

УДК 621.316:631.371

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ОТКЛЮЧЕНИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА ПРИ НАЛИЧИИ В СЕТИ 10 КВ ПУНКТОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВКЛЮЧЕНИЯ РЕЗЕРВА

О. Ю. ПУХАЛЬСКАЯ

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

Введение

С переходом электроэнергетики к рыночным отношениям существенно возросли требования к надежности электроснабжения потребителей АПК. По мере внедрения комплексной электрификации сельскохозяйственного производства изменилась технология производственного процесса, поэтому внезапное нарушение электроснабжения наносит значительный материальный ущерб предприятиям АПК. Необходимо также считаться с неудобствами, которые испытывают жители сельских населенных пунктов при перерывах электроснабжения. Поэтому на сегодняшний день обеспечение надежного электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения остается одной из важнейших задач сельской электрификации.

Одним из наиболее важных направлений повышения надежности электроснабжения (с точки зрения сокращения количества отключений и длительности перерывов электроснабжения потребителей) является применение резервных источников питания, когда при исчезновении напряжения основного источника потребитель подключается к резервному источнику, вручную или автоматически.

Особого внимания заслуживает автоматическое включение резерва (АВР). Многолетний опыт эксплуатации устройств АВР показывает, что примерно в 90 % случаев [1] отключения основного (рабочего) питания устройства АВР позволяют успешно перейти на резервный источник электроснабжения за доли секунды. Такая высокая эффективность обусловила широкое применение устройств АВР в электроустановках.

В статье [2] автор обращает внимание на то, что независимо от параметров ВЛ 10 кВ должна быть оснащена автоматическими секционирующими пунктами и пунктами АВР для отключения поврежденного участка и сохранения питания на неповрежденных участках магистрали. Пункты секционирования и АВР 6–10 кВ должны быть укомплектованы вакуумными или элегазовыми коммутационными аппаратами, обеспечивающими необходимый ресурс работы.

Согласно [3], целесообразность установки аппаратов автоматического секционирования и резервирования должна рассматриваться при разработке схемы развития, реконструкции, технического перевооружения электрических сетей 10 кВ в качестве одного из мероприятий по обеспечению нормативных уровней надежности электроснабжения потребителей.

В [4], [5] отмечено, что одним из наиболее эффективных способов повышения надежности электроснабжения в воздушных распределительных сетях является реа-

лизация автоматического подхода к управлению аварийными режимами, при котором обеспечивается полная независимость работы пунктов секционирования от внешнего управления. Этот подход получил название децентрализованного. Каждый отдельный аппарат, являясь интеллектуальным устройством, анализирует режимы работы электрической сети и автоматически производит ее реконфигурацию в аварийных режимах, т. е. локализацию места повреждения и восстановление электропитания потребителей неповрежденных участков сети. Наличие телемеханики в этом случае не влияет на выполнение основных функций пунктов секционирования в аварийных режимах и носит вспомогательный характер (оперативное управление, контроль параметров сети и т. д.). Аппаратом, отвечающим всем требованиям децентрализованного подхода, авторы называют вакуумный реклоузер. Реклоузер представляет собой совокупность вакуумного коммутационного модуля со встроенной системой измерения токов и напряжения и шкафа управления с микропроцессорной системой релейной защиты и автоматики

Авторы [6] при расчете показателей надежности для различных вариантов электроснабжения потребителей (в т. ч. резервируемых сетей) составляют схемы замещения и используют показатели надежности отдельных элементов системы электроснабжения [6, табл. 1.2]. При этом учитывается возможность отказа рабочего (резервного) питания при простое резервного (рабочего) питания, надежность оборудования и функционирования устройств АВР.

Целью данной работы является расчет количества отключений потребителей АПК при наличии в сети 10 кВ пунктов АВР по предложенной автором методике.

Виды АВР

В зависимости от способа предотвращения подачи напряжения на поврежденный рабочий источник питания различают:

1) местный (подстанционный) АВР предназначен для включения резервного питания ТП 10/0,4 кВ или РП 10 кВ после исчезновения напряжения от основного источника питания. Пусковой орган местного АВР действует на отключение рабочего ввода, после чего включается резервный ввод – этим исключается подача напряжения от резервного источника на поврежденный рабочий источник питания. Характерным признаком выполнения местного АВР является расположение всей аппаратуры на одной подстанции, в том числе и выключателей, на которые воздействует местный АВР;

2) сетевой АВР, выполняется для взаиморезервирования двух линий, отходящих от разных подстанций или разных секций шин 10 кВ одной подстанции 35(110)/10 кВ и устанавливается, как правило, вблизи точки нормального токораздела. Пусковой орган сетевого АВР действует на включение сетевого выключателя, находящегося в резерве. Возможность подачи напряжения от резервного источника на поврежденный элемент рабочего питания исключается с помощью устройств автоматики деления, расположенных в заданных точках сети. Сетевой АВР представляет собой комплекс устройств, в который входят: само устройство АВР, устройства автоматики деления и другие устройства, расположенные на нескольких подстанциях резервируемой сети.

Расчет количества отключений потребителя АПК при наличии в сети 10 кВ АВР

Расчет числа внезапных отключений потребителя из-за повреждений на питающей его ВЛ 10 кВ должен выполняться с большой точностью. Эта необходимость обусловлена тем, что M_{10} может достигать 90 % и более от общего числа внезапных отключений потребителя. Поэтому в формуле для расчета количества отключений

потребителя из-за отказов ВЛ 10 кВ (без учета автоматики) детально учитывается состав и повреждаемость элементов ВЛ 10 кВ

$$\begin{aligned}
 M_{10} = & \omega_{\text{зог}} \cdot (n_{\text{до}} + n_{\text{доб}} + n_{\text{бо}}) + \omega_{\text{дер}} \cdot (n_{\text{до}} + n_{\text{доб}}) + \omega_{\text{бп}} \cdot n_{\text{доб}} + \omega_{\text{бо}} \cdot n_{\text{бо}} + \omega_{\text{фи}} \cdot n_{\text{фи}} + \\
 & + \omega_{\text{си}} \cdot n_{\text{си}} + \omega_{\text{кп}} \cdot (n_{\text{фи}} + n_{\text{си}}) + \omega_{\text{ам}} \cdot L_{\text{ам}} + \omega_{\text{аб}} \cdot L_{\text{аб}} + \omega_{\text{ас}} \cdot L_{\text{ас}} + \omega_{\text{ст}} \cdot L_{\text{ст}} + \omega_{\text{к}} \cdot L_{\text{к}} + \\
 & + \omega_{\text{РСА}} \cdot n_{\text{РСА}} + \omega_{\text{АСА}} \cdot n_{\text{АСА}} + \omega_{\text{РВ}} \cdot n_{\text{РВ}} + \omega_{\text{РТ}} \cdot n_{\text{РТ}} + \omega_{\text{МТП}} \cdot n_{\text{МТП}} + \\
 & + \omega_{\text{КТП}} \cdot n_{\text{КТП}} + \omega_{\text{ЗТП}} \cdot n_{\text{ЗТП}}, \tag{1}
 \end{aligned}$$

где $\omega_{\text{зог}}, \omega_{\text{дер}}, \omega_{\text{бп}}, \omega_{\text{бо}}, \omega_{\text{фи}}, \omega_{\text{си}}, \omega_{\text{кп}}$ – параметры потока отказов (ППО) соответственно: закреплений опор в грунте, деревянных опор, железобетонных приставок, железобетонных опор, фарфоровых изоляторов, стеклянных изоляторов, креплений проводов; $\omega_{\text{ам}}, \omega_{\text{аб}}, \omega_{\text{ас}}, \omega_{\text{ст}}, \omega_{\text{к}}$ – ППО соответственно: алюминиевых проводов сечением 35 мм² и ниже, алюминиевых проводов сечением 50 мм² и выше, сталеалюминиевых проводов, стальных проводов, кабеля; $\omega_{\text{РСА}}, \omega_{\text{АСА}}, \omega_{\text{РВ}}, \omega_{\text{РТ}}$ – ППО соответственно: линейных секционирующих аппаратов с ручным управлением (разъединителей, выключателей нагрузки), линейных секционирующих аппаратов с автоматическим управлением (выключатели), вентильных и трубчатых разрядников; $\omega_{\text{МТП}}, \omega_{\text{КТП}}, \omega_{\text{ЗТП}}$ – обобщенные ППО соответственно мачтовой, комплектной и закрытой ТП 10/0,4 кВ, учитывающие повреждаемость выносного разъединителя, проводов спуска к проходным изоляторам, проходных изоляторов, вентильного (трубчатого) разрядника и предохранителей 10 кВ; $n_{\text{до}}, n_{\text{доб}}, n_{\text{бо}}$ – количество деревянных опор, деревянных опор на железобетонных приставках и железобетонных опор соответственно, шт; $n_{\text{фи}}, n_{\text{си}}$ – соответственно количество фарфоровых и стеклянных изоляторов, шт; $L_{\text{ам}}, L_{\text{аб}}, L_{\text{ас}}, L_{\text{ст}}, L_{\text{к}}$ – протяженность ВЛ 10 кВ с проводами А-35 и ниже, А-50 и выше, сталеалюминиевыми, стальными проводами и кабелем соответственно, км; $n_{\text{РСА}}, n_{\text{АСА}}, n_{\text{РВ}}, n_{\text{РТ}}$ – количество линейных секционирующих аппаратов с ручным и автоматическим управлением, вентильных и трубчатых разрядников соответственно, шт; $n_{\text{МТП}}, n_{\text{КТП}}, n_{\text{ЗТП}}$ – количество мачтовых, комплектных и закрытых ТП 10/0,4 кВ соответственно, шт.

При расчетах надежности электроснабжения конкретного потребителя информацию по повреждаемости элементов цепи «источник–потребитель» лучше всего принимать по данным аварийной статистики сетей, к которым этот потребитель подключен. Однако на практике такие данные либо отсутствуют, либо существенно неполны. В этом случае в качестве исходных данных для расчетов можно использовать данные СПО «Союзтехэнерго» о ППО всех элементов цепи «источник–потребитель» применительно к сельскохозяйственному потребителю. Эти данные получены на базе обработки большого объема аварийной статистики по сельским электрическим сетям стран бывшего СССР.

Расчет числа отключений потребителя N_{10} из-за отказов ВЛ 10 кВ в случае отсутствия в сети 10 кВ пунктов АВР совпадает с количеством повреждений на линии 10 кВ M_{10} :

$$N_{10} = M_{10}. \tag{2}$$

В случае наличия на ВЛ 10 кВ АВР $N_{10} < M_{10}$, так как за счет его работы при некоторых повреждениях на ВЛ 10 кВ не будет происходить отключения присоединенного к ней потребителя.

На рис. 1 приведена схема ВЛ 10 кВ с применением местного АВР двухстороннего действия в РУ 10 кВ ТП 10/0,4 кВ. В этой схеме при повреждении участка один АВР включает питание от ПС-2, а при повреждении участка два – от ПС-1. Тогда:

$$N_{10} = M_{10} \cdot q_{\text{АВР}}^{\text{ТПВ}}, \quad (3)$$

где $q_{\text{АВР}}^{\text{ТПВ}}$ – вероятность отказа АВР в РУ 10 кВ ТП 10/0,4 кВ, $q_{\text{АВР}}^{\text{ТПВ}} = 0,08$.

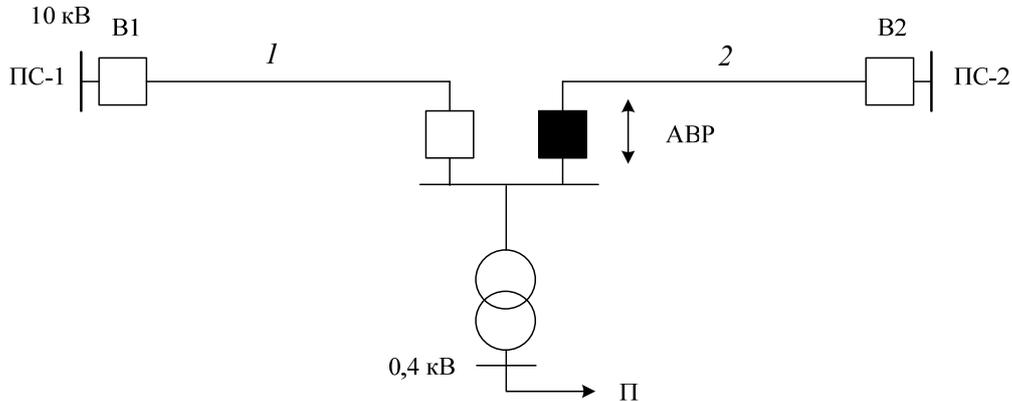


Рис. 1. Вариант оснащения ВЛ 10 кВ местным АВР: ПС-1 и ПС-2 – соответственно питающая подстанция один и два; В1 и В2 – выключатель на ПС-1 и ПС-2 соответственно; АВР – пункт автоматического включения резерва; 1–2 – номера участков ВЛ 10 кВ; П – потребитель электроэнергии

На рис. 2 приведен пример наличия на ВЛ 10 кВ устройства сетевого АВР одно-стороннего действия. В этой схеме потребитель П будет отключаться при повреждении на той части ВЛ 10 кВ, к которой он подключен (участок 2 между ПАС₁ и ПАС₂), или при повреждении участков между ПС 110(35)/10 кВ и ПАС в начале участка, к которому присоединен потребитель П, и отказе ПАС или АВР, а также при повреждении части ВЛ между первым ПАС за участком, к которому присоединен потребитель П и следующий за ним (если последнего нет, то – концом 10 кВ), и отказе АВР. Поэтому

$$N_{10} = M_{10} \cdot \left(\frac{L_{\text{ч}}^{\text{П}}}{L} + (q_{\text{ПАС}} + q_{\text{АВР}}^{10}) \cdot \frac{L_{\text{ч}}^{\Gamma}}{L} + q_{\text{ПАС}} \cdot \frac{L_{\text{ч}}^{3\text{a}}}{L} \right), \quad (4)$$

где $L_{\text{ч}}^{\text{П}}$ – протяженность участка ВЛ 10 кВ, к которому подключен потребитель П, км; $q_{\text{ПАС}}$ – вероятность отказа ПАС, принимается $q_{\text{ПАС}} = 0,1$; $q_{\text{ПАС}} + q_{\text{АВР}}^{10}$ – вероятность отказа сетевого АВР, $q_{\text{ПАС}} + q_{\text{АВР}}^{10} = 0,12$; $L_{\text{ч}}^{\Gamma}$ – протяженность части ВЛ 10 кВ между ПС 110(35)/10 кВ и ПАС в начале участка, к которому присоединен потребитель П, км; $L_{\text{ч}}^{3\text{a}}$ – протяженность части ВЛ 10 кВ между первым ПАС за участком, к которому присоединен потребитель П и следующий за ним (если последнего нет, то – концом 10 кВ), км; L – полная протяженность ВЛ 10 кВ, км.

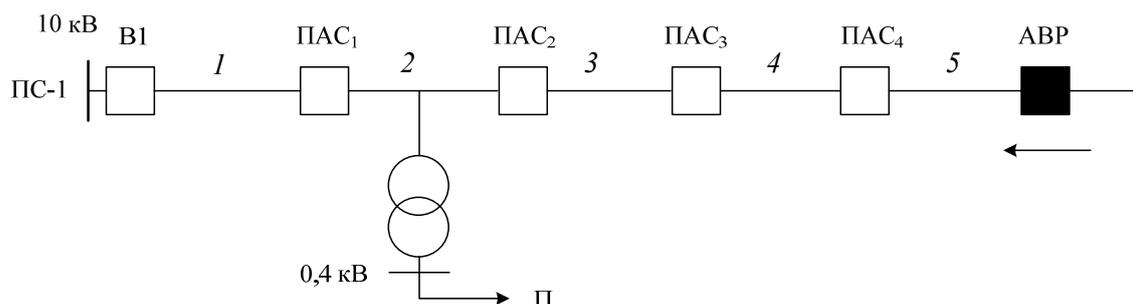


Рис. 2. Вариант оснащения ВЛ 10 кВ сетевым АВР: ПС-1 питающая подстанция один; В1 – выключатель на ПС-1; ПАС – пункт автоматического секционирования ВЛ 10 кВ; АВР – пункт автоматического включения резерва; 1–5 – номера участков ВЛ 10 кВ; П – потребитель электроэнергии

Для выбранных потребителей одного из сельских районов электрических сетей по методике, изложенной выше, и методике, предложенной в [7], было рассчитано количество внезапных отключений для существующих схем электроснабжения (N) и в случае применения в сети 10 кВ местного ($N_{\text{АВР}}^{\text{ТПВ}}$) или сетевого ($N_{\text{АВР}}^{\text{ВЛ}}$) АВР.

Результаты расчета количества отключений потребителей, шт/год

Тип ТП	N	$N_{\text{АВР}}^{\text{ТПВ}}$	$N_{\text{АВР}}^{\text{ВЛ}}$	$\frac{N}{N_{\text{АВР}}^{\text{ТПВ}}}$	$\frac{N}{N_{\text{АВР}}^{\text{ВЛ}}}$
ЗТП 360	2,612	1,246	1,454	2,097	1,796
ЗТП 894	2,716	1,350	1,530	2,012	1,775
ЗТП 541	2,604	1,238	2,237	2,104	1,164
КТП 319	2,500	1,134	1,538	2,205	1,625
ЗТП 31	2,777	1,207	1,486	2,301	1,868
КТПП 553	2,136	0,686	1,456	3,115	1,467
ЗТП 505	3,590	1,361	1,947	2,637	1,844
КТП 128	4,486	2,257	3,091	1,988	1,451
ЗТП 566	2,215	0,526	0,910	4,211	2,435
КТП 311	2,389	0,700	2,050	3,412	1,165
КТПП 17	1,220	0,486	0,994	2,512	1,227
ЗТП 770	0,937	0,202	0,456	4,626	2,056
ЗТП 776	2,350	0,929	0,933	2,529	2,520
КТП 309	2,395	0,975	1,298	2,458	1,846
Среднее значение	2,495	1,021	1,527	2,729	1,731

Согласно результатам расчета, представленным в табл. 1, применение местного АВР в ТП 10/0,4 кВ позволяет сократить количество отключений потребителей в среднем в 2,729 раза, применение сетевого АВР на ВЛ 10 кВ – в 1,731 раза. Следует учесть, что применение местного АВР в ТП 10/0,4 кВ позволяет сократить количество отключений только для потребителя, питающегося от этой ТП, сетевое АВР на ВЛ 10 кВ позволяет уменьшить количество отключений для всех потребителей, питающихся от данной линии.

Выводы

Разработанная методика определения расчетного количества отключений потребителей АПК при наличии в сети 10 кВ пунктов АВР может использоваться энергоснабжающими организациями для разработки и обоснования мероприятий по повышению надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения. Результаты расчетов по предложенной методике также могут быть использованы при заключении с потребителями договоров на электроснабжение и пользование электрической энергией.

Литература

1. Васильев, В. Г. Средства АВР при повышении надежности электроснабжения потребителей / В. Г. Васильев, Л. Д. Суков, В. П. Фомичев // *Электрика*. – 2002. – № 12. – С. 7–11.
2. Князев, В. В. Основные направления повышения надежности электроснабжения потребителей в сельской местности / В. В. Князев // *Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 5-й Междунар. науч.-техн. конф., Москва, 16–17 мая 2006 г. / ГНУ Всерос. науч.-иссл. ин-т электриф. сельск. хоз.; науч. ред. Н. Ф. Молоснов*. – Москва, 2006. – Ч. 1. – С. 30–35.
3. Нормы проектирования электрических сетей напряжением 0,38–10 кВ сельскохозяйственного назначения (НПС 0,38-10). – Введ. 05.07.94. – Минск : БНИиПИЭИ «Белэнергосетьпроект», 1994. – 28 с.
4. Воротницкий, В. Реклоузер – новый уровень автоматизации и управления ВЛ 6(10) кВ / В. Воротницкий, С. Бузин // *Новости электротехники [Электронный ресурс]*. – 2005. – № 3(33). – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/33/11.php>. – Дата доступа: 27.12.2007.
5. Надежность распределительных электрических сетей 6 (10) кВ автоматизация с применением реклоузеров // *Новости электротехники [Электронный ресурс]*. – 2002. – № 5(17). – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2002/17/08.php>. – Дата доступа: 30.11.2007.
6. Надежность систем электроснабжения / В.В. Зорин [и др.]. – Киев : Вища шк., 1984. – 192 с.
7. 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.

Получено 06.06.2008 г.