

Липкович И.Э., Корчагин П.Т., Украинцев М.М., Егорова И.В., Петренко Н.В.
Анализ надежности современных линий электропередач на 10 кВ в сельской местности

.....
**Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»**
=====

УДК 621.316

**Анализ надежности современных линий электропередач на 10 кВ в
сельской местности**

Липкович И.Э., Корчагин П.Т., Украинцев М.М., Егорова И.В., Петренко Н.В.

Азово-Черноморский инженерный институт, Донского ГАУ

Аннотация

Исходя из приведенного анализа в свете перспектив развития АПК, можно предположить, что структура электроснабжения потребителей АПК, уровень аварийности при транспортировке, а также качество поставляемой энергии в ближайшее время не сможет удовлетворить запросам современных предприятий агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: НАДЕЖНОСТЬ, ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ, СЕЛЬСКАЯ МЕСТНОСТЬ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ, ПОТРЕБИТЕЛЬ АПК, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ, БЕЗОТКАЗНАЯ РАБОТА, ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, ОТКАЗ, РАЗВИТИЕ

Ведущее место обеспечения электроэнергией агропромышленного комплекса принадлежит системам центрального энергоснабжения. Одним из основных элементов этих систем являются воздушные линии электропередач на 10 кВ, которые используются для передачи электрической энергии на длинные расстояния между населенными пунктами в сельской местности. Эти линии крепятся с помощью изолирующих конструкций и арматуры к опорам, несущим конструкциям, кронштейнам и стойкам на инженерных сооружениях.

Строительство воздушных линий электропередач 10 кВ является сложным и ответственным процессом, который требует соблюдение норм и правил, а также использование качественных материалов. Для этих линий применяют неизолированный многожильный провод из алюминия или его сплава, также он может быть стальным или сталеалюминиевым. Заземление монтируется на железобетонных опорах, расположенных в населенных пунктах или на всех опорах с грозозащитным устройством. Искровые промежутки или ОПН необходимы на участке пересечения ЛЭП с другими линиями и на ВЛ со слабой изоляцией.

Таким образом, совершенно очевидно, что линии электропередач 10 кВ является достаточно сложным и одним из основных в системе электроснабжения электротехническим устройством, которое обладает совокупностью свойств, характеризующих их пригодность для полноценной эксплуатации. Для нормального функционирования линий электропередач на 10 кВ необходимо обеспечить качество изготовления узлов и деталей, а также качество сборки и эксплуатации. Как известно, под качеством электротехнических устройств понимается совокупность свойств, характеризующих их пригодность для эксплуатации. Для оценки качества используются технико-экономические показатели. Одним из основных показателей, включающий целый спектр мероприятий, является надежность. Показатель «Надежность» имеет ряд особенностей, что приводит к необходимости введения понятий, которые применяются для данного свойства. Термины и определения, используемые в теории надежности систем электроэнергетики, даны в ГОСТ Р 27.102-2021 «Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения» [1].

В общем смысле «Надежность» – это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования.

Под надежностью любого технического объекта понимается свойство объекта выполнять заданные функции в требуемом объеме при определенных условиях функционирования. Применительно к электроэнергетическим системам под надежностью понимается бесперебойное снабжение электрической энергией всех потребителей в пределах допустимых показателей её качества и исключение ситуаций опасных для людей и окружающей среды.

Показателем надежности является техническая характеристика количественным образом определяющая одно или несколько свойств, составляющих надежность объекта. Работоспособность ВЛ восстанавливается ремонтом или заменой их элементов. Таким образом, ВЛ относятся к восстанавливаемому объекту и для неё основными показателями надежности являются [2-4]:

1. Вероятность безотказной работы:

$$P^*(t) = \frac{N-n(t)}{N}, \quad (1)$$

где N – число объектов на эксплуатации;

n(t) – число объектов, отказавших в течение времени t.

2. Интенсивность отказа:

$$\lambda^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

где $n(\Delta t)$ – число отказавших объектов в интервале времени от $t - (\Delta t/2)$ до $t + (\Delta t/2)$;
 N_{cp} – среднее число исправно работающих объектов в интервале времени от $t - (\Delta t/2)$ до $t + (\Delta t/2)$.

3. Средняя наработка до отказа:

$$T^*(t) = \frac{\sum_{i=1}^N t_i}{N}, \quad (3)$$

где t_i – время безотказной работы i -го объекта до отказа.

4. Параметр потока отказов:

$$\omega^*(t) = \frac{n(\Delta t)}{N \cdot \Delta t}, \quad (4)$$

где Δt – интервал времени рассматриваемого периода.

5. Среднее время восстановления:

$$T_g = \frac{\sum_{i=1}^{N_g} t_i}{N_g}, \quad (5)$$

где N_g – число восстанавливаемых объектов.

6. Коэффициент вынужденного простоя:

$$K_g = \frac{T_g \cdot \omega}{8760 + T_g \cdot \omega}, \quad (6)$$

где ω – параметр потока отказов.

Считается, что важнейшим показателем безотказности является параметр потока отказов, который можно рассматривать как сумму двух потоков [5]:

$$\omega = \omega_1(t) + \omega_2, \quad (7)$$

где $\omega_1(t)$ – поток отказов, связанный с износом и старением элементов ВЛ и зависящий от срока службы;

ω_2 – поток отказов, определяемый внезапными внешними воздействиями.

Тут же необходимо отметить, что опыт эксплуатации линий электропередач до 10 кВ в сельском хозяйстве показывает, что показатель надежности у них достаточно невысок. Фактические сроки службы его и наработка до отказа в 1,5 и 3 раза меньше нормируемых. Причины низкой надежности можно разбить на три группы.

Первая группа – причины внешнего характера (низкий уровень ремонта оборудования, плохое качество электроэнергии, тяжелые условия работы, дефекты монтажа, отсутствие надежных защит электроприемников от аварийных режимов).

Вторая группа причин связана с выполнением проектных работ (ошибки при выборе оборудования, режимы работы в условиях окружающей среды, ошибки при обосновании штатной структуры и т.д.).

Третья группа причин обусловлена непосредственно деятельностью электротехнических служб и персонала (неукомплектованность кадрами, недостаточный уровень квалификации электромонтеров, нарушение правил технической эксплуатации оборудования, нерегулярное проведение технического обслуживания и текущих ремонтов и т.д.).

Отмеченные причины низкой надежности линии электропередач создают значительное препятствие для производства с/х продукции. Поэтому необходимо разрабатывать и внедрять мероприятия для повышения надежности эксплуатации, пожалуй, всей системы электроснабжения с/х потребителей электроэнергии. Первым этапом этой деятельности должен служить анализ надежности линий электропередач до 10 кВ, что должно послужить основой для разработки мероприятий по повышению надежности.

Как известно, основополагающим свойством надежности является безотказность. Безотказность – это свойство непрерывно сохранять работоспособность в течении времени или некоторой наработки. В принципе, по этому свойству судят о степени надежности объекта. Поэтому проанализируем отказы работы ВЛ 10 кВ в некоторых районах Ростовской области. На рис. 1 приведен статистический анализ потока отказов ВЛ-10 кВ по Заветинскому РЭС Ростовской области с 2010 по 2020 г.

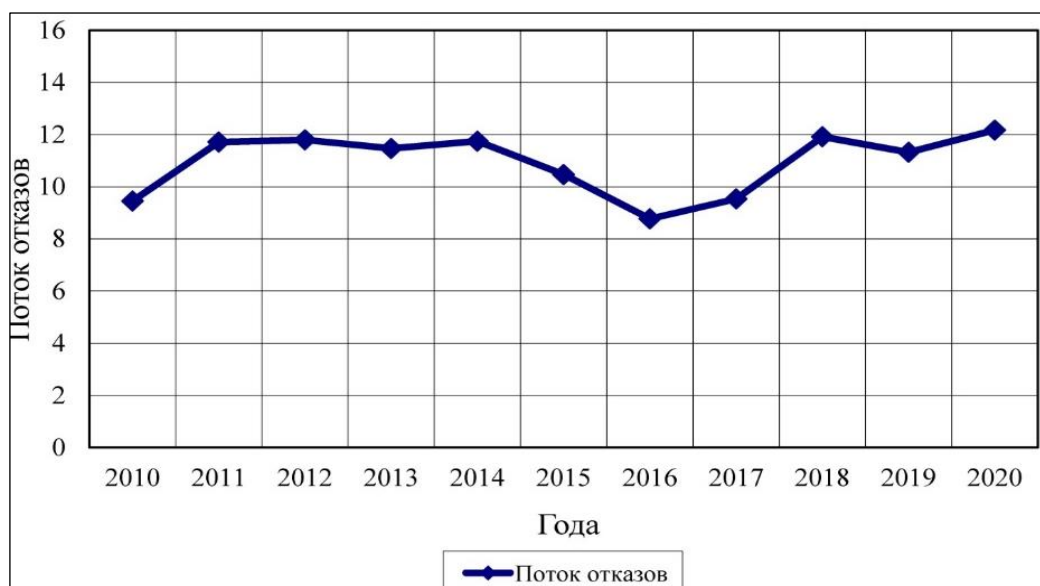


Рис. 1. Статистический анализ потока отказов ВЛ-10 кВ по Заветинскому РЭС с 2010 по 2020 гг. (Ростовская область)

Следует отметить, что график потока отказов за рассматриваемый период имеет неоднозначный характер. Как видно, с 2014 по 2016 гг. наблюдалось некоторое снижение потока отказов, однако после 2016 года проявляется явно выраженная тенденция к увеличению этого показателя. Проведенная общая оценка потока отказов за весь рассматриваемый период показала, что при вероятности $\alpha=0,95$ он находится в пределах от 9,8 до 12 отказов в год на 100 км линии, что соответствует $\omega=10,9\pm 1,1$ [6]. Такое увеличение потока отказов может быть аргументировано следующими негативными факторами: резко нарастает износ линий и оборудования (амортизация составляет более 70%), устаревает обслуживающая техника, недостаточное финансирование и т.д.

Следует также отметить, что в зимний период количество отказов увеличивается в сравнении с летним. Это указывает на то, что ВЛ 10 кВ хуже противостоит механическим нагрузкам (от ветра, гололеда, снега), чем атмосферным перенапряжениям в летний период. Еще одна отрицательная сторона зимнего периода – засыпанные снежными сугробами проселочные дороги не позволяют оперативно находить место поломки, что естественно отражается на времени восстановления аварийного повреждения линии.

Для детального анализа второго показателя надежности – времени восстановления повреждения, исходные данные были ранжированы по интервалам и сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Продолжительность устранения отключений на линиях электропередачи за 2010...2020 гг. [7].

Год	Число отказов, восстановленных за время								
	до 0,5 ч	0,5...1 ч	1...2 ч	2...4 ч	4...6 ч	6...8 ч	8...10 ч	10...24 ч	более 24 ч
2010	22	19	14	16	9	17	7	8	0
2011	27	22	18	19	15	14	12	10	2
2012	25	19	24	23	20	15	9	4	1
2013	24	22	19	21	19	18	8	3	2
2014	20	23	22	24	17	16	9	4	3
2015	26	18	21	23	15	9	5	4	2
2016	32	21	16	13	8	7	4	2	0
2017	33	27	21	14	6	5	4	2	0
2018	34	38	32	13	8	10	2	3	0
2019	35	35	24	18	12	7	1	1	0
2020	31	39	29	20	10	9	3	2	0
Сумма	309	283	240	204	139	127	64	43	10
%, от суммы	21,78	19,94	16,91	14,38	9,80	8,95	4,51	3,03	0,70

Видно, что за первые полчаса устраняется 21,78% всех аварийных отключений линии. За первые 2 часа устраняется более половины (58,63%) всех отключений, 37,64% отказов восстанавливается за период от 2 до 10 часов и чуть менее 4%, на устранение которых приходится больше 10 часов. Среднее время восстановления одного отключения, полученное после обработки 1419 случаев для этого периода, $\tau = 2,56 \pm 0,84$ ч при уровне надежности $\alpha=0,95$.

Ранжирование исходных данных аварийности по видам часто встречающихся аварийных отключений на линиях 10 кВ позволила получить результат представленный на рис. 2 [7].

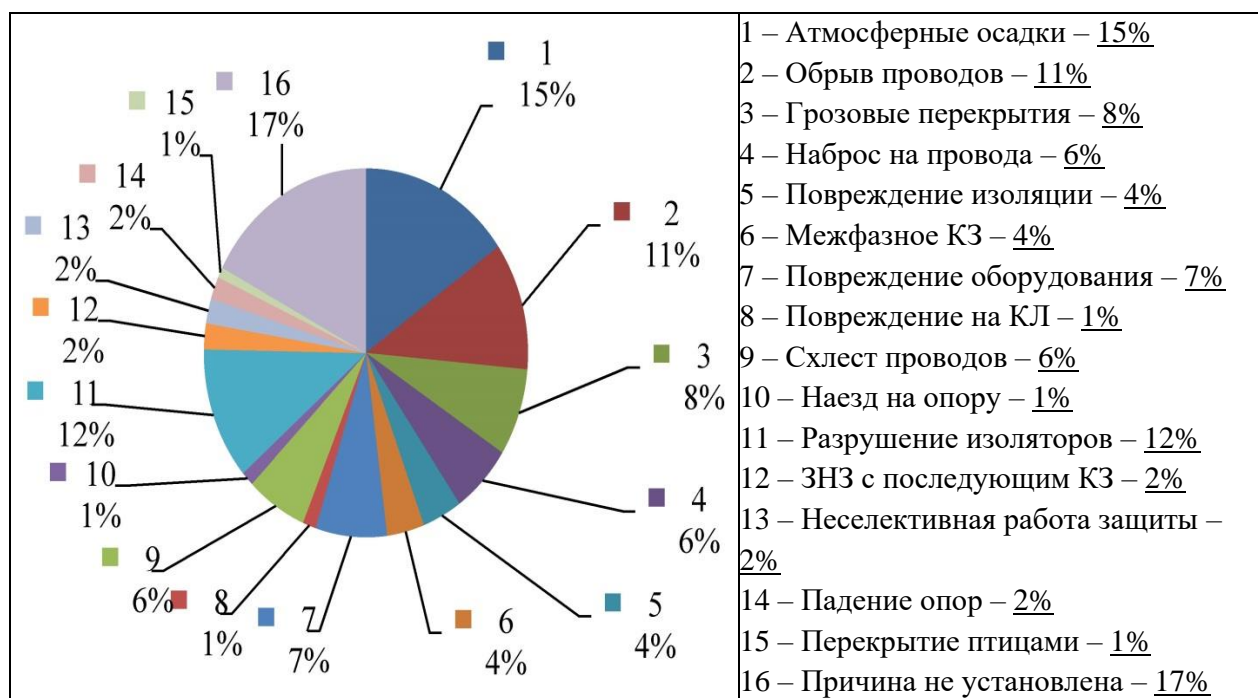


Рис. 2. Основные причины отключения потребителей для Заветинского района

Основное число отключений ВЛ 10кВ приходится на атмосферные осадки, сопровождающиеся усилением ветра и составляет 15% от общего числа отключений, обрыв проводов - 11%, грозовые перекрытия - 8%, повреждение оборудования - 7%, разрушение изоляторов - 12%, схлест проводов - 6%, наброс на провода - 6%. Также следует отметить, что для 17% случаев причина отключений так и не была обнаружена.

Аналогичная тенденция сохраняется и при анализе юго-западного района Ростовской области. Согласно данным зерноградского РЭС были получены следующие результаты. Для примера возьмем промежуток времени с 2002 до 2009 гг. На рис. 3 приведен

график потока отказов (ω). Как видно, за 2002...2009 гг. наблюдается четко выраженная тенденция к росту, а проведенная оценка показала, что при вероятности $\alpha=0,95$ он находится в пределах от 2 до 16 отказов в год на 100 км линии, что соответствует $\omega = 9 \pm 7$ [8].

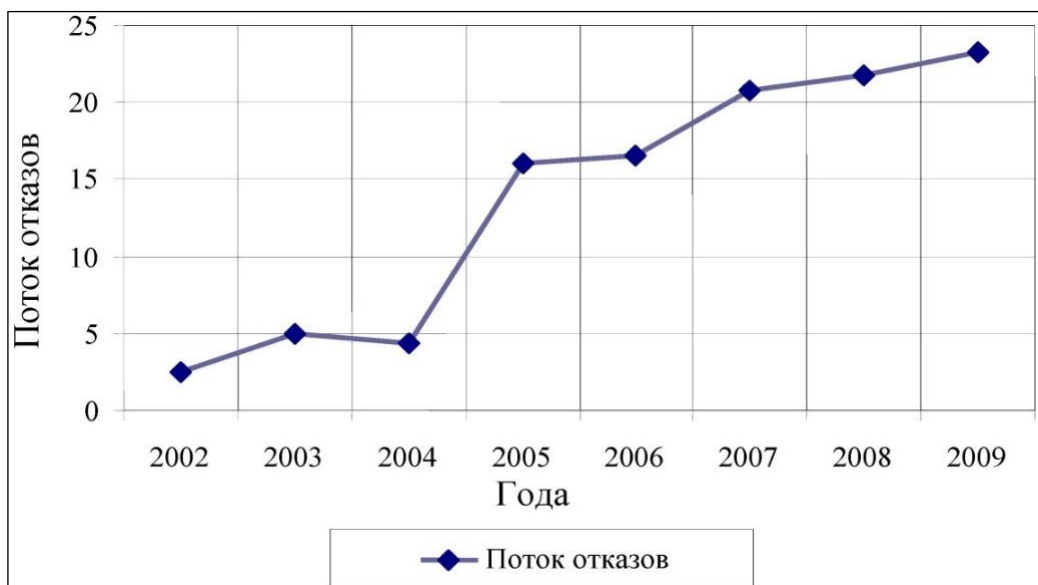


Рис. 3. Статистический анализ потока отказов ВЛ-10 кВ по Зерноградскому РЭС с 2002 по 2009 гг.

Согласно таблице 2, за период 2002...2009 гг. среднее время восстановления одного отключения составило $\tau = 3,39 \pm 1,12$ ч при уровне надежности $\alpha=0,95$, причем α имеет устойчивую тенденцию к возрастанию [8].

Таблица 2. Продолжительность устранения отключений на линиях электропередачи за 2002...2009 гг. [9].

Год	Число отказов, восстановленных за время								
	до 0,5 ч	0,5...1 ч	1...2 ч	2...4 ч	4...6 ч	6...8 ч	8...10 ч	10...24 ч	более 24 ч
2002	0	2	3	7	1	0	1	5	0
2003	0	4	4	7	5	5	3	10	1
2004	0,3	4	8	5	2	3	2	3	0
2005	3,2	6	6	7	1	5	4	6	0
2006	8	5	5	5	2	4	6	5	0
2007	15	5	5	4	1	5	8	4	1
2008	22	5	4	3	3	5	10	3	0
2009	33	6	4	3	2	6	12	3	0
% от суммы	24,3	11,1	11,6	12,2	5,1	9,8	13,7	11,6	0,6

В таблице 3 приведены основные причины аварийных отключений ВЛ 10 кВ и их процентное отношение к общему числу [10, 11].

Таблица 3. Отключения и причины их возникновения за 2002...2009 гг. [9].

Причина отказа	Число отключений по данной причине в год									
	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	Сумма	% от суммы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Причина не установлена	10	10	13	14	15	18	20	17	117	27,08
Атмосферные осадки, ветер	0	7	7	10	9	8	8	9	58	13,43
Обрыв проводов	5	6	4	4	5	6	7	5	42	9,72
Грозовые перекрытия	1	1	3	18	5	2	3	4	37	8,56
Повреждение оборудования	1	2	4	13	6	3	1	2	32	7,41
Прочие причины	1	3	0	8	6	5	4	5	32	7,41
Наброс на провода	1	1	2	4	2	2	4	3	19	4,40
Повреждение изоляции	1	1	0	0	1	2	2	3	10	2,31
Межфазное КЗ	1	2	0	5	2	3	5	3	21	4,86
Коммунальные сети	0	2	0	12	0	2	1	0	17	3,94
Повреждение на КЛ	1	1	1	1	2	1	1	2	10	2,31
Схлест проводов	0	1	0	0	2	1	0	1	5	1,16
Наезд на опору	1	1	1	1	0	1	2	1	8	1,85
Обрыв фазы	0	0	0	1	1	2	1	1	6	1,39
Неисправности, вызванные птицами	0	0	1	2	1	0	1	0	5	1,16
Расстрел изоляторов	1	1	0	2	0	0	1	1	6	1,39
ЗНЗ с последующим КЗ	0	0	0	2	1	0	0	0	3	0,69
Неселективная работа защиты	0	0	0	2	0	1	0	0	3	0,69
Падение опор	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,23
Сгорание опоры	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Кража опор и проводов	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы 3, воздушные линии 10 кВ наиболее часто отключаются из-за атмосферных остатков (дождь, снег, туман), сопровождающихся усилением ветра (13,43%); обрыв проводов - 9,72%; грозовые перекрытия - 9,72%; повреждение оборудования - 7,41%; наброс и схлест проводов - 5,56%; межфазное короткое замыкание - 4,86%. Кроме этого, примерно на 20...35% снижается надежность электроснабжения за счет отказов трансформаторов ТП 10/0,4 кВ [10-13].

Из анализа надежности работы линий электропередач ВЛ 10кВ становится очевидно, что необходимо проводить реконструкцию и строительство новых сетей.

Однако, исходя из приведенного анализа в свете перспектив развития АПК, можно

предположить, что структура электроснабжения потребителей АПК, уровень аварийности при транспортировке, а также качество поставляемой энергии в ближайшее время не сможет удовлетворить запросам современных предприятий агропромышленного комплекса.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 27.102-2021 Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. – Москва, 2021.
2. Беляев Ю.К. Надежность технических систем / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин; под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
3. Федотова Г.А. Надежность технических объектов. Вопросы стандартизации / Г.А. Федотова, Н.И. Воропай, Г.Ф. Ковалев // Надежность и безопасность энергетики. – 2015. – №4 (31). – С. 2-6.
4. Хамидуллин И.Н. К вопросу о надежности воздушных линий электропередачи / И.Н. Хамидуллин, В.К. Ильин, Л.С. Сабитов, Ю.М. Стрелков // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – №1. – С. 5-10.
5. Шевченко Н.Ю. Повышение надежности реконструируемых воздушных линий электропередач / Н.Ю. Шевченко, Ю.В. Лебедева, К.Н. Бахтияров // Воздушные линии. – 2012. – №3. – С. 11-19.
6. Корчагин П.Т. Надежность электроснабжения удаленных потребителей. /П.Т. Корчагин, Д.М. Таранов // Сельский механизатор. – 2014. - №3 - С. 28-30.
7. Таранов М.А. К вопросу об электроснабжении удаленных сельскохозяйственных потребителей / М.А. Таранов, П.Т. Корчагин // Инженерный вестник Дона. - 2016. - №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3934.
8. Таранов М.А. Показатели надежности электроснабжения удаленных сельскохозяйственных объектов / М.А. Таранов, А.Ю. Медведько // Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сборник научных трудов. – зерноград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. - Вып. 7. - Т. 1. - С. 5-9.
9. Таранов М.А. Анализ причин отключения сельских электрических сетей на примере зерноградского РЭС / М.А. Таранов, А.Ю. Медведько // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. Специальный выпуск. – 2007. – С. 75-76.
10. Липкович И.Э. Организационные основы безопасности работ при монтаже воздушных линий электропередачи / И.Э. Липкович, И.В. Егорова, Е.А. Блынский // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. - 2022. - Т. 7. - № 3-1 (25). - С. 19-33.
11. Липкович И.Э. Организационные основы безопасности работ при монтаже кабельных линий напряжением до 10 кв / И.Э. Липкович, И.В. Егорова, Е.А. Лобачёва // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. - 2022. - Т.

Липкович И.Э., Корчагин П.Т., Украинцев М.М., Егорова И.В., Петренко Н.В.
Анализ надежности современных линий электропередач на 10 кВ в сельской местности

.....
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
=====

7. - № 3-2 (25). - С. 46-61.

12. Егорова И.В. Организационные основы безопасности работ при монтаже электрических машин и аппаратов управления / И.В. Егорова, Н.В. Петренко, Д.С. Чайка // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. - 2022. - Т. 7. - № 3-2 (25). - С. 62-77.

13. Липкович И.Э. Организационные основы безопасности работ при осмотре электроприводов и контроль за их работой при техническом обслуживании / И.Э. Липкович, И.В. Егорова, Н.В. Петренко, Д.С. Чайка // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. - 2022. - Т. 7. - № 3-2 (25). - С. 96-110.
=====

Цитирование:

Липкович И.Э., Корчагин П.Т., Украинцев М.М., Егорова И.В., Петренко Н.В. Анализ надежности современных линий электропередач на 10 кВ в сельской местности [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2025. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2025/2/st_206.pdf
DOI: <https://doi.org/10.51419/202152206>.