системе [7-11], следовательно, более интенсивно происходит нагрев оборудования, снижается уровень напряжения в контактной сети и увеличиваются потери электроэнергии [12-14]. Понижение показателей работы системы тягового электроснабжения говорит о необходимости ее усиления. Грамотная экономическая оценка эффективности способов усиления СТЭ позволит компании ОАО «РЖД» увеличить объем денежных средств, получаемых за счет повышения грузо- и пассажирооборота.

Характеристика исследуемого участка

Исследуемый участок АН-ТК Восточного полигона имеет сложный профиль пути (рис. 1), содержит три тяговые подстанции, характеристики которых указаны в табл. 1.

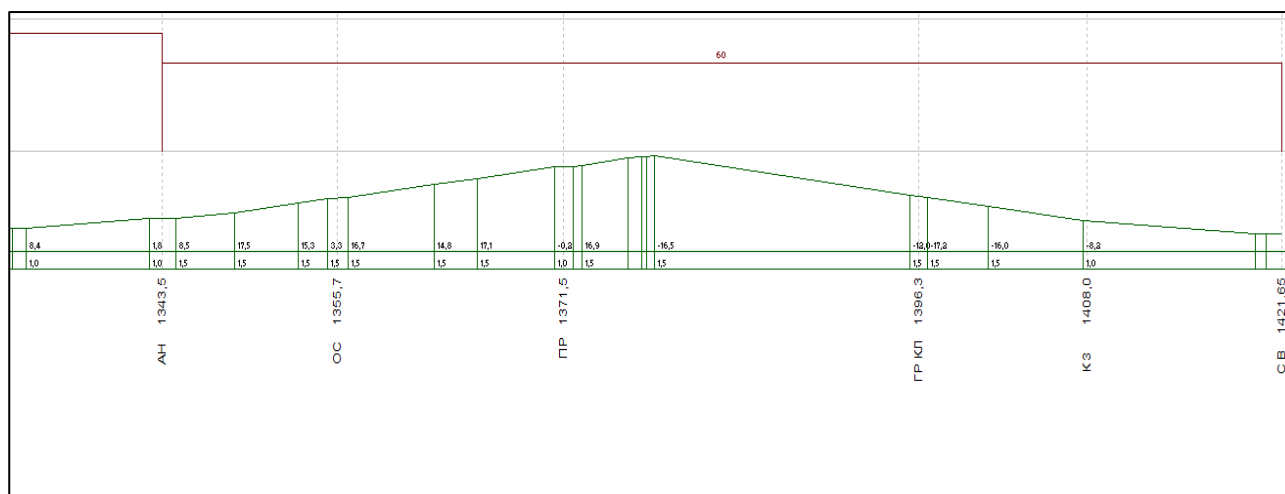


Рис. 1. Профиль участка АН-ПР-ОК

Таблица 1

Характеристики тяговых подстанций, питающих участок АН-ПР-ТК

Наименование подстанции	Номинальная мощность силовых трансформаторов, МВА	Расположение, км	Тип силового трансформатора
АН	40	1343	ТДТНЖ-40000/220-76У1
ПР	40	1370	
ОК	40	1405	

Расположение данных подстанций указано на рис. 2.

В данной работе произведена проверка пропускной способности СТЭ обходного пути, имеющегося на исследуемом участке в связи с наличием по главному ходу тоннеля. По сведениям дирекции по энергообеспечению, управляющей СТЭ этого участка, на участке необходимо поддерживать межпоездной интервал при пакетном графике движения 20 минут.

С целью проверки пропускной способности существующей СТЭ сформирован следующий график движения: пакет поездов в четном направлении: 3 состава массой 7100 т, 1 состав массой 6300 т и 1 состав 4000 т, в нечетном направлении пакет поездов массой 3000 т, но при этом каждый 4-й состав массой 6300 т. Тип локомотива, используемого на данном участке, – 3ЭС5К. При однопутном движении в виду невозможности объехать встречный поезд, появляется необходимость остановки встречного состава на станциях.

Итоги моделирования такого графика движения в ПВК Кортэс показали недопустимый уровень напряжения в контактной сети, что представлено в табл. 2. Следовательно, необходимо выполнить усиление СТЭ.

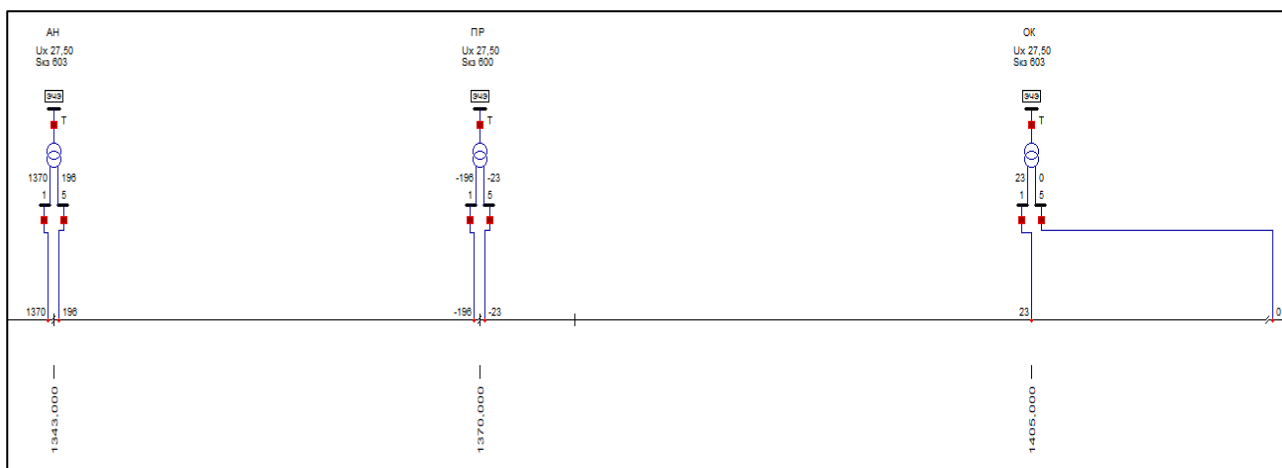


Рис. 2. Схема участка и расположение тяговых подстанций

Таблица 2

Результаты проверки пропускной способности СТЭ участка АН-ПР-ОК-ТК при существующей СТЭ с минимальным интервалом 20 минут

Наименование межподстанционной зоны	Напряжение в контактной сети, кВ		Координата, км
	минимальное	трехминутное	
АН-ПР	19,27	19,52	1380
ОК-ТК	21,26	21,31	1421

Предложения по усилению СТЭ и оценке экономической эффективности предложенных способов усиления СТЭ

В целях оценки экономической эффективности усиления участка АН – ТК рассмотрим один из следующих способов усиления:

- установка устройства продольной компенсации (УПК) в питающую или в отсасывающую линию на тяговой подстанции (ЭЧЭ - в железнодорожной аббревиатуре);
- установка поста секционирования (ПС) в МПЗ;
- установка ПС с компенсирующим устройством (КУ).

При моделировании в ПВК Кортэс названных способов усиления получены результаты, указанные в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительная оценка способов усиления

Номер и наименование способа усиления	Параметры режима работы СТЭ					
	Напряжение в КС, кВ		Коэффициент загрузки силового трансформатора	Температура нагрева обмотки силового трансформатора, °С	Температура нагрева провода, °С	
	минимальное	трехминутное			контактной сети	отсасывающей линии
1. УПК на ЭЧЭ ПР в отсасывающую фазу	21,40	21,72	1,81	91	37	45
2. УПК на ЭЧЭ ПР в питающую фазу	21,36	21,41	2,14	84	37	35
3. ПС Между АН и ПР + КУ (10000 кВАр)	20,61	20,82	1,26	74	29	34
4. ПС между АН и ПР + КУ (15000 кВАр)	21,34	21,57	1,22	73	34	33

5. Установка дополнительного силового трансформатора на ЭЧЭ ПР	20,3	20,57	1,2	70	33	35
6. Монтаж экранирующего провода	19,50	19,75	1,35	76	33	34

По результатам, приведенным в табл. 3, видим, что наиболее благоприятным способом усиления является установка поста секционирования с компенсирующим устройством, так как в других случаях либо напряжение в контактной сети, либо коэффициент загрузки силовых трансформаторов не соответствуют нормативным значениям.

Для оценки экономической эффективности оптимального способа усиления необходимо:

1) Рассчитать единовременные затраты на оборудование (табл. 4).

Таблица 4

Наименование оборудования	Единица измерения	Количество	Стоимость руб.
Пост секционирования размером 5380x4310x4750	шт	1	3296580
Компенсирующее устройство	шт	1	3000000
Бетон	т	1	1550000
Кабель для функционирования ПС	км	8	2500000
Источник бесперебойного питания	шт	1	1340000
Итого			38 686 580

2) Рассчитать затраты на установку напольного оборудования и подготовку грунта для прокладки кабеля (табл. 5).

Таблица 5

Наименование оборудование	Единица измерения	Количество, ед.	Цена за ед., руб. с НДС	Стоимость руб.
Монтажные работы	Чел/час	2400	-	3637920
Электромонтажник 3 разряда	-	480*2	349	335040
Электромонтажник 4 разряда	-	480*2	440	422400
Электромеханик	-	480	626	300480
Земляные работы	Чел/час	400	200	80000
Прокладка кабеля	Чел/день	800	1500	2500000

В результате, общая стоимость модернизации на участке АН-ТК складывается из следующих показателей:

- стоимость приобретения оборудования (табл. 4) – 38 686 580 рублей;
- стоимость установки напольного оборудования (табл. 5) – 3 637 920 рублей;
- эксплуатационные расходы – 3 868 658 рублей;

3) Рассчитать объем перевозок на данном участке до усиления и после усиления.

Объем перевозок определяем по формуле:

$$\sum P_l = (N \cdot L \cdot Q) \cdot 365,$$

где N – количество пар поездов в сутки;

L – длина участка, км;

Q – вес поезда, т.

Соответственно, получим:

- до усиления:

$$\sum Pl_1 = (9 \cdot 106 \cdot 7100) \cdot 365 + (9 \cdot 106 \cdot 6300) \cdot 365 + (4,5 \cdot 106 \cdot 4000) \cdot 365 + (9 \cdot 106 \cdot 3000) \cdot 365 = 6407064000 \text{ ткм} \cdot \text{брутто};$$

- после усиления:

$$\sum Pl_2 = (13 \cdot 106 \cdot 7100) \cdot 365 + (9 \cdot 106 \cdot 6300) \cdot 365 + (4 \cdot 106 \cdot 4000) \cdot 365 + (13 \cdot 106 \cdot 3000) \cdot 365 = 7892760000 \text{ ткм} \cdot \text{брутто}.$$

Разница объема перевозок определена по формуле:

$$\Delta \sum Pl_{об} = \sum Pl_2 - \sum Pl_1 = 9892760000 - 6407064000 = 1485696000 \text{ ткм} \cdot \text{брутто}.$$

Для дальнейшей оценки необходимо рассчитать дополнительный доход холдинга «РЖД» с учетом прогнозируемого объема перевозок и доходной ставки (α), равной 4,5 руб./10 ткм·брутто:

$$D = \frac{\alpha \cdot \sum Pl_{об}}{10} = \frac{4,5 \cdot 1485696000}{10} = 6\,685\,632\,000 \text{ руб.}$$

В результате, дополнительный доход холдинга составит 6 685 632 000 руб.

Полученная сумма доходов зависит от работы многих хозяйств, следовательно, будет наблюдаться мультипликативный эффект.

Найдем общий экономический эффект, вычитая эксплуатационные расходы:

$$\mathcal{E}_{общ} = D - \mathcal{E} = 6\,685\,632\,000 - 3\,868\,658 = 6\,681\,763\,342 \text{ руб.}$$

Общий экономический эффект составил 6 681 763 342 руб.

Доход и общий экономический эффект от увеличения объема грузоперевозок приведены в табл. 6.

Таблица 6

Доход и общий экономический эффект от увеличения объема грузоперевозок				
Объем перевозок $\sum Pl$, ткм·брутто		Разница объема перевозок $\Delta \sum Pl_{об}$, ткм·брутто	Доход, руб.	Общий экономический эффект, руб.
<i>До усиления</i>	<i>После усиления</i>	1 485 696 000	6 685 632 000	6 681 763 342
6 407 064 000	7 892 760 000			

Так как доход должен распределяться между множеством других хозяйств, на хозяйство по энергообеспечению приходится 2 % от общего экономического эффекта:

$$\mathcal{E}_{хоз} = 133\,635\,266 \text{ руб.}$$

Благодаря полученным данным можно получить срок окупаемости и сравнить его с нормативным (8 лет):

$$T_{ок} = \frac{K}{\mathcal{E}_{общ}}$$

Подставляя результаты ранее выполненного расчета, получим:

$$T_{ок} = \frac{38\,686\,580 + 3\,637\,920}{133\,635\,266} = 0,31 \text{ года}$$

Время, необходимое для возврата потраченных средств, составляет 0,31 года, что удовлетворяет нормативному и говорит о высокой экономической эффективности предложенного способа усиления СТЭ для хозяйства по энергообеспечению. Стоит отметить что данный срок окупаемости не является абсолютным для всех хозяйств, так как затраты в других хозяйствах могут отличаться.

Заключение

В заключение хочется отметить, что установка поста секционирования с компенсирующим устройством на участке АН-ТК является экономически выгодной мерой. Об этом свидетельствуют относительно малые размеры капиталовложений, малый срок окупаемости и быстрое внедрение. Данное мероприятие позволит улучшить работу системы тягового электрообеспечения, повысить эффективность эксплуатации железнодорожного транспорта, а также увеличить надежность всей системы [15-18].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Puzina E.Y., Khudonogov I.A. The study of the effectiveness of strengthening the traction power supply system of the Northern route of the Eastern polygon of the Russian railroads. *Journal of Physics: Conference Series*. Ser. "International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021" 2021. С. 012153.
2. Пузина Е.Ю. Усиление системы тягового электроснабжения участка Чуро-Таксимо ВСЖД. *Транспорт: наука, образование, производство. Труды международной научно-практической конференции*. Ростовский государственный университет сообщения. 2016. С. 306-310.
3. A. Cherepanov, A. Kutsiy. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation. *International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018*, 2018.
4. Воронина Е.В., Куцкий А.П. Модернизация пути и повышение пропускной способности однопутного электрифицированного участка железной дороги Якурим-Киренга. *Молодая наука Сибири*. 2021. № 3 (13). С. 196-204.
5. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo. Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer. *2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT)*, Birmingham, pp. 111–115, 2016.
6. Черепанов А.В., Куцкий А.П., Есауленко А.С. Применение технологии виртуальной сцепки для поездов повышенной массы. *Молодая наука Сибири*. 2020. № 2 (8). С. 191-199.
7. I. A. Khudonogov, E. Y. Puzina and A. G. Tuigunova. Modeling Turn Insulation Thermal Aging Process for Traction Substation Transformer. *2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, 2020, pp. 1-5.
8. Алексеенко В.А., Пузина Е.Ю. Анализ повреждений измерительных трансформаторов на тяговых подстанциях ВСЖД//*Транспортная инфраструктура Сибирского региона*. Иркутск. Т. 2. 2009. С. 4-9.
9. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical energy losses of power transformer of 25 kV traction substations. *IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering*. 2020. № 760. С. 012060.
10. Шевердин И.Н., Шаманов В.И., Трофимов Ю.А. Влияние тяжеловесных поездов на рельсовые цепи и АЛС. *Автоматика, связь, информатика*. 2004. № 8. С.24.
11. Быкадоров А.Л., Заруцкая Т.А., Гаврилов И.В., Муратова-Милехина А.С. Детализация структуры тяговых сетей переменного тока в задачах моделирования и расчета параметров петли короткого замыкания. *Электроника и электрооборудование транспорта*. 2015. № 4. С. 7-12.
12. Вершинин В.С., Петрова А.Н., Бондаренко С.И. Обеспечение нормативного уровня напряжения в сетях напряжением 10 кВ Ковыктинского газоконденсатного месторождения. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. 2020. С. 62-66.

13. Yue Han, 3. Qiang Gao, Xuebin Li. Research on the Application of Modern Power System Based on Automatic Control Technology. 2015. 4th International Conference on Modeling and Simulation (MAS), IEEE, 2015.
14. Qiang Gao, Xuebin Li. Research on the Application of Modern Power System Based on Automatic Control Technology. 2015. 4th International Conference on Modeling and Simulation (MAS), IEEE, 2015.
15. Захарова М.Ю., Пузина Е.Ю. Особенности проведения энергетического обследования нефтебазовых комплексов. Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2014. С.235-240.
16. Каимов Е.В., Оленцевич В.А., Власова Н.В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктурного комплекса железных дорог. Образование – Наука – Производство. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2-х томах. Чита. 2022. С. 288-296.
17. Магомедов И.А., Усманов М.Ш., Булчаев А-Б.Н., Магомедов А.С. Принципы построения систем нечеткого управления динамическими объектами. Молодежь, наука, инновации. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции. 2014. С. 107-111.
18. Пультяков А.В., Трофимов Ю.А., Скоробогатов М.Э. Комплексные решения по повышению устойчивости работы устройств автоматической локомотивной сигнализации на участках с электротягой переменного тока. Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т. 1. С. 328-332.

REFERENCES

1. Puzina E.Y., Khudonogov I.A. The study of the effectiveness of strengthening the traction power supply system of the Northern route of the Eastern polygon of the Russian railroads. Journal of Physics: Conference Series. Ser. "International Conference on Automatics and Energy, ICAE 2021" 2021. С. 012153.
2. Puzina E.Yu. Strengthening of the traction power supply system of the Churo-Taksimov section of the VSZHD. Transport: science, education, production. Proceedings of the International scientific and practical conference. Rostov State University of Communications. 2016. pp. 306-310.
3. A. Cherepanov, A. Kutsiy. Modeling of tractive power supply systems for heavy-tonnage trains operation. International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2018, 2018.
4. Voronina E.V., Kutsiy A.P. Modernization of the track and increase in the capacity of the single-track electrified section of the Yakurim-Kirenga railway. Young science of Siberia. 2021. No. 3 (13). pp. 196-204.
5. Xiaozhou Zhu, Minwu Chen, Shaofeng Xie and Jie Luo. Research on new traction power system using power flow controller and Vx connection transformer. 2016 IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), Birmingham, pp. 111–115, 2016.
6. Cherepanov A.V., Kutsiy A.P., Esaulenko A.S. Application of natural coupling technologies for trains of increased mass. Young science of Siberia. 2020. No. 2 (8). pp. 191-199.
7. I. A. Khudonogov, E. Y. Puzina and A. G. Tuigunova. Modeling Turn Insulation Thermal Aging Process for Traction Substation Transformer. 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), 2020, pp. 1-5.
8. Alekseenko V.A., Puzina E.Yu. Analysis of instrument transformers at traction substations of the Eastern Railway//Transport infrastructure of the Siberian region. Irkutsk. Т. 2. 2009. S. 4-
9. Grigoriev N.P., Klykov M.S., Tikhomirov V.A., Trofimovich P.N. Reduction of electrical energy losses of power transformer of 25 kV traction substations. IOP Conferens Series: Materials Science and Engineering. 2020. № 760. С. 012060.
10. Sheverdin I.N., Shamanov V.I., Trofimov Yu.A. Influence of heavy trains on track circuits and ALS. Automation, communications, informatics. 2004. No. 8. P.24.

11. Bykadorov A.L., Zarutskaya T.A., Gavrilov I.V., Muratova-Milekhina A.S. Detailing the structure of AC traction networks in the problems of modeling and calculating the parameters of a short circuit loop. Electronics and electrical equipment of transport. 2015. No. 4. S. 7-12.
12. Vershinin V.S., Petrova A.N., Bondarenko S.I. Ensuring the standard voltage level in the 10 kV networks of the Kovykta gas condensate field. Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. 2020. S. 62-66.
13. Yue Han, 3. Qiang Gao, Xuebin Li. Research on the Application of Modern Power System Based on Automatic Control Technology. 2015. 4th International Conference on Modeling and Simulation (MAS), IEEE, 2015.
14. Qiang Gao, Xuebin Li. Research on the Application of Modern Power System Based on Automatic Control Technology. 2015. 4th International Conference on Modeling and Simulation (MAS), IEEE, 2015.
15. Zakharova M.Yu., Puzina E.Yu. Features of the energy survey of oil depot complexes. Improving the efficiency of production and use of energy in Siberia. Materials of the All-Russian scientific-practical conference with international participation. 2014. P.235-240.
16. Kaimov E.V., Olentsevich V.A., Vlasova N.V. Problems of formation, development and reconstruction of the elements of the infrastructure complex of railways. Education - Science - Production. Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference (with international participation). In 2 volumes. Chita. 2022. S. 288-296.
17. Magomedov I.A., Usmanov M.Sh., Bulchaev A-B.N., Magomedov A.S. Principles of building fuzzy control systems for dynamic objects. Youth, science, innovations. Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. 2014. S. 107-111.
18. A. V. Pult'yakov, Yu. A. Trofimov, and M. E. Skorobogatov, Russ. Integrated solutions for improving the stability of the operation of automatic locomotive signaling devices on sections with AC electric traction. Transport infrastructure of the Siberian region. 2015. V. 1. S. 328-332.

Информация об авторах

Яблочкин Алексей Андреевич - студент гр. СОД.1-19-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: lesha02020202@mail.ru

Голубев Владислав Викторович - студент гр. СОД.1-19-1, специальность «Системы обеспечения движения поездов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: vladislav.Golubew2001@yandex.ru

Пузина Елена Юрьевна – к. т. н., доцент кафедры Электроэнергетика транспорта, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск.

Authors

Yablochkin Aleksey Andreevich - student, gr. SOD.1-19-1, specialty "Train Traffic Control Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk e-mail: lesha02020202@mail.ru, vladislav.Golubew2001@yandex.ru

Golubev Vladislav Viktorovich - student gr. SOD.1-19-1, specialty "Train Traffic Control Systems", Irkutsk State Transport University, Irkutsk e-mail: vladislav.Golubew2001@yandex.ru

Elena Yur'evna Puzina – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. at the Subdepartment of Electric Power Industry of Transport, Irkutsk State Transport University, Irkutsk.