

УДК 621.3.019.34

Г.И. Разгильдеев, Е.В. Ногин

ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Потребление электрической энергии (ЭЭ) предприятиями и организациями всех отраслей народного хозяйства и населением Кемеровской области составляет в среднем около 35 млрд. кВт·ч (в 2008 г. – 35,06 млрд. кВт·ч) в год.

Расположенные на территории области восемь электростанций вырабатывают около 26 млрд. кВт·ч ЭЭ (в 2008 г. – 26,184 млрд. кВт·ч). Дефицит ЭЭ около 8,8 млрд. кВт·ч покрывается за счет перетока мощности, главным образом, от Саяно-Шушенской ГЭС. Дефицит электрогенерирующих мощностей электростанций в Кемеровской области с учетом необходимости поддерживать 12-ти процентный резерв по генерации составляет 1 042 МВт.

Внутри областное электроснабжение построено по иерархическому принципу: от системных линий электропередачи (воздушных линий – ВЛ) напряжением 110-220 кВ до распределительных сетей 6-10 кВ. Сети 35 кВ занимают промежуточное положение по нагрузкам и протяженности.

В результате проведенной в последние годы реформы и ликвидации РАО ЕС произошло отделение предприятий по производству электроэнергии (электростанций) от предприятий, эксплуатирующих электрические распределительные сети и подстанции. Электрические сети на территории Сибири эксплуатирует ОАО «МРСК Сибири» (межрегиональная электросетевая компания), а на территории Кемеровской области – ее филиал – «Кузбассэнерго – региональные электрические сети», (Кузбассэнерго – РЭС). Этот филиал включает в себя три производственных предприятия: Центральные, Южные и Северо-Восточные электрические сети (соответственно – ЦЭС, ЮЭС, СВЭС). Последнее образовалось в результате слияния двух предприятий – Северные и Восточные электрические сети (СЭС и ВЭС, соответственно).

Объекты ЦЭС расположены в Беловском, Прокопьевском и Гурьевском районах, в части Новокузнецкого и Ленинск-Кузнецкого районов. Сети этого предприятия питаю города Прокопьевск, Киселевск, Белово и Гурьевск. Общая протяженность сетей 10-6-0,4 кВ этого сетевого предприятия – 3452 км с подстанциями (6-10)/0,4 кВ.

В сферу обслуживания ЮЭС входят сети, питающие города Новокузнецк, Междуреченск, Осинники, Таштагол, Мыски, Калтан (за исключением их городских сетей и подстанций), 12 рабочих поселков, 19 сельских кооперативов и хозяйств, крупные предприятия черной и цветной металлургии (ЗСМК, КМК, КФЗ, НКАЗ), пред-

приятия машиностроения, угольные шахты и разрезы. Общая протяженность сетей этого предприятия составляет 2509 км с подстанциями.

В зоне обслуживания СЭС находятся сети, питающие города Кемерово, Ленинск-Кузнецкий, Топки, Березовский и еще 258 населенных пунктов, 48 сельских кооперативов и хозяйств, 38 прочих потребителей. Общая протяженность сетей 10-6-0,4 кВ этого сетевого предприятия составляет 8275 км с подстанциями (6-10)/0,4 кВ. [1]

Через Восточные сети (ВЭС) питаются потребители в административных районах области – Юргинском, Яшкинском, Ижморском, Чебулинском, Тяжинском, Тисульском, Мариинском, трех городов – Юрги, Мариинска, Анжеро-Судженска, 8 поселков – Яшкино, Яя, Ижморка, Верх-Чебула, Итат, Тисуль, Тяжин, Макарак. Общая протяженность сетей 10-6-0,4 кВ этого сетевого предприятия составляет 6792 км с подстанциями (6-10)/0,4 кВ.

Общая протяженность распределительных ВЛ 10-6-0,4 кВ составляет 21028 км, из них на сети 10-6 кВ приходится 18819 км, то есть 88 % от общей протяженности распределительных сетей, обслуживаемых тремя сетевыми предприятиями в Кемеровской области.

Для сравнения укажем, что протяженность ВЛ 110-220 кВ, входящих в зону обслуживания МРСК

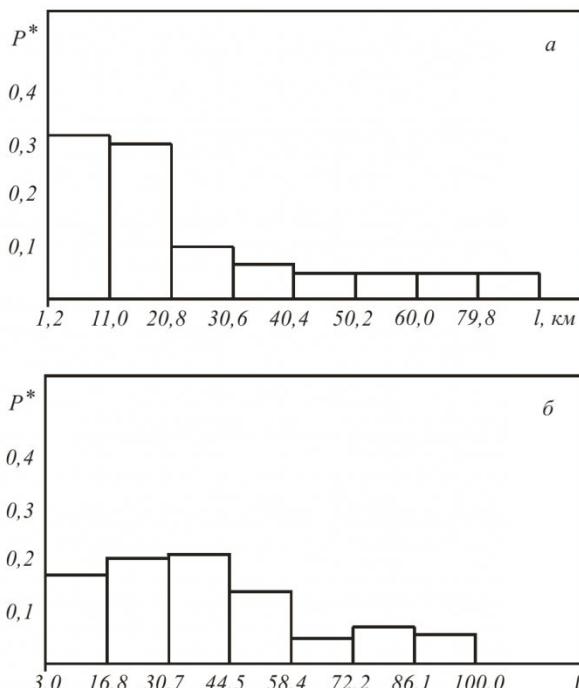


Рис. 1. Гистограммы распределения длины (а) и загрузки по току (б) ВЛ 6-10 кВ

Таблица 1. Характеристики отказов ВЛ

Причина отказа	Число зарегистрированных отказов по годам наблюдений									
	1-ый год		2-ый год		3-ый год		4-ый год		5-ый год	
	всего	грозы	всего	грозы	всего	грозы	всего	грозы	всего	грозы
Обрыв/ схлест проводов частота, %	449 11,8	— —	484 12,5	— —	395 9,9	— —	246 8,22	— —	298 7,76	— —
Пробой и перекрытие изоляторов на ВЛ / частота, %	107 2,83	8 0,2	117 3,03	11 0,28	95 2,38	13 0,33	80 2,67	7 0,23	106 2,76	9 0,23
Пробой и перекрытие изоляторов на ТП/ частота, %	108 2,85	6 0,16	137 3,55	16 0,41	242 6,07	16 0,4	150 5,02	15 0,5	153 3,98	15 0,39
Повреждения деревянных опор частота, %	117 3,08	57 1,5	83 2,15	74 1,92	163 4,09	63 1,58	81 2,71	28 0,94	112 2,92	57 1,48
Отказы силовых трансформаторов частота, %	68 1,8	6 0,16	86 2,23	6 0,16	64 1,6	3 0,08	69 2,31	2 0,07	52 1,35	4 0,1
Отказы кабельных вставок частота, %	127 3,35	1 0,03	153 3,96	— —	125 3,13	5 0,13	130 4,35	4 0,13	102 2,65	3 0,08
Отказы разрядников частота, %	31 0,82	1 0,03	27 0,7	4 0,1	19 0,48	1 0,03	17 0,57	3 0,1	22 0,57	5 0,13
Прочие причины частота, %	232 6,1	— —	272 7,05	— —	221 5,54	— —	498 16,7	— —	209 5,44	— —
Причина не установлена частота, %	1602 42,3	867 22,9	1291 33,5	1099 28,5	1600 0,1	964 24,2	1132 37,9	529 17,7	1774 46,2	921 23,9
Количество отключений частота, %	2841 75	946 25	2650 68,7	1210 31,4	2924 73,3	1065 26,7	2403 80,3	588 18,7	2828 73,6	1014 26,4
Всего	3787		3860		3989		2991		3842	

Сибири на территории Кемеровской области, составляет 9866 км. Из сравнения данных видно, что на 1 км ВЛ напряжением 110-220 кВ приходится 2,13 км ВЛ 10-6-0,4 кВ.

Из приведенных данных видно, что сети 10-6-0,4 кВ в существенной мере определяют бесперебойность электроснабжения основной массы потребителей. Изучение причин и последствий отказов распределительных сетей 10-6-0,4 кВ и входящих в них элементов и разработка на этой основе мер по повышению их надежности является важной народно-хозяйственной задачей для нашей области.

Объективные характеристики распределительных ВЛ напряжением 6-10 кВ получены на основе анализа 164 линий электропередачи.

Распределение длин ВЛ видно из рис. 1 а, где приведена гистограмма частотей этого показателя. Средняя длина ВЛ составляет 22,2 км, а на длину от 1,2 до 30,6 км приходится 76,2 % всех проанализированных линий электропередачи.

Загрузку распределительных ВЛ по току рассчитывали по соотношению

$$\beta = 100 (I_\phi / I_{don}), \%, \quad (1)$$

где I_ϕ – фактический ток нагрузки ВЛ, А; I_{don} – допустимый по предельному нагреву ток, А, для данного сечения провода. Гистограмма на рис. 1 б, показывает широкий разброс этой характеристики распределительных ВЛ 6-10 кВ. В среднем они загружены на 41,5 %, что свидетельствует об относительно небольших потерях в них электроэнергии.

Анализ показал, что около 70 % всех распределительных ВЛ выполнены на деревянных опорах. Их преимущественное применение объясняется некоторыми положительными качествами, в том числе:

- они хорошо работают на изгиб при больших ветровых и гололедных нагрузках, в то время как железобетонные опоры (ЖБО) в таких случаях ломаются;

- они имеют меньшую массу по сравнению с ЖБО, а потому затраты на их транспортирование и установку существенно меньше;

- срок эксплуатации пропитанных деревянных опор на 20 % больше, чем ЖБО;

Таблица 2. Статистика действия АПВ

Характеристика работы устройства АПВ	Число случаев работы АПВ по годам наблюдения							
	1-ый год		2-ой год		3-ий год		всего за три года	среднее отношение за три года
	число случаев	%	число случаев	%	число случаев	%		
Цикл ОВ*	1395/441	51/55	1089/236	53/51	1392/422	50/55	3876/1099	51,3/56,6
Цикл ОВО*	1216/367	44/44	920/220	44/48	1230/328	45/43	3366/915	44,7/44,5
Отказ в работе АПВ (О)*	127/19	5/2	61/3	3/0,7	139/19	5/2	327/41	4,3/1,9
Всего*	2738/827		2070/459		2761/769		7596/2055	100/100
Число успешных ручных включений после ОВО и О	-/292	-/33	-/181	-/39	-/286	-/37	-/759	-/79

* В числителе – общее число отключений; в знаменателе – при грозах

– деревянные опоры на 20 % дешевле ЖБО.

В последние годы в Кузбассе при строительстве новых и реконструкции действующих ВЛ применяют самонесущие изолированные провода (СИП), крепление которых предусматривается только к железобетонным опорам. Использование таких проводов дает ряд существенных преимуществ по сравнению с голыми проводами, несмотря на их большую стоимость. По состоянию на 01.01.2009 г. общая протяженность таких линий составляет около 100 км.

Практический интерес представляет изучение характера отказов ВЛ между подстанциями напряжением (10-6)/0,4 кВ и распределительными устройствами 6-10 кВ. Для этой цели были проанализированы отказы за 5 лет, сведения о которых приведены в табл. 1.

За признак отказа было принято отключение трансформатора со стороны 6-10 кВ, то есть в качестве отказного признака принят перерыв электроснабжения потребителей, вызванный либо появлением короткого замыкания, либо поврежде-

нием отдельных элементов системы электроснабжения.

За пять лет наблюдений было зарегистрировано 18470 отключений, из них грозовых – 4823 или 26,1 % и 7,6 % вызванных причинами, которые относились к прочим. В среднегодовой статистике относительное число отказов, вызванных прохождением гроз колебалось в пределах 20-30 %, что свидетельствует о неудовлетворительной работе защиты от грозовых перенапряжений.

Из табл. 1 видно, что наибольшее число отказов (от 33,5 до 46,2 %) связано с невыявленными причинами.

Анализ показал, что все отходящие от подстанций распределительные ВЛ 6-10 кВ (РВЛ 6 - 10 кВ) снабжены срабатывающей при межфазных КЗ максимальной токовой защитой на базе реле РТ-81 с ограниченно-зависимой от тока выдержкой времени.

Земляная защита выполняется на отдельных отходящих РВЛ либо с применением реле УСЗ-2 в виде индивидуальной защиты, либо в виде уст-

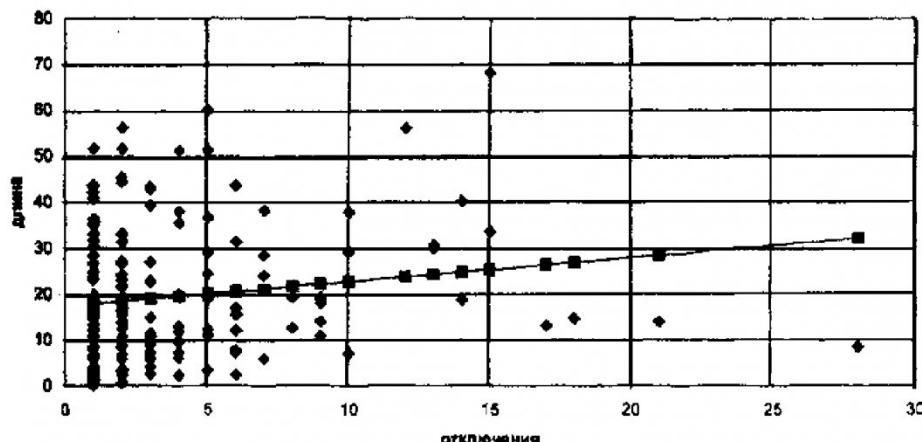


Рис. 2. Поле корреляции и кривая регрессии между числом аварийных отключений ВЛ 6-10 кВ и их длиной

Таблица 3. Зависимость числа отключений ВЛ от их длины

Число отключений	Длина ВЛ 6-10 кВ, км						
	1 – 10	11 – 20	21 – 30	31 – 40	41 – 50	51 – 60	61 – 70
1 – 5	92	76	46	28	15	24	
6 – 10	35	79	24	23	6		
11 – 15		49		41	14	12	15
16 – 20							
21 – 25		21					
26 – 30	28						

ройств контроля изоляции сетей 10 кВ с работой на сигнал при замыкании одной из фаз на землю. В этом случае устройства устанавливают на обслуживаемых персоналом подстанциях.

Вводные в подстанции и РВЛ 10 кВ оборудованы устройствами однократного автоматического повторного включения (АПВ), подающими напряжение при отключении ВЛ действием максимальной защиты. Пуск АПВ осуществляется при несоответствии отключенного положения выключателя и ранее поданной и зафиксированной командой на включение ключом управления или по цепям телеуправления. Однократность АПВ достигается наличием заряда конденсаторов в цепи реле.

Сведения о числе случаев работы АПВ по годам наблюдения приведены в табл. 2.

Здесь обозначено: ОВ – цикл: отключение-включение, то есть успешное действие АПВ; ОВО – цикл: отключение-включение-отключение, то есть неуспешное его действие. Из табл. 2 следует, что успешное действие АПВ в среднем составляет 52 %. Относительно низкий процент успешных включений объясняется главным образом несовершенством устройств АПВ.

Необходимо отметить, что находящиеся в эксплуатации устройства АПВ не позволяют определить факт самоликвидации причины, вызвавшей отключения линии. Это приводит к включе-

нию напряжения устройствами АПВ на неустранившееся КЗ или иное повреждение, в то время как повреждения могут быть неустойчивыми, то есть самоликвидирующимися. Этим и объясняется большое число неуспешных АПВ до 46 % от общего числа, то есть таких отключений ВЛ защищкой, когда из неуспешных АПВ напряжение на ВЛ не сохранялось.

В ряде случаев неуспешные действия АПВ объясняются вырабатыванием устройствами ресурса, отказами входящих в них элементов (конденсаторов, реле и др.).

Число устойчивых КЗ, когда действия устройств АПВ не подхватывает снятое с ВЛ напряжение при действии защиты, составляет 20-25 % общего числа отключений, то есть 4,5 отключений на 100 км ВЛ в год. Это составляет около 85 случаев КЗ в год по сетям 6-10 кВ филиала МРСК Сибири в Кемеровской области.

Длительность перерывов электроснабжения определяется характером повреждения элементов сети и возможностями эксплуатационного персонала по поиску и ликвидации повреждений. Длительность аварийного простоя в среднем по всем ВЛ 6-10 кВ в 1-ый год наблюдения составила 18,2 ч, во 2-ой – 11,8 ч и в 3-ий – 13,8 ч на 100 км в год. Снижение удельной длительности аварийного простоя во 2-ой год, объясняется низкой грозовой дея-

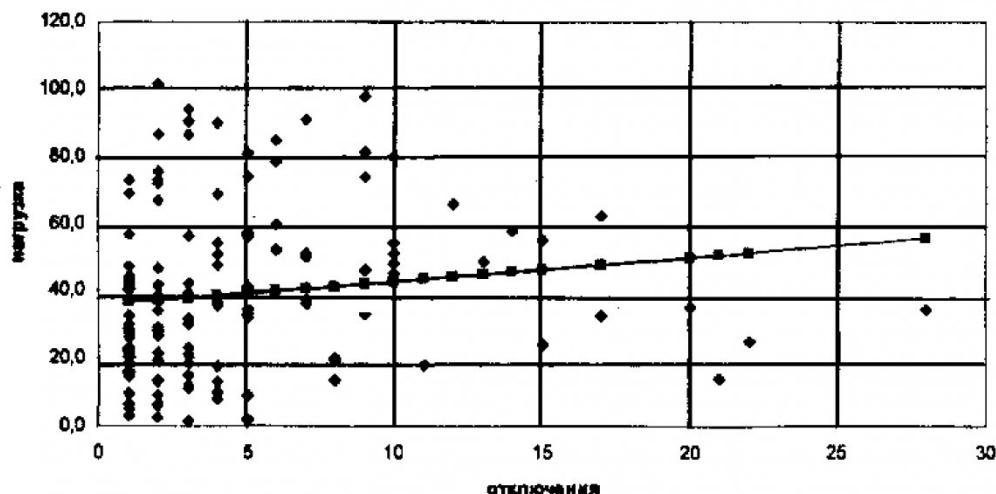


Рис. 3. Поле корреляции и кривая регрессии между числом аварийных отключений ВЛ 6-10 кВ и уровнем их нагрузки

тельностью за этот год.

Время аварийного простоя ВЛ 6-10 кВ в 70 % случаев не превышает 3,5 ч, в 26 % находится в пределах 3,5-6 ч и лишь 1 % отключений вызывает простоя свыше 24 часов. Аварийный недоотпуск ЭЭ составляет в среднем 250 кВт·ч за одно отключение. Количество аварийных отключений из-за отказов кабельных вставок в сетях 6-10 кВ на порядок ниже чем воздушных.

Была проанализирована зависимость числа отключений n от протяженности ВЛ 6-10 кВ L , км, (табл. 3). Поле корреляции этих случайных чисел приведено на рис. 2.

Расчеты показали, что уравнение регрессии имеет вид

$$n = 17,5 + 0,5 L, \quad (2)$$

с коэффициентом корреляции 0,723. Эта достаточно тесная статистическая связь подтверждает очевидный факт увеличения числа аварийных от-

ключений ВЛ с ростом их длины.

На рис. 3 приведено поле корреляции зависимости числа отключений ВЛ 6-10 кВ от уровня их нагрузки, рассчитанной по соотношению (1). Уравнение регрессии:

$$n = 35,5 + 0,7 \beta. \quad (3)$$

Здесь коэффициент корреляции составил 0,14, то есть нагрузка ВЛ 6-10 кВ практически не оказывает влияния на число аварийных отключений, которые, как было указано выше, определяется влиянием, в основном, погодными условиями.

Приведенные выше характеристики распределительных ВЛ напряжением 6-10 кВ могут служить основой для дальнейших исследований закономерностей их повреждаемости с целью разработки мер по повышению надежности и совершенствования технического обслуживания входящего в них оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.kuzbassenergo-rsk.ru>

□ Авторы статьи:

Разгильдеев Геннадий Иннокентьевич -докт. техн.наук, проф. каф.электроснабжения горных и промышленных предприятий КузГТУ Email: rgi 4417@mail.ru	Ногин Евгений Витальевич - соиск. каф. «Электроснабжение горных и промышленных предприятий» КузГТУ. Тел. 8-384-2-39-63-20
---	--

УДК 621.3.017

Р.А.Храмцов, Р.Б.Наумкин

АНАЛИЗ НЕБАЛАНСОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТИХ НАПРЯЖЕНИЕМ 10 кВ И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНКИ

В настоящее время все более важным становится выявление участков электрических сетей с высокой долей коммерческих потерь, величина которых в отдельных районах может превышать 50% в структуре отчетных потерь. В связи с этим возникает актуальность задачи проведения анализа небалансов электроэнергии по элементам распределительной сети 0,4..10 кВ и выявления участков, где величина коммерческих потерь наиболее значима.

Баланс электроэнергии – это система показателей, характеризующая соответствие потребления электроэнергии в энергосистеме, расхода ее на собственные нужды и потерь в электрических сетях величине выработки электроэнергии в энергосистеме с учетом перетоков мощности из других энергосистем [1]. Данное определение можно применить и к участку распределительной сети. Получим, что баланс электроэнергии на участке сети определяется соотношением:

$$W_{nc} = \Delta W_n + W_{nh} + W_{no}, \quad (1)$$

где W_{nc} – прием электроэнергии в сеть, ΔW_n – суммарные расчетные потери, W_{nh} – расход электроэнергии на производственные и хозяйственныенужды, W_{no} – полезный отпуск.

Суммарные расчетные потери электроэнергии можно определить по формуле:

$$\Delta W_n = \Delta W_{tp} + \Delta W_{pi} + \Delta W_{kp}, \quad (2)$$

где ΔW_{tp} – технические потери электроэнергии, ΔW_{pi} – потери, обусловленные нормативными инструментальными погрешностями измерения электроэнергии, ΔW_{kp} – коммерческие потери.

Структура баланса электрической энергии (ЭЭ) распределительной сети представлена на рис.1.

Из формул (1)–(2) коммерческие потери определяются как

$$\Delta W_{kp} = W_{nc} - W_{nh} - W_{no}. \quad (3)$$