

электроснабжения является время восстановления [3,4,5], которое можно определить по формуле

$$t_{\text{восст}} = t_{\text{пол.инф}} + t_{\text{расп.инф}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{согл.вкл}} \quad (1)$$

где $t_{\text{пол.инф}}$ – время с момента отказа до получения информации об отказе диспетчером, ч.;

$t_{\text{расп.инф}}$ – время на распознавание информации (то есть время от получения информации об отказе диспетчером до момента времени сообщения о типе и месте повреждения выездной бригадой), ч.;

$t_{\text{рем}}$ – время на выполнение ремонтных работ, ч.;

$t_{\text{согл.вкл}}$ – время на согласование включения и включение оборудования для возобновления электроснабжения, ч.

Рассмотрена повреждаемость ЛЭП на примере одного из районов электрических сетей, в котором происходит ежегодно в среднем 344 аварийных отключений с суммарным недоотпуском электроэнергии 98495,835 кВт·ч. В общее количество отключений входят потребительские отключения, отключения из-за повреждения воздушных линий (ВЛ) и кабельных линий (КЛ), трансформаторов, оборудования трансформаторных подстанций (ТП) и распределительных пунктов (РП). Среднее время восстановления составляет 5,86 часа [5,6,7]. Изучены, на основе данных [8] с помощью статистических методов [9,10,11] и методов экспертных оценок [4,5,12], составляющие данного времени, которые составили: $t_{\text{пол.инф}} = 1,01$ ч, $t_{\text{расп.инф}} = 2,94$ ч, $t_{\text{рем}} = 1,24$ ч, $t_{\text{согл.вкл}} = 0,33$ ч. Таким образом, $t_{\text{восст}} = 5,53$ ч, что отклоняется от статистических данных не более чем на 10%.

Выполненный анализ составляющих времени восстановления показывает, что для их сокращения, в первую очередь, следует особое внимание уделять созданию систем мониторинга технического состояния ЛЭП [13,14,15,16,17,18,19,20,21] и применению средств автоматизации электрических сетей, позволяющих сократить время перерывов в электроснабжении за счет резервирования и секционирования электрических сетей [1]. Тем более, что значительное количество ЛЭП в сельской местности давно отработали свой ресурс и требуют замены [22,23,24], что проявляется и в характере их повреждений [6]. Сократить время восстановления электроснабжения можно за счет применения средств секционирования и резервирования сельских электрических сетей.

Цель статьи. Анализ зависимости времени восстановления электроснабжения потребителей от применения в ЛЭП средств секционирования и резервирования, типов данного оборудования и участка ЛЭП, к которому подключены потребители.

Основные материалы исследования. Применение секционирования и резервирования в электрических сетях позволяет сократить время восстановления электроснабжения потребителей или, по крайней мере, части из них. Рассмотрим это на примере схемы, изображенной на рис. 1. Предположим, что на участке "уч 2 Л1" произошло повреждение, например корот-

кое замыкание. В этом случае, если бы отсутствовали средства секционирования данной ЛЭП – секционирующие пункты СП 1 и СП 2, а так же средство резервирования – пункт АВР 2, то произошло бы отключение всей линии Л1 и всех подключенных потребителей. Время восстановления электроснабжения этих потребителей можно было бы определить по форм. 1. В случае же оснащения ЛЭП средствами секционирования и резервирования произойдет следующее. В случае короткого замыкания в точке К2 отключится СП1, за счет действия релейной защиты, настроенной на ток к. з. и отключится СП2 за счет исчезновения напряжения на участке "уч 2 Л1", выделяя, таким образом, поврежденный участок ЛЭП Л1. Для потребителей, подключенных к участку "уч 1 Л1" перерыва в электроснабжении не произойдет и, соответственно, время восстановления для них сократится до $t_{\text{восст}} = 0$ по сравнению с ЛЭП без секционирования. Для потребителей, подключенных к участку "уч 3 Л1" перерыв в электроснабжении будет. Время восстановления электроснабжения в данном случае будет равным времени действия автоматики пункта АВР 2, которое, в зависимости от типа применяемого средства АВР и согласования его действия с работой СП 1 и СП 2, может составлять от долей секунды до секунд. Таким образом, время восстановления для данных потребителей так же будет близким к нулю.

Аналогично рассматривается сокращение времени восстановления для потребителей, подключенных к другим участкам ЛЭП и для ситуаций, когда повреждения происходят на других участках Л1 или Л2. Таким образом, время восстановления электроснабжения потребителей следует определять исходя из оснащенности ЛЭП средствами автоматизации, и в первую очередь средствами секционирования и резервирования, конечно, с учетом надежности данного оборудования.

Тогда, время восстановления можно определять по одной из формул, в зависимости от указанного выше, эти формулы указаны в табл. 1.

Значение ущерба, которое зависит от времени восстановления электроснабжения и от удельного ущерба [25], будет

$$Y = f(t_{\text{восст}}) = y \cdot t_{\text{восст}} \quad (2)$$

где y – удельный ущерб от перерыва в электроснабжении, руб/ч),

Исходя из этого можно определить сокращение ущерба для разных случаев применения средств секционирования и резервирования следующим образом

$$\Delta Y = Y(t_{\text{восст}})_{\text{при отсут. СП и АВР}} - Y(t_{\text{восст}})_{\text{при налич. СП и АВР}} \quad (3)$$

где $Y(t_{\text{восст}})_{\text{при отсут. СП и АВР}}$ – ущерб от перерыва в электроснабжении при отсутствии средств секционирования и резервирования в ЛЭП;

$Y(t_{\text{восст}})_{\text{при налич. СП и АВР}}$ – ущерб от перерыва в электроснабжении при наличии средств секционирования и резервирования в ЛЭП, определяется в зависимости от ситуаций, описанных в табл. 1.

Таблица 1 – Определение времени восстановления электроснабжения в зависимости от оснащенности ЛЭП средствами секционирования и резервирования

№ п/п	Ситуация	Расчетная формула	Примерное время восстановления.
1	Повреждение на ЛЭП без средств секционирования и резервирования	$t_{восст} = t_{пол. инф} + t_{расп. инф} + t_{рем} + t_{согл.вкл}$ <p>где $t_{пол. инф}$ – время получения информации, ч.; $t_{расп. инф}$ – время на распознавание информации, ч.; $t_{рем}$ – время на ремонт, ч.; $t_{согл.вкл}$ – время на согласование включения и включение, ч.</p>	До нескольких часов
2	Повреждение на ЛЭП, оснащенной средствами секционирования	$t_{восст} = 0$ – для потребителей, подключенных до СП при повреждении участка за СП; $t_{восст} = t_{действия АПВ СП}$ – для потребителей, подключенных за СП при условии оснащения СП средствами АПВ и неустойчивом повреждении на участке за СП; $t_{восст} = t_{пол. инф} + t_{расп. инф} + t_{рем} + t_{согл.вкл}$ <p>- для потребителей, подключенных после СП при повреждении участка за СП;</p> $t_{восст} = t_{пол. инф} + t_{расп. инф} + t_{рем} + t_{согл.вкл}$ <p>- для потребителей, подключенных до и после СП при повреждении участка до СП.</p>	От нуля до нескольких часов в зависимости от места повреждения и части потребителей (подключенных до и после СП)
3	Повреждение на ЛЭП, оснащенной средствами секционирования и резервирования	$t_{восст} = 0$ – для потребителей, подключенных до СП при повреждении участка за СП; $t_{восст} = t_{действия АПВ СП}$ – для потребителей, подключенных к поврежденному участку при условии оснащения СП средствами АПВ и неустойчивом повреждении на поврежденном участке; $t_{восст} = t_{пол. инф} + t_{расп. инф} + t_{рем} + t_{согл.вкл}$ <p>- для потребителей, подключенных к участку, на котором произошло повреждение и в случае отсутствия у них индивидуального резервирования питания;</p> $t_{восст} = t_{действия АВР}$ – для потребителей, подключенных к резервируемому участку.	От нуля до нескольких часов в зависимости от места повреждения и части потребителей (подключенных к поврежденному или другому участку)

Выводы. Секционирование и резервирование ЛЭП позволяет повысить надежность электроснабжения сельских потребителей и сократить недоотпуск электроэнергии им за счет предотвращения отключения потребителей ЛЭП и за счет сокращения времени восстановления электроснабжения потребителей после повреждений в ЛЭП.

Время восстановления электроснабжения потребителей следует определять с применением различных формул в зависимости от применения в ЛЭП средств секционирования и резервирования, типов данного оборудования и участка ЛЭП, к которому подключены потребители. Сокращение ущерба от перерывов электроснабжения в ЛЭП, оснащенных средствами секционирования и резервирования происходит за счет сокращения времени восстановления

электроснабжения. В отдельных случаях перерыв может быть полностью предотвращен и, соответственно, предотвращен ущерб.

Список использованных источников

1. Виноградов А. В. Повышение надежности электроснабжения сельских потребителей посредством секционирования и резервирования линий электропередачи 0,38 кВ / А. В. Виноградов, А. В. Виноградова. – Орел: Изд-во ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, 2016. – 224с. – ISBN 978-5-93382-289-9.
2. Виноградова А. В. Применение секционирования линий электропередачи 0,38 кВ для повышения надежности электроснабжения сельских потребителей / А. В. Виноградова, А. В. Виноградов, А. В. Констан-

тинов // Теоретический и научно-практический журнал "Инновации в АПК: проблемы и перспективы". – 2016. – №2 (10). – С. 12-27.

3. Анищенко В. А. Основы надежности систем электроснабжения: пособие для студентов специальности "Электроснабжение" / В. А. Анищенко, И. В. Колосова. – Мн.: БНТУ, 2008. – 151 с.

4. Папков Б. В. Вероятностные и статистические методы оценки надёжности элементов и систем электроэнергетики: теория, примеры, задачи: учеб. пособие / Б. В. Папков, В. Л. Осокин. – Княгинино: НГИЭУ, 2015. – 356 с.

5. Папков Б. В. Вероятностные и статистические методы оценки надёжности элементов и систем электроэнергетики: теория, примеры, задачи: учеб. пособие / Б. В. Папков, В. Л. Осокин. – Старый Оскол: ТНТ, 2017. – 424 с.

6. Семенов А. Е. Сравнение показателей надежности воздушных и кабельных линий в городской и сельской местности / А. Е. Семенов, А. О. Селезнева, А. В. Виноградов // Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы VII всероссийской научно-практической конференции. – Княгинино: НГИЭУ, 2015. – С. 71 – 75

7. Черемисин М. М. Анализ та формування загальних принципів побудови автоматизованих систем контролю процесу утворення ожеледі на ПЛ / М. М. Черемисин, О. А. Савченко, С. В. Дюбко // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – Харків: ХНТУСГ, 2016. – № 1 (4). – С. 13-16.

8. Технические отчеты за 2014, 2015, 2016 гг. Орелэнерго. Филиал ПАО МРСК Центр.

9. Бешелев С. В. Математик – статистические методы экспертных оценок / С. В. Бешелев, Ф. Г. Гурвич. – М.: Статистика, 1980. – 244 с.

10. Гмурман В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике. Учеб. пособие для студентов вузов / В. Е. Гмурман – М.: Высш. шк., 2002. – 405 с.

11. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. Пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – М.: Высш. шк., 1999. – 479 с.

12. Самарин А. В. Современные технологии мониторинга воздушных электросетей ЛЭП / А. В. Самарин, Д. Б. Рыгалин, А. А. Шкляев // Естественные и технические науки. – 2012. – № 1, 2.

13. Костиков И. Система мониторинга САТ-1 – повышение пропускной способности и надежности в ЛЭП / И. Костиков // Энергетика. – 2011. – № 3 (38).

14. Виноградов А. В. Компьютерная программа по выбору системы мониторинга технического состояния воздушных линий электропередачи / А. В. Виноградов, А. Н. Синяков, А. Е. Семенов // Научно-практический журнал "Агротехника и энергообеспечение". – 2016. – №3 (12). – С. 52-61.

15. Черемисин Н. М. Повышение "интеллекта" электрической сети за счет автоматизированного мониторинга параметров воздушных линий / Н. М. Черемисин, В. В. Черкашина, А. В. Холод // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – Харків: ХНТУСГ. – 2016. – № 1 (4). – с. 16-19.

16. Виноградова А. В. Статистическая характеристика сельских электрических сетей /

А. В. Виноградова // Агротехника и энергообеспечение. – 2014. – №1(1). – С. 419-423.

17. Хорольский В. Я. Технично-экономические расчеты распределительных электрических сетей / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов, Д. В. Петров. – Ростов-на-Дону: изд. "Терра Принт". – 2009. – 132 с.

Анотація

СКОРОЧЕННЯ ЧАСУ ВІДНОВЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СІЛЬСЬКИХ СПОЖИВАЧІВ ПРИ ВІДМОВІ У ЛІНІЯХ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАВАННЯ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ ЗАСОБІВ СЕКЦІОНУВАННЯ І РЕЗЕРВУВАННЯ

Виноградов А. В., Виноградова О. В., Лук'янов Ю. І., Шакина Л. Н.

Секціонування і резервування ЛЕП - це кошти підвищення надійності електропостачання сільських споживачів, що дозволяють скоротити недоотпуск електроенергії їм за рахунок запобігання відключення споживачів ЛЕП і за рахунок скорочення часу відновлення електропостачання споживачів після ушкоджень в ЛЕП. Скорочення збитків від перерв у електропостачанні споживачів, підключених до ЛЕП, оснащеним засобами секціонування і резервування відбувається за рахунок скорочення часу відновлення електропостачання. В окремих випадках перерва може бути повністю запобігли і, відповідно, запобігти збиток. У статті наведено аналіз залежності часу відновлення електропостачання споживачів від застосування в ЛЕП коштів секціонування і резервування, типів даного обладнання і ділянки ЛЕП, до якого підключені споживачі.

Abstract

RECOVERY TIME REDUCTION OF RURAL CONSUMERS IN CASE OF POWER LINE FAILURE BY THE USE OF ISLANDING AND REDUNDANCY

A. Vinogradov, A. Vinogradova, Y. Lukyanov, L. Shakina

Islanding and redundancy of power lines are the means of power supply reliability increase of rural consumers. It allows reducing undersupply of energy by use of customer curtailment prevention and power supply recovery time reduction after power line failures. Decreasing loss of profit due to power supply consumer interruptions connected to the power lines and equipped with islanding and redundancy facilities, occur due to power supply recovery time reduction. In some cases, breakdown period can be completely prevented and accordingly there can be no loss of profit. The article provides an analysis of the dependence of power supply recovery time on the use of islanding and redundancy facilities in power lines, equipment types and power line sector the consumers are connected to.