УДК 621.316.1.05:621.311-22

СОКРАЩЕНИЕ НЕДООТПУСКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗА СЧЁТ ПРИМЕНЕНИЯ РЕКЛОУЗЕРОВ В СЕЛЬСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ

Семикин С.Д., Белов С.И.

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Аннотация. *Повышение надежности сетей сельскохозяйственного назначения является актуальной задачей, для решения которой целесообразно использовать устройства, позволяющие автоматизировать процесс управления электрической сетью. Примерно 60% времени восстановления электроснабжения тратится на поиск поврежденного участка и восстановление питания потребителей, подключенных к неповрежденным участкам цепи, а 40% на поиск места повреждения и проведения ремонтно-восстановительных работ. (Цель исследования) Определить экономическую эффективность от установки реклоузеров в электрических сетях 10 кВ. (Материалы и методы) В качестве примера был рассмотрен фидер до и после установки секционирующих выключателей. Рассчитали критерии оптимизации для каждого варианта: годовой недоотпуск электроэнергии; количество и продолжительность отключений потребителя. (Результаты и обсуждение) Произвели необходимые расчеты вариантов, проанализировали полученные результаты (Выводы) Установили, что за счет установки реклоузеров наблюдается снижение количества и продолжительности отключений, и уменьшение годового недоотпуска электроэнергии в сети на 52%.*

Ключевые слова: *реклоузер, оптимизация, экономический эффект, надежность, годовой недоотпуск электроэнергии.*

Введение. Специфика сельскохозяйственных сетей состоит в том, что они размещены на огромной территории общей протяженностью более 947 тыс.км. Их разветвленность существенно сказывается на бесперебойности доставки электроэнергии и ее качестве. Примерно 70% всех нарушений электроснабжения сельскохозяйственных потребителей происходит в воздушных линиях 6-10 кВ [4]. Применение реклоузеров в электрических сетях 6-10 кВ зарекомендовало себя как более эффективный метод повышения надежности электроснабжения и технически, и экономически [3,8].

Материалы и методы исследования. При разработке и проектировании сельскохозяйственных электрических сетей в вопросах определения оптимального места расположения реклоузеров требуются сложные алгоритмы [3]. В радиальных электрических сетях 6-10 кВ достаточно сконцентрироваться на объеме суммарного годового недоотпуска электроэнергии (ГНЭ), на который влияет ряд факторов, каждый из которых также служит показателем надежности: количество и продолжительность отключений потребителя или группы электроприемников (ЭП) [7].

Уменьшение ГНЭ является важной задачей для разветвленных сетей сельскохозяйственного назначения.

Показатель ГНЭ $\Delta W_{НЭ}$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta W_{НЭ} = 0{,}01 \cdot \omega_0 \cdot T \cdot L \cdot P_P \quad (1)$$

$$P_P = S_{ном} \cdot \cos\varphi \cdot k_з \quad (2)$$

где $\Delta W_{НЭ}$ – ГНЭ, кВт·ч/год; ω_0 – удельная частота повреждений ВЛ 6-10 кВ, единиц на 100 км в год; T- средняя продолжительность восстановления одного устойчивого повреждения, ч; L – длина участка линии, км; $P_р$ – активная расчетная мощность нагрузки, кВт; $S_{ном}$ – полная номинальная мощность нагрузки, кВ·А; cosφ – коэффициент мощности; $k_з$ – коэффициент загрузки.

Такие показатели как поток отказов ω и продолжительность отключения T потребителя, являются критериями для адресного повышения надежности [2]. Уменьшение данных показателей приводит к уменьшению времени отключения потребителей, оказывающих влияние на недоотпуск электроэнергии.

Поток отказов рассчитывается по формуле:

$$\omega = 0{,}01 \cdot \omega_0 \cdot L \quad (3)$$

где ω – количество отключений потребителя в год, 1/год;

Продолжительность отключения рассчитывается по формуле:

$$T = \omega \cdot T_0 \quad (4)$$

где T_0 – продолжительность отключения потребителя в год, ч/год

При расчете линии электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения около 80% повреждений ВЛ являются самовосстанавливающимися, что говорит о целесообразном применении АПВ [6]. Успешность первого срабатывания АПВ в таких линия равна 60% [6]. Для дальнейших расчетов линий с АПВ, вводится коэффициент $k_у$, учитывающий влияние децентрализованной системы секционирования на число аварийных отключений. Следовательно, формулы примут вид:

$$\Delta W_{НЭ} = 0{,}01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_y) \cdot T \cdot L \cdot P_P \quad (5)$$

$$\omega_n = 0{,}01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_y) \cdot L \quad (6)$$

$$T_n = \omega \cdot T_0 \quad (7)$$

Значения коэффициента следует принимать следующие:

- $k_у$ = 0 – без реклоузеров или там, где планируется их установка, а также если количество АПВ на реклоузерах равно количеству циклов АПВ на головном выключателе на центральной подстанции [7];

- $k_у$ = 0,2 – при наличии двухкратного АПВ реклоузера и однократного АПВ на головном выключателе (или его ручном включении) [7];

- $k_у$ = 0,25 – при наличии трехкратного АПВ реклоузера [7].

Следующим необходимым показателем является продолжительность восстановления электроснабжения [7]. Этот показатель отвечает за время, затрачиваемое на нахождение повреждения участка и ремонт в месте повреждения. Поэтому для расчетов вводят ещё один необходимый коэффициент $k_{вэ}$ учитывающий влияние децентрализованной системы секционирования на общую продолжительность возобновления электроснабжения. В расчетах значение $k_{вэ}$ принимается 0,6.

С учетом этого коэффициента формулы примут вид:

$$\Delta W_{НЭ} = 0{,}01 \cdot \omega_0 \cdot \left(1 - k_y\right) \cdot T \cdot L \cdot P_P \cdot k_{вэ} \quad (7)$$

$$\omega_n = 0{,}01 \cdot \omega_0 \cdot (1 - k_y) \cdot L \quad (8)$$

$$T_n = \omega \cdot T_0 \cdot k_{вэ} \quad (9)$$

Для более детального анализа производится расчет индекса средней продолжительности отключений – SAIDI. Это показатель, характеризующий среднюю продолжительность прекращения передачи электроэнергии потребителей, или другими

словами, среднее время отключения одного потребителя в системе [2]. Вычисляется по формуле:

$$SAIDI = \frac{\sum_i^I T_i \cdot N_i}{N_t} \quad (10)$$

где T_i – продолжительность i-го прекращения передачи электроэнергии, час;

N_i – количество потребителей на участке, у которых произошло i-е прекращение передачи электроэнергии;

N_t – общее количество потребителей на фидере.

Расчет показателей производится для двух вариантов схемы фидера.

1. Схема, в которой на магистрали и отпайках установлены разъединители и головной выключатель имеет однократное АПВ (исходный вариант). Примем к расчету следующие исходные данные:

- Схема фидера до установки реклоузеров (рисунок 1):
- фидер разделен на 3 участка;
- коэффициенты нагрузки ТП: cosφ = 0,85; $k_з$ = 0,735;
- удельная частота повреждений: ω_0 = 30 откл/год;
- продолжительность восстановления электроснабжения: T = 5ч;
- протяженность фидера по магистрали: $L_{маг}$ = 8,8 км;
- длины каждого ответвления: L_1 = 9,4 км; L_2 = 4,2 км; L_3 = 6,7 км;
- мощность каждого потребителя (таблица 1).

Таблица 1 - Мощность потребителей

№ ТП	**Полная мощность S, кВА**	**Активная расчетная мощность нагрузки Pp, кВт**
1.	68	42,48
2.	58	36,24
3.	35	21,87
4.	162	101,21
5.	23	14,37
6.	94	58,73
7.	78	48,73
8.	136	84,97
9.	26	16,24
10.	46	28,74
11.	196	122,45
12.	32	20,00
13.	149	93,09
14.	96	59,98

Расчет: Рассчитаем показатели надежности на фидере 10 кВ до установки реклоузеров (рисунок 1).

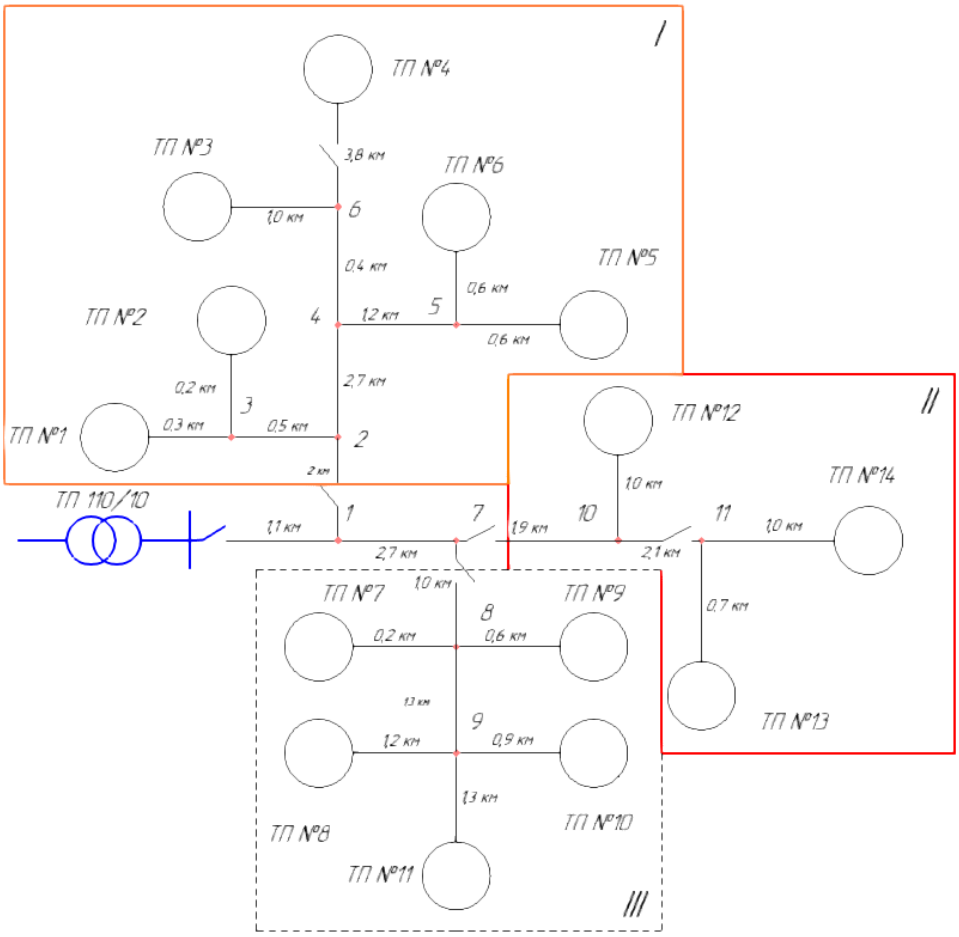

Рисунок 1. Схема фидера 10 кВ до установки реклоузеров

Расчет производится по формулам (7), (8), (9), (10) для каждого участка. Результат сведен в таблицу 2.

Таблица 2 - Показатели надежности 1 варианта схемы

Участок сети	**Количество отключений потребителей ωп, год-1**	**Продолжительность отключения потребителя Тп, ч/год**	**Показатель SAIDI, ч/год**	**Годовой недоотпуск ΔWНЭ, кВт·ч/год**	**Суммарный годовой недоотпуск ΔWНЭ, кВт·ч/год**
1	3,15	15,75	14,3	5442,82	12008
2	2,94	14,7		2725,63	
3	2,22	11,1		3839,4	

2. Схема, в которой установлены реклоузеры и организовано двукратное АПВ на них и головном выключателе.

Расчет: Рассчитаем показатели надежности на фидере 10 кВ после установки реклоузеров (рисунок 2).

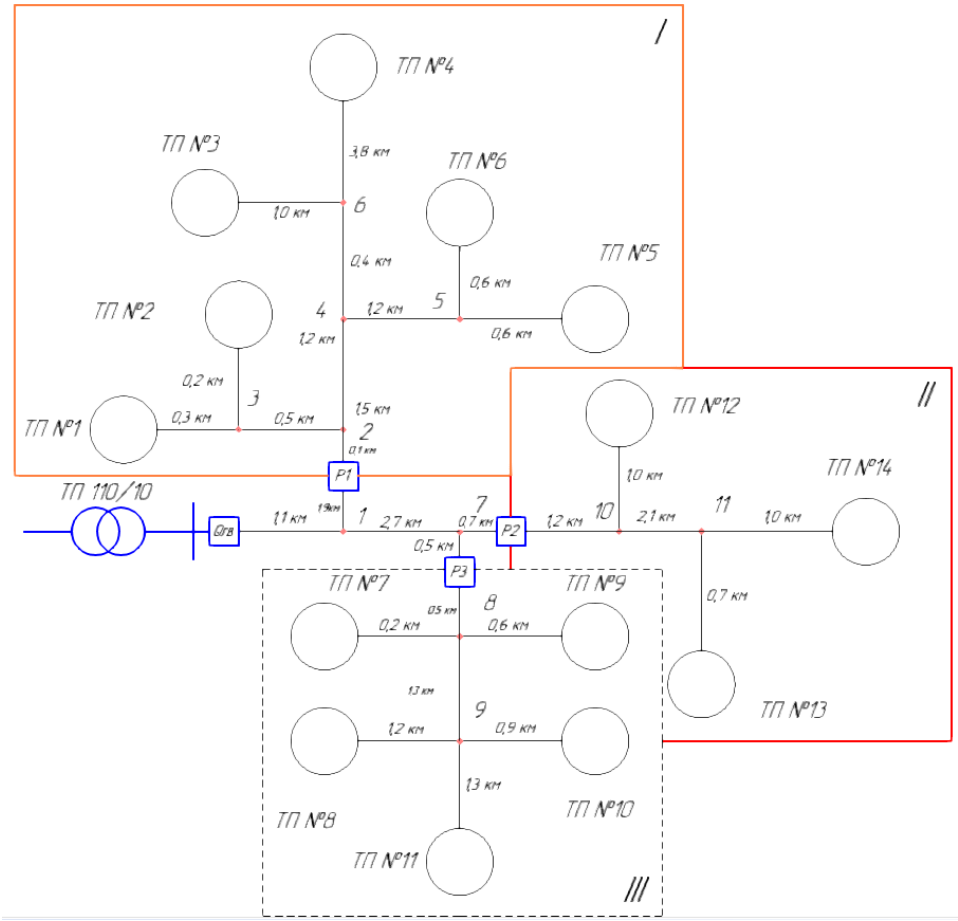

Рисунок 2 - Схема фидера 10 кВ после установки реклоузеров

После установки реклоузеров в расчетных формулах (7), (8), (9) значения коэффициентов $k_{вэ}$ и $k_у$, принимается 0,6 и 0,2 соответственно. Коэффициент $k_{вэ}$ принимается равным 0,6 в связи с сокращением зоны поиска поврежденного участка за счет секционирования; Коэффициент $k_у$ принимается равным 0,2, т.к. имеется двухкратное АПВ реклоузера и однократное АПВ на головном выключателе (или его ручном включении). Результат расчета сведен в таблицу 3.

Таблица 3 - Показатели надежности 2 варианта схемы

Участок сети	**Количество отключений потребителей $\omega_п$, год$^{-1}$**	**Продолжительность отключения потребителя $T_п$, ч/год**	**Показатель SAIDI, ч/год**	**Годовой недоотпуск $\Delta W_{НЭ}$, кВт·ч/год**	**Суммарный годовой недоотпуск $\Delta W_{НЭ}$, кВт·ч/год**
1	0,72	2,16	2,8	2612,55	5763,77
2	1,032	3,096		1308,3	
3	1,2	3,6		1843	

Результаты и их анализ. Для сравнительной оценки эффективности установки реклоузеров произведем относительное процентное значение параметров $\Delta W_{отн}$, $\Delta\omega_{отн}$, $\Delta T_{отн}$ по формулам:

$$\Delta W_{отн} = \frac{\Delta W_I - \Delta W_{II}}{\Delta W_{II}} \cdot 100\% \quad (11)$$

где ΔW_I – суммарный ГНЭ первого варианта схемы, кВт·ч/год; ΔW_{II}– суммарный ГНЭ второго варианта схемы, кВт·ч/год.

$$\Delta\omega_{отн(i)} = \frac{\Delta\omega_{I(i)} - \Delta\omega_{II(i)}}{\Delta\omega_{II(i)}} \cdot 100\% \quad (12)$$

где $\Delta\omega_I$ – количество отключений потребителя в год первого варианта схемы, откл/год; $\Delta\omega_{II}$ – количество отключений потребителя в год второго варианта схемы, откл/год; i – номер участка.

$$\Delta T_{отн(i)} = \frac{\Delta T_{I(i)} - \Delta T_{II(i)}}{\Delta T_{I(i)}} \cdot 100\% \quad (13)$$

где ΔT_I – продолжительность отключений потребителя в год первого варианта схемы, ч/год; ΔT_{II} – продолжительность отключений потребителя в год второго варианта схемы, ч/год; i – номер участка.

Результаты расчета двух вариантов схем сведен в таблицу 4.

Таблица 4 - Результаты расчета эффективности установки реклоузера

Вариант схемы	**Участок сети**	**Годовой недоотпуск ΔWНЭ, кВт·ч/год**	**ΔWотн, %**	**Количество отключений потребителей ωп, год-1**	**ωп отн, %**	**Продолжительность отключения потребителя Тп, ч/год**	**Тп отн, %**
Схема до установки секционирующих реклоузеров	1	12008	-	3,15	-	15,75	-
	2			2,94	-	14,7	-
	3			2,22	-	11,1	-
Схема после секционирующих установки реклоузеров	1	5763,77	52	0,72	77	2,16	86
	2			1,032	65	3,096	78,8
	3			1,2	46	3,6	67,5

Для наглядного представления результаты приведены на рисунки 3,4,5.

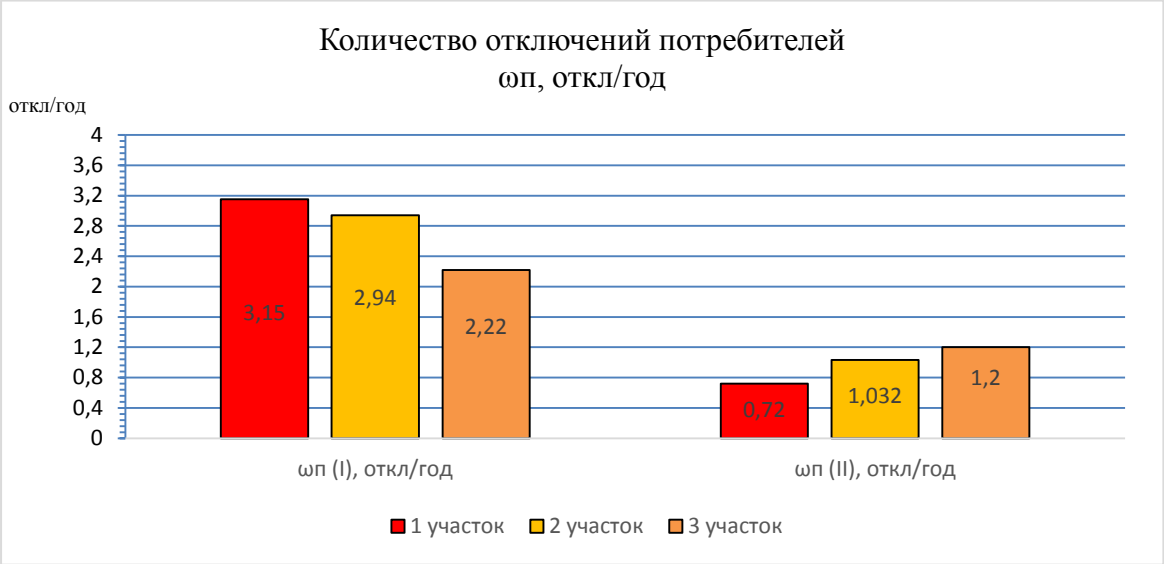

Рисунок 3 - Количество отключений потребителей

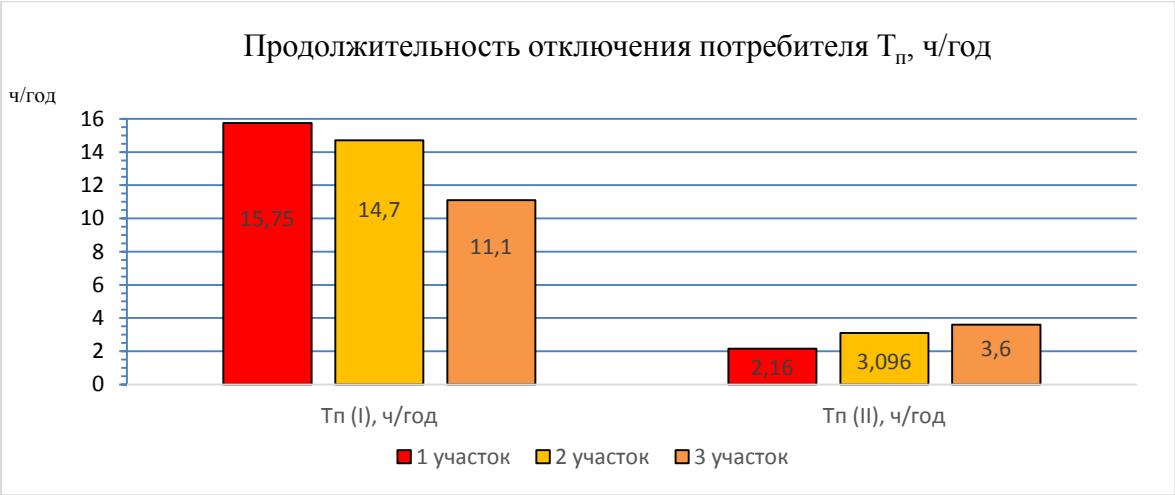

Рисунок 4 - Продолжительность отключения потребителей

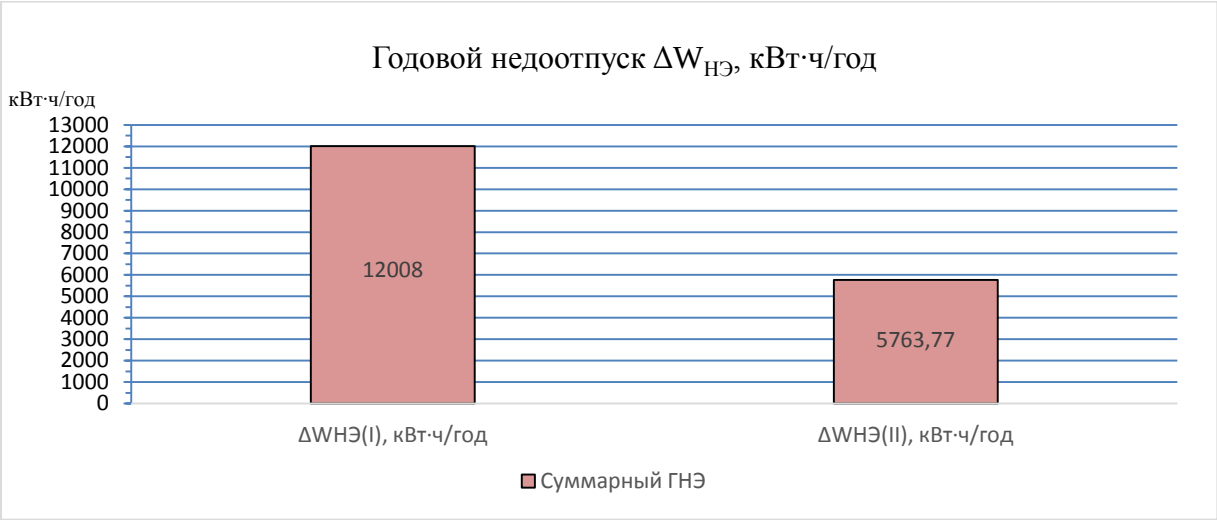

Рисунок 5 - Суммарный недоотпуск электроэнергии

Вывод: Результаты расчетов параметров, показывают, что для уменьшения суммарного ГНЭ целесообразно разделить отходящую линию на отдельные участки путем установки секционирующих реклоузеров. Также замечено, что для повышения надежности (уменьшению числа и продолжительности отключений) конкретного потребителя, необходимо устанавливать реклоузеры ближе к потребителю.

Библиографический список

1. СТО 34.01-2.2-033-2017 ПАО «Россети» Линейное коммутационное оборудование 6-35 кВ – секционирующие пункты (реклоузеры). Том 1.2. Секционирующие пункты (реклоузеры). – М.: 2017. – 22 с.

2. Долецкая Л.И., Кавченков В.П., Солопов Р.В. Оценка эффективности методов повышения надежности распределительных электрических сетей [Текст] / Долецкая Л.И., Кавченков В.П., Солопов Р.В. // Науковедение, Том 7, №6 (2015).

3. Жуков В.В., Максимов Б.К., Никодиму В., Боннер А. Надежность распределительных электрических сетей 6 (10) кВ. Автоматизация с применением реклоузеров // Новости электротехники, №5, 2015. [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.news.elteh.ru/arh/2002/17/08.php]. Дата обращения: 21.09.2021.

4. Лещинская Т.Б., Электроснабжение сельского хозяйства [Текст] / Лещинская Т.Б., Наумов И.В. – Москва: БИБКОМ, ТРАНСЛОГ, 2015. – 536 с.

5. Положение ПАО «Россети» о единой технической политике в электросетевом комплексе. – М.: 2019. – 196 с.

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

7. Симонов А. Новый уровень управления аварийными режимами распределительных сетей с помощью реклоузеров / А. Симонов // Электрик № 11, 2012. – С. 8–11.

Семикин Степан Дмитриевич, магистр группы Д-М232 2 курса Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева sacurastepan@gmail.com, 8-982-564-09-52, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Белов Сергей Иванович, к.т.н., доцент кафедры электроснабжения и электротехники имени академика И.А. Будзко Института механики и энергетики имени В.П. Горячкина, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, sbelov_@mail.ru, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49.

REDUCTION OF UNDER-SUPPLY OF ELECTRICITY TO CONSUMERS DUE TO THE USE OF RECLOSERS IN THE RURAL ELECTRIC NETWORK OF 10 KV

Semikin S.D., Belov S.I.

Abstract: Improving the reliability of agricultural networks is an urgent task, for the solution of which it is advisable to use devices that allows automating the process of managing the electrical network. About 60% of this time goes to the search and localization of the damaged site and only 40% of the time occupies by repair and restoration work. *(Research purpose)* To determine the economic efficiency of installing reclosers in 10 kV electrical networks. *(Materials and methods)* As an example, the feeder feeder has been reviewed before and after the installation of reclosers. Optimization criteria has been calculated for each option: the total annual under-supply of electricity, the number and duration of customer shutdowns. *(Results and discussion)* Made the necessary calculations of the options, analyzed the results obtained *(Conclusions)* It has been found that due to the optimal installation of reclosers, there is a decrease the number and duration of customer shutdowns, the total under-supply of electricity through the grid is reduced by 52%.

Key words: recloser, optimization, economic effect, reliability total under-supply of electricity

Semikin Stepan Dmitrievich, Master of the D-M232 group, 2nd year of the Institute of Mechanics and Energy named after V.P. Goryachkina, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, almaz.gafiev2@mail.ru, 8-925-028-56-71, 127550, Moscow, st. Timiryazevskaya 49.

Belov Sergey Ivanovich, Ph.D., Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering named after academician I.A. Budzko Institute of Mechanics and Power Engineering named after V.P. Goryachkina, Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, sbelov_@mail.ru, 127550, st. Timiryazevskaya 49.