

Данный метод позволяет получить динамические характеристики при проектировании и автоматическом регулировании гелиотеплицы, а также является важным преимуществом при практическом использовании.

**Л и т р а т у р а**

1. Байрамов, Р. Б. Микроклимат теплиц на солнечном обогреве / Р. Б. Байрамов, Л. Б. Рыбакова. – Ашхабад, 1983. – 85 с.
2. Хайриддинов, Б. Э. Математическая модель блочной гелиотеплицы-сушилки с подпочвенным аккумулятором тепла / Б. Э. Хайриддинов, С. М. Исаев, М. У. Аширбаев // Гелиотехника. – 1990. – № 5. – С. 80–83.
3. Симою, М. П. Определение коэффициентов передаточных функций линеаризованных звеньев систем регулирования / М. П. Симою // Автоматика и телемеханика. – 1957. – № 6.

УДК 621.315/.316

**ВНЕДРЕНИЕ РЕКЛОУЗЕРА НА ОТХОДЯЩУЮ  
ЛИНИЮ ВЛ №1897 ПОДСТАНЦИИ «БАРДИНО»**

**С. С. Хазанов**

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

Научный руководитель Т. Н. Савкова

*Окупаемость внедрения реклоузеров в линии электропередачи 10 кВ – проблема современной энергетики. В данном примере поднята тема окупаемости реклоузера при разных количествах отключений линии электропередачи.*

**Ключевые слова:** реклоузер, чистый дисконтированный доход, линия электропередачи, количество отключений линии электропередачи.

**IMPLEMENTATION OF A RECLOSER ON THE OUTPUT  
LINE OF OHL №1897 OF THE «BARDINO» SUBSTATION**

**S. S. Khazanov**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Science supervisor T. N. Savkova

*The payback of implementing reclosers in 10 kV power lines is a problem of modern energy, this report raises the topic of the payback of a recloser with different numbers of power line outages.*

**Keywords:** recloser, net present value, power line, number of disconnected power lines.

Реклоузер – это надежное и довольно простое в эксплуатации устройство, позволяющее отключать токи короткого замыкания за минимальное время, при этом за такое же время восстанавливать электроснабжение на не поврежденных участках.

Основной экономический эффект от применения децентрализованной автоматизации распределительной сети на базе реклоузеров – снижение ущерба сетевой компании от недоотпуска электроэнергии потребителям. К техническому эффекту следует отнести снижения простоя установленной мощности трансформаторов и повышение надежности электроснабжения потребителей.

Предлагается внедрить реклоузер на высоковольтную линию 10 кВ №1897, отходящую от подстанции «Бардино», с целью:

- децентрализованной автоматизации аварийных режимов работы распределительной сети;
- снижения потерь электроэнергии в распределительной сети;
- повышения надежности электроснабжения потребителей.

Авторы статьи [1] предлагают внедрить технологию Smart Grind, целью которой является наблюдаемость, контролируемость и автоматизация управления электрической системы.

В научной работе [2] предлагают внедрить реклоузер на высоковольтную линию 10 кВ, которая снабжает электроэнергией совхоз «Рощинский» первой категории надежности, обосновывая внедрение за счет снижения затрат на поиск и локализацию повреждения.

Основные режимы работы сети с реклоузером ПСС-10 определены в табл. 1.

Таблица 1

Основные режимы сети с реклоузером ПСС-10

Наименование реклоузера	Индикатор	Режим работы сети
ПСС-10	Срабатывание максимальной токовой защиты от шин	Работа защиты на отключение при питании со стороны ВЛ-10 № 1897 подстанции «Бардино»
	Срабатывание максимальной токовой защиты к шинам	Работа защиты на отключение при питании со стороны ВЛ-10 № 1896 подстанции «Бардино»
	Срабатывание максимальной токовой защиты от шин на сигнал	Работа защиты на сигнал со стороны ВЛ-10 № 1897 подстанции «Бардино»
	Срабатывание максимальной токовой защиты к шинам на сигнал	Работа защиты на сигнал со стороны ВЛ-10 № 1896 подстанции «Бардино»
	Включение по автоматическому повторному включению	Автоматическое повторное включение работает после отключения КЗ при питании со стороны ВЛ-10 № 1897 подстанции «Бардино»
	Работа устройства резервирования отказа выключателя	Сигнализирует о неисправности реклоузера
	Автоматическое повторное включение выведено	Действие автоматического повторного включения выведено
	Пружины вводного выключателя разряжены	Сигнализирует о фактическом состоянии привода. Возможна неисправность, при этом реклоузер включился. Необходимо проверить включенное состояние автомата SF 5 «Взвод пружин» в шкафу управления реклоузером
	Срабатывание максимальной токовой защиты к шинам на сигнал	Работа защиты на сигнал со стороны ВЛ-10 № 1896 подстанции «Бардино»

Наименование реклоузера	Индикатор	Режим работы сети
	Включение по автоматическому повторному включению	Автоматическое повторное включение работает после отключения КЗ при питании со стороны ВЛ-10 № 1897 подстанции «Бардино»
	Работа устройства резервирования отказа выключателя	Сигнализирует о неисправности реклоузера
	Автоматическое повторное включение выведено	Действие автоматического повторного включения выведено
	Пружины вводного выключателя разряжены	Сигнализирует о фактическом состоянии привода. Возможна неисправность, при этом реклоузер включился. Необходимо проверить включенное состояние автомата SF 5 «Взвод пружин» в шкафу управления реклоузером

Согласно данным, предоставленных оперативно-диспетчерской службой, средняя мощность, потребляемая потребителями ВЛ № 1897 за один час, составляет  $P = 311,736$  кВт.

Чтобы определить недоотпуск электроэнергии при девяти аварийных отключениях линии в год, расчет проведен по формуле

$$W = P \cdot t \cdot n, \quad (1)$$

где  $t$  – время, затраченное на обнаружение и ремонта линии: 2 ч – без реклоузера, 40 мин – с реклоузером;  $n$  – количество отключений в год;

$$W1 = 311,736 \cdot 2 \cdot 9 = 5611,248 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$W2 = 311,736 \cdot 0,6666 \cdot 9 = 1868,545 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

Ежегодная дополнительная прибыль от снижения объемов недоотпуска будет равна:

$$P_d = T(W1 - W2), \quad (2)$$

где  $P_d$  – дополнительная прибыль, руб;  $T$  – тариф на электроэнергию [3], руб/кВт · ч.

Тогда ежегодная дополнительная прибыль будет равна:

$$P_d = 0,279(5611,248 - 1868,545) = 1044,214 \text{ руб.}$$

Согласно источнику [4], цена на реклоузер ПСС-10 составляет 250 000 рос. руб., что на момент 5.15.2024 г. составляет 8797,67 белорус. руб. Расчет капиталовложений на установку реклоузера ПСС-10 с вычетом драгметаллов и лома от замены разъединителя ЗР-10 при проведении автоматизации линии № 1897 приведен в табл. 2.

Таблица 2

**Капиталовложения на установку реклоузера ПСС-10 с вычетом драгметаллов и лома от замены разъединителя ЗР-10УЗ при проведении автоматизации линии ВЛ № 1897**

Показатель	Стоимость, руб.
Стоимость оборудования и материалов	8797,67
Транспортные расходы (0,5 %)	43,988
Стоимость строительно-монтажных работ	Силами сельского РЭС
Стоимость проектных работ	
Стоимость пуско-наладочных работ	
Стоимость демонтажных работ	
Сдача драгметаллов и лома	93,18
<i>Итого</i>	8748,478

Для оценки эффективности внедрения реклоузера проведен расчет срока окупаемости единовременных капитальных вложений по формуле

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{\Delta И + А}, \quad (3)$$

где  $K$  – единовременные капитальные вложения в ОТМ, рублей;  $\Delta И$  – годовая экономия, рублей в год;  $A$  – ежегодные амортизационные отчисления, руб.

Тогда срок окупаемости единовременных капитальных будет равен:

$$T_{\text{ок}} = \frac{8748,478}{1044,214 + \frac{8748,478}{25}} = 6,27 \text{ года.}$$

Далее, используя динамические методы оценки, рассчитаем величину интегральной накопленной чистой дисконтированной стоимости проекта, динамический срок окупаемости и индекс доходности при ставке дисконта  $E = 10\%$ .

Коэффициент дисконтирования определяется по формуле

$$d_t = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (4)$$

где  $E$  – норма дисконта;  $t$  – год реализации проекта.

Для первого года реализации проекта коэффициент дисконтирования составит:

$$d_1 = \frac{1}{(1 + 0,10)^1} = 0,909.$$

Капитальные затраты принимаем равными 8748,478 руб., эксплуатационные издержки принимаются равными 0 руб., так как реклоузер относится к необслуживаемым устройствам. Срок службы реклоузера составляет 25 лет [5]. Срок окупаемости расчи-

## 188 Энергообеспечение, энергосбережение, эффективное использование энергии

тывается через чистый дисконтированный доход путем приведения величины чистого дохода к начальному моменту времени  $t = 0$  при заданном коэффициенте дисконтирования  $E$ . Таким образом, срок окупаемости находится из решения уравнения.

Для первого года реализации проекта чистый дисконтированный доход составит:

$$\text{ЧДД} = \left( 1044,214 + \frac{8748,478}{25} \right) \cdot 0,909 = 1248,107 \text{ руб.}$$

Результаты расчета ЧДД до срока окупаемости реклоузера при девяти аварийных отключениях в год представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты расчета чистого дисконтированного дохода при девяти аварийных отключениях в год

Год	Капиталовложения $K_0$ , руб.	Коэффициент дисконтирования $d_t$	Дисконтированный поток наличности, руб.	Чистый дисконтированный доход при $E = 10\%$ , руб.
0	8748,478	1	–	–8748,478
1	–	0,909	1270,8	–7570,86
2	–	0,826	1155,273	–6415,58
3	–	0,751	1050,248	–5365,34
4	–	0,683	954,7711	–4410,57
5	–	0,620	867,9737	–3542,59
6	–	0,564	789,067	–2753,52
7	–	0,513	717,3336	–2036,19
8	–	0,466	652,1215	–1384,07
9	–	0,424	592,8377	–791,232
10	–	0,385	538,9434	–252,289
11	–	0,350	489,9485	237,66

Определим динамический срок окупаемости при девяти отключениях линии в год графическим методом (рис. 1). Точка пересечения кривой с осью  $X$  определяет динамический срок окупаемости.

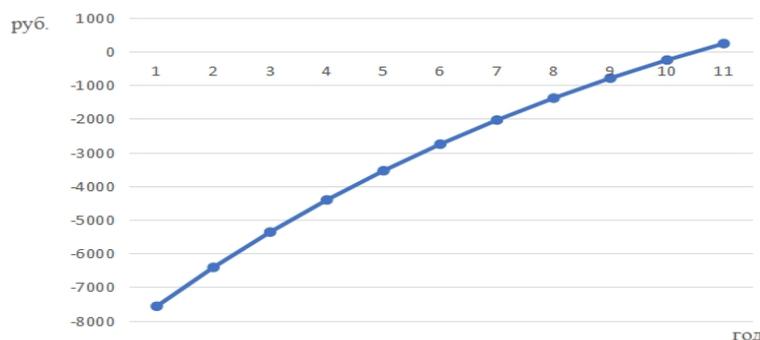


Рис. 1. График зависимости срока окупаемости от ЧДД при девяти аварийных отключениях линии в год

Срок окупаемости находится в диапазоне от 10 до 11 лет реализации проекта. Срок окупаемости рассчитан по формуле

$$T_{\text{динк}} = 11 - \frac{-252,289}{237,66 - (-252,289)} = 11,51 \text{ лет.}$$

Таким образом, динамический срок окупаемости мероприятия по установке реклоузера на линию 10кВ №1897 составляет 11,51 года.

Чтобы определить недоотпуск электроэнергии при пяти аварийных отключениях линии в год, проведен расчет по формуле (1):

$$W1 = 311,736 \cdot 2 \cdot 5 = 3117,36 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$W2 = 311,736 \cdot 0,666 \cdot 5 = 1038,08 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Ежегодная дополнительная прибыль от снижения объемов недоотпуска будет равна согласно формуле (2):

$$P_d = 0,279(3117,36 - 1038,08) = 580,119 \text{ руб.}$$

Для оценки эффективности внедрения реклоузера рассчитан срок окупаемости единовременных капитальных вложений по формуле (3):

$$T_{\text{ок}} = \frac{8748,478}{580,119 + \frac{8748,478}{25}} = 9,4 \text{ года.}$$

Далее, используя динамические методы оценки, рассчитаем величину интегральной накопленной чистой дисконтированной стоимости проекта, динамический срок окупаемости и индекс доходности при ставке дисконта  $E = 10\%$ .

Для первого года реализации проекта коэффициент дисконтирования согласно формуле (4) составит:

$$d_1 = \frac{1}{(1+0,10)^1} = 0,909.$$

Капитальные затраты принимаем равными 8748,478 руб, эксплуатационные издержки принимаются равными 0 руб., так как реклоузер относится к необслуживаемым устройствам. Срок службы реклоузера составляет 25 лет [5]. Срок окупаемости рассчитывается через чистый дисконтированный доход, путем приведения величины чистого дохода к начальному моменту времени  $t = 0$  при заданном коэффициенте дисконтирования  $E$ . Таким образом, срок окупаемости находится из решения уравнения.

Для первого года реализации проекта чистый дисконтированный доход составит:

$$\text{ЧДД} = \left( 580,119 + \frac{8748,478}{25} \right) \cdot 0,909 = 845,422 \text{ руб.}$$

Результаты расчета ЧДД срока окупаемости реклоузера при пяти аварийных отключениях линии в год даны в табл. 4.

**Результаты расчета чистого дисконтированного дохода  
при пяти отключениях в год**

Год	Капитало- вложения $K_i$ , руб.	Коэффициент дисконтирования $d_i$	Дисконтированный поток наличности, руб.	Чистый дисконтирован- ный доход при $E = 10\%$ , руб.
0	8748,478	1	–	–8748,478
1	–	0,909	845,507	–7996,15
2	–	0,826	768,643	–7227,51
3	–	0,751	698,766	–6528,74
4	–	0,683	635,242	–5893,5
5	–	0,620	577,492	–5316,01
6	–	0,564	524,993	–4791,01
7	–	0,513	477,266	–4313,75
8	–	0,466	433,879	–3879,87
9	–	0,424	394,435	–3485,43
10	–	0,385	358,577	–3126,85
11	–	0,350	325,979	–2800,87
12	–	0,318	296,345	–2504,53
13	–	0,289	269,404	–2235,12
14	–	0,263	244,913	–1990,21
15	–	0,239	222,648	–1767,56
16	–	0,217	202,407	–1565,15
17	–	0,197	184,007	–1381,15
18	–	0,179	167,279	–1213,87
19	–	0,163	152,071	–1061,8
20	–	0,148	138,247	–923,549
21	–	0,135	125,679	–797,87
22	–	0,122	114,253	–683,616
23	–	0,111	103,867	–579,749
24	–	0,101	94,424	–485,324
25	–	0,092	85,840	–399,483
26	–	0,083	78,036	–321,446
27	–	0,076	70,942	–250,504
28	–	0,069	64,493	–186,01
29	–	0,063	58,630	–127,38
30	–	0,057	53,300	–74,079
31	–	0,052	48,454	–25,624
32	–	0,047	44,049	18,424

Определим динамический срок окупаемости при пяти отключениях линии в год графическим методом (рис. 2). Точка пересечения кривой с осью  $X$  определяет динамический срок окупаемости.

Срок окупаемости находится в диапазоне от 31 до 32 лет реализации проекта. Срок окупаемости рассчитан по формуле

$$T_{\text{динк}} = 32 - \frac{-25,6248}{18,42497 - (-25,6248)} = 32,5 \text{ год.}$$

Таким образом, динамический срок окупаемости мероприятия по установке реклоузера на линию 10 кВ № 1897 составляет 32,5 года.

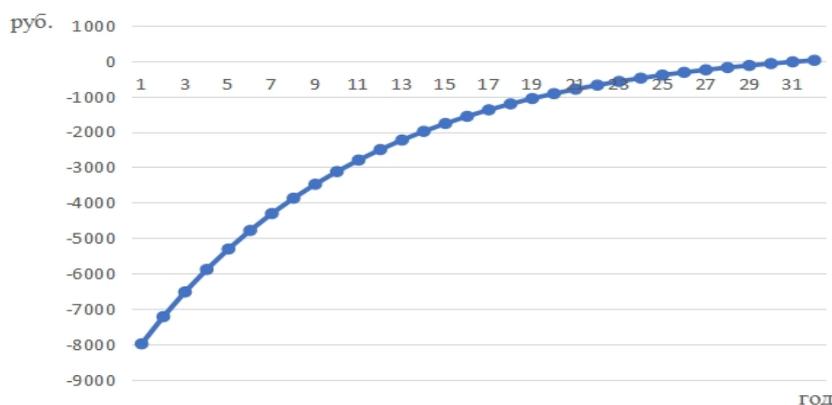


Рис. 2. График зависимости срока окупаемости от ЧДД при пяти аварийных отключениях линии в год

Внедрение реклоузера ПСС-10 с заменой действующего электрического аппарата на линию электропередачи ВЛ № 1897, отходящей от подстанции «Бардино», позволит повысить надежность ВЛ № 1897, а также уменьшить потери недоотпуска электроэнергии потребителям: в случае девяти аварийных отключений в год недоотпуск электроэнергии уменьшится с 5611,248 кВт·ч. до 1868,545 кВт·ч., в случае пяти аварийных отключений в год недоотпуск электроэнергии уменьшится с 3117,36 до 1038,08 кВт·ч, что приведет к увеличению прибыли «Гомельэнерго» на 1044,21 и 580,12 руб. в год соответственно. Согласно технико-экономическому обоснованию, с учетом капитальных затрат, драгметаллов и лома при замене действующего электрического аппарата на реклоузер ПСС-10 для отходящей линии ВЛ №1897 мероприятие окупится в течение 11,52 года.

#### Литература

1. Дробышев, С. А. Экономический фактор как основополагающая составляющая в разработке концепции автоматизации распределительных сетей среднего напряжения / С. А. Дробышев; А. Г. Сапожникова // Актуальные проблемы энергетики : материалы 74-й науч.-техн. конф. студентов и аспирантов / Белорус. нац. техн. ун-т, энергет. фак. ; ред. Т. Е. Жуковская. – Минск, 2018. – С. 898–900.
2. Идиятов, С. А. Экономическая эффективность внедрение реклоузеров / С. А. Идиятов, А. А. Ганиев, А. А. Касаев. – Альметьев. политехн. техникум, 2023.
3. РУП «Минскэнерго» филиал «Энергосбыт». – Режим доступа: <https://www.energosbyt.by/ru/>. – Дата доступа: 05.15.2024.
4. ЭЛТЕХПРОМ. – Режим доступа: <https://eltech-prom.ru/>. – Дата доступа: 05.15.2024.
5. EnergoLand.info. – Режим доступа: <https://energyland.info>. – Дата доступа: 05.15.2024.