



## СОВРЕМЕННОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЛ 35 КВ В ФИЛИАЛЕ ПАО «МРСК ЦЕНТРА»-«ОРЕЛЭНЕРГО»

М.В. Бородин<sup>1</sup>, Р.П. Беликов<sup>2</sup>

Орловский ГАУ, г. Орел, Россия

<sup>1</sup>Maksimka-borodin@yandex.ru, <sup>2</sup>el-ogau@yandex.ru

**Резюме:** *ЦЕЛЬ.* Исследовать современное техническое состояние ВЛ 35 кВ в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго». *МЕТОДЫ.* Оценка технического состояния ВЛ 35 кВ проводилась посредством анализа срока службы ВЛ 35 кВ, существующих нарушений и неисправностей ВЛ 35 кВ, индекса технического состояния ВЛ 35 кВ. *РЕЗУЛЬТАТЫ.* В статье указана актуальность разработки программы, направленной на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго». Предложены критерии, которые можно учитывать при разработке мероприятий и программ, направленных на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ. Также представлены основные неисправности и нарушения на ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго», представлен анализ технического состояния ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго». Результаты представленного анализа показывают, что около 60 % элементов ВЛ 35 кВ находятся в хорошем техническом состоянии, около 39% элементов ВЛ 35 кВ находятся в удовлетворительном состоянии. Также в статье представлены результаты расчета индекса технического состояния ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго». На основании проведенного анализа технического состояния, неисправностей и нарушений предложены конкретные технические решения, направленные на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго». *ЗАКЛЮЧЕНИЕ.* Представленный в статье анализ технического состояния ВЛ 35 кВ позволит персоналу электросетевых компаний и другим специалистам предлагать мероприятия, которые будут направлены на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ. В свою очередь, реализация предложенных мероприятий в будущем для филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» позволит обеспечить повышение доступности и развитие электросетевой инфраструктуры для устойчивого социально-экономического роста в регионе, появление конкуренции на рынке электроэнергии (мощности), что приведет к комплексному развитию магистральных и распределительных электрических сетей, создание благоприятных условий для технологического присоединения электроустановок потребителей к электрическим сетям филиала ПАО «МРСК Центра» - «Орелэнерго», ликвидацию дефицита установленной мощности в центрах питания, повышение надежности электроснабжения потребителей; уменьшение потерь электроэнергии уменьшение денежных затрат на эксплуатацию ВЛ 35 кВ. Представленные результаты позволят специалистам и ученым прогнозировать техническое состояние ВЛ 35 кВ в России.

**Ключевые слова:** надежность; техническое состояние; ВЛ 35 кВ; эффективность; срок службы; индекс.

## CURRENT TECHNICAL CONDITION OF 35 KV OVERHEAD LINES IN THE BRANCH OF «IDNC OF CENTER»-«ORELENERGO»

MV. Borodin<sup>1</sup>, RP. Belikov<sup>2</sup>

Orel state agrarian university, Orel, Russia

<sup>1</sup>Maksimka-borodin@yandex.ru, <sup>2</sup>el-ogau@yandex.ru

**Abstract:** *THE PURPOSE.* Investigate the current technical condition of 35 kV overhead lines in the branch of IDGC of Center, PJSC - Orelenergo. *METHODS.* The assessment of the technical condition of 35 kV overhead lines was carried out by analyzing the service life of 35 kV overhead lines, existing violations and malfunctions of 35 kV overhead lines, and the technical condition

*index of 35 kV overhead lines. RESULTS. Currently, there are no real indicators of the technical condition of the 35 kV overhead line in scientific papers and accounting documents. The article indicates the relevance of developing a program aimed at improving the efficiency of the 35 kV overhead line of the branch of «IDNC of Center»-«Orelenergo». Criteria that can be taken into account when developing measures and programs aimed at improving the efficiency of 35 kV overhead lines are proposed. Also presents key malfunction and the violation of the 35 kV overhead lines branch of «IDNC of Center»-«Orelenergo», presents an analysis of the technical condition of overhead lines 35 kV branch of "IDNC of Center"- "Orelenergo". The results of the presented analysis show that about 60% of the 35 kV overhead line elements are in good technical condition, and about 39% of the 35 kV overhead line elements are in satisfactory condition. The article also presents the results of calculating the index of the technical condition of 35 kV overhead lines of the branch of «IDNC of Center»-«Orelenergo». Based on the analysis of the technical condition, malfunctions and violations, specific technical solutions are proposed to improve the efficiency of the 35 kV overhead line of the branch of «IDNC of Center»-«Orelenergo». CONCLUSION. The analysis of the technical condition of 35 kV overhead lines presented in the article will allow the personnel of power grid companies and other specialists to propose measures that will be aimed at increasing the efficiency of the 35 kV overhead line. In turn, implementation of the proposed activities in the future for the branch of PJSC IDGC of Centre-Orelenergo, will provide increased availability and development of the grid infrastructure for sustainable socio-economic growth in the region, the emergence of competition in the market of electric energy (power) that will lead to the comprehensive development of transmission and distribution electrical networks, the creation of favorable conditions for technological connection of electrical installations of consumers to electric networks, branch of PJSC "IDNC of Center" - «Orelenergo», eliminating the shortage of installed capacity in power supply centers, improving the reliability of power supply to consumers; reducing electricity losses and reducing cash costs for the operation of 35 kV overhead lines. The presented results will allow specialists and scientists to predict the technical condition of 35 kV overhead lines in Russia.*

**Keywords:** *reliability; technical condition; 35 kV overhead line; efficiency; service life, index.*

### **Введение**

Электросетевые компании уделяют большое внимание надежности электроснабжения потребителей. Для поддержания надежности электрических сетей различного класса напряжения персоналом электросетевых организаций проводятся технические и организационные мероприятия, которые позволяют поддерживать надёжное функционирование электрических сетей России.

Техническое состояние и пропускная способность воздушных линий электропередачи (ВЛ) оказывает влияние на надежность электроснабжения потребителей. Поэтому поддержание их в исправном техническом состоянии является приоритетной задачей электросетевых компаний. Для повышения эксплуатационных критериев ВЛ электросетевыми компаниями производится анализ допустимых режимов работы ВЛ, мониторинг технического состояния ВЛ, заключающийся в проведении осмотров линий и выявлении дефектов; проведении измерений, профилактических испытаний и планово-предупредительных ремонтов; расследование причин аварийных отключений ВЛ и разработка мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования ВЛ.

Задаче повышения надежности электрических сетей 35 кВ и оптимизации режимов всегда уделялось пристальное внимание. В этой связи, актуальными являются вопросы разработки многокритериальных подходов к оптимизации сетей 35 кВ с целью повышения надежности и эффективности их функционирования.

Специалистами электросетевых компаний отмечено, что эффективная эксплуатация ВЛ 35 кВ и своевременный их ремонт позволят минимизировать количество аварийных отключений ВЛ, поэтому анализ современного технического состояния ВЛ 35 кВ и выявление особенностей их работы является актуальной задачей.

### **Литературный обзор**

Авторы [1-5] указывают, что повышение надёжности электроснабжения потребителей является приоритетным направлением развития современной электроэнергетической системы России. В трудах [6-8] указывается, что надёжное функционирование электрической сети, способной обеспечить потребителей электроэнергией требуемого качества, а также безопасность электроснабжения, существенным образом зависят от решения вопросов предупреждения отказов элементов

ВЛ, работающих в различных условиях.

В соответствии с современными требованиями надёжности сетей отключение любого сетевого элемента не должно приводить к ограничению потребителей в электрической энергии. Авторами [9-11] указывается, что надёжность электроснабжения в электрических сетях 35 кВ зависит от конфигурации сети, ее элементов, схемных и режимных параметров, состояния электротехнического оборудования и т.д. Поэтому поддержание в технически исправном состоянии элементов электрической сети напрямую определяет не только качество, но и минимальный уровень потерь электроэнергии в этой сети.

Авторами в трудах [12-17] уделяется внимание проблеме технического состояния ВЛ в электросетевых компаниях, но они не производят анализ технического состояния и не предлагают мероприятия, которые позволят повысить эффективность функционирования ВЛ 35 кВ. При этом в вышеуказанных трудах не представлены реальные, соответствующие сегодняшнему времени, показатели технического состояния ВЛ 35 кВ.

#### **Материалы и методы**

В филиале публичного акционерного общества «Межрегиональная распределительная сетевая компания Центра-«Орелэнерго» (далее филиал ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго») уделяется большое внимание вопросу повышения надёжности электроснабжения потребителей. В компании разрабатываются различные планы по реконструкции, плановому ремонту и т.д., но отсутствует конкретная, четкая программа, направленная на решение обозначенного выше вопроса. При этом, разработанная в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» «Комплексная программа развития электрических сетей напряжением 35 кВ и выше на территории Орловской области на период 2019 - 2023 годы», не учитывает всесторонний анализ показателей, влияющих на эффективность функционирования ВЛ 35 кВ, и существующие многолетние неисправности. Для разработки соответствующей программы необходимо произвести анализ технического состояния ВЛ 35 кВ по следующим критериям:

- срок службы ВЛ 35 кВ;
- существующие нарушения и неисправности ВЛ 35 кВ;
- техническое состояние ВЛ 35 кВ;
- индекс технического состояния ВЛ 35 кВ.

В свою очередь, техническое состояние ВЛ 35 кВ оценивалось по следующим критериям:

- «Хорошее техническое состояние ВЛ 35 кВ»;
- «Удовлетворительное техническое состояние ВЛ 35 кВ»;
- «Неудовлетворительное техническое состояние ВЛ 35 кВ»;
- «Непригодное техническое состояние ВЛ 35 кВ».

На основании анализа вышеуказанных критериев необходимо предложить мероприятия, направленные на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго».

#### **Результаты**

В 2019 году на балансе филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» находилось 117 ВЛ 35 кВ. Для разработки мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ, в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» произведем анализ срока службы вышеуказанных ВЛ. Результаты проведенного анализа срока службы ВЛ 35 кВ представлены на рисунке 1.

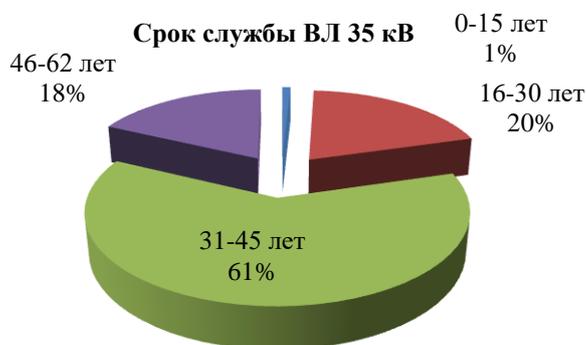


Рис. 1. Срок службы ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра» - «Орелэнерго» в 2019 году

Fig. 1. Service life of the 35 kV overhead line of the IDGC of Centre - Oreleenergo branch in 2019

Анализируя данные, представленные на рисунке 1, можно сказать, что срок службы многих ВЛ 35 кВ больше нормативного. При этом всего четыре ВЛ 35 имеют срок службы менее 20 лет. Кроме того, более 50 % всех ВЛ 35 кВ работают больше установленного нормативными документами срока службы. Наименьший срок службы имеет ВЛ 35кВ Куликовская – Комбикормовая, который составляет 12 лет.

На сегодняшний момент на трассах 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» наблюдаются следующие нарушения и неисправности:

- наличие на краю просеки отдельных деревьев, угрожающих падением на провода ВЛ или разрастанием в сторону ВЛ на недопустимые расстояния;
- недостаточная ширина просеки по трассе ВЛ;
- наличие под проводами деревьев и кустарников высотой 4 м и более;
- наличие растительности на земле, отведенной под опору;
- выполнение на трассе в охранных зонах различных работ без письменного согласования с предприятием, эксплуатирующим ВЛ;
- отсутствие условных обозначений, нумерации опор, предупредительных плакатов;
- наклон опор вдоль или поперек линии сверх допустимых норм, деформация отдельных частей опоры, отсутствие соосности стоек и подножников у опор с оттяжками;
- заглубление фундаментов опор, стоек железобетонных опор или приставок деревянных опор менее предусмотренного проектом;
- оседание или вспучивание грунта вокруг фундамента, оседание или выдавливание фундамента;
- трещины и повреждения приставок, фундаментов, опор;
- неплотное прилегание пяты опоры к поверхности фундамента, несоответствие диаметров гаек диаметрам анкерных болтов, приварка анкерных болтов к пяте опоры вместо крепления гайками, отсутствие гаек на анкерных болтах; отсутствие деталей на металлических опорах;
- коррозия деталей опоры и металлических подножников, дефекты заклепочных и болтовых соединений;
- деформация элементов опоры и дефекты сварных швов;
- неисправности крепления деталей деревянных опор;
- отсутствие болтов и гаек, недостаточная длина нарезки болтов, обрыв или ослабление проволочных бандажей, отсутствие шпонок и клиньев, ослабление болтовых соединений, некачественное крепление кронштейнов;
- загнивание деталей опор;
- наличие на опорах птичьих гнезд и других посторонних предметов.
- наличие коррозии проводов и тросов;
- механические повреждения фарфора или стекла изоляторов (скол части тарелок изолятора, появление трещин);
- следы перекрытия гирлянд и отдельных изоляторов (повреждение глазури, разрушение фарфора, стекла, следы оплавлений на армировке изоляторов и арматуре гирлянд);
- наличие дефектных (негодных) изоляторов;
- загрязненность изоляторов, вызывающая при сырой погоде сильное коронирование;
- отклонение изолирующих поддерживающих подвесок от проектного положения сверх допустимого значения;
- коррозия арматуры и шапок изоляторов;
- трещины в арматуре, перетирание или деформация отдельных деталей арматуры;
- повреждения или обрывы заземляющих спусков на опоре и у земли;
- неудовлетворительный контакт болтовых соединений грозозащитного троса с заземляющими спусками или телом опоры;
- неудовлетворительный контакт соединения заземлителя с телом опоры (арматурой железобетонной опоры);
- превышение сверх допустимого значения сопротивления заземления опоры;
- отсутствие скоб, прикрепляющих заземляющие спуски к опоре;
- разрушение коррозией контура заземляющего устройства.

Результаты проведенного анализа технического состояния ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» представлены в таблице 1.

Таблица 1

Техническое состояние ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» в 2019 году

Наименование	Техническое состояние			
	Хорошее	Удовлетворительное	Неудовлетворительное	Непригодное
Северный участок службы ЛЭП				
Металлические опоры 35 кВ, шт.	89	37	2	0
Железобетонные (ЖБ) опоры 35 кВ, шт.	2577	420	39	0
Пролёт ВЛ 35 кВ, шт.	1234	2338	0	0
Южный участок службы ЛЭП				
Ограничители перенапряжения (ОПН) 35 кВ, шт.	6	0	0	0
Металлические опоры 35кВ, шт.	212	240	14	0
ЖБ опоры 35 кВ, шт.	3214	1098	74	0
Пролёт ВЛ, шт.	1936	3804	19	0
Восточный участок службы ЛЭП				
Металлические опоры 35кВ, шт.	167	26	0	0
ЖБ опоры 35 кВ, шт.	3488	358	0	0
Пролёт ВЛ 35, шт.	2534	2414	0	0
Деревянные опоры 35кВ, шт.	27	247	0	0

По результатам, представленным в таблице 1, можно сделать вывод, что на северном участке службы ЛЭП 58% (3900 элементов) ВЛ 35 кВ имеют хорошее техническое состояние, 41% (2795 элементов) ВЛ 35 кВ имеют удовлетворительное техническое состояние и 1% (41 элемент) ВЛ 35 кВ имеет неудовлетворительное техническое состояние. На южном участке службы ЛЭП 51% (5368 элементов) ВЛ 35 кВ имеют хорошее техническое состояние, 48% (2795 элементов) ВЛ 35 кВ имеют удовлетворительное техническое состояние и 1% (107 элементов) ВЛ 35 кВ имеет неудовлетворительное техническое состояние. При этом на восточном участке службы ЛЭП 67% (6216 элементов) ВЛ 35 кВ имеют хорошее техническое состояние, 33% (3045 элементов) ВЛ 35 кВ имеют удовлетворительное техническое состояние. Так же необходимо обратить внимание на то, что на восточном участке службы ЛЭП имеется линия 35 кВ, имеющая деревянные опоры, которые были введены в эксплуатацию 56 лет назад, при этом нормативный срок службы эксплуатации деревянных опор ВЛ 35 кВ составляет 25 лет.

Техническое состояние ВЛ 35 кВ в процентном соотношении по каждому элементу представлено на рисунках 2 – 5.

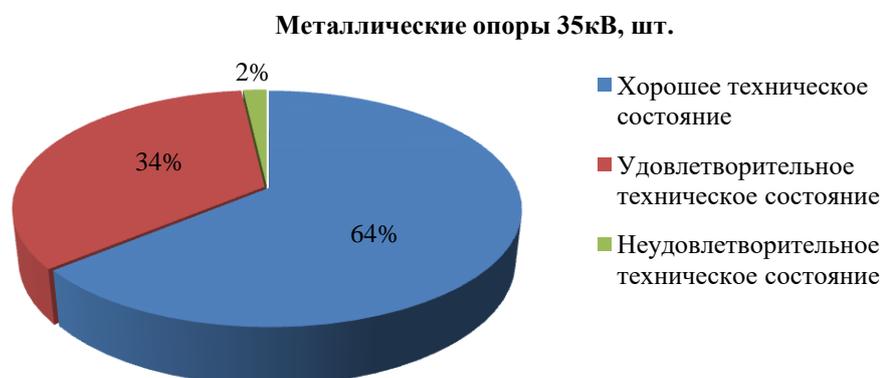


Рис. 2. Техническое состояние металлических опор ВЛ 35 кВ в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго»

Fig. 2. Technical condition of the 35 kV overhead line metal supports in the branch of IDGC of Centre PJSC-Orelenargo»

**ЖБ опоры 35 кВ, шт.**

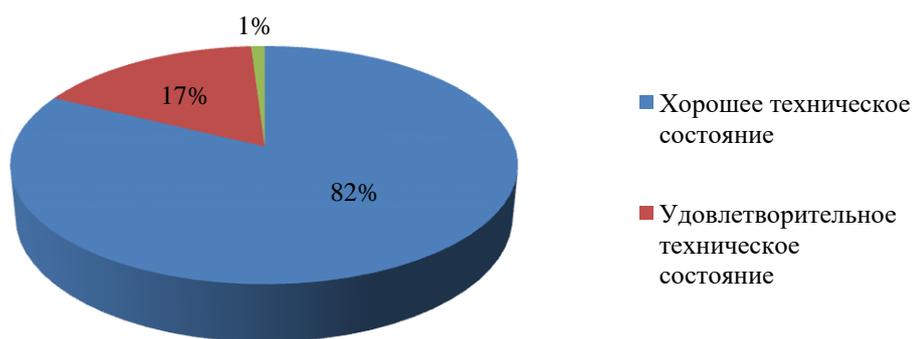


Рис. 3. Техническое состояние ЖБ опор ВЛ 35 кВ в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго»

Fig. 3. Technical condition of the reinforced concrete supports of the 35 kV overhead line in the branch of PJSC IDGC of Center-Orelenargo»

**Пролёт ВЛ 35, шт.**

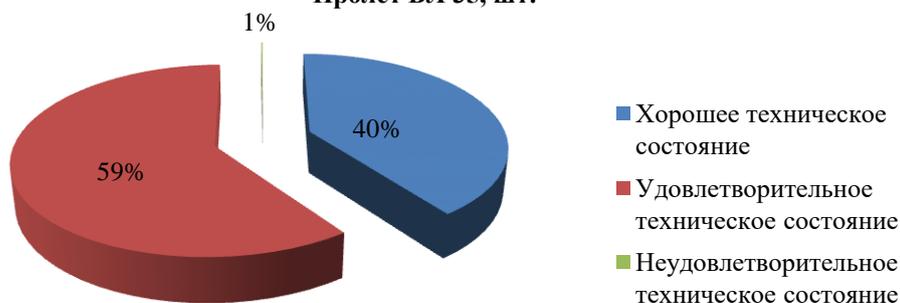


Рис 4 .Техническое состояние пролетов ВЛ 35 кВ в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго»

Fig. 4 .Technical condition of 35 kV overhead line spans in the branch of IDGC of Centre PJSC-Orelenargo»

**Деревянные опоры 35кВ, шт.**

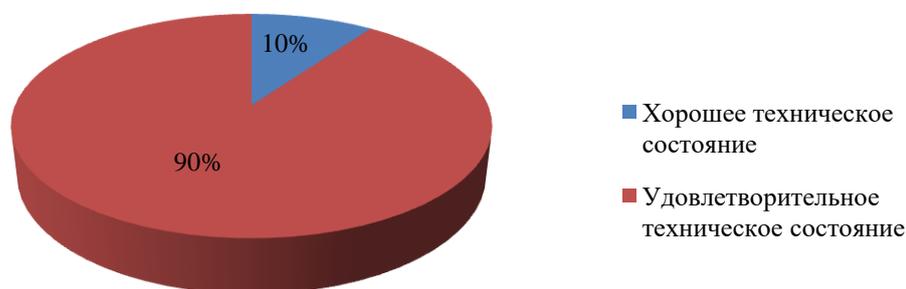


Рис. 5. Техническое состояние деревянных опор ВЛ 35 кВ в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго»

Fig. 5. Technical condition of wooden poles of 35 kV overhead line in the branch of PJSC IDGC of Center-Orelenargo»

Результаты, представленные на рисунках 2–5, позволяют сделать вывод, что около 60 % элементов ВЛ 35 кВ находятся в хорошем техническом состоянии, около 39% элементов ВЛ 35 кВ находятся в удовлетворительном состоянии, при этом удовлетворительное

состояние в любое время может стать неудовлетворительным. Следовательно, для повышения надежности электроснабжения необходимо уже сейчас проводить реконструкцию многих ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго».

Для разработки мероприятий, направленных на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго», был произведен расчет индекса технического состояния ВЛ 35 кВ на 2020 год. Он рассчитывался согласно<sup>1</sup> и определялся для каждого элемента ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго». Результаты расчета индекса технического состояния ВЛ 35 кВ представлены в таблице 2.

Таблица 2

Индекс технического состояния ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго»

ВЛ 35 кВ	Индекс тех. сост.	ВЛ 35 кВ	Индекс тех. сост.
1	2	3	4
ВЛ 35 кВ Шаблыкино 110 - Шаблыкино 35	87	ВЛ 35 кВ Краснознаменка - Апальково	71
ВЛ 35 кВ Куликовская - Комбикормовая	92	ВЛ 35 кВ Кромская - Кутафино №2	67
ВЛ 35 кВ Аксинино - Юрьево	90	ВЛ 35 кВ Кромская - Кутафино	62

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
ВЛ 35 кВ Нарышкинская - Алмазово	75	ВЛ 35 кВ Кромская - Никольская с отпайкой	62
ВЛ 35 кВ Апальково - Башкатово	68	ВЛ 35 кВ Кромская - Рыжково	60
ВЛ 35 кВ Богородицкая - Архангельская	60	ВЛ 35 кВ Кромская - Хлебопродукты	68
ВЛ 35 кВ Бакланово - Парамоново с отпайкой	60	ВЛ 35 кВ Крутое – Нижний Жерновец	65
ВЛ 35 кВ Биофабрика - Стрелецкая	63	ВЛ 35 кВ Аксинино - Ильинская	62
ВЛ 35 кВ Лыково - Подберёзово	80	ВЛ 35 кВ Куликовская - Шепино	66
ВЛ 35 кВ Нарышкинская - Архангельская	67	ВЛ 35 кВ Малоархангельская 110 - Куракинска	75
ВЛ 35 кВ Болхов-Гнездилово	53	ВЛ 35 кВ Кутафино - Лубянская	66
ВЛ 35 кВ Болхов - Краснознаменка	69	ВЛ 35 кВ Луковец - Мисайлово	66

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
ВЛ 35 кВ Болхов - Фатнево	93	ВЛ 35 кВ Липовец – Пушкарская	80
ВЛ 35 кВ Варваринка - Парамоново	85	ВЛ 35 кВ Ловчиково - Сеньково	64
ВЛ 35 кВ Введенское-Ярищи	84	ВЛ 35 кВ Ломовое - Моховое	75
ВЛ 35 кВ Верховье I – Скородное I цепь	87	ВЛ 35 кВ Ливенская ТЭЦ - Черкасская	80
ВЛ 35 кВ Верховье I – Скородное II цепь	87	ВЛ 35 кВ Богородицкая - Хотынецкая	67
ВЛ 35 кВ Верховье I – Судбищи с отпайкой	50	ВЛ 35 кВ Малоархангельская - Губкино	66
ВЛ 35 кВ Верховье I – Хомутово	98	ВЛ 35 кВ Малоархангельская - Каменка	69
ВЛ 35 кВ Верховье II – Песочная I цепь	95	ВЛ 35 кВ Михайловка – Судбищи	82
ВЛ 35 кВ Верховье II – Песочная II цепь	64	ВЛ 35 кВ Моховое - Алёшня	64
ВЛ 35 кВ Воронеж - Нижняя Слобода	68	ВЛ 35 кВ Алёшня - Протасово	68

<sup>1</sup> Приказ Минэнерго России от 26.07.2017 N 676 (ред. от 17.03.2020) "Об утверждении методики оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей" (Зарегистрировано в Минюсте России 05.10.2017 N 48429)

ВЛ 35 кВ Болхов - Вязовое	59	ВЛ 35 кВ Гостомль - Тросна	63
ВЛ 35 кВ Нижний Жерновец – Дросково	80	ВЛ 35 кВ Нарышкинская - Хотьково	62
ВЛ 35 кВ Дмитровская - Деятино	69	ВЛ 35 кВ Губкино - Луковец	67
ВЛ 35 кВ Дмитровская - Лубянки	60	ВЛ 35 кВ Долгое - Урынок	87
ВЛ 35 кВ Долгое – Вышне – Ольшаное	66	ВЛ 35 кВ Никольская – Сергиевская	80
ВЛ 35 кВ Долгое - Тим	80	ВЛ 35 кВ Новопетровка - Ломовое	62
ВЛ 35 кВ Никольская – Вязовая Дубрава	80	ВЛ 35 кВ Новополево - Куракинская	81
ВЛ 35 кВ Залегощь - Ломовое	47	ВЛ 35 кВ Новополево - Ловчиково	58
ВЛ 35 кВ Залегощь - Мишково 2 с отпайкой	80	ВЛ 35 кВ Новосергиевка - Высокое	71
ВЛ 35 кВ Звягинки - Нарышкинская	67	ВЛ 35 кВ Новосергиевка - Гладкое	89
ВЛ 35 кВ Знаменская - Узкое	96	ВЛ 35 кВ Новосергиевка - Лыково	62
ВЛ 35 кВ Шаблыкино 35 - Сосковская	62	ВЛ 35 кВ Новосергиевка - Спешнево	84
ВЛ 35 кВ Козьминская - Никольская	68	ВЛ 35 кВ Новосиль - Варваринка	89
ВЛ 35 кВ Знаменское - Парамоново	93	ВЛ 35 кВ Новосиль - Одинок	89
ВЛ 35 кВ Колпны 110 - Ярище	84	ВЛ 35 кВ Отрада – Башкатово	90
ВЛ 35 кВ Колпны 110 - Нетрубеш	86	ВЛ 35 кВ Отрада - Протасово	74
ВЛ 35 кВ Колпны 110 - Спаская	80	ВЛ 35 кВ Парамоново - Корсаково	80
ВЛ 35 кВ Колпны 110 - Топки с отпайками	78	ВЛ 35 кВ Покровская – Алексеевская с отпайкой	58
ВЛ 35 кВ Коммаш - Подберёзово	92	ВЛ 35 кВ Покровская – Дросково	76
ВЛ 35 кВ Коммаш - Район В	92	ВЛ 35 кВ Рахманово - Мезенцево	84
ВЛ 35 кВ Красная Заря – Рахманово	62	ВЛ 35 кВ Росгани – Никольская	82
ВЛ 35 кВ Красная Заря – Хомутово	73	ВЛ 35 кВ Рыжково - Сосковская	63
ВЛ 35 кВ Советская - Биофабрика II цепь	68	ВЛ 35 кВ Свердловская - Алексеевская	79
ВЛ 35 кВ Хотынецкая - Юрьево	62	ВЛ 35 кВ Черкасская - Крутое	65

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
ВЛ 35 кВ Черкасская – Введенское с отпайкой	83	ВЛ 35 кВ Свердловская - Новопетровка	62
ВЛ 35 кВ Черкасская–Вышне–Ольшаное с отпайкой	78	ВЛ 35 кВ Сеньково - Нижняя Слобода	71
ВЛ 35 кВ Свердловская - Козьминская	68	ВЛ 35 кВ Красная Заря – Михайловка	86
ВЛ 35 кВ Черкасская - Мезенцево	84	ВЛ 35 кВ Шаблыкино - Сомово	62
ВЛ 35 кВ Черкасская - Пушкарская	59	ВЛ 35 кВ Черкасская - ССК.	74
ВЛ 35 кВ Совхозная – Сергиевская с отпайкой	80	ВЛ 35 кВ Спешнево - Корсаково с отпайкой	62
ВЛ 35 кВ Колпны 110 – Мисайлово с отпайкой	93	ВЛ 35 кВ Малоархангельская 110 - Малоархангельская 35	62

ВЛ 35 кВ Советская - Биофабрика I цепь	63	ВЛ 35 кВ Тросна – Воронеж с отпайкой	66
ВЛ 35 кВ Шаблыкино I10-Хотьково с отпайкой	93	ВЛ 35 кВ Тросна – Красноармейская с отпайкой	62
ВЛ 35 кВ Шатилово - Паньково	82	ВЛ 35 кВ Узкое - Коптево	89
ВЛ 35 кВ Шахово - Путинец	70	КВЛ 35 кВ Узловая-Звягинки	60
ВЛ 35 кВ Стрелецкая - Бакланово	67	ВЛ 35 кВ Урынок - Спасская	87
ВЛ 35 кВ Урынок - Стаканово	84		

По результатам представленным в таблице 2 можно сказать, что наименьшим индексом обладает ВЛ 35 кВ Верховье I – Судбищи, которая выполнена на деревянных опорах. Также можно отметить, что на многих ВЛ индекс технического состояния приближается к 50, это говорит о том, что анализируемые ВЛ 35 кВ необходимо в ближайшее время реконструировать.

#### **Обсуждение**

Для повышения эффективности функционирования ВЛ 35 кВ в филиале ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» предлагается реализовать следующие мероприятия:

1. Произвести реконструкцию ВЛ 35 кВ Верховье – Судбищи с отпайкой на подстанцию (ПС) Корсеево.

Данный проект обусловлен физическим и моральным износом существующей ВЛ 35кВ Верховье – Судбищи с отпайкой на ПС Корсеево, необходимостью замены деревянных опор, усиления анкерных пролётов и натяжения проводов, что предотвратит массовое падение опор при неблагоприятных погодных явлениях и увеличит надежность электроснабжения. Также, с целью сокращения времени на поиск неисправностей и восстановления питания неповрежденных участков ВЛ 35 кВ, снижения недоотпуска электроэнергии, путем уменьшения времени перерыва в электроснабжении потребителей Верховского и Новодеревеньковского районов Орловской области, предлагается установить реклоузер на вышеуказанную ВЛ 35 кВ.

2. Произвести частичную реконструкцию ВЛ 35 кВ Покровская – Дросково.

Для данной линии необходимо произвести замену провода на большее сечение, реализация данного технического мероприятия позволит обеспечить более надежное резервное питание по ВЛ-35 кВ Покровская – Дросково.

3. Произвести строительство ВЛ 35 кВ Куликовская – Шепино.

На ПС Шепино установлены 2 трансформатора мощностью 2х2,5 МВА, питающиеся по одной ВЛ-35 кВ Куликовская – Шепино. ПС Шепино имеет кольцевую связь по сети 10 кВ с ПС Володарская. Пропускная способность кольцевой связи 10 кВ, с учетом перспективных нагрузок, не имеет достаточного запаса для обеспечения питания потребителей, получающих электроснабжение от ПС Шепино, в связи с чем, часть потребителей попадает под ограничение мощности. Расчеты характерных электрических режимов рассматриваемого узла показывают, что в нормальном режиме питания ПС Шепино загрузка ВЛ 35кВ Куликовская - Шепино составляет 1,35 МВА, напряжение на шинах 10 кВ ПС Шепино находится в допустимых пределах. В ремонтном режиме при отключении ВЛ 35 кВ Куликовская - Шепино и питания ПС Шепино по кольцевой связи, напряжение на шинах 10 кВ снижается ниже допустимых значений, до уровня 8,8 кВ, при этом величина ограничиваемой мощности составляет 0,25 МВА. При строительстве второй ВЛ 35кВ ограничение мощности потребителей, запитанных от ПС Шепино, в ремонтных режимах осуществляться не будет. Также реализация данного проекта позволит повысить надежность энергоснабжения энергоузла и обеспечить категориальность потребителей северной части Орловского района Орловской области.

4. Произвести реконструкцию двухцепной ВЛ 35 кВ Биофабрика.

Данный проект требуется реализовать с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей, запитанных от ПС Биофабрика. Цепь 1 и 2 ВЛ 35 кВ Биофабрика находятся в эксплуатации с 1976 года, трасса ЛЭП проходит по городской селитебной территории, состояние металлических и железобетонных опор, фундаментов металлических опор не соответствует требованиям нормативно-технической документации, имеется вероятность разрушения опор, что вызовет прекращение подачи электроэнергии потребителям, при этом на вышеуказанной ВЛ 35 кВ наблюдается высокий износ провода, грозотроса, сцепной арматуры. Также реконструкция двухцепной ВЛ 35 кВ Биофабрика необходима для поддержания и развития инфраструктуры Орловского района Орловской области.

5. Произвести реконструкцию ВЛ 35 кВ Новопетровка-Ломовое.

Данная ВЛ-35 кВ участвует в схеме резервирования Залегощенского района Орловской области по сети 35 кВ, при этом она физически и морально устарела, так как находится в эксплуатации с 1976 года. Проект необходимо реализовать с целью обеспечения надежности электроснабжения, снятия ограничения в доступе для обслуживания и ликвидации аварийных ситуаций.

6. Произвести реконструкцию ВЛ 35 кВ Свердловская – Новопетровка.

Данная ВЛ-35 кВ участвует в схеме резервирования Залегощенского района Орловской области по сети 35 кВ, при этом ВЛ 35 кВ Свердловская – Новопетровка физически и морально устарела, так как находится в эксплуатации с 1976 года. Проект необходимо реализовать с целью обеспечения надежности электроснабжения потребителей Залегощенского района Орловской области.

7. Произвести установку сетевого автоматического включения резерва (АВР) на участках питающей сети Ливенского РЭС.

Реализация сетевого АВР для питания участка сети Ливенского РЭС необходимо реализовать с целью снижения недоотпуска электроэнергии, путем сокращения времени перерыва электроснабжения, за счет автоматизации процесса переключений, а также повышения надежности и обеспечения категорийности электроснабжения потребителей Ливенского и Колпнянского районов Орловской области.

При исчезновении напряжения на ВЛ 35кВ Совхозная – Сергиевская средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанциях, после чего подаются команды на отключение реклоузеров для восстановления питания ПС Липовец, ПС Пушкарская (Трансформатор 2), ПС Никольская. Также при исчезновении напряжения на ВЛ 110 кВ Ливны – Колпны средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанциях, после чего подаются команды на восстановление питания ПС 110/35/10 кВ Колпны, ПС 35/10 кВ Колпны, ПС Топки, ПС Нетрубуж от резервных источников (центров питания 110 кВ, находящихся под напряжением) посредством включения реклоузеров в сети 35кВ. Питание ПС Спасская необходимо переводить на ПС 110/35/10 кВ Долгое по нормальной схеме.

8. Произвести установку сетевого АВР на ПС Район-В, ПС Новосергиевка, ПС Дмитровская, ПС Шаблыкино, ПС Покровская и ПС Малоархангельская.

При исчезновении напряжения на шинах 110 кВ, 35 кВ и 10 кВ ПС Район-В средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанции, после чего подаются команды на отключение отделителя (ОД) 110 кВ первого трансформатора. По факту нормального положения коммутационных аппаратов 10-110 кВ, с контролем наличия напряжения на линии и отсутствия напряжения на шинах 35 кВ ПС Район-В подается команда на включение реклоузера.

При исчезновении напряжения на шинах 35 кВ и 10 кВ ПС Новосергиевка средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанции, после чего подаются команды на отключение ОД 110 первого и второго трансформатора ПС Новосергиевка. По факту проверки нормального положения коммутационных аппаратов 10-110кВ, с контролем наличия напряжения на шинах 35 кВ и отсутствия напряжения на ВЛ 35 кВ Коммаш-Подберезово подается команда на включение реклоузера.

При исчезновении напряжения на второй секции шин 110 кВ, шинах 35 кВ и 10кВ ПС Дмитровская средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанции, после чего подаются команды на отключение ОД 110 кВ первого и второго трансформатора ПС Дмитровская, отключение ВЛ 110 кВ Дмитровская-Лопандино. По факту проверки нормального положения коммутационных аппаратов 10-110кВ, с контролем наличия напряжения на ВЛ 35 кВ Дмитровская-Лубянская и отсутствия напряжения на шинах 35 кВ подается команда на включение реклоузера.

При исчезновении напряжения на шинах 35 кВ и 10 кВ ПС Шаблыкино средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанции, после чего подаются команды на отключение ОД 110кВ первого и второго трансформатора ПС Шаблыкино. По факту проверки нормального положения коммутационных аппаратов 10-110 кВ, с контролем наличия напряжения ВЛ 35 кВ Шаблыкино-Хотьково и отсутствия напряжения на шинах 35 кВ подается команда на включение реклоузера.

При исчезновении напряжения на шинах 35 кВ и 10 кВ ПС Покровская средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанции, после чего подаются команды на отключение ОД 110 кВ первого и второго трансформатора ПС Покровская, подается команда на отключение выключателя 10 кВ и 35 кВ ПС

Покровская, после чего команда на включение ВЛ 10 кВ и 35 кВ. По факту проверки нормального положения коммутационных аппаратов 10-110кВ, с контролем наличия напряжения на ВЛ 35 кВ Нижний Жерновец – Дросково и второй секции шин 35к В ПС Алексеевская подается команда на включение реклоузеров.

При исчезновении напряжения на шинах 35 кВ и 10 кВ ПС Малоархангельская средствами автоматизации будет производиться контроль работы устройств защит на подстанции, после чего подаются команды на отключение ОД 110 кВ, В 10 кВ и В 35 кВ первого трансформатора ПС Малоархангельская, также производится проверка состояния коммутационных аппаратов на ПС Малоархангельская. По факту проверки необходимого положения коммутационных аппаратов в схемах 10-110кВ ПС Малоархангельская, с контролем отсутствия напряжения на первой секции шин 10 кВ и 35 кВ ПС Малоархангельская и наличия напряжения на ВЛ 35 кВ Куракинская-Малоархангельская дается команда на включение реклоузера. По факту наличия напряжения на первой секции 10 кВ ПС Малоархангельская подается команда на включение 3 и 5 отходящей ВЛ 10 кВ.

Реализацию сетевого АВР на ПС Район-В, ПС Новосергиевка, ПС Дмитровская, ПС Шаблыкино, ПС Покровская и ПС Малоархангельская необходимо осуществить с целью снижения недоотпуска электроэнергии, путем сокращения времени перерыва электроснабжения за счет автоматизации процесса переключений, а также повышения надежности и обеспечения категорийности электроснабжения потребителей Мценского, Покровского, Шаблыкинского, Дмитровского и Малоархангельского районов Орловской области.

9. Произвести установку реклоузера на ВЛ 35 кВ Черкасская-Вышне-Ольшаное, отпайка на ПС 35 кВ Вышне-Ольшаное и ВЛ 35 кВ Бакланово-Парамоново, отпайка на ПС Жилиевская.

Данный проект необходимо реализовать с целью сокращения времени на поиск неисправностей и восстановления питания неповрежденных участков, снижения недоотпуска электроэнергии, посредством уменьшения времени перерыва в электроснабжении потребителей Ливенского, Должанского, Орловского и Корсаковского районов Орловской области.

Реализация вышеуказанных предложений комплексно позволит повысить эффективность функционирования ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго».

#### **Выводы**

Результаты анализа технического состояния ВЛ 35 кВ филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» показывают, что уже сегодня необходимо разрабатывать программу, направленную на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ.

Представленный в статье анализ технического состояния ВЛ 35 кВ позволит персоналу электросетевых компаний и другим специалистам предложить мероприятия, которые будут направлены на повышение эффективности функционирования ВЛ 35 кВ данной компании. В свою очередь, реализация предложенных мероприятий в будущем для филиала ПАО «МРСК Центра»-«Орелэнерго» позволит обеспечить:

- Повышение доступности и развитие электросетевой инфраструктуры для устойчивого социально-экономического роста в регионе, появление конкуренции на рынке электроэнергии (мощности), что приведет к комплексному развитию магистральных и распределительных электрических сетей.

- Создание благоприятных условий для технологического присоединения электроустановок потребителей к электрическим сетям филиала ПАО «МРСК Центра» - «Орелэнерго».

- Ликвидацию дефицита установленной мощности в центрах питания.

- Повышение надежности электроснабжения потребителей;

- Уменьшение потерь электроэнергии;

- Уменьшение денежных затрат на эксплуатацию ВЛ 35 кВ.

#### **Литература**

1. Наумов А.А. Обеспечение требуемого качества электрической энергии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 1. С. 85-92.

2. Глыбина Ю.Н., Беликов Р.П., Фомин И.Н. Анализ видов и количества повреждений в электрических сетях класса напряжения 6-10 кВ // Агротехника и энергообеспечение. 2017. № 3 (16). С. 43-49.

3. Borodin M., Psarev A., Kudinova T. Improving power quality by calculating voltage losses // In the collection: E3S Web of Conferences. 2019. p. 1041.

4. Fomin I., Belikov R., Zelyukin V. Improvement of power supply reliability by means of remote control of the automatic repeated switching-on of sectionalizing circuit-breakers // In the collection: E3S Web of Conferences 2019. p. 01042.

5. Vinogradov A., Bolshev V., Vinogradova A., et al. A system for Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Power Quality in 0.38 kV Electrical Networks // In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer, Cham. 2018. V. 866. P. 1-10.

6. Gracheva E.I., Fedorov O.V. Forecasting reliability electrotechnical complexes of in-plant electric power supply taking into account low-voltage electrical apparatuses // 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019 2019. p. 8743057.

7. Бородин М.В., Дорожкина А.А., Семенов А.Е. Методика выбора и определения наиболее эффективного измерительного трансформатора для подстанции // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2019. № 4 (58). С. 58-68.

8. Бородин М.В., Беликов Р.П., Махиянова Н.В. Повышение качества электроэнергии посредством расчета потерь напряжения // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 3 (47). С. 35-40.

9. Бородин М.В., Урюпин Н.С. Обоснование энергоэффективного сечения линий электропередач при отклонениях напряжения  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  // Вестник НГИЭИ. 2018. № 2 (81). С. 20-29.

10. Vinogradov A.V., Tikhomirov D.A., Bolshev V.E., et al. Features of Distributed Energy Integration in Agriculture // In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds // In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing. Springer. 2020. V. 1324.

11. Голенищев-Кутузов А.В., Ахметвалеева Л.В., Еникеева Г.Р. Дистанционная диагностика дефектов в высоковольтных изоляторах // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 2. С. 117-127.

12. Сорокин Н.С. Повышение эффективности функционирования электрических сетей напряжением 6-35 кВ посредством контроля параметров электрической сети // Науковий вісник НУБіПУ України. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2015. № 209-2. С. 92-95.

13. Мотовилов А.И., Соловьев И.И. Онлайн оценка пропускной способности электрической сети // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. Т. 22. № 3. С. 51-59.

14. Ольшанский В.Г., Столповская Е.В., Лажинцева Н.В. Опыт модернизации решётчатых опор ВЛ 35 - 110 кВ, применяемых в северных районах западной сибирей // Электрические станции. 2017. № 5 (1030). С. 40-46.

15. Фомин И.Н., Беликов Р.П. Разработка алгоритма дистанционного контроля отключения секционирующего выключателя линии электропередач // Вестник аграрной науки. 2018. № 4 (73). С. 98-105.

16. Соловьев Ю.В., Самарин Г.Н. Анализ условий развития дефектов в полимерных конструкциях оборудования ВЛ 6-35 кВ с изолированными проводами при гололедно-ветровых нагрузках // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. 2011. № 4 (135). С. 63-67.

17. Виноградов А.В., Чернышов В.А., Семенов А.Е. Способ мониторинга технического состояния элементов воздушной линии электропередач // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 3 (3). С. 64-68.

#### Авторы публикации

**Бородин Максим Владимирович** – заведующий кафедрой «Электроснабжение, канд. техн. наук, доцент, Орловский ГАУ.

**Беликов Роман Павлович** – канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроснабжение», Орловский ГАУ.

#### References

1. Naumov AA. Ensuring the required quality of electric energy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems*. 2020;22(1):85-92.

2. Glybina YuN, Belikov RP, Fomin IN. Analysis of types and quantity of damages in

- electric networks of voltage class 6-10KV. *Agrotechnika I energoobespechenie*. 2017;3(16):43-49.
3. Borodin M, Psarev A, Kudinova T, et al. *Improving power quality by calculating voltage losses*. In the collection: E3S Web of Conferences. 2019. C. 1041.
  4. Fomin I, Belikov R, Zelyukin V, et al. Improvement of power supply reliability by means of remote control of the automatic repeated switching-on of sectionalizing circuit-breakers. In the collection: E3S Web of Conferences 2019. C. 01042.
  5. Vinogradov A, Bolshev V, Vinogradova A. *A system for Monitoring the Number and Duration of Power Outages and Power Quality in 0.38 kV Electrical Networks*. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 866: 1-10. Springer, Cham.
  6. Gracheva EI, Fedorov O.V. *Forecasting reliability electrotechnical complexes of in-plant electric power supply taking into account low-voltage electrical apparatuses*. 2019 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing, ICIEAM 2019 2019. C. 8743057.
  7. Borodin MV, Dorozhkina A.A, Semenov AE. *Method of selecting and determining the most effective measuring transformer for a substation*. Conduct of higher educational institutions of the Chernozem region. 2019;4 (58):58-68.
  8. Borodin MV, Belikov RP, Makhyanova NV Improving the quality of electricity by calculating voltage losses. *Bulletin of agrarian science of the Don*. 2019;3 (47):35-40.
  9. Borodin MV, Uryupin NS./ Justification of energy-efficient cross-section of power lines with voltage deviations of  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$ . *Vestnik NGIEI*. 2018;2 (81):20-29.
  10. Vinogradov AV, Tikhomirov DA, Bolshev VE. Features of Distributed Energy Integration in Agriculture. In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds // In: Vasant P., Zelinka I., Weber GW. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 1324 Springer.
  11. Golenishchev-Kutuzov AV, Akhmetvaleeva LV, Enikeeva GR. Remote diagnostics of defects in high-voltage insulators. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems*. 2020;22(2):117-127.
  12. Sorokin NS. Improving the efficiency of functioning of electric networks with a voltage of 6-35 kV by controlling the parameters of the electric network. *Nauko viyvisnik nubukrainy. Series: Technika ta energetika APK*. 2015;209-2:92-95.
  13. Motovilov AI, Solov'ev II. Online estimation of the electric network capacity. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Energy problems*. 2020;22(3):51-59.
  14. Olshansky VG, Stolpovskaya EV, Lazhintseva NV. *Experience of modernization of grid supports of 35 - 110 kV overhead lines used in the Northern regions of Western Siberia*. Electric stations. 2017;5 (1030):40-46.
  15. Fomin IN, Belikov RP. Development of an algorithm for remote control of disconnection of a sectioning switch of a power Line. *Bulletin of agrarian science*. 2018;4(73):98-105.
  16. Solovyov YuV, Samarin GN. Analysis of conditions for the development of defects in polymer structures of 6-35 kV overhead line equipment with insulated wires under icy-wind loads. *Scientific and technical Bulletin of the Saint Petersburg state Polytechnic University*. 2011;4 (135):63-67.
  17. Vinogradov AV, Chernyshov VA, Semenov AE. Method for monitoring the technical condition of elements of an overhead power line. *Agrotechnics and power supply*. 2014;3(3):64-68.

#### Authors of the publication

**Maxim V. Borodin** – Orel state agrarian university, Orel, Russia.

**Roman P. Belikov** – Orel state agrarian university, Orel, Russia.

**Получено**

**12 марта 2021г.**

**Отредактировано**

**26 марта 2021г.**

**Принято**

**31 марта 2021г.**