

УДК 621.316:631.371

О ПОВЫШЕНИИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

О. Ю. ПУХАЛЬСКАЯ, А. В. СЫЧЕВ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

Одной из важнейших задач сельской электрификации на современном этапе развития является обеспечение надежности электроснабжения потребителей агропромышленного комплекса (АПК). Для оценки существующего уровня надежности электроснабжения и разработки обоснованных мероприятий по ее повышению можно использовать методики расчета показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей, изложенные в [3]–[5].

Согласно [1] в качестве нормативных показателей надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей установлены: количество внезапных отключений потребителя (частота отказов), шт./год, и средняя продолжительность одного отключения (длительность перерыва), ч.

В работе приводятся результаты исследования надежности электроснабжения потребителей АПК, питающихся от электрических сетей Гомельского РЭС, и предложены мероприятия по ее повышению.

Исходные данные для расчета показателей надежности электроснабжения потребителей АПК

Исходными данными для расчета показателей надежности являются:

1. Сведения о подстанциях (ПС) 110(35)/10 кВ:
 - высшее напряжение ПС, кВ;
 - число трансформаторов на ПС 110(35)/10 кВ, шт.;
 - число линий электропередач (ЛЭП) 110(35) кВ, присоединенных к шинам ПС 110(35)/10 кВ;
 - наличие АВР и секционного выключателя на стороне 110(35) кВ;
 - наличие АВР на стороне 10 кВ;
 - число выключателей 10 кВ на ПС 110(35)/10 кВ, шт.;
 - наличие дежурного или телеуправления на ПС, расстояния между подстанциями, расстояние от базы оперативно-выездной бригады (ОВБ) до подстанций.
2. Сведения о воздушных линиях (ВЛ) электропередачи 10 кВ:
 - схемы сетей ВЛ 10 кВ с указанием длины участков, марки и сечения проводов, трансформаторных подстанций (ТП) с диспетчерскими номерами и установленной мощностью, коммутационные аппараты (разъединители, выключатели нагрузки, выключатели) с диспетчерскими номерами, нормальные разрывы;
 - паспортные данные ВЛ 10 кВ (сведения о количестве элементов различных видов на линии).

3. Сведения о потребителях АПК:

- схема электрической цепи «источник питания – потребитель»;
- категория потребителя по надежности электроснабжения;
- расстояние от питающей ПС 110(35)/10 кВ до ТП потребителя, км;
- наличие АВР на стороне 10 и 0,4 кВ в ТП;
- количество линейных аппаратов 0,38 кВ в ТП, шт.;
- расстояние по дорогам от базы ОВБ до ТП, км;
- сведения о сети 0,38 кВ (протяженность, марки и сечения проводов ВЛ и др.).

Расчет количества внезапных отключений потребителей АПК

Сложность расчета показателей надежности электроснабжения потребителей АПК обусловлена тем, что электрическая цепь «источник питания – потребитель» состоит из элементов, расчет надежности которых требует разных подходов, моделей, алгоритмов [2]. К таким элементам относятся: ЛЭП 110(35) кВ, ПС 110(35)/10 кВ, ВЛ 10 кВ, ТП 10/0,4 кВ и ВЛ 0,38 кВ (рис. 1).

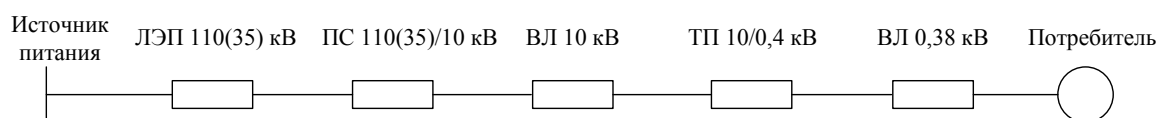


Рис. 1. Элементы цепи «источник питания – потребитель»

Вероятное расчетное количество отказов электроснабжения потребителя АПК определяется числом отключений элементов по всей цепи «источник питания – потребитель» с учетом наличия устройств противоаварийной автоматики. Началом цепи «источник питания – потребитель» принимаются шины 110 кВ ПС 110–330 кВ или электростанции, а последним элементом – конец его питающей линии на зажимах вводного устройства потребителя. Расчет количества отключений каждого элемента цепи «источник питания – потребитель» основан на учете их удельной повреждаемости. Тогда количество повреждений, возникающих в этой цепи за год, рассчитывается по формуле [2]:

$$M = \sum \omega_i \cdot n_i, \quad (1)$$

где ω_i – параметр потока отказов (ППО) i -го элемента, промилле; n_i – количество элементов i -го вида в цепи «источник – потребитель».

С учетом вышеизложенного количество внезапных отключений потребителя за год можно представить в виде:

$$N = N_{\text{ВЛВ}} + N_{\text{ПС}} + N_{\text{ПС10}} + N_{10} + N_{\text{ТП}} + N_{\text{ВЛН}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{ВЛВ}}$, $N_{\text{ПС}}$, $N_{\text{ПС10}}$, N_{10} , $N_{\text{ТП}}$, $N_{\text{ВЛН}}$ – количество внезапных отключений потребителя из-за повреждений соответственно на ЛЭП 110(35) кВ и в распределительном устройстве (РУ) 110(35) кВ присоединенных к ней ПС; в трансформаторе питающей потребителя ПС 110(35)/10 кВ и в ее РУ 10 кВ; на питающей потребителя ВЛ 10 кВ; в ТП 10/0,4 кВ, к которой подключен потребитель; на питающей потребителя линии 0,38 кВ.

Расчет продолжительности внезапных отключений потребителей АПК

Расчет вероятной продолжительности отключения потребителя по каждому элементу цепи «источник питания – потребитель» выполнен на основании моделирования действий оперативного и ремонтного персонала электрических сетей. Модели

учитывают местные условия оперативного обслуживания ПС 110(35)/10 кВ: наличие дежурных на ПС, места дислокации ОВБ и зоны их обслуживания, расстояния между ПС, наличие устройств противоаварийной автоматики и т. д.

Значение средней продолжительности одного внезапного отключения потребителя определялось как средневзвешенная длительность отключений исходя из числа поврежденных основных элементов цепи «источник – потребитель» [5]:

$$\tau = \frac{N_{\text{ВЛВ}} \cdot \tau_{\text{ВЛВ}} + N_{\text{ПС}} \cdot \tau_{\text{ПС}} + N_{\text{ПС10}} \cdot \tau_{\text{ПС10}} + N_{10} \cdot \tau_{10} + N_{\text{ТП}} \cdot \tau_{\text{ТП}} + N_{\text{ВЛН}} \cdot \tau_{\text{ВЛН}}}{N_{\Sigma}}, \quad (3)$$

где τ – средние продолжительности внезапных отключений потребителя при повреждении соответственно: $\tau_{\text{ВЛВ}}$ – на ВЛ 110(35) кВ и в РУ 110(35) кВ присоединенных к ВЛ ПС 110(35)/10 кВ; $\tau_{\text{ПС}}$ – в трансформаторе 110(35)/10 кВ ПС и в тех элементах его присоединения, повреждения которых не приводят к отключению ВЛ 110(35) кВ; $\tau_{\text{ПС10}}$ – в РУ 10 кВ ПС 110(35) кВ; τ_{10} – на ВЛ 10 кВ; $\tau_{\text{ТП}}$ – на тех элементах оборудования ТП 10/0,4 кВ, повреждения которых не приводят к отключению ВЛ 10 кВ; $\tau_{\text{ВЛН}}$ – на ВЛ 0,38 кВ, питающей рассматриваемого потребителя; $N_{\text{ВЛВ}}, N_{\text{ПС}}, N_{\text{ПС10}}, N_{10}, N_{\text{ТП}}, N_{\text{ВЛН}}$ – см. пояснения к формуле (2).

В связи с тем, что вероятность повреждений на подстанциях в РУ 110(35) кВ, приводящих к отключению ЛЭП 110(35) кВ, значительно меньше, чем вероятность повреждений ВЛ 110(35) кВ, величина продолжительности отключения потребителя $\tau_{\text{ВЛВ}}$ при повреждении на ВЛ 110(35) кВ и в РУ 110(35) кВ ПС определялась как продолжительность отключения ВЛ 110(35) кВ.

Продолжительность $\tau_{\text{ВЛВ}}$ принималась равной нулю при $N_{\text{ВЛВ}} = 0$. Для остальных случаев продолжительность отключения потребителя складывалась из затрат времени на переезды ОВБ для локализации поврежденной ВЛ 110(35) кВ, выполнения пробного включения отключившейся ВЛ 110(35) кВ и деления цепи «источник – потребитель», а также для включения неповрежденных элементов указанной цепи.

При расчете продолжительности отключения потребителя $\tau_{\text{ПС}}$ при повреждении трансформатора 110(35)/10 кВ на питающей ПС учитывались повреждения оборудования ПС (кроме повреждений в РУ 10 кВ), которые не приводят к отключению ЛЭП. К ним, чаще всего, относятся повреждения трансформатора и его ошиновки до управляемых защитой аппаратов. Для ПС 110/10 кВ с выключателями на линиях 110 кВ и с защитой шин 110 кВ к указанным выше повреждениям добавляются и повреждения на секциях шин 110 кВ. Продолжительность отключения потребителя $\tau_{\text{ПС}}$ при повреждении трансформатора 110(35) кВ на питающей ПС определялась в зависимости от схемы ПС, наличия на ПС дежурного персонала.

Расчет продолжительности отключения потребителя τ_{10} при повреждении сети 10 кВ сельскохозяйственного назначения значительно сложнее расчета этого же показателя для основной сети. Это обусловлено невысокой степенью оснащенности сельских сетей коммутационными аппаратами и средствами автоматики. Наибольшую сложность при расчете τ_{10} представляет определение продолжительности отключения потребителя за время отыскания поврежденного участка, его локализации и включения неповрежденных участков ВЛ 10 кВ. Предлагаемая в [6] для этой цели математическая модель процесса поиска повреждения и восстановления электрооборудования чрезвычайно сложная, что существенно ограничивает ее применение на практике из-за слишком большого количества учитываемых факторов, влияющих на расчет. Упрощенная методика расчета продолжительности внезапных отключений потребителя при повреждении ВЛ 10 кВ изложена в [7]. Методика основана на вы-

делении в схеме ВЛ 10 кВ части, содержащей электрическую связь между питающей ПС 35(110)/10 кВ, ТП потребителя и ближайшим резервом, на который эту ТП можно переключить при исчезновении основного питания, или ближайшим концом линии, если такого резерва нет.

При расчетах продолжительности внезапных отключений потребителя были использованы нормы времени на ремонт и техническое обслуживание ВЛ и ТП, скорости передвижения ОВБ и другие данные, полученные СПО «Союзтехэнерго».

Для оценки эффективности предлагаемых мероприятий по повышению надежности введем еще один показатель надежности электроснабжения потребителей – суммарную продолжительность отключений потребителя в год, ч/год:

$$\tau_{\Sigma} = N \cdot \tau, \tag{4}$$

где N, τ – см. пояснения к формулам (2), (3).

По методикам, описанным выше, был произведен расчет количества и средней продолжительности внезапных отключений по существующим схемам электроснабжения потребителей Гомельского сельского РЭС. Для показателей надежности элементов цепи «источник питания – потребитель» с помощью программы STATISTICA 6.0 были рассчитаны выборочное среднее M , выборочное среднее квадратическое отклонение S и доверительный интервал для M с заданной надежностью β . Результаты расчета представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета показателей надежности электроснабжения потребителей Гомельского РЭС

Параметр	Выборочное среднее M	Среднее квадратическое отклонение S	Доверительный интервал для M с надежностью $\beta = 0,95$	
Количество внезапных отключений потребителей, откл./год	4,082	3,489	2,995	5,169
в том числе из-за отказов:				
ЛЭП 110(35) кВ	0,353	0,160	0,303	0,403
трансформатора ПС 110(35)/10 кВ	0,028	0,006	0,026	0,030
РУ 10 кВ ПС 110(35)/10 кВ	0,259	0,166	0,207	0,311
ВЛ 10 кВ	2,932	3,402	1,872	3,992
ТП 10/0,4 кВ	0,296	0,166	0,244	0,348
ВЛ 0,4 кВ	0,214	0,241	0,139	0,289
Средняя продолжительность одного внезапного отключения потребителя, ч	3,420	1,536	2,941	3,899
в том числе из-за отказов:				
ЛЭП 110(35) кВ	0,105	0,189	0,046	0,164
трансформатора ПС 110(35)/10 кВ	0,504	1,097	0,162	0,846
РУ 10 кВ ПС 110(35)/10 кВ	1,039	0,814	0,785	1,293
ВЛ 10 кВ	3,965	2,291	3,251	4,679
ТП 10/0,4 кВ	3,823	0,719	3,599	4,047
ВЛ 0,4 кВ	4,148	0,654	3,944	4,352

Согласно данным табл. 1, среднее количество отключений потребителя N составляет 4,082 откл./год, средняя продолжительность одного отключения τ – 3,420 ч.

На рис. 2 представлена диаграмма распределения количества отключений по элементам цепи «источник – потребитель» из-за повреждений:

$N_{\text{ВЛВ}}$ – на ЛЭП 110(35) кВ и в РУ 110(35) кВ присоединенных к ней ПС;

$N_{\text{ПС}}$ – в трансформаторе питающей потребителя ПС 110(35)/10 кВ;

$N_{\text{ПС10}}$ – в РУ 10 кВ питающей потребителя ПС 110(35)/10 кВ;

N_{10} – на питающей потребителя ВЛ 10 кВ;

$N_{\text{ТП}}$ – в ТП 10/0,4 кВ, к которой подключен потребитель;

$N_{\text{ВЛН}}$ – на питающей потребителя линии 0,38 кВ.

Согласно диаграмме, самым ненадежным элементом цепи «источник – потребитель» является ВЛ 10 кВ. На долю отключений из-за повреждений на ВЛ 10 кВ приходится 71,8 % от общего числа отключений.

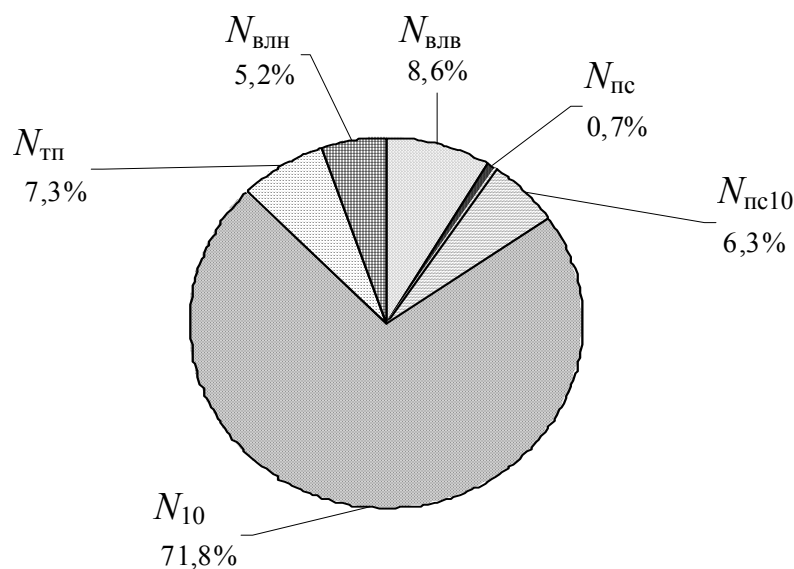


Рис. 2. Диаграмма распределения количества отключений по элементам цепи «источник – потребитель»

Мероприятия по повышению надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей Гомельского РЭС

Целью мероприятий по повышению надежности электроснабжения является снижение количества и продолжительности отключений потребителей. Для отдельных потребителей Гомельского сельского РЭС можно предложить следующие мероприятия [8]:

- 1) замена неизолированных проводов на самонесущие изолированные провода на участках ВЛ 10 кВ, проходящих через лес;
- 2) замена неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 0,4 кВ, питающих потребителя;
- 3) применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного устройства АВР.

Наибольшую целесообразность для ВЛ 10 кВ имеет замена проводов на участках линий, проходящих через лес, так как на них происходит наибольшее количество повреждений, приводящих к отключению потребителей.

Результаты расчета количества внезапных отключений потребителей N и суммарной продолжительности отключений в год τ_{Σ} для существующих схем электроснабжения и в случае применения на участках ВЛ 10 кВ самонесущих изолированных проводов представлены в табл. 2. Согласно расчетам, общее количество отключений в результате внедрения указанного выше мероприятия можно снизить в 1,21 раза, суммарную продолжительность отключений – в 1,27 раза по отношению к существующему уровню надежности. Расчеты выполнены при внедрении мероприятий не для всех, а для части потребителей, для которых они возможны и целесообразны.

Таблица 2

Эффективность применения мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей АПК

Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей	Количество потребителей, шт.	Исходное значение		В результате мероприятий	
		N , откл./год	τ_{Σ} , ч	N , откл./год	τ_{Σ} , ч
Замена на участках ВЛ 10 кВ, проходящих через лес, неизолированных проводов на изолированные	23	5,572	22,628	4,595	17,836
Замена неизолированных проводов на изолированные для ВЛ 0,4 кВ	40	4,009	13,801	3,823	13,023
Применение в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ местного АВР	5	2,750	4,661	1,246	2,238

Для ВЛ 0,4 кВ в качестве мероприятия по повышению надежности электроснабжения предлагается заменить провода на самонесущие изолированные для 40 ВЛ 0,38 кВ, питающих потребителей. Результаты расчета представлены в табл. 2. Согласно расчетам, внедрение данного мероприятия позволит снизить общее количество отключений в 1,05 раза, суммарную продолжительность отключений – в 1,06 раза.

Устройство местного АВР в ТП 10/0,4 кВ на стороне 10 кВ позволяет в случае отключения основного питания быстро перейти на резервный источник электроснабжения. При анализе конструктивного исполнения и схем присоединения ТП 10/0,4 кВ к сети оказалось, что применение местного АВР возможно только для пяти из сорока двух потребителей. Результаты расчета показателей надежности представлены в табл. 2. Это мероприятие позволит уменьшить общее количество отключений в 2,21 раза, суммарную продолжительность отключений – в 2,08 раза.

Заключение

1. С помощью предложенной методики были рассчитаны показатели надежности для существующих схем электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения: среднее количество отключений составило 4,082 откл./год, средняя продолжительность одного отключения – 3,420 ч.

2. Предложены мероприятия по повышению надежности электроснабжения отдельных потребителей, которые позволят снизить количество отключений в 1,05–2,21 раза, суммарную продолжительность отключений – в 1,06–2,08 раза.

3. Результаты расчетов могут быть использованы при заключении с потребителями договоров на электроснабжение и пользование электрической энергией.

Литература

1. Методические указания по обеспечению при проектировании нормативных уровней надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей / В. В. Тисленко [и др.] / Укр. отд-ние ВГПИиНИИ «Сельэнергопроект». – Москва : Сельэнергопроект, 1986. – 32 с.
2. Надежность систем электроснабжения / В. В. Зорин [и др.]. – Киев : Вища шк., Головное изд-во, 1984. – 192 с.
3. Куценко, Г. Ф. Методика определения расчетного количества внезапных отключений потребителей сельскохозяйственного назначения по цепи «источник–потребитель» / Г. Ф. Куценко, О. Ю. Пухальская // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2005. – № 3. – С. 30–33.
4. Куценко, Г. Ф. Расчет количества отключений потребителя АПК при наличии пунктов АВР / Г. Ф. Куценко, О. Ю. Пухальская, О. С. Шведова // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2005. – № 1. – С. 31–34.
5. Русан, В. И. Основные положения методики расчета продолжительности отключения потребителей АПК при повреждении элементов схемы электроснабжения / В. И. Русан, О. Ю. Пухальская // Перспективы и направления развития энергетики АПК : материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 22–23 нояб. 2007 г. / Белорус. гос. аграр. техн. ун-т ; редкол.: М. А. Прищепов [и др.]. – Минск, 2007. – С. 71–76.
6. Прусс, В. Л. Повышение надежности сельских электрических сетей / В. Л. Прусс, В. В. Тисленко. – Ленинград : Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1989. – 208 с.
7. Пухальская, О. Ю. Методика расчета продолжительности отключения потребителя агропромышленного комплекса при повреждении на ВЛ 10 кВ без автоматики / О. Ю. Пухальская // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2008. – № 1. – С. 27–36.
8. Лещинская, Т. Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – Москва : КолосС, 2008. – 650 с.

Получено 28.09.2009 г.