УДК 621.316.13

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-83-92

Л.П. Андрианова, В.Ю. Кабашов, Д.С. Хайрисламов

ИНДИКАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ SAIFI И SAIDI СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМИ СЕКЦИОНИРУЮЩИМИ РЕКЛОУЗЕРАМИ

Ключевые слова: *сельские электрические сети; надежность электроснабжения; кольцевой фидер; секционирование; интеллектуальные реклоузеры; индикативные показатели.*

Введение. Низкая надежность электроснабжения сельских потребителей, наличие участков, проходящих в лесистой местности, частые повреждения и длительное время их поиска в воздушных распределительных электрических сетях среднего класса напряжений (6, 10, 20, 35 кВ) [8, 9], обуславливают необходимость перехода к сетям нового технологического уклада с качественно новыми характеристиками надежности, эффективности, доступности и управляемости [1–3]. В соответствии с положением ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» программой инновационного развития электросетевого комплекса предусматривается внедрение в сетях среднего класса напряжений перспективных технологий на основе интеллектуальных коммутационных аппаратов – реклоузеров. Реклоузер – интеллектуальное устройство автоматического управления и защиты воздушных линий электропередач, выполненное на базе вакуумных выключателей [7].

Цель исследования – анализ методики количественной оценки показателей надежности сельских распределительных электрических сетей 6–35 кВ с секционирующими реклоузерами в соответствии с требованиями действующих законодательно-нормативных документов.

Методика проведения исследования. Повышение надежности электроснабжения сельских распределительных сетей 6–35 кВ, оснащенных секционирующими интеллектуальными реклоузерами, обеспечивается за счет [5, 6]: секционирования сети, что позволяет локализовать поврежденные участки, сохраняя при этом электроснабжение остальных потребителей питающего фидера и подавая питание на неповрежденный участок от резервного источника питания [15, 16]; сокращения времени обслуживания, ремонта, так как секционирование сети позволяет уменьшить время определения поврежденного участка фидера и его локализацию; наблюдаемости сети с помощью автоматизированных информационно-измерительных систем контроля качества и учета электроэнергии, мониторинга параметров ЛЭП, автоматизации

учёта отключений и формирования статистики повреждений и пр. [14]; управляемости сети путем управления отдельными коммутационными аппаратами и ведения режима сети дистанционно из SCADA системы и по месту [1, 12]. Реклоузеры могут устанавливаться на одной или двух опорах [5–7]. Общий вид реклоузера показан на рисунке 1. В состав реклоузера входят коммутационный модуль со встроенными датчиками тока, напряжения и шкафом управления, трехфазные разъединители, ограничители перенапряжений и изоляторы. Повышение надежности электроснабжения потребителей радиального и кольцевого фидера может быть обеспечено включением реклоузеров, как показано на рисунке 2. Реклоузер R2 устанавливается в точку нормального разрыва кольцевого фидера, обеспечивая функцию автоматического включения резерва [5–7, 17]. Для повышения уровня надежности ответственных потребителей количество и места установки реклоузеров рекомендуется выбирать так, чтобы ответственный потребитель был подключен к участку сети наименьшей протяженности (рисунок 3). На рисунке 4 показано место установки реклоузера R1 в случае необходимости подключения нового потребителя и (или) разграничения балансовой принадлежности [5, 6, 11]. Наличие реклоузера R1 в точке подключения нового потребителя или разграничения балансовой принадлежности не ухудшает надежность фидера в целом и обеспечивает сохранение текущих показателей надежности. Выбор оптимального количества реклоузеров осуществляется по показателям эффективности реконструкции сети RNRE и ARAE [3, 5, 6].

Результаты исследований. На рисунке 5 показана зависимость показателей RNRE и ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров для радиального фидера.

Показатель RNRE характеризует относительную эффективность реконструкции сети и показывает, насколько снижается среднее количество отключений потребителей в год после установки реклоузеров по сравнению с ситуацией до установки реклоузеров.

Рисунок 1

Общий вид реклоузера:

1 – коммутационный модуль со встроенными датчиками тока, напряжения и шкафом управления (1 шт.),
 2 – разъединитель 3-фазный (2 шт.) 3 – ограничитель перенапряжений (6 шт.), 4 – изолятор (6 шт.)

Рисунок 2

Установка реклоузеров: а – радиальный фидер; б – кольцевой фидер;
 В, В1, В2 – выключатели; R1, R2, R3 – реклоузеры

Рисунок 3

Установка реклоузеров R1, R2:

а – на радиальном фидере; б – на кольцевом фидере

Рисунок 4

Установка реклоузеров для подключения новых потребителей:

В – выключатель; R1 – реклоузер

Рисунок 5

Зависимость показателей RNRE и ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров для радиального фидера [5, рисунок 3.8]

Рисунок 6
Зависимость показателей RNRE ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров
кольцевого фидера [5, рисунок 3.9]

Показатель ARAE характеризует среднюю эффективность инвестиций и показывает, сколько инвестиций требуется вложить в реконструкцию сети при установке реклоузеров для увеличения показателя RNRE на 1 % [5, 13]. Из зависимости, приведенной на рисунке 5, следует, что средняя эффективность применения реклоузеров на радиальном фидере уменьшается, начиная с одного аппарата, и следовательно, оптимальным вариантом является установка 1–2 реклоузеров. На рисунке 6 показана зависимость показателей RNRE и ARAE от количества устанавливаемых реклоузеров для кольцевого фидера.

Анализ зависимостей, приведенных на рисунке 6, показывает, что средняя эффективность применения реклоузеров на фидере уменьшается, начиная с трёх аппаратов, и следовательно, оптимальным вариантом для кольцевого фидера является установка 3–4 реклоузеров. Из проведенного анализа следует, что эффективнее применять реклоузеры на кольцевых фидерах [5]. В соответствии с приказами Министерства энергетики РФ [2, 3] оценка уровня надежности и качества электроснабжения распределительной сети осуществляется по индикативным показателям надежности (*SAIFI* и *SAIDI*).

Показатель надежности *SAIFI* (*System Average Interruption Frequency Index* – средняя частота появления повреждений в системе) характеризует среднее количество отключений потребителей в год (откл./год) [3, 10]:

$$SAIFI = \sum (\omega_i \cdot N_i) / \sum N_i, \quad (1)$$

где ω_i – количество отключений потребителей i -го участка фидера, откл./год; N_i – количество потребителей i -го участка фидера, шт.; i – количество участков фидера, шт.,

$$\omega_i = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{н}}) \cdot L_i, \quad (2)$$

где ω_0 – удельная частота повреждений на 100 км линии, откл./год; $k_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий наличие многократных АПВ на устранение неустойчивых повреждений в сети: $k_{\text{н}} = 0$ при отсутствии АПВ; $k_{\text{н}} = 0,6$ при наличии однократного АПВ; $k_{\text{н}} = 0,8$ при наличии двукратного АПВ; L_i – суммарная длина участков фидера, при повреждении на которых происходит отключение потребителей i -го участка, км:

$$\omega_0 = n_{\text{откл}} \cdot 100 / L, \quad (3)$$

где $n_{\text{откл}}$ – количество отключений фидера в год, откл./год; L – длина линии, км.

Показатель надежности *SAIDI* (*System Average Interruption Duration Index* – средняя продолжительность отключения) характеризует в среднем продолжительность одного отключения в системе в год (ч/год) [3, 10]:

$$SAIDI = \sum (T_i \cdot N_i) / \sum N_i, \quad (4)$$

где T_i – время перерыва электроснабжения потребителей i -го участка фидера, ч/год,

$$T_i = \omega_i \cdot T \cdot k_{\text{вв}}, \quad (5)$$

где T – среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, ч; $k_{\text{вв}}$ – коэффициент, учитывающий влияние сокращения зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования на общее время восстановления электроснабжения, при наличии автоматических пунктов секционирования принимается равным $k_{\text{вв}} = 0,6$.

$$T = T_{\text{пер.}} \cdot n_{\text{откл.}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{пер.}}$ – общее время перерыва электроснабжения при аварийных отключениях фидера (ч/год); $n_{\text{откл.}}$ – количество аварийных отключений фидера, приводящих к перерыву электроснабжения (откл./год).

Выбор мест установки интеллектуальных реклоузеров осуществляется по критерию минимального значения показателя *SAIFI*. Мини-

мальное значение $SAIFI$ достигается при равенстве произведения количества потребителей (N) на протяжённость фидера (L) со всеми отпайками на каждом из участков сети [5].

$$N_i \cdot L_i \approx const, \quad (7)$$

где N_i – количество потребителей, подключённых к участку i ; L_i – суммарная протяжённость фидера с отпайками на участке i , км.

Методика определения уровня надёжности сети по индикативным показателям $SAIFI$ и $SAIDI$ до и после установки секционирующих пунктов – реклоузеров рассмотрена на примере кольцевого фидера. С целью повышения надёжности электроснабжения потребителей предусматривается установка секционирующих реклоузеров и организация двукратного автома-

тического повторного включения (АПВ) и защиты минимального напряжения (ЗМН) на головных выключателях кольцевого фидера [5, 6]. Схемы кольцевого фидера до и после установки реклоузеров приведены соответственно на рисунках 7 и 8.

В таблице 1 указаны длины участков фидера, номера и количество потребителей, получающих питание от подстанций 1 и 2. В таблице 2 приведены значения удельной частоты повреждений на 100 км линии в год, среднее время восстановления одного устойчивого повреждения и информация о наличии или отсутствии АПВ на головном выключателе участков фидера, необходимые для расчета индикативных показателей $SAIFI$ и $SAIDI$.

Рисунок 7

Схема кольцевого фидера до установки реклоузеров: № 1, № 4, № 5 – номера потребителей линии 1 от подстанции 1; № 2, № 3, № 6 – номера отпайки линии 2 от подстанции 2

Рисунок 8

Схема кольцевого фидера после установки реклоузеров: R1, R2, R3 – реклоузеры

Таблица 1 Длины участков, номера и число потребителей на участках

Номер участка, номер потребителя	Количество потребителей, N , шт.	Длина участка, км
1, № 4	$N_1 = 6$	$L_1 = 1,5 + 0,5 + 2,0 = 4$
2, № 1, № 5	$N_2 = 1 + 2 = 3$	$L_2 = 0,5 + 4,5 + 1,5 + 0,5 = 7$
3, № 2	$N_3 = 20$	$L_3 = 0,5$
4, № 3, № 6	$N_4 = 1 + 5 = 6$	$L_4 = 1,0 + 2,0 + 2,5 + 0,5 + 3,5 = 9,5$
	$N_{\Sigma} = 35$	$L_{\Sigma} = 20$

Таблица 2 Исходные данные для расчета

Фидер	Удельная частота повреждений на 100 км линии в год, откл.	Среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, ч	АПВ на головном выключателе
1 (участки 1, 2)	30	6	однократное
2 (участки 3, 4)	40	6	отсутствует

Для расчета показателей надежности *SAIFI* и *SAIDI* кольцевой фидер разбит на участки 1–4, как показано на рисунке 9. Расчет показателя *SAIFI* на участках 1, 2 фидера до установки реклоузеров проводится по формуле (откл./год):

$$\omega_i = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нв}}) \cdot (L_1 + L_2), \quad (8)$$

где $\omega_{1(2)}$ – количество отключений потребителей 1 и 2 участков (откл./год); ω_0 – удельная частота повреждений на 100 км линии в год, $\omega_0 = 30$; $k_{\text{нв}}$ – коэффициент, учитывающий наличие АПВ на головном выключателе, о.е., $k_{\text{нв}} = 0,6$, т. к. на головном выключателе имеется однократное АПВ и по статистике снижающее количество отключений потребителей при неустойчивых повреждениях на 60 % [5, 6]; L_1, L_2 – длина первого и второго участков, км,

$$\omega_{1(2)} = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0,6) \cdot (1,5 + 0,5 + 2,0 + 0,5 + 4,5 + 0,5 + 1,5) = 1,3 \text{ (откл./год)}.$$

Расчет показателя *SAIFI* – количества отключений потребителей на участках 3 и 4 проводится по формуле (откл./год):

$$\omega_{3(4)} = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{\text{нв}}) \cdot (L_3 + L_4), \quad (9)$$

где $\omega_{3(4)}$ – количество отключений потребителей 3 и 4 участков (откл./год); ω_0 – удельная частота повреждений на 100 км линии в год, $\omega_0 = 40$; $k_{\text{нв}}$ – коэффициент, учитывающий наличие АПВ на головном выключателе, о.е., $k_{\text{нв}} = 0$, т. к. на головном выключателе отсутствует АПВ; L_3, L_4 – длина 3 и 4 участков, км;

$$\omega_{3(4)} = 0,01 \cdot 40 \cdot (1 - 0) \cdot (0,5 + 1,0 + 2,0 + 2,5 + 0,5 + 3,5) \approx 4,0 \text{ (откл./год)}.$$

Рисунок 9
Схема кольцевого фидера с разделением на участки

Результирующий показатель *SAIFI* $\sum 1$ (откл./год) до установки реклоузеров согласно (1):

$$SAIFI \sum 1 = \sum (\omega_i \cdot N_i) / \sum N_i = 3,3 \text{ (откл./год)};$$

$$\sum (\omega_i \cdot N_i) = (\omega_1 \cdot N_1 + \omega_2 \cdot N_2 + \omega_3 \cdot N_3 + \omega_4 \cdot N_4) = 115,7 \text{ (откл./год)};$$

$$\sum N_i = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) = 35,$$

где ω_i – количество отключений потребителей i -го участка (откл./год); N_i – количество потребителей на i -м участке; N_1, N_2, N_3, N_4 – число потребителей на 1–4 участках соответственно.

Расчет времени перерыва электроснабжения (показатель *SAIDI*) потребителей на участках 1,

2, 3, 4 до установки реклоузеров согласно (5) (ч/год):

$$T_i = \omega_i \cdot T_{cp} \cdot k_{bb},$$

где ω_i – количество отключений потребителей на i -м участке; T_{cp} – среднее время восстановления одного устойчивого повреждения, $T_{cp} = 6$ ч; k_{bb} – коэффициент, учитывающий наличие или отсутствие секционирования, при отсутствии секционирования $k_{bb} = 1,0$;

$$T_{1(2)} = 1,3 \cdot 6 \cdot 1 = 7,8 \text{ ч/год};$$

$$T_{3(4)} = 4 \cdot 6 \cdot 1 = 24 \text{ ч/год}.$$

Результирующий показатель $SAIDI \sum 1$ (ч/год) согласно (4) до установки реклоузеров:

$$SAIDI \sum 1 = \sum (T_i \cdot N_i) / \sum N_i = 19,8 \text{ (ч/год)};$$

$$\sum (T_i \cdot N_i) = (T_1 \cdot N_1 + T_2 \cdot N_2 + T_3 \cdot N_3 + T_4 \cdot N_4) = 694,2 \text{ (ч/год)};$$

$$\sum N_i = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) = 35.$$

Расчет количества отключений потребителей фидера (откл./год) согласно (2) после установки реклоузеров:

– участок 1:

$$\omega_1 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{ny}) \cdot L_1,$$

$$\omega_1 = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0,8) \cdot$$

$$\cdot (1,5 + 0,5 + 2,0) = 0,23 \text{ (откл./год)}.$$

Коэффициент k_{ny} принимается равным 0,8, т. к. на головном выключателе и реклоузерах имеется двукратное АПВ и, по статистике, снижающее количество отключений потребителей при неустойчивых повреждениях на 80 % [4].

– участок 2:

$$\omega_2 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{ny}) \cdot L_2,$$

$$\omega_2 = 0,01 \cdot 30 \cdot (1 - 0,8) \cdot$$

$$\cdot (0,5 + 4,5 + 0,5 + 1,5) = 0,43 \text{ (откл./год)};$$

– участок 3:

$$\omega_3 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{ny}) \cdot L_3,$$

$$\omega_3 = 0,01 \cdot 40 \cdot (1 - 0,8) \cdot 0,5 = 0,04 \text{ (откл./год)};$$

– участок 4:

$$\omega_4 = 0,01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_{ny}) \cdot L_4,$$

$$\omega_4 = 0,01 \cdot 40 \cdot (1 - 0,8) \cdot (1,0 + 2,0 +$$

$$+ 2,5 + 0,5 + 3,5) = 0,7 \text{ (откл./год)}.$$

Результирующий показатель $SAIFI \sum 2$ после установки реклоузеров:

$$SAIFI \sum 2 = \sum (\omega_i \cdot N_i) / \sum N_i = 0,21 \text{ (откл./год)};$$

$$\sum (\omega_i \cdot N_i) = (0,23 \cdot 6 + 0,43 \cdot (1 + 2) + 0,04 \cdot 20 + 0,7 \cdot (5 + 1)) = 7,67 \text{ (откл./год)};$$

$$\sum N_i = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) = 35.$$

Показатель $SAIDI$ после установки реклоузеров определяется согласно (4) с коэффициентом $k_{bb} = 0,6$, учитывающим сокращение зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования:

$$\text{– участок 1: } T_1 = 0,23 \cdot 6 \cdot 0,6 = 0,8 \text{ (ч/год)};$$

$$\text{– участок 2: } T_2 = 0,43 \cdot 6 \cdot 0,6 = 1,5 \text{ (ч/год)};$$

$$\text{– участок 3: } T_3 = 0,04 \cdot 6 \cdot 0,6 = 0,14 \text{ (ч/год)};$$

$$\text{– участок 4: } T_4 = 0,7 \cdot 6 \cdot 0,6 = 2,5 \text{ (ч/год)}.$$

Результирующий показатель $SAIDI \sum 2$ (ч/год), согласно (4) после установки реклоузеров:

$$SAIDI \sum 2 = \sum (T_i \cdot N_i) / \sum N_i = 0,75 \text{ (ч/год)};$$

$$\sum (T_i \cdot N_i) = (0,8 \cdot 6 + 1,5 \cdot (1 + 2) +$$

$$+ 0,1 \cdot 20 + 2,5 \cdot (5 + 1)) = 26,3 \text{ (ч/год)};$$

$$\sum N_i = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) = 35.$$

Расчетные значения показателей надежности $SAIFI$ и $SAIDI$ на участках кольцевого фидера до и после установки реклоузеров приведены в таблице 3. Значения результирующих показателей надежности $SAIFI$ и $SAIDI$ фидера до и после установки реклоузеров приведены в таблице 4. Как видно из таблицы 3, количество и длительность отключений на всех участках кольцевого фидера снижается после установки реклоузеров R1, R2, R3. Значительное снижение этих показателей соответственно в 100 и 171 раз наблюдается на участке 3, от которого получают питание 20 потребителей, т. к. на этом участке, кроме секционирующего реклоузера R1, установлен также реклоузер R2, выполняющий функции автоматического включения резерва. Расчетные значения результирующих индикативных показателей $SAIFI$ и $SAIDI$ в кольцевом фидере заданной конфигурации значительно ниже после установки реклоузеров. Повышенный уровень надежности потребителей фидера обусловлен снижением количества и длительности перерывов электроснабжения за год в 15 и 26 раз соответственно.

Таблица 3 Количество и длительность отключений на участках фидера до и после установки реклоузеров

Показатель $SAIFI$ – количество отключений на участках фидера, ω_i , откл./год			Показатель $SAIDI$ – длительность отключений на участках фидера, T_i , ч/год		
до установки реклоузера	после установки реклоузера	снижение показателя $SAIFI$, раз	до установки реклоузера	после установки реклоузера	снижение показателя $SAIDI$, раз
$\omega_1 = 1,3$	$\omega_1 = 0,23$	5,65	$T_1 = 7,8$	$T_1 = 0,8$	9,75
$\omega_2 = 1,3$	$\omega_2 = 0,43$	3,02	$T_2 = 7,8$	$T_2 = 1,5$	5,2
$\omega_3 = 4,0$	$\omega_3 = 0,04$	100	$T_3 = 24$	$T_3 = 0,14$	171
$\omega_4 = 4,0$	$\omega_4 = 0,7$	5,7	$T_4 = 24$	$T_4 = 2,5$	9,6

Таблица 4 Сравнительный анализ показателей *SAIFI* и *SAIDI* до и после установки реклоузеров

Результирующие показатели <i>SAIFI</i> (количество отключений потребителей), откл./год			Результирующие показатели <i>SAIDI</i> (длительность отключений потребителей), ч/год		
до установки реклоузера	после установки реклоузера	уменьшение показателя <i>SAIFI</i> , раз	до установки реклоузера	после установки реклоузера	уменьшение показателя <i>SAIDI</i> , раз
115,7	7,67	≈ 15	694,2	26,3	≈ 26

Выводы. Применение в сельских распределительных сетях 6–35 кВ интеллектуальных секционирующих устройств – реклоузеров направлено на обеспечение децентрализованной автоматизации и управляемости сети, повышение надежности и качества энергоснабжения без проведения традиционной реконструкции фидеров. Секционирующие устройства – реклоузеры целесообразно использовать в сети для организации АВР и АПВ, защиты минимального

напряжения, максимальной токовой защиты, защиты от однофазных замыканий на землю, подключения новых потребителей. Оценка уровня надежности и качества электроснабжения распределительной сети осуществляется по индикативным показателям *SAIFI* и *SAIDI*, характеризующим соответственно количество и длительность отключений в сети за рассматриваемый период.

Библиографический список

1. О единой технической политике в электросетевом комплексе [Текст]: Положение ПАО «Россети», утв. Советом директоров ПАО «Россети». Протокол от 22.02.2017 № 252. Москва, 2017. 196 с.
2. Об утверждении методических указаний по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций [Электронный ресурс] / Приказ Министерства энергетики РФ от 29 ноября 2016 г. № 1256. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71478114/>, дата обращения 10.12.2018.
3. О внесении изменений в методические указания по расчету уровня надежности и качества поставляемых товаров и оказываемых услуг для организации по управлению единой национальной (общероссийской) электрической сетью и территориальных сетевых организаций, утвержденные приказом Минэнерго России от 29 ноября 2016 г. № 1256 [Электронный ресурс]: приказ Министерства энергетики РФ от 21.06.2017 г. № 544. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71625358/>, дата обращения 10.12.2018.
4. Правила устройства электроустановок [Электронный ресурс] / ПУЭ, шестое и седьмое издания (все действующие разделы). Режим доступа: <https://docplan.ru/Data2/1/4294853/4294853915.pdf>, дата обращения 10.12.2018.
5. Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ – секционирующие пункты (реклоузеры) [Текст]. Том 1.1 Общие данные: СТО 34.01-2.2-032-2017, введ. 14.11.2017 // Сборник типовых технических решений ПАО «Россети», 2017. 24 с.
6. Линейное коммутационное оборудование 6–35 кВ – секционирующие пункты (реклоузеры). Том 1.2 Секционирующие пункты (реклоузеры) [Текст] // Сборник типовых технических решений ПАО «Россети». Книга 1.2.1 Реклоузеры АО «ГК «Таврида Электрик». Книга 1.2.2 Секционирующие пункты ЗАО «ГК «Электроцит» ТМ Самара»: СТО 34.01-2.2-033-2017. Россети, 2017. 24 с.
7. Реклоузеры 6–35 кВ. Общие технические требования: СТО 34.01-3.2-004-2016 [Текст] // Сборник типовых технических решений. Россети, 2016. 24 с.
8. Information and Computer Complex for Identification of Single-Phase Earth Faults in Electric Networks of 6–10 kV. Lyudmila P. Andrianova, Eduard R. Bayburin, Ildar I. Gabitov et al. J. of Engineering and Applied Sciences. 2018. Volume 13. Issue: 9 SI. Page 7141–7149.
9. 6–10 kV Overhead Power Lines Efficiency Research under the Influence of Wind and Ice Loads. Vladimir Yu. Kabashov, Lyudmila P. Andrianova, Ildar I. Gabitov et al. J. of Engineering and Applied Sciences. 2018. Volume 13. Issue 10 SI. Page No. 8346–8352.
10. Андрианова, Л.П. Оценка уровня надежности в сельской распределительной сети с интеллектуальными реклоузерами по индикативным показателям *SAIFI* и *SAIDI* [Текст] / Л.П. Андрианова, В.Ю. Кабашов, Д.С. Хай-

рисламов // Тенденции развития науки и образования. Декабрь 2018. № 45. Часть 8. Самара: Л-Журнал, 2018. С. 13–19.

11. Васильева, Т.Н. Выбор оптимального места расположения секционирующего реклоузера на радиальных линиях электропередач [Текст] / Т.Н. Васильева // Научное сопровождение инновационного развития агропромышленного комплекса: теория, практика, перспективы: материалы 65-й Межд. науч.-практ. конф. 20–21 мая 2014 г. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический факультет, 2014. Ч. 2. 237 с.

12. Воротницкий, В.Э. Надежность распределительных электрических сетей 6(10) кВ – автоматизация с применением реклоузеров [Текст] / В.Э. Воротницкий, В.В. Воротницкий // Новости электротехники. 2002. № 5. С. 22–25.

13. Гришин, Д.А. Экономическая эффективность применения вакуумных реклоузеров серии РВА/TEL [Текст] / Д.А. Гришин, Т.М. Василькова // Труды Костромской государственной сельскохозяйственной академии. Караваево: Костромская ГСХА, 2016. С. 141–147.

14. Долецкая, Л.И. Оценка эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей [Электронный ресурс] / Л.И. Долецкая, В.П. Кавченков, Р.В. Солопов // Наукоедение. Том 7, № 6 (2015). Режим

доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/98TVN615.pdf> (доступ свободный). Загр. с экрана.

15. Куценко, Г.Ф. Повышение надежности электроснабжения потребителей АПК при использовании пунктов автоматического резервирования [Электронный ресурс] / Г.Ф. Куценко, А.Г. Ус, А.А. Парфенов // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/povyshenie-nadezhnosti-elektro-snabzheniya-potrebitelley-apk>, дата обращения 01.02.2019.

16. Куценко, Г.Ф. Расчет количества отключений потребителя АПК при наличии пунктов автоматического секционирования [Электронный ресурс] / Г.Ф. Куценко О.Ю. Пухальская, О.С. Шведова // Вестник Гомельского государственного технического университета им. П.О. Сухого. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/raschet-kolichestva-otklyucheniyy-potrebitelya-apk-pri-nalichii-punktov-avtomaticheskogo-seksionirovaniya>, дата обращения 01.02.2019.

17. Сазыкин, В.Г. Критерии оптимизации места установки реклоузера в распределительной сети 6–10 кВ [Текст] / В.Г. Сазыкин, А.Г. Кудряков, А.А. Багметов // Электротехнические системы и комплексы. 2018. № 1 (38). С. 33–39.

Сведения об авторах

1. **Андреанова Людмила Прокопьевна**, доктор технических наук, профессор кафедры электроснабжения и применения электрической энергии в сельском хозяйстве, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: alp3003@yandex.ru.

2. **Кабашов Владимир Юрьевич**, доктор технических наук, доцент кафедры безопасности и жизнедеятельности, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: kabashov@bk.ru.

3. **Хайрисламов Данил Сулейманович**, аспирант кафедры электроснабжения и применения электрической энергии в сельском хозяйстве, ФГБОУ ВО Башкирский ГАУ, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: hairislamow2014@yandex.ru.

Изложены принципы повышения уровня надежности сельских распределительных сетей 6–35 кВ на базе интеллектуальных коммутационных аппаратов – реклоузеров со специализированными интегрированными контроллерами. Показаны типовые места установки реклоузера для радиального и кольцевого фидеров при подключении нового потребителя и разграничения балансовой принадлежности, а также при выделении ответственного потребителя с указанием особенностей схем подключения. Обоснован выбор оптимального количества реклоузеров для радиального и кольцевого фидера по инди-

кативным показателям RNRE и ARAE, характеризующим соответственно относительную эффективность реконструкции сети за счет уменьшения количества отключений потребителей в год и среднюю эффективность инвестиций в реконструкцию сети при установке реклоузеров. Приведена методика определения индикативных показателей надежности SAIFI и SAIDI, характеризующих в электрической сети соответственно среднее годовое количество отключений потребителей и среднюю годовую продолжительность одного отключения.

L. Andrianova, V. Kabashov, D. Khairislamov

SAIFI AND SAIDI INDICATIVE RELIABILITY FIGURES OF RURAL ELECTRIC NETWORKS WITH SMART ISLAND RECLOSERS

Key words: rural electric networks; reliability of power supply; ring feeder; islanding; smart reclosers; indicative figures.

Authors' personal details

1. **Andrianova Lyudmila**, Doctor of technical sciences, professor of the department of Power Supply and Use of Electric Energy in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: alp3003@yandex.ru.

2. **Kabashov Vladimir**, Doctor of technical sciences, associate professor of the department of Life and Processing Equipment Safety, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: kabashov@bk.ru.

3. **Khairislamov Danil**, Post-graduate student of the department of Power Supply and Use of Electric Energy in Agriculture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bashkir State Agrarian University», Ufa, 50-letia Octiabria St., 34, e-mail: hairislamow2014@yandex.ru.

The paper describes principles of improving the reliability of rural distribution networks of 6–35 kV based on smart switching devices, reclosers with specialized integrated controllers. The typical places to install reclosers for the radial and ring feeders are shown. They are mounted when a new consumer is connected and balance membership is delimited. It is also done to identify a responsible consumer with an indicated connection diagrams. The choice of the optimal number of reclosers for the radial and ring feeders according to indicative

figures RNRE and ARAE, characterizing the relative efficiency of network reconstruction by reducing the number of consumer outages per year, and the average investment efficiency in network reconstruction when installing reclosers, is justified. There is presented a method to find SAIFI and SAIDI indicative reliability figures that characterize the average annual number of customer disconnections and the average annual duration of one disconnection in the electrical network.

© Андрианова Л.П., Кабашов В.Ю., Хайрисламов Д.С.

УДК 631.363

DOI: 10.31563/1684-7628-2019-51-3-92-99

М.В. Борисова, А.Ю. Титов, В.В. Новиков, В.В. Коновалов

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОЗДЕЙСТВИЙ ЛОПАСТЕЙ ТИХОХОДНОГО СМЕСИТЕЛЯ НА КАЧЕСТВО ПРИГОТАВЛИВАЕМОЙ СМЕСИ

Ключевые слова: смеситель; смешивание; качество смеси; частота вращения; лопасть; винтообразная форма; количество воздействий.

Введение. Для нормального функционирования организма животных и обеспечения их необходимой энергией очень важно вносить в корма зерновые культуры. Из-за низкого качества и недостаточного количества комбикормов генетический потенциал животных реализуется лишь наполовину. Другой важной задачей является снижение энергозатрат на приготовление смеси [1]. Приготовление кормовых смесей осу-

ществляется смесителями разнообразной конструкции, а также шнековыми устройствами и экструдерами [5, 6]. Большее распространение получили горизонтальные смесители с рабочим органом в виде лопастной мешалки, установленной на валу. Конструкция подобных мешалок не всегда удачна, вследствие чего ими потребляется существенное количество энергии. Поэтому совершенствование конструкции лопаст-