

Теоретические исследования бесперебойности электроснабжения сельских потребителей с применением альтернативных источников*

В.И. Чиндяскин, к.т.н., В.А. Шахов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ; С.К. Шерьязов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ

Одной из важнейших задач эффективного развития сельского хозяйства является обеспечение бесперебойности электроснабжения потребителей. Нарушения бесперебойности электроснабжения могут приводить к обесточиванию большого числа потребителей электроэнергии, повреждению электрооборудования электрических сетей и к гибели людей и животных. Разрабатываемые и внедряемые в последнее время возобновляемые источники электроэнергии могут работать параллельно с сетью или автономно. При подключении их на параллельную работу могут возникать проблемы, которые недостаточно исследованы и соответственно требуют изучения [1–3].

В системе электроснабжения важное значение имеет бесперебойность питания потребителей электрической энергией в соответствии с требованиями нормативно-технической документации. Исследования бесперебойности электроснабжения, особенно при использовании возобновляемых источников электроэнергии, являются актуальной задачей.

Бесперебойность электропитания нами понимается как событие, когда отсутствует нарушение в электроснабжении потребителей. При этом событие рассматривается как случайный процесс, и его оценка будет опираться на теорию вероятностей и математическую статистику.

На бесперебойность электроснабжения влияют различные возмущающие факторы. При этом недостаточно изучено действие самого электрического тока на бесперебойность электроснабжения.

Согласно требованиям ПУЭ [4] все потребители по надёжности электроснабжения подразделены на три категории. К сельскохозяйственным потребителям I категории отнесены коровники

на 400 гол. и более; помещения для откорма и выращивания молодняка крупного рогатого скота на 5 тыс. гол. и более в год; свинофермы по откорму 12 тыс. гол. и более в год; птицефабрики с числом 100 тыс. кур-несушек и более и т.п. При этом потребителей I категории необходимо обеспечивать электроэнергией от двух независимых, взаимно резервируемых источников питания. Перерыв в электроснабжении этих потребителей допустим только на время автоматического восстановления питания.

К потребителям II категории отнесены животноводческие и птицеводческие фермы с меньшей численностью, чем указанные для потребителей I категории. Перерыв в электроснабжении потребителей II категории допустим не более чем на время включения питания оперативной выездной бригадой.

Все остальные потребители отнесены к III категории. Электроснабжение для таких потребителей может производиться от одного источника питания, а перерывы в электроснабжении для них не должны превышать одних суток.

Важным условием при бесперебойном электроснабжении является сохранение показателей качества электрической энергии в соответствии с требованиями государственного стандарта [5].

Существует множество причин, приводящих к нарушению бесперебойности электроснабжения потребителей. В частности, проведённые исследования переходных процессов [6] позволили выяснить причину отключений потребителей, связанную с короткими замыканиями.

Бесперебойность как случайное событие характеризуется отказом элементов системы электроснабжения. При этом отказы элементов системы электроснабжения можно разделить на внезапные и постепенные. В частности, нарушение электроснабжения при коротком замыкании и пробое изоляции является внезапным отказом, который приводит к полному нарушению ра-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и министерства образования Оренбургской области. Решение бюро совета РФФИ, протокол № 4 (216) от 17.04.2019 г.

ботоспособности элементов системы электропитания.

В зависимости от условий применения электротехническое оборудование может быть восстанавливаемым и невосстанавливаемым. Большая часть элементов электроснабжения относится к восстанавливаемым после отказов [7].

Для оценки бесперебойности электроснабжения требуются специальные показатели. Единичный показатель бесперебойности характеризует одно свойство, а комплексные показатели – два и более свойств. Комплексные показатели бесперебойности, как и в теории надёжности, используются для количественной оценки безотказности и ремонтпригодности [8].

Для неремонтируемого электрооборудования показателями бесперебойности являются время наработки до первого отключения T_1 и длительность отключения T_2 . Тогда коэффициент бесперебойности электроснабжения для неремонтируемого электрооборудования предлагается определить по выражению:

$$K_6 = \frac{T_1}{T_2}, \quad (1)$$

где T_1 – время наработки до первого отключения;
 T_2 – длительность отключения электрооборудования.

Предлагаемый коэффициент бесперебойности электроснабжения K_6 может быть применён и для неремонтируемых элементов альтернативных источников электроэнергии, например, солнечных панелей, аккумуляторных батарей, блоков управления, коммутационных аппаратов и т. п.

Для альтернативных источников электроэнергии, как и в теории надёжности [9], возможно аналогичное определение интенсивности отказов. Она определяется как отношение числа отказов источников в единицу времени к среднему числу электрооборудования, исправно работающему в данный промежуток времени:

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N_{\text{ср}} \Delta t}, \quad (2)$$

где $N_{\text{ср}} = \frac{N_i + 1}{2}$ – среднее число элементов, исправно работающих в интервале t ;
 $N_i, N_i + 1$ – соответственно число элементов, исправно работающих в начале и в конце интервала времени t .

Выполнить расчёты показателей бесперебойности элементов альтернативного источника в целом возможно, если известна интенсивность отказов отдельных элементов.

Для оценки эксплуатационных характеристик электротехнического оборудования в системе электроснабжения предлагается ввести коэффициент готовности бесперебойного электроснабжения, так как электрооборудование подвергается переключениям через коммутационные аппара-

ты. Коэффициент готовности бесперебойного электроснабжения – это вероятность того, что система электроснабжения окажется в работоспособном состоянии в любой момент времени при переключениях.

Значение коэффициента готовности бесперебойного электроснабжения определится по формуле:

$$K_{\text{гбз}} = \frac{T}{T - T_{\text{в}}}, \quad (3)$$

где T – время отключения;

$T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления и замены.

Для электроустановок предпочтительно выполнение условия $T \leq T_{\text{в}}$, и восстановление или замена элементов начнётся сразу после возникновения отключения.

Коэффициент готовности бесперебойного электроснабжения может быть повышен за счёт уменьшения числа коротких замыканий, числа пробоев в изоляции и применением резервного источника питания. Коэффициент готовности бесперебойного электроснабжения характеризует одновременно ремонтпригодность и безотказность электрооборудования.

Длительность перерывов электроснабжения потребителей устанавливается, как было указано выше, в соответствии с требованиями ПУЭ. Однако в настоящее время ПУЭ носит рекомендательный характер и учитывает перерывы электроснабжения потребителей, питающихся от централизованной системы электроснабжения. Предлагаемые коэффициенты K_6 и $K_{\text{гбз}}$ позволят учитывать бесперебойность электроснабжения потребителей, питающихся как от централизованного электроснабжения, так и от альтернативных источников электроэнергии. Кроме того, для потребителей, питающихся от альтернативных источников небольшой мощности (до 15 кВт), и создания розничного рынка электроэнергии могут быть применены новые конструкции и технические решения [9–13] и установлены свои нормы перерывов в электроснабжении потребителей.

Общие требования к бесперебойности электроснабжения потребителей устанавливаются в зависимости от режимов работы, назначения элементов системы электроснабжения, числа отказов и других требований. Для определения показателя бесперебойности электроснабжения, включающего несколько элементов, составляется структурная схема системы электроснабжения. Причём при последовательном соединении элементов системы электроснабжения (рис. 1) отказ одного из элементов приводит к отказу всей системы.

При параллельном соединении отказ системы электроснабжения наступит после отказа всех элементов (рис. 2).

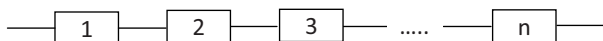


Рис. 1 – Последовательное соединение элементов системы электроснабжения



Рис. 2 – Параллельное соединение элементов системы электроснабжения

Повышение бесперебойности электроснабжения потребителей наиболее эффективно при параллельном соединении элементов системы электроснабжения потребителей. Повышение бесперебойности электроснабжения потребителей позволит получить экономический эффект за счёт уменьшения ущерба от перерывов в электроснабжении и уменьшить дополнительные затраты. Для повышения бесперебойности электроснабжения потребителей предпочтительно проводить организационно-технические и технические мероприятия.

Таким образом, предлагаемые показатели бесперебойности электроснабжения потребителей позволяют прогнозировать время и число отказов системы электроснабжения потребителей, получающих электропитание как от централизованной сети, так и от альтернативных источников электроэнергии. Применение предлагаемых показателей позволяет проводить организационно-технические и технические мероприятия для бесперебойного электроснабжения потребителей. При этом применение альтернативных источников электроэнергии в качестве дополнительного источника с целью снижения затрат на электроснабжение [14, 15] обеспечит бесперебойность электроснабжения потребителей в соответствии с требованиями нормативно-технической документации.

Литература

1. Чиндякин В.И., Соловьёв С.А., Петрова Г.В. Рекомендации и предложения по созданию устойчивых и экономически эффективных локальных систем электроснабжения сельских поселений от 100 до 500 дворов на основе комплексного использования альтернативных источников электроэнергии. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 222 с.
2. Соловьёв С.А., Петрова Г.В., Чиндякин В.И. Состояние и перспективы развития малой энергетики для сельских поселений Приволжского федерального округа // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2009. № 2 (22). С. 125–130.
3. Терминология при производстве и эксплуатации лёдогенераторов / В.И. Квашенников, А.П. Козловцев, В.А. Шахов [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. № 2. С. 30–31.
4. Правила устройства электроустановок. 6-е и 7-е изд. (все действующие разделы). М., 2019. 464 с.
5. ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». М.: Стандартинформ, 2014. 20 с.
6. Экспериментальное исследование бесперебойности электроснабжения сельских потребителей с применением альтернативных источников электроэнергии / В.И. Чиндякин, А.Ф. Абдюкаева, Е.Ф. Кислова [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (78). С. 154–159.
7. Межгосударственный стандарт ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения. Издание официальное. М.: Стандартинформ, 2016. 24 с.
8. Межгосударственный стандарт ГОСТ 27.003-2016. Надёжность в технике. Состав и общие правила задания требований по надёжности. Изд. офиц. М.: Стандартинформ, 2018. 20 с.
9. Пат. на изобретение RU № 2582386. Ветроэнергетическая установка / В.И. Чиндякин, А.А. Митрофанов; опубл. 27.04.2016.
10. Пат. на изобретение RU № 2585161. Погружная свободнопоточная микрогидроэлектростанция / В.И. Чиндякин, А.А. Попова; опубл. 27.05.2016.
11. Чиндякин В.И. Новые конструкции альтернативных источников электроэнергии для электроснабжения сельских потребителей // Актуальные проблемы энергетики АПК: матер. междунар. науч.-практич. конф. Саратов, 2017.
12. Чиндякин В.И. Электроснабжение потребителей сельскохозяйственного назначения с применением ВИЭ // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 5 (20). С. 35–40.
13. Чиндякин В.И., Гринько Д.В. Выбор оптимального решения для применения комбинированных установок на основе возобновляемых источников энергии // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (45). С. 40–43.
14. Шерьязов С.К. Возобновляемые источники в системе энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: монография. Челябинск: ЧГАУ, 2008. 300 с.
15. Цугленок Н.В., Шерьязов С.К., Бастрон А.В. Рациональное сочетание традиционных и возобновляемых источников энергоснабжения сельскохозяйственных потребителей: монография. Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2012. 322 с.