

ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ И АВТОМАТИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 621.3

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85>



Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ

*А.В. Виноградова*¹, *А.В. Виноградов*^{2✉}, *А.В. Букреев*³

^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия

² Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; г. Москва, Россия

¹ alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>

² winaleksandr@gmail.com[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

³ skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

Аннотация. Надежность электроснабжения определяет работу электрических сетей. В результате анализа источников литературы выявлено, что удельные показатели надежности, необходимые при планировании и оценке эффективности работ по энергосбережению, недостаточно исследованы. Поэтому целью работы являлось исследование удельных показателей надежности электрических сетей 0,4 кВ – таких, как поток отказов, поток преднамеренных отключений, удельные значения отключенной мощности и недоотпуск электроэнергии. Проведен анализ журналов отключений сельских электрических сетей 0,4 кВ в Орловской области за период 2018-2023 гг. и получены статистические данные по аварийным и плановым отключениям. Исследовано 12787 воздушных линий электропередачи общей протяженностью более 10 тыс. км. В результате анализа выявлены значения удельных показателей надежности и тенденции их изменения в течение 6 лет. Проанализированы вероятные причины изменений показателей. Выявлено, что значения параметра потока отказов не превышают справочные значения до 2022 г. включительно, а в 2023 г. превышают в 1,2 раза. В 2022-2023 гг. произошел значительный рост числа аварийных и преднамеренных (плановых) отключений: в 2023 г. поток отказов на 100 км линий 0,4 кВ составил 29/год¹, а преднамеренных – 71/год¹. Значения удельной отключенной мощности на одно отключение в 2023 г. сократились в 17,5 раза по отношению к 2018 г., среднее значение на одно отключение составляет 0,0009 МВт. Удельное значение недоотпуска электроэнергии на одного потребителя в год по аварийным отключениям составило 1,0...5,7 МВт·ч/потр., по плановым – 3,0...8,1 МВт·ч/потр. Удельные показатели надежности позволяют оценить эффективность распределительных сетей 0,4 кВ в конкретном регионе и могут применяться при оценке эффекта от внедрения мероприятий по повышению надежности электроснабжения.

Ключевые слова: удельные показатели надежности, показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ, статистические данные, отключения, плановое отключение, аварийное отключение, длительность перерывов электроснабжения, отключенная мощность, недоотпуск электроэнергии

Для цитирования: Виноградова А.В., Виноградов А.В., Букреев А.В. Удельные показатели надежности электрических сетей 0,4 кВ // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 6. С. 77-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85>

ORIGINAL ARTICLE

Study of specific reliability indicators of 0.4 kV power networks**A. V. Vinogradova¹, A. V. Vinogradov², A. V. Bukreev³**^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia² Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; Moscow, Russia¹ alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>² winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>³ skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

Abstract. The reliability of power supply determines the operation of power networks. The literature review revealed that insufficient attention is paid to the research of specific reliability indices necessary for planning and evaluation of energy saving efficiency. Therefore, the purpose of the work is to study the specific reliability indicators of 0.4 kV power networks. Among the analyzed indicators, we consider the flow of failures, the flow of intentional outages, specific values of disconnected power and undersupply of electricity, and others. The authors analyzed statistical data on emergency and planned outages of 0.4 kV power networks in the Orel region over the period 2018-2023. In total, 12,787 overhead power lines with a total length of more than 10 thousand km were examined. Based on the analysis, the authors identified the values of specific reliability indicators and trends in their changes over 6 years and analyzed probable reasons for these changes. It was revealed that the values of the failure flow parameter do not exceed the reference values until 2022 inclusive, and in 2023, they exceed the reference values in 1.2 times. In 2022-2023, there was a significant increase in the number of both emergency and intentional (planned) outages; the flow of failures per 100 kilometers of 0.4 kV lines in 2023 was 29 year⁻¹, and intentional – 71 year⁻¹. The values of specific disconnected power per outage decreased in 17.5 times in 2023 as compared to 2018, the average value per outage is 0.0009 MW. The specific value of undersupply of electricity per consumer per year is in the range between 1 and 5.7 MWh/consumer for emergency shutdowns, and 3 to 8.1 MWh/consumption, according to the new plan. Specific reliability indices allow assessing the efficiency of 0.4 kV distribution networks in a particular region and can be used in assessing the effect of implementing measures to improve the reliability of power supply.

Keywords: specific reliability indicators, reliability indicators of 0.4 kV power networks, statistical data, outages, planned outage, emergency outage, duration of power supply interruptions, cut-off power, undersupply of electric power

For citation: Vinogradova A.V., Vinogradov A.V., Bukreev A.V. Study of specific reliability indicators of 0.4 kV power networks. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(6):77-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-6-77-85>

Введение

Удельные показатели применяются в энергетике при планировании и оценке эффективности работ по энергосбережению, проведении энергетических обследований (энергетического аудита) потребителей энергоресурсов, формировании статистической отчетности по эффективности энергоиспользования, при проведении оценки экономичности работы энергетического оборудования.

Используя удельные показатели, можно выявить проблемные области и приоритетные направления развития в электрических сетях, оценить эффективность деятельности и прогнозировать изменения, выявить причины отклонений от плановых показателей и принять меры. Удельные показатели позволяют упростить процесс расчетов эффективности внедрения нового оборудования, организационных и технических мероприятий.

Показатели надежности электроснабжения сельских потребителей – такие, как количество отказов и плановых отключений, время восстановления и время плановых перерывов, суммарное время перерывов в электроснабжении, для каждого региона индивидуальны, так как связаны с особенностями структуры электрических сетей и природно-климатическими факторами.

Подробным анализом электрических сетей 0,4 кВ занимаются немногие исследователи, хотя сети данного класса напряжения имеют значительную протяженность и влияют на показатели надежности электроснабжения потребителей [1, 2].

Большинство работ как отечественных, так и зарубежных авторов, посвящено анализу аварийных отключений. Исследуются причины аварийных отключений в разных регионах и странах, величины недоотпуска электроэнергии с учетом времени года.

Отмечается, что большинство отключений происходит в сетях потребителей, а основными причинами являются разрушение элементов конструкции ЛЭП и климатические условия [3]. Выполняется анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ [4, 5]. Для повышения надежности предлагаются различные технические решения [6].

В работе [7] представлены результаты анализа официальных статистических данных по количеству аварийных и плановых отключений в филиалах ПАО «Россети Центр» и «Россети Центр и Приволжье», который выявил отклонения показателей надежности электрооборудования энергосистем и электрических сетей от представленных в РД 34.20.574 и отсутствие в нормативных документах значений среднего времени простоя при преднамеренных отключениях воздушных линий электропередачи 0,4 кВ и 6-10 кВ.

Сравнительный анализ структуры сетей и особенностей повреждений их элементов, а также статистические данные по показателям надежности сетей и рекомендации по повышению надежности изложены в работе [8].

В ряде работ рассматриваются вопросы использования интеллектуальной автоматизации [9], новые методы прогнозирования катастрофических отказов линий [10], разрабатываются алгоритмы решения задачи комплексной оценки надежности электрооборудования и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях с учетом плановых отключений [11]. Выполняется сравнение подходов различных стран к нормированию надежности распределительных сетей [12]. Обсуждаются подходы к реконструкции сетевых объектов на основе анализа их надежности [13].

Проводятся исследования показателей эксплуатационной надежности на основе статистических данных об отключениях, которые подтверждают целесообразность проведения расчетов непосредственно для каждого отдельно взятого района электрических сетей [14]. Однако в рассмотренных публикациях, а также в других исследованиях не представлены данные о таких удельных показателях надежности, как удельный недоотпуск электроэнергии при отключениях в сетях 0,4 кВ, удельная отключенная мощность на одно отключение и одного потребителя, которые могли бы быть использованы при проектировании и проведении анализа эффективности работы электрических сетей.

Цель исследований: анализ удельных показателей надежности электрических сетей 0,4 кВ.

Материалы и методы

В ходе исследований использовали статистические данные о количестве аварийных и плановых отключений, длительности перерывов электроснабжения и суммарно-отключенной мощности в сельских электрических сетях 0,4 кВ Орловской области за период 2018-2023 гг. Общая протяженность сетей составила более 10 тыс. км. Использовали дескриптивные (в частности, получение удельных значений показателей) и диагностические (в частности, выявление причин изменений в показателях в разные годы) методы анализа. Метод исследований включал в себя анализ журналов отключений по исследуемым сетям с целью сбора статистических данных, расчет удельных показателей, анализ полученных результатов.

Результаты и их обсуждение

Общие сведения о плановых и аварийных отключениях в рассматриваемых сетях 0,4 кВ за период 2018-2023 гг. по итогам изучения журналов отключений представлены в таблице 1. Показано количество отключений линий электропередачи (ЛЭП) 0,4 кВ по видам: аварийные и преднамеренные (плановые). Всего было исследовано 12787 воздушных линий электропередачи общей протяженностью 10829,2 км.

Количество отключенных потребителей принималось по количеству точек присоединения (жилые дома, производственные объекты и т.п.). Журналы отключений позволяют также оценить количество отключенных населенных пунктов и количество людей, проживающих в этих поселениях.

Суммарно отключенная мощность определялась на основе фактических замеров мощности в режимные дни на отходящих от трансформаторных подстанций линиях. При отключении конкретной линии, или ТП, замеренная в режимный день мощность принималась в качестве отключенной. Оснащение всех ТП 10/0,4 кВ средствами технического учета в перспективе обеспечит возможность учета суммарно-отключенной мощности по фактическим данным на момент отключения. В настоящее время в рассматриваемой компании таким учетом оснащено не более 7...10% ТП.

Недоотпуск электроэнергии определялся исходя из отключенной мощности и продолжительности перерыва в электроснабжении.

Из приведенных в таблице 1 данных следует, что увеличение количества отключений происходит постепенно, и пик отключений приходится на 2023 г. Также происходит увеличение количества плановых и аварийных отключений и суммарной длительности

Таблица 1

Общие показатели

Table 1

General indicators

Причина отключений <i>Cause of outage</i>	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 2018-2023 гг. <i>Average for 2018-2023</i>
Количество отключений в год / Number of outages per year							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages:</i>							
ч / hours	903	760	682	882	2308	3147	1447
% к общему числу / % of total number	38	36	45	39	54	29	40
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages:</i>							
ч / hours	1500	1349	833	1381	1963	7719	2457,5
% к общему числу / % of total number	62	64	55	61	46	71	60
Всего, ед. / Total, units	2403	2109	1515	2263	4271	10866	3904
Суммарная длительность перерывов в электроснабжении / Total duration of power supply interruptions							
По причине аварийных отключений, ч, <i>Due to emergency outages, hours,</i>							
ч / hours	2098,07	1071,25	1040,17	1530,45	3636,5	3960,85	2222,88
% к общему числу / % of total number	30	18	29	25	33	35	28
По причине плановых отключений, ч, <i>Due to planned outages, hours,</i>							
ч / hours	4905,48	4759,73	2510,92	4703,25	7411,65	7353,35	5274
% к общему числу / % of total number	70	82	71	75	67	65	72
Всего, ч / Total, hours	7003,55	5830,99	3551,08	6233,7	11048,15	11314,2	7496,88
Суммарно-отключенная мощность за год, МВт / Total cut-off power for the year, MW							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	42,4	15,8	13,5	30,0	22,9	13,7	23
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages</i>	118,1	111,2	80,7	55,8	52,5	25,9	74
Всего / Total	160,5	127	94,2	85,8	75,4	39,6	97
Количество отключенных потребителей, ед. / Number of cut-off consumers, units							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	15740	13917	10742	17677	34682	35720	21413
По причине преднамеренных отключений <i>Due to deliberate outages</i>	180364	109327	72779	54325	47711	45446	84992
Всего / Total	196104	123244	83521	72002	82393	81166	106405
Суммарный недоотпуск электроэнергии, МВт·ч / Total power undersupply, MW·h							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	88958,2	16925,75	14042,3	45913,5	83275,85	54263,6	51126,24
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages</i>	579337,2	529282	202631,2	262441,3	389111,6	190451,8	390276
Всего / Total	668295,4	546207,75	216673,5	308354,8	472387,45	244715,4	441402,24

перерывов в электроснабжении. При этом наблюдается снижение суммарно-отключенной мощности.

Заметна явная тенденция снижения числа плановых отключений к 2020 г., а затем наблюдаются плавный рост их количества до 2022 г. и резкое увеличение в 2023 г. Это связано отчасти с периодом самоизоляции в 2020 г. ввиду COVID-19, и по этой же причине – со сложностью планирования ремонтов на 2021 г. При этом в 2023 г. резко возросло количество плановых ремонтов по причине вынужденных мер сдерживания в предыдущие годы.

Помимо устаревания оборудования и сложности с планированием и организацией ремонтов, на количество аварийных отключений повлияло изменение в порядке учета данных по отказам. Так, до 2020 г. включительно не все срабатывания средств релейной защиты и автоматики (РЗА), приведшие к отключениям, фиксировались в журналах отключений. Абсолютно все отключения стали фиксировать, начиная с 2021 г. В 2023 г. количество плановых отключений выросло почти в 2,5 раза по отношению к 2022 г., что связано с превентивными мерами по сдерживанию количества аварийных отключений. В качестве одной из таких мер была предпринята вырубка охранной зоны вдоль трасс линий электропередачи. Необходимость данных мер связана с возросшим числом аварийных отключений в 2023 г. (на 23% по отношению к 2022 г.) ввиду плохих погодных условий, приведших к обрывам проводов, падению деревьев на ЛЭП и к другим негативным последствиям.

Для потребителей электроэнергии надежность электроснабжения определяется длительностью и частотой перерывов подачи энергии. Плановые (преднамеренные) отключения так же, как и аварийные, связаны с перерывами электроснабжения, поэтому длительность плановых отключений служит одним из показателей надежности. Отметим, что преднамеренные отключения не в полной мере можно назвать плановыми, так как часть из них выполняется не по предварительному плану отключений, а экстренно, в связи с аварийными отключениями другого оборудования или по иным причинам.

Для сельских распределительных сетей можно выделить следующие удельные показатели надежности:

- удельная отключенная мощность на одно отключение (суммарно-отключенная мощность/количество отключений за год);
- удельная отключенная мощность на одного потребителя (суммарно-отключенная мощность/количество отключенных потребителей за год);
- удельное время перерыва в электроснабжении (суммарная длительность перерывов в электроснабжении/количество отключений за год);

- удельное время отключения (суммарное время отключений/количество отключений за год);

- удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение (суммарный недоотпуск электроэнергии/количество отключений за год);

- удельный недоотпуск электроэнергии на одного потребителя (суммарный недоотпуск электроэнергии/количество отключенных потребителей за год).

Данные по расчетам перечисленных показателей сведены в таблицу 2.

В дальнейших работах планируется на конкретных примерах аргументировать указанный выше перечень удельных показателей и, возможно, расширить его.

Отметим, что существуют документы, регламентирующие определение ряда показателей ущерба от недоотпуска электроэнергии, регулирующих взаимоотношения потребителей и энергоснабжающей организации. Так, «Методика оценки ущерба сельскохозяйственных предприятий от перерывов электроснабжения» позволяет более детально оценивать ущерб для сельских потребителей с учетом технологической, технической и системной составляющих. Однако она требует детального анализа конкретных объектов, состава их электроприемников. На практике же часто требуется выполнение укрупненных оценок возможного ущерба на основе знания объема недоотпущенной электроэнергии для групп потребителей. С применением «Методики...» это сделать затруднительно.

«Рекомендации по применению скидок (надбавок) к тарифу на электрическую энергию за надежность электроснабжения сельскохозяйственных потребителей и установления штрафов за внезапные отключения сельскохозяйственных потребителей» (РД 34.20.582-90) предназначены для регулирования тарифа на электроэнергию в зависимости от надежности электроснабжения и предполагают внесение ряда условий в договор между сельхозпотребителем и энергоснабжающей организацией, что также требует конкретизации электроснабжаемого объекта. Рассмотренные же в таблице 2 удельные показатели предназначены для проведения оценки надежности в целом по электрическим сетям и не содержат сведений о возможном ущербе, поскольку он отличается для каждого вида потребителя. Это скорее оценка системы электроснабжения в целом по районам или регионам.

Рассмотрим предлагаемые выше удельные показатели более подробно.

При распределении по годам потоков отказов (аварийных отключений) и преднамеренных

Таблица 2

Расчетные удельные показатели надежности

Table 2

Estimated specific reliability indices

Причина отключений <i>Cause of outage</i>	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 2018-2023 гг. <i>Average for 2018-2023</i>
Поток отключений на 100 км, год⁻¹ / <i>Flow of outages per 100 km, year⁻¹</i>							
По причине аварийного отключения <i>Due to emergency outage</i>	8,34	7,02	6,30	8,14	21,30	29,06	13,36
По причине преднамеренного отключения <i>Due to deliberate outage</i>	13,85	12,46	7,70	12,75	18,13	71,28	22,70
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	22,19	19,48	14,00	20,89	39,43	100,34	36,06
Удельная отключенная мощность на одно отключение, МВт / <i>Specific cut-off power per one outage, MW</i>							
На одно аварийное отключение <i>Per one emergency outage</i>	0,05	0,02	0,02	0,03	0,01	0,004	0,02
На одно плановое отключение <i>Per one planned outage</i>	0,08	0,08	0,10	0,04	0,03	0,003	0,05
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	0,07	0,06	0,06	0,04	0,02	0,004	0,04
Удельная отключенная мощность на одного потребителя, МВт / <i>Specific cut-off power per one consumer, MW</i>							
При аварийном отключении <i>In case of emergency outage</i>	0,003	0,001	0,001	0,002	0,0007	0,0004	0,001
При плановом отключении <i>In case of planned outage</i>	0,0006	0,001	0,001	0,001	0,001	0,0006	0,0009
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	0,0008	0,001	0,001	0,001	0,0009	0,0005	0,0009
Удельное время перерыва в электроснабжении на одно отключение, ч / <i>Specific time of power supply interruption per one outage, hours</i>							
По причине аварийных отключений <i>Due to emergency outages</i>	2,3	1,4	1,5	1,7	1,6	1,3	1,6
По причине плановых отключений <i>Due to planned outages</i>	3,3	3,5	3,0	3,4	3,8	0,9	3,0
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	2,9	2,8	2,3	2,7	2,6	1,0	2,4
Удельное время отключений (на одно отключение), ч / <i>Specific time of power outages (per one outage), hours</i>							
При аварийном отключении <i>In case of emergency outage</i>	2,3	1,4	1,5	1,7	1,6	1,3	1,6
При плановом отключении <i>In case of planned outage</i>	3,3	3,5	3,0	3,4	3,8	1,7	3,1
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	2,9	2,8	2,3	2,8	2,6	1,6	2,5
Удельный недоотпуск электроэнергии (на одно отключение), МВт·ч / <i>Specific power shortage (per one outage), MWh</i>							
При аварийных отключениях <i>In case of emergency outages</i>	98,5	22,3	20,6	52	36,1	17,2	41,1
При плановых отключениях <i>In case of planned outages</i>	386,2	392,4	243,3	190	198,2	24,7	239,1
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	467,7	351	220,9	236,4	195	41	252
Удельный недоотпуск электроэнергии на одного потребителя, МВт·ч / <i>Specific undersupply of electric power per 1 consumer, MWh</i>							
При аварийных отключениях <i>In case of emergency outages</i>	5,6	1,2	1,3	2,6	2,4	1,5	2,4
При плановых отключениях <i>In case of planned outages</i>	3,2	4,8	2,8	4,8	8,2	4,2	4,7
По всем причинам / <i>For all reasons</i>	5,7	6,0	4,0	7,4	10,1	5,5	6,5

отключений, а также потока отключений по всем причинам просматривается тенденция увеличения значений с 2021 г. При этом поток преднамеренных отключений выше потока аварийных по всем годам, за исключением 2022 г. Нормированное значение параметра потока отказов, в соответствии с РД 34.20.574, составляет $25/\text{год}^{-1}$. До 2022 г. включительно это значение не превышает, а в 2023 г. возросло в 1,2 раза.

Среднее значение удельной отключенной мощности на одно отключение в 2023 г. уменьшилось в 17,5 раза по отношению к 2018 г., что, вероятно, связано с применением дизельных генераторов на время устранения отключений и ремонта, а также с изменением порядка учета отключений в 2022 г. При аварийных отключениях максимальные значения удельной отключенной мощности достигаются в 2018 г., а минимальные – в 2023 г. Удельная отключенная мощность при плановых отключениях имеет более неровный характер. Наблюдаются ее рост до 2020 г. и резкое снижение в период 2021-2023 гг.

Среднее значение удельной отключенной мощности на одного отключенного потребителя снижается начиная с 2021 г. При этом в 2018 и 2021 гг. наблюдается резкое увеличение удельной отключенной мощности при аварийных отключениях, что связано с аварийными отключениями мощных потребителей в этот период.

Среднее значение показателя удельной отключенной мощности на одного отключенного потребителя по всем видам отключений за все годы наблюдений составляет $0,0009 \text{ МВт/потр.}$, по аварийным отключениям – $0,001 \text{ МВт/потр.}$, по плановым – $0,0009 \text{ МВт/потр.}$

Удельное время перерыва в электроснабжении в течение времени наблюдений имеет относительно равномерное распределение с небольшим снижением в 2020 г. и резким снижением (почти в 2 раза) в 2023 г. При этом удельное время перерыва в электроснабжении при преднамеренных отключениях в течение всех лет, за исключением 2023 г., выше, чем при аварийных, примерно в 2 раза. В 2023 г. данный показатель при аварийных отключениях был выше в 1,4 раза. Причина этого неочевидна и, возможно, связана с ростом числа случаев использования средств местного резервирования питания потребителей при преднамеренных отключениях.

Показатель «Удельное время отключений» близок по своему значению к показателю «Удельное время перерыва в электроснабжении». Его отличие заключается в том, что при составлении отчетности время отключений не учитывает случаи, когда отключение по той или иной причине не привело к перерыву

в электроснабжении потребителей. Такая ситуация может быть, например, если потребитель запитан по первой категории надежности электроснабжения, то есть время отключений учитывает время отключенного состояния элемента сети (например, ЛЭП), а время перерывов в электроснабжении – именно время перерывов в электроснабжении потребителей вследствие отключений. Ввиду того, что сети 0,4 кВ в сельской местности, как правило, не имеют возможности резервирования, а потребители в большинстве своем имеют третью категорию надежности, отличия времени перерывов в электроснабжении и времени отключений минимальны. В 2023 г. удельное время преднамеренных отключений превысило удельное время аварийных отключений в отличие от ситуации с удельными показателями времени перерывов в электроснабжении.

Удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение в период 2018-2023 гг. снижается по всем видам отключений, и особенно – по плановым отключениям. Резкое снижение показателя в 2023 г. связано с большим ростом числа отключений в этом году при снижении суммарного недоотпуска электроэнергии. Не был нанесен ущерб для потребителей с большой мощностью. Отключались в большинстве своем коммунально-бытовые потребители. Это в определенной мере связано с резервированием потребителей при отключениях и с изменением порядка отчетности. Резервирование электроснабжения, особенно крупных потребителей, способно привести к сокращению удельного недоотпуска электроэнергии.

Удельный недоотпуск электроэнергии при плановых и аварийных отключениях на одного потребителя изменяется по годам в меньшей степени по сравнению с удельным недоотпуском на одно отключение и находится в пределах $1...5,7 \text{ МВт}\cdot\text{ч/потр.}$ по аварийным отключениям, $3...8,1 \text{ МВт}\cdot\text{ч/потр.}$ по плановым. Это достаточно большое значение с учетом того, что большинство сельских потребителей – коммунально-бытовые, имеющие небольшую мощность (от 2 до 15 кВт), и $3 \text{ МВт}\cdot\text{ч}$ может составлять их годовое потребление. В то же время отключаются и производственные потребители, которые потребляют в годкратно большие объемы электроэнергии, то есть указанное значение применимо к смешанной сельскохозяйственной нагрузке.

Выводы

1. Удельные показатели надежности позволяют оценить эффективность сельских распределительных сетей и могут применяться при оценке эффекта от внедрения мероприятий по повышению надежности электроснабжения.

2. Надежность сельских электрических сетей 0,4 кВ характеризуется следующими удельными показателями: удельная отключенная мощность на одно отключение; удельная отключенная мощность на одного потребителя; удельное время перерыва в электроснабжении; удельное время отключения; удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение; удельный недоотпуск электроэнергии на одного потребителя.

2. В Орловской области за 2018-2023 гг. значения удельной отключенной мощности на одного потребителя составили 0,0009 МВт, на одно отключение – 0,04 МВт. Удельный недоотпуск электроэнергии на одно отключение составил 252 МВт·ч,

на одного потребителя в год – 6,5 МВт·ч; удельное время перерыва в электроснабжении составило 2,4 ч, а удельное время отключения – 2,5 ч.

3. Внедрение средств секционирования сетей 0,4 кВ позволит сократить удельные показатели недоотпуска и количество отключенных потребителей за счет сокращения числа отключенных потребителей и суммарно отключенной мощности. Оценка количества секционированных линий позволит рассчитать скорректированные удельные показатели.

4. В дальнейших работах планируется определить удельные показатели для различных регионов страны для выявления наилучших и наихудших показателей и анализа причин их появления.

Список источников

1. Добрусин Л.А. Повышение энергоэффективности электросетевого комплекса России // Энергосбережение. 2013. № 7. С. 54-61. EDN: THEQNZ
2. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 4 (53). С. 22-29. EDN: LHIRSK
3. Наумов И.В., Полковская М.Н. Анализ работы электрических сетей Облкоммунэнерго Иркутской области в 2019 году // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 5 (199). С. 118-126. EDN: NUWCDT
4. Васильева Т.Н., Лопатин Е.И. Анализ причин отказов электрического оборудования распределительных сетей 0,38...10 кВ // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2011. № 3 (11). С. 64-66. EDN: OFSKQV
5. Сбитнев Е.А., Жужин М.С. Анализ аварийности сельских электрических сетей 0,38 кВ нижегородской энергосистемы // Вестник НГИЭИ. 2020. № 11 (114). С. 36-47. EDN: KEJHDX
6. Бандурин И., Садченкова О. Повышение надежности электроснабжения распределительных сетей сельскохозяйственного назначения // Электроэнергия. Передача и распределение. 2015. № 5 (32). С. 46-52. EDN: VOSCOF
7. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Определение современных показателей надежности воздушных линий электропередачи 0,4-110 кВ // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 1. С. 77-85. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-77-85>
8. Виноградов А.В., Лансберг А.А., Виноградова А.В. Анализ конфигурации электрических сетей 0,4 кВ Орловской области // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2023. Т. 70, № 4 (53). С. 22-29. EDN: LHIRSK
9. Böhm R., Rehtanz Ch., Franke J. Strategy for implementing black start and islanded operation capabilities on distribution system level. *Energy Systems Research*. 2018;1(1):9-20. <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0001>
10. Санакулов А.Х., Галиуллин Л.А. Повышение надежности электроснабжения животноводческих комплексов и птицефабрик с учетом современных условий // Социально-экономические и технические системы: исследование, проектирование, оптимизация. 2016. № 4 (71). С. 51-66. EDN: XSCTFH
11. Ковалев Г.Ф., Чернов Д.В. Методика комплексной оценки надежности электроснабжения и качества электроэнергии в сельских распределительных сетях // Известия

References

1. Dobrusin L.A. Increasing the energy efficiency of the Russian integrated power grid. *Energoberezhnie*. 2013;7:54-61. (In Russ.)
2. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Analysis of the configuration of 0.4 kV electrical grids of the Orel region. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(4):22-29. (In Russ.)
3. Naumov I.V., Polkovskaya M.N. The analysis of the operation of electric networks of the Oblkommunenergo of the Irkutsk Region in 2019. *Vestnik Altayskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*. 2021;5:118-126. (In Russ.)
4. Vasileva T.N., Lopatin E.I. The analysis of causes of failures of the electric equipment of distributive networks 0.38...10 kV. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2011;3:64-66. (In Russ.)
5. Sbitnev E.A., Zhuzhin M.S. Accident rate analysis of rural electric networks 0.38 kV of the Nizhny Novgorod power system. *Vestnik NGIEI*. 2020;11:36-47. (In Russ.)
6. Bandurin I., Sadchenkova O. Increasing the reliability of power supply to agricultural distribution networks. *Electric Power: Transmission and Distribution*. 2015;5:46-52. (In Russ.)
7. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Determination of modern reliability indicators of overhead power transmission lines of voltage classes 0.4-110 kV. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(1):77-85. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-1-77-85>
8. Vinogradov A.V., Lansberg A.A., Vinogradova A.V. Analysis of the configuration of 0.4 kV electrical grids of the Orel region. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2023;70(4):22-29. (In Russ.)
9. Böhm R., Rehtanz Ch., Franke J. Strategy for implementing black start and islanded operation capabilities on distribution system level. *Energy Systems Research*. 2018;1(1):9-20. <https://doi.org/10.25729/esr.2018.01.0001>
10. Sanakulov A.Kh., Galiullin L.A. Improve power supply reliability of livestock complexes and poultry factories to meet modern conditions. *Sotsialno-Ekonomicheskie i Tekhnicheskie Sistemy: Issledovanie, Proyektirovanie, Optimizatsiya*. 2016;4:51-66. (In Russ.)
11. Kovalev G.F., Chernov D.V. A technique for integrated assessment of power supply reliability and power quality in rural distribution networks. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Power Engineering*. 2009;5:104-114. (In Russ.)
12. Gvozdev D.B., Gabdushev D.M., Goyenko R. Yu., Klimkina D.I., Buyankov D.A., Vanin A.S. Analysis of domestic and foreign practices of distribution network reliability specification.

Российской академии наук. Энергетика. 2009. № 5. С. 104-114. EDN: KVAУУР

12. Гвоздев Д.Б., Габдушев Д.М., Гоенко Р.Ю., Климкина Д.И., Буянков Д.А., Ванин А.С. Анализ отечественного и зарубежного опыта нормирования надежности распределительных сетей // Электроэнергия. Передача и распределение. 2023. № 5 (80). С. 26-33. EDN: LDLHUM

13. Кадыркулов С.С., Жусубалиев Б.К., Кайдиев Н.К. Об основных задачах повышения надежности и эффективности работы распределительных электрических сетей // Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики. 2014. № 1. С. 10-12. EDN: XCNHAJ

14. Исупова А.М., Хорольский В.Я., Мастепаненко М.А., Епифанов А.П. Оценка эксплуатационной надежности сельских электрических сетей по статистическим данным об отключениях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023. № 5 (74). С. 121-139. EDN: BWOMOY

Информация об авторах

Алина Васильевна Виноградова¹, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>

Александр Владимирович Виноградов², д-р техн. наук, доцент; winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Алексей Валерьевич Букреев³, канд. техн. наук, старший научный сотрудник; skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, дом 5.

Вклад авторов

А.В. Виноградов – постановка задачи, формулирование основной концепции, анализ и доработка текста.

А.В. Виноградова – подготовка и первичный анализ литературных данных, подготовка и обработка статистических данных, описание результатов, участие в подготовке начального варианта текста.

А.В. Букреев – участие в подготовке и анализе литературных данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 26.05.2024; поступила после рецензирования и доработки 14.06.2024; принята к публикации 16.06.2024

Electric Power. Transmission and Distribution. 2023;5:26-33. (In Russ.).

13. Kadyrkulov S.S., Zhsubaliev B.K., Kaiduev N.K. On the main tasks of increasing the reliability and efficiency of electrical distribution networks. *Izvestiya Natsionalnoy Akademii Nauk Kyrgyzskoy Respubliki.* 2014;1:10-12. (In Russ.).

14. Isupova A.M., Khorolskiy V.Ya., Mastepanenko M.A., Epifanov A.P. Assessment of operational reliability of rural electric networks by statistical data on outages. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University.* 2023;5:121-139. (In Russ.).

Author Information

Alina V. Vinogradova¹, CSc (Eng), Lead Research Engineer; alinawin@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8935-7086>

Alexandr V. Vinogradov², DSc (Eng), Associate Professor; winaleksandr@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-8845-9718>

Alexey V. Bukreev³, CSc (Eng), Research Engineer; skiffdark@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0209-1167>

^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 1st Institutsky Proezd Str., 5, Moscow, 109428, Russian Federation

Author Contribution

A.V. Vinogradov – problem statement, conceptualization, analysis; writing – finalizing (revising and editing) of the manuscript.

A.V. Vinogradova – literature review and analysis, preparation and processing of statistical data, description of results, writing – original draft preparation

A.V. Bukreev – writing – original draft preparation, literature review and analysis

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism

Received 26.05.2024; Revised 14.06.2024; Accepted 16.06.2024.