

подключает электроприемники непосредственно к централизованной сети 220 В; при полной зарядке аккумулятора отключает альтернативные источники от зарядного устройства и подключает их к балластным нагрузкам (обычно это электроводонагреватели); защищает сеть от перегрузок и коротких замыканий. Как российская, так и западная промышленность выпускают множество моделей источников бесперебойного питания, однако в большинстве случаев будет необходимо провести индивидуальную конструкторскую разработку ИБП для конкретного проекта энергоэффективного дома, используя стандартные промышленные модели для его составных частей: инверторов, зарядных устройств и т. д. Примером удачной конструкции ИБП может служить преобразователь МАП «Энергия», выпускаемый московской фирмой «МикроАрт». Он в несколько раз дешевле аналогичных зарубежных моделей (около 200 долл. за модель мощностью 2 кВт) и может использоваться как составная часть ИБП для любого конкретного проекта электроснабжения дома, а в некоторых случаях наличие одного или нескольких преобразователей «Энергия» достаточно для выполнения всех функций ИБП. Аккумулятор, инвертор и зарядное устройство обычно входят в комплект поставки ветро- и гидроэлектростанций и вносят существенный вклад в их стоимость.

При выборе устройств для системы энергообеспечения дома конкретного типа следует сопоставить технические характеристики и стоимостные показатели ветро- или гидрогенераторов, аккумуляторов, источников бесперебойного питания и других устройств.

### Литература

1. Огородников, И.А., Макарова, О.Н., Дубинина, Е.С. Экодом в Сибири. Обзор литературы, оригинальные разработки, рекомендации специалистов. – Исар-Сибирь: Новосибирск, 2000.

УДК 621.311.1

## ОПЕРАТИВНАЯ ЛИКВИДАЦИЯ ПЕРЕГРУЗКИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

*Дёмин Ю.Н.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КАЛЕНТИОНОВ Е.В.

Перетоки мощности и токовые нагрузки по линиям электропередачи не должны превышать максимальных и аварийно-допустимых значений. Перегрузки линий в условиях эксплуатации неизбежны и возникают, в основном, в результате:

- изменения схемы сети (отключения линий или трансформаторов);
- аварийного снижения генерирующей мощности в приемной части системы;
- аварийного снижения электропотребления в избыточной части энергосистемы;
- разделения энергосистемы на части.

Перегрузка линий электропередачи может быть опасна по условиям:

- нарушения статической устойчивости;
- превышения допустимой температуры нагрева провода (токовая перегрузка линии электропередачи);
- токовой перегрузки выключателей, разъединителей, трансформаторов тока и другого оборудования, входящего в состав электропередачи.

Для сетей 110 кВ и ниже наиболее характерна перегрузка по условию нагрева провода.

Известно, что под влиянием протекания тока по проводам происходят следующие явления:

- изменяются механические характеристики материала провода и его способность и его способность нести механическую нагрузку;
- происходит удлинение провода, вследствие чего он провисает, увеличивается стрела провеса, уменьшаются его габариты до земли и находящихся на ней предметов;
- происходит нагрев соединительных зажимов проводов, что приводит к снижению их прочности;
- изменяются температура и сопротивление провода и, как следствие этого, изменяется количество тепла, выделяемого проводом в окружающую среду.

В настоящее время допустимая токовая нагрузка определяется исходя из допустимой температуры нагрева провода 70 °С при температуре окружающего воздуха 25 °С и скорости ветра 0,6 м/с. Такая допустимая температура принята исходя из условий работы контактных соединений.

Аварийная перегрузка воздушных линий допускается на время, необходимое для пуска резервных агрегатов, ввода резерва, восстановления поврежденных линий и оборудования станций и подстанций, но не более одних суток. Если же нагрузка линии выше максимально допустимой на 15 % и более, то допустимое время перегрузки в [1] рекомендуется определять с учетом кратковременных перегрузок выше нормативных значений и изменения процесса нагрева во времени.

При возникновении перегрузки линии электропередачи диспетчер обязан выявить причину ее возникновения и устранить ее, используя одно или несколько следующих мероприятий:

- ввод в работу резервных линий электропередачи;
- изменение потокораспределения в сети путем использования различных средств;
- загрузку электростанций в приемной части энергосистемы и разгрузку их в передающей части;
- использование аварийных перегрузок генерирующего оборудования;
- снижение электропотребления путем снижения напряжения в приемной части энергосистемы;
- ввод графиков аварийных отключений;
- диспетчерское отключение потребителей по каналам противоаварийной автоматики.

Рассмотрим ликвидацию перегрузки линии на основе реальной сети – Борисовских электрических сетей. В исходном режиме линия «Борисов СШ 110 – Борисов тяговая» выведена в ремонт. Аварийный режим возникает в следствии отключения релейной защитой линии «КС Крупки – Лошница». Подстанции «Лошница», «Борисов Северная», «БПЗ», «Борисов тяговая» с суммарной нагрузкой  $91,9 + j47,7$  вынуждены получать электроэнергию от подстанции «Борисов» по единственной линии, связывающей эти узлы («Борисов СШ 110 – Борисов западная + Печи»). В итоге поток по линии составит  $104,5 + j52,3$  (573 А). Эта линия выполнена проводом марки АС-150/24. Для этого сечения из [2] определяем допустимый ток  $I_n = 450$  А. Соответственно крат-

ность перегрузки будет равна  $k_n = \frac{573}{450} = 1,3$ . По зависимости предельного времени перегрузки от кратности перегрузки и сечения провода находим, что для нашего случая это время составляет приблизительно 15–20 минут [1].

Первое, что необходимо сделать – это дать распоряжение на сворачивание ремонтных работ на линии «Борисов СШ 110 – Борисов тяговая». В рассматриваемом энергоузле нет электростанций, которые можно было дополнительно загрузить и снизить тем самым поток по перегруженной линии. Также нет средств регулирования потокораспределения в этом районе. Значит первая мера – снижение напряжения у потре-

бителей энергорайона на 5 %. В результате этого мероприятия поток по перегруженной линии снизится на 10 %, но этого не достаточно для устранения перегрузки. Поэтому приходится прибегнуть к крайней мере – отключению части электроприемников по графикам аварийных отключений. В таблице 1 приведена последовательность проводимых мероприятий по ликвидации перегрузки для нашего случая.

Таблица 1. Ликвидация аварийной перегрузки линии электропередачи

Мероприятие по устранению перегрузки	Время, прошедшее с начала аварийной перегрузки ВЛ, мин.		Ток в перегруженной линии, А
	Распоряжение	Исполнение, уведомление	
Распоряжение на сворачивание ремонтных работ на ВЛ «Борисов СШ 110 – Борисов Тяговая»	5	60	573
Распоряжение на снижение напряжения у потребителей на подстанциях: «Лощница», «Борисов Северная», «БПЗ», «Борисов тяговая», «Борисов западная», «Печи»	7	10	520
Ввод графиков аварийных отключений	10	15	428
Распоряжение на включение ВЛ «Борисов СШ 110 – Борисов Тяговая»	60	65	225
Восстановление нормального электроснабжения отключенных потребителей	70	75	295

### Литература

1. Калентионук, Е.В., Прокопенко, В.Г., Федин, В.Т. Оперативное управление в энергосистемах: учеб. пособие / Под общ. ред. В.Т. Фебина. – Минск: Вышэйшая школа, 2007. – 351 с.
2. Правила устройства электроустановок. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 640 с.

УДК 621.311

## СИСТЕМНЫЕ АВАРИИ И МЕРЫ ПО ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ

*Петрашевич Н.С.*

Научный руководитель – канд. техн. наук, доцент КАЛЕНТИОНОК Е.В.

Число крупных аварий в энергосистемах во всем мире за последние 10–15 лет неуклонно растет. К примеру, по данным семинара СИГРЭ, прошедшего в 2003 году, в США в 1991–1995 годах было 7 аварий с отключениями мощности 1 000–3 000 МВт, а в период 1996–2000 годов – 13; наибольшая отключенная мощность составила 30 000 МВт.

За последние десятилетия произошло несколько развалов крупнейших энергообъединений, которые принесли огромный ущерб и привели к разработке специальных мероприятий против системных аварий.

Одной из первых системных аварий, вызвавших тяжелые последствия, была авария 13.07.1977 года в Восточном энергообъединении США с потерей мощности около 6 000 МВт. Во время этой аварии, например, только в Нью-Йорке отключение энергоснабжения на многие часы вызвало волну грабежей, были арестованы более 3 000 чел.

В прошлом веке были аварийные отключения мощности 10 000 МВт и более: