

УДК 620.9

И.А. Худоногов, А.А. Галков

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

СРАВНЕНИЕ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТИ УСТРОЙСТВ «РПН» С ГАШЕНИЕМ ДУГИ В МАСЛЕ И В ВАКУУМЕ

Аннотация. В статье идёт речь о устройствах регулирования напряжения под нагрузкой (РПН), их необходимости применения на железной дороге, эффективности, а также их износе. Ставится вопрос о их надёжности при работе в автоматическом режиме, на опыте эксплуатации Горьковской железной дороги. Рассмотрены причины отключения автоматики на участке ВСЖД.

Далее в статье идёт сравнение двух основных типов РПН с разными способами гашения дуги: в вакуумной камере, и в масле бака контактора. Более детально разобрано устройство и особенности РПН с вакуумной дугогасительной камерой.

Проводится сравнение надёжности, а именно долговечности эксплуатации двух типов РПН при нормальных условиях эксплуатации. Для этого были построены сравнительные графики зависимостей износа от количества переключений в сутки.

В выводе дана оценка двум типам устройств и приведены возможные перспективы увеличения надёжности устройств РПН в целом.

Ключевые слова: силовой трансформатор, устройство РПН, система тягового электроснабжения, контактная сеть, уровень напряжения, надёжность, тяговая подстанция.

I.A. Khudonogov, A.A. Galkov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

COMPARISON OF THE WEAR RESISTANCE «OLTC» WITH ARC BLOWOUT IN OIL AND IN VACUUM

Abstract. The article deals about On-Load Tap changers (OLTC), and about their need for use on the railway, efficiency, as well as their wear. The question is raised about their reliability when operating in automatic mode, based on the experience of operating the Gorky railway. The reasons for disabling automation on the section of the East Siberian Railway are considered.

Next, the article compares two main types of OLTC with different methods of arc blowout: in a vacuum chamber, and in the oil of the contactor tank. The device and features of the OLTC with a vacuum arc chamber are analyzed in more detail.

A comparison of reliability, namely the durability of operation of two types of RPN under normal operating conditions, is carried out. For this purpose, comparative graphs of the dependence of wear on the number of switches per day were constructed.

The conclusion evaluates two types of devices and provides possible prospects for increasing the reliability of OLTC devices in general.

Keywords. Power transformer, on-load tap changer, traction supply system, contact network, voltage level, durability, traction substation.

Введение

Устройства регулирования напряжения под нагрузкой (РПН) - позволяют осуществлять регулирование напряжения тяговой сети путём изменения количества витков обмотки высокого напряжения, тем самым меняя коэффициент трансформации тягового трансформатора и поддерживая необходимый уровень напряжения в системе контактной сети [1].

Таким образом, данное устройство позволяет повысить качество электроэнергии в тяговой сети. Однако в отличие от общей энергетики, напряжение в системах тягового электроснабжения обладает рядом отличительных особенностей, среди которых – большая изменчивость уровня напряжения и зависимость не от времени суток, а от текущего графика движения поездов, их массы и профиля пути [2-4].

Автоматическое регулирование напряжения и надёжность РПН

Согласно статистике систем автоматического регулирования напряжения установленных на Горьковской железной дороге у РПН установленных на тяговых трансформаторах количество переключений может достигать 25 переключений в сутки и более. Существующие системы автоматики помогают поддерживать требуемый уровень напряжения в автоматическом режиме, однако данные системы на ВСЖД на практике стараются не использовать, так как они ведут к чрезмерному износу контактов РПН и как следствие неработоспособности устройства и силового трансформатора. Подобная автоматика, в большинстве своём, отключена на ВСЖД, а переключения производят в ручном режиме в случае крайней необходимости.

Как показывает опыт Горьковской ЖД, а также теоретические труды учёных - РПН является эффективным способом поддержания требуемого уровня напряжения, и стоит актуальным вопрос о надёжности данных устройств и возможных способах продления срока их эксплуатации [5-6].

Всего существует четыре показателя надёжности:

- 1) Безотказность – показывает способность сохранения работоспособности в течение какого – либо периода;
- 2) Долговечность – отражает период сохранения работоспособности устройства до наступления предельного состояния;
- 3) Ремонтпригодность – это свойство устройства отражающее его приспособленность к проведению тех. обслуживанию и ремонту;
- 4) Сохраняемость – это сохранение свойств устройства в тех или иных условиях.

В РПН слабейшим элементом является группа контактов избирателя и контактор, поэтому долговечность РПН, выражается количеством переключений которое оно может произвести до ревизии .

С точки зрения надёжности в данной статье будет рассмотрена долговечность устройств РПН.

Типы РПН и их сравнение

На данный момент промышленность предлагает два основных типа РПН: с масляной дугогасительной камерой и вакуумной. Существует также третий тип – с управляемыми тиристорами, но данный способ обладает рядом недостатков среди которых высокая стоимость и повышение несинусоидальности напряжения из-за использования полупроводниковых приборов. Поэтому данный тип в статье рассматриваться не будет.

В устройствах РПН с гашением электрической дуги в масле - масло в баке является не только изолирующей средой, но и средством гашения возникающей в результате переключения контактов дуги. Помимо этого масло используется в качестве охлаждающей среды для токоограничивающих резисторов и как смазывающая среда для механических частей. На рисунке 1 показан общий вид РПН серии RS9 с масляным способом гашения дуги, и серии SHZV с вакуумными дугогасительными камерами – сокр. ВДК.

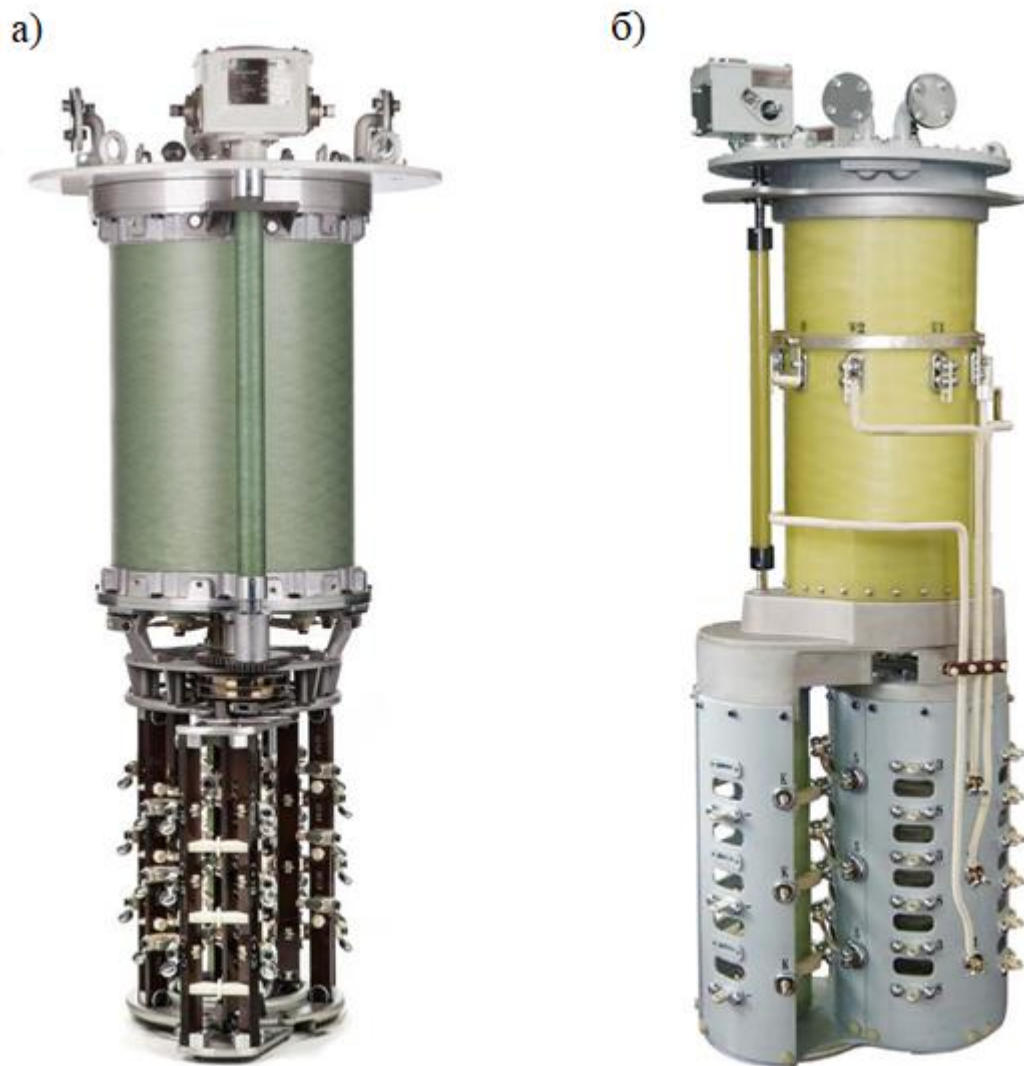


Рис. 1 – а) РПН с гашением дуги в масле серии RS9 б) РПН серии SHZV с гашением дуги в вакууме

В верхней части устройств, в герметичном баке с маслом расположен контактор, в нижней части – избиратель отпаек.

РПН с гашением дуги в вакуумной камере представляет собой масляный РПН, но оснащённый дополнительно вакуумными камерами с контактами, внутри которых происходит гашение дуги. Такой РПН обладает рядом преимуществ:

1) Ток прерывается внутри отдельной вакуумной камеры, это полностью решает проблему загрязнения масла;

2) Процесс карбонизации масла устранён и частицы углерода не оседают на стенках изоляционных материалов, поэтому уровень изоляции всегда гарантирован;

3) Вакуумная камера проводит ток мгновенно в момент переключения – это увеличивает перегрузочную устойчивость устройства

Вышеперечисленные преимущества РПН с вакуумной дугогасительной камерой безусловно увеличивают износостойкость устройства к переключениям, но также ведёт и к удорожанию.

Детальный разрез контактора устройства РПН с ВДК приведён на рисунке 2.

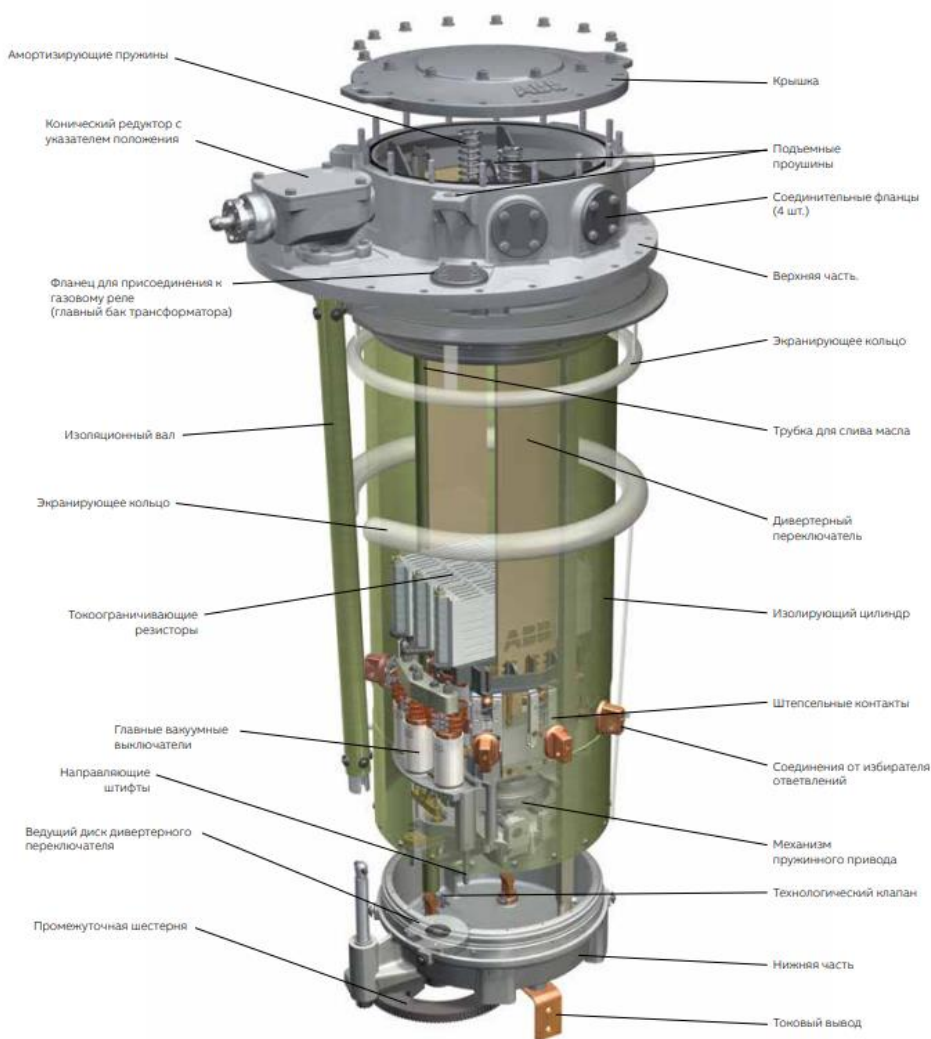


Рис. 2 – Контактор устройства РПН с вакуумными дугогасительными камерами

Ниже приведены сравнительные характеристики устройств РПН с вакуумным и масляным способами гашения дуги.

Таблица 1

Среднестатистические характеристики устройств РПН

Способ гашения дуги	Вакуум	Масло
Среднее количество переключений до электрического износа контактов	600 000	500 000
Среднее количество переключений до механического износа	1 500 000	1 000 000

Стоит отметить, что данные были взяты из инструкций по эксплуатации устройств различных производителей. Данную статистику производители выявили экспериментально, и она учитывается для РПН устанавливаемых в нейтраль обмотки ВН тягового трансформатора. Такие РПН предназначены для номинальных значений токов, в среднем не превышающих 600 А. РПН устанавливаемые в фазу, и обмотку НН, рассчитаны на номинальные значения токов свыше 800 А, и имеют другие данные надёжности [7].

Для наглядности были построены зависимости износа устройств РПН при разной интенсивности использования. Зависимости строились по формуле:

$$T = \frac{N}{n \cdot 365},$$

где N – количество переключений до замены контактов; n – количество переключений в сутки; 365 – количество дней в году.

На рисунке 3 показана сравнительная зависимость до электрического износа контактов для двух типов РПН.

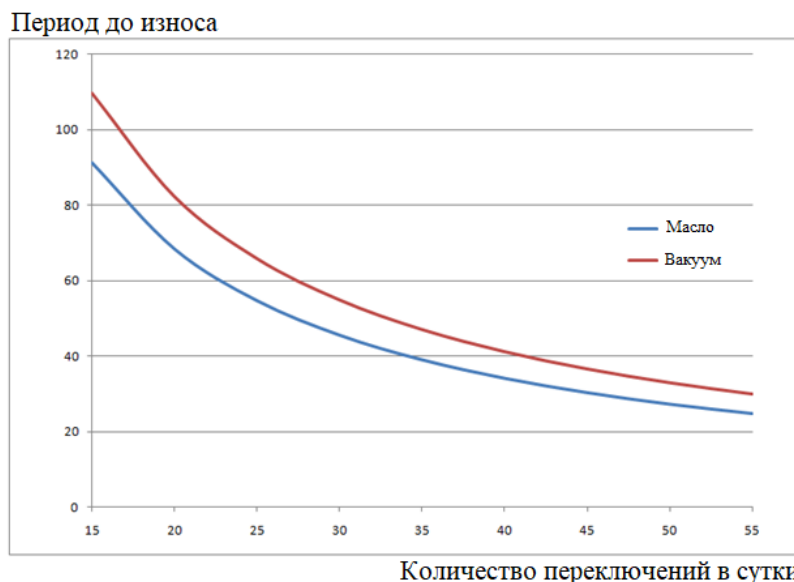


Рис. 3 – Сравнение электрического износа устройств РПН двух типов

На рисунке 4 показана сравнительная зависимость до полного механического износа двух типов РПН.

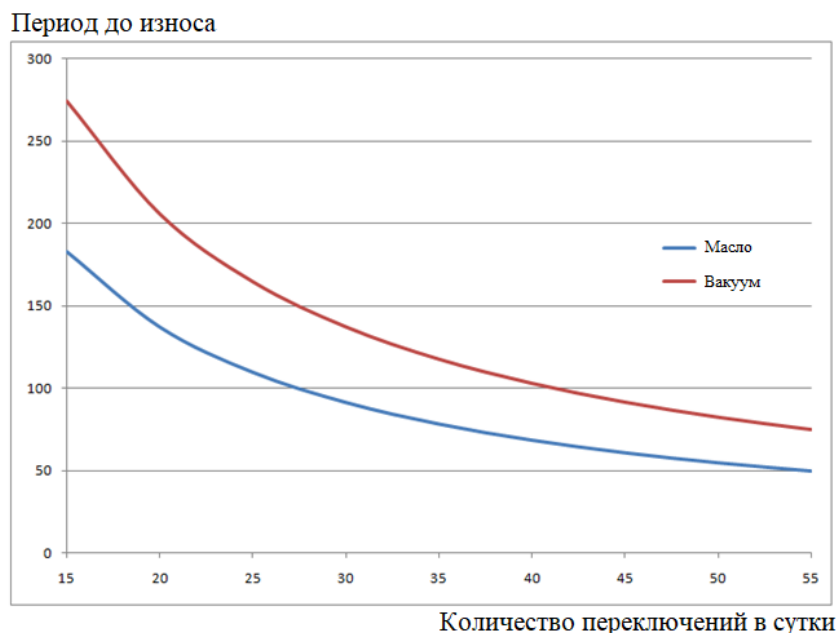


Рис. 4 – Сравнение механического износа устройств РПН двух типов

Как мы видим из графиков, электрическая износостойчивость контактов и механическая износостойчивость выше у РПН с вакуумной дугогасительной камерой. Стоит отметить, что механическая износостойчивость РПН с ВДК выше в 1.5 раза, тогда как электрическая износостойчивость контактов выше 1.2 раза.

Заключение

Как показывает практика и теория – РПН необходимы для поддержания требуемого уровня напряжения в системе тягового электроснабжения и не только. Для использования в автоматическом режиме – устройства должны иметь высокий ресурс работоспособности и устойчивость к перегрузкам, что особенно актуально для тягового электроснабжения.

РПН с вакуумными дугогасительными камерами, это следующий шаг в увеличении электрической, и механической надёжности данных устройств, но стоит исследовать проблему надёжности РПН, не как отдельного узла, а как совокупности взаимодействия системы тягового электроснабжения и подвижного состава [8].

Например, стоит также обратить внимание на системы автоматики для данных устройств. Системы автоматического регулирования напряжения также необходимо модернизировать, с целью рационализации переключений РПН [9-10].

Библиографический список

1. Лобанова, Е. Н. Контроль состояния устройства РПН силового трансформатора / Е. Н. Лобанова, В. А. Крюкова // Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом комплексе и жилищно-коммунальном хозяйстве : Материалы V Национальной научно-практической конференции. В 2-х томах. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2019. – С. 417-421. – EDN MDFDZW.
2. Куцый, А. П. Анализ эффективности применения организационных и технических способов повышения пропускной способности тяговой сети двухпутного горно-перевального участка / А. П. Куцый, И. С. Овечкин, А. А. Галков // Молодая наука Сибири. – 2022. – № 3(17). – С. 56-63. – EDN LIOLBC.
3. Худоногов, И. А. Статистические данные по диагностике силовых масляных трансформаторов на Восточно-Сибирской железной дороге / И. А. Худоногов, А. Г. Туйгунова, А. А. Балагура // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2017. – № 2(54). – С. 174-179. – EDN ZCNCHF.
4. Туйгунова, А. Г. Применение систем мониторинга на силовых трансформаторах тяговых подстанций ВСЖД / А. Г. Туйгунова, И. А. Худоногов // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте : Труды XXI Межвузовской научно-практической конференции КрИЖТ Ир-ГУПС, Красноярск, 07 ноября 2017 года. – Красноярск: Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал Иркутского государственного университета путей сообщения, 2017. – С. 7-12. – EDN YWSMQX.
5. Герман, Л. А. Регулирование напряжения в тяговой сети переменного тока железных дорог / Л. А. Герман, К. В. Кишкурно // Электричество. – 2014. – № 9. – С. 23-33. – EDN XXSQQN.
6. Гречишников, В. А. Уменьшение потерь электроэнергии в тяговой сети за счёт выравнивания напряжения на шинах тяговых подстанций постоянного тока / В. А. Гречишников, И. В. Шаламай, С. П. Власов // Электротехника. – 2017. – № 9. – С. 46-48. – EDN ZEPWF.
7. Инструкция «ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО СЕРИИ RS9/RS9.3» Ревизия, обслуживание и ремонт. – НИИ-В – София, Болгария 2013. – 28 с.
8. Кишкурно, К. В. Потери мощности в системе тягового электроснабжения при регулировании напряжения / К. В. Кишкурно, Л. А. Герман // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2014. – № 2. – С. 24-28. – EDN SEKZGB.

9. Коноплев, Н. Е. Управление устройством РПН трансформатора с помощью алгоритмов нечеткой логики / Н. Е. Коноплев // Наука и молодежь : Материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Барнаул, 17–21 апреля 2023 года. Том 1. Часть 1. – Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, 2023. – С. 342-344. – EDN GLOPTY.

10. Хлебников, В. К. Алгоритм выбора уставок автоматического регулятора напряжения для снижения потерь электроэнергии / В. К. Хлебников, Н. И. Цыгулев, В. А. Шелест // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2018. – Т. 61, № 4. – С. 70-75. – DOI 10.17213/0136-3360-2018-4-70-75. – EDN XWBMHB.

References

1. Lobanova, E. N. Control of the state of the RPN device of a power transformer / E. N. Lobanova, V. A. Kryukova // Instrumentation and automated electric drive in the fuel and energy complex and housing and communal services : materials of the V National Scientific and Practical Conference. In 2 volumes. - Kazan: Kazan State Energy University, 2019. – pp. 417-421. – EDN MDFDZW.

2. Kutsy, A. P. Analysis of the effectiveness of the use of organizational and technical means to increase the capacity of the traction network of a double-track mining and transshipment section / A. P. Kutsy, I. S. Ovechkin, A. A. Galkov // The young science of Siberia. – 2022. – № 3(17). – Pp. 56-63. – EDN LIOLBC.

3. Khudonogov, I. A. Statistical data on diagnostics of power oil transformers on the East Siberian Railway / I. A. Khudonogov, A. G. Tugunova, A. A. Balagura // Modern technologies. System analysis. Modeling. – 2017. – № 2(54). – Pp. 174-179. – EDN ZCNCHF.

4. Tugunova, A. G. Application of the monitoring system on power transformers of traction substations of VSZHD / A. G. Tugunova, I. A. Khudonogov // Innovative technologies in railway transport : proceedings of the XXI Interuniversity scientific and practical conference of the KRTI-GUPS, Krasnoyarsk, November 07, 2017. - Krasnoyarsk: Krasnoyarsk Institute of Railway Transport-branch of Irkutsk State University of Railway Engineering, 2017. – pp. 7-12. – EDN YWSMQX.

5. German, L. A. Voltage regulation in traction AC networks of railways / L. A. German, K. V. Kishkurno // Electricity. – 2014. – No. 9. – pp. 23-33. – EDN XXSQQN.

6. Grechishnikov, V. A. Reduction of electricity losses in traction networks due to voltage equalization on the tires of DC traction substations / V. A. Grechishnikov, I. V. Shalamov, S. P. Vlasov // Electrical Engineering. - 2017. – No. 9. – pp. 46-48. – EDN ZEPIWF.

7. Instruction" RS9/RS9.3 series switching device " Revision, maintenance and repair. - HHI-B-Sofia, Bulgaria 2013. -28 P.

8. Kishkurno, K. V. Power consumption in the traction power supply system during voltage regulation / K. V. Kishkurno, L. A. German // electronics and electrical equipment of transport. - 2014. – No. 2. – pp. 24-28. – EDN SEKZGB.

9. Konoplev, N. E. Control of the transformer RPN device using odd logic algorithms / N. E. Konoplev // Science and Youth: materials of the XX All-Russian Scientific and Technical Conference of students, postgraduates and young scientists, Barnaul, April 17-21, 2023. Volume 1. Part 1. - Barnaul: Altai State Technical University named after I.I. Polzunov, 2023. – pp. 342-344. – EDN GLOPTY.

10. Khlebnikov, V. K. Algorithm for selecting the installation of an automatic voltage regulator to reduce power losses / V. K. Khlebnikov, N. I. Tsygulev, V. A. Shelest // News of higher educational institutions. Electromechanics. - 2018. – vol. 61, No. 4. – pp. 70-75. – DOI 10.17213/0136-3360-2018-4-70-75. – EDN XWBMHB.