

энергии. К зонам благоприятным для развития ветроэнергетики, со среднегодовой скоростью ветра выше 5–5,5 м/с, относится 20 % территории страны. Поэтому ветроэнергетику можно рассматривать в качестве вспомогательного энергоресурса, решающего местные проблемы, например, отдельных фермерских хозяйств. По некоторым оценкам, возможная установленная мощность ВЭУ к 2010 году в республике может составить 1500 кВт. В Дзержинском районе сдана ВЭУ 250 кВт на опоре 35 м.

### Литература

1. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 200 с.
2. Олешкевич, М.М., Лосюк, Ю.А. Нетрадиционные источники энергии: Учебно-методическое пособие для студентов вузов. – Мн.: БГПА, 2001.
3. Коваленко, Э.П. Возобновляемые источники и возможности их использования в Беларуси. – Мн.: ЦНИИКИВР, 1995. – 137 с.

УДК 621.311

## СИСТЕМНАЯ АВАРИЯ В ЕЭС РОССИИ

*Клим М.В.*

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

В Единой энергосистеме России 25 мая 2005 года произошла тяжелая системная авария, вызвавшая погашение ряда электростанций и потребителей суммарной мощностью порядка 3 540 МВт в Московской, Тульской, Калужской, Рязанской и Смоленской энергосистемах. Предпосылкой возникновения и развития данной аварии послужила авария на ПС 500 кВ «Чагино», схема которой приведена на рисунке. В результате повреждения в 20 ч 57 мин 24.05.2005 г. трех фаз измерительного трансформатора тока воздушного выключателя ВВ 110 кВ I СШ АТ-2 и последующего развития аварии (разрушение ТТ СВ II СШ 110 кВ, 2-х фазное КЗ на СШ 220 кВ с обрывом шлейфа на портале и потеря питания собственных нужд) в 21 ч 15 мин 24.05.2005 г. была полностью погашена ПС 500/220/110 кВ «Чагино». При этом отключились все присоединения 110, 220 и 500 кВ, два синхронных компрессора на подстанции, два энергоблока и два турбогенератора ТЭЦ-22, работавших с суммарной нагрузкой 640 МВт на шины 220 кВ ПС «Чагино». В результате отключения трех ВЛ 500 кВ произошел разрыв Московского кольца 500 кВ. В связи со сложившимся режимом работы электрической сети Московской энергосистемы были проведены оперативные расчеты режимов на период предстоящего максимума нагрузки с учетом расчетных возмущений. В течение ночи диспетчерский персонал ЦДУ и ОДУ центра предпринимал усилия по замыканию Московского кольца 500 кВ. Однако по разным причинам замкнуть кольцо не удалось.

В связи с ослаблением электрической сети и утреннего роста нагрузки, начиная с 8 ч 15 мин 25.05.2005 г. диспетчеру Московского регионального диспетчерского управления периодически стали поступать сообщения дежурных электрических сетей и подстанций о возникновении перегрузок ВЛ 110 и 220 кВ (токи в линиях достигали значений до 1 кА) и снижении напряжения, значения которых приведены в таблице 1. В сложившихся условиях предаварийной ситуации, эффективным средством предотвращения аварии было бы быстрое отключение потребителей средствами автоматики или дистанционно. Автоматических устройств разгрузки электрической сети при снижении напряжения и перегрузках линий электропередачи в Московской энергосистеме не было и не существовало никогда ранее и диспетчерский персонал Московской энергосистемы попытался обойтись без радикальных действий, т. е. без отключения групп потребителей с питающих центров. Это привело к тому, что в период 9 ч 15 мин до

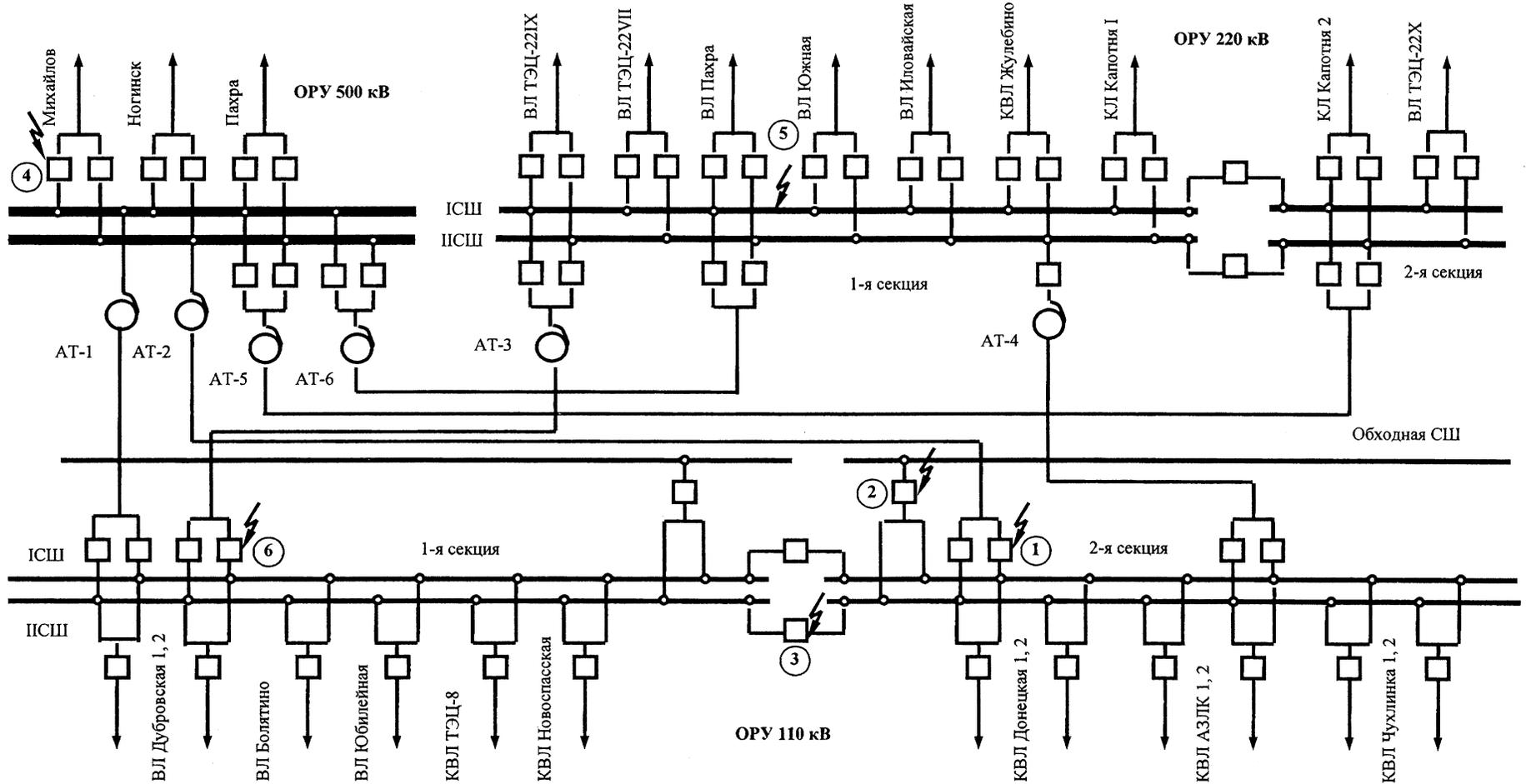


Рисунок 1. Схема подстанции «Чагино»: 1 – повреждение ТТ и ВВ 110 кВ IСШ АТ-2 в 19 ч. 57 мин 23.05.2005 г.; 2 – повреждение ТТ и ОВВ 110 кВ в 19 ч. 57 мин 23.05.2005 г.; 3 – повреждение ТТ и ОВВ 110 кВ в 19 ч. 57 мин 24.05.2005 г.; 4 – повреждение ВВ-2 АТ-1 110 кВ в 20 ч. 57 мин 24.05.2005 г.; 5 – обрыв шлейфа и КЗ на IСШ в 21 ч. 17 мин 24.05.2005 г.; 6 – повреждение ВВ 110 кВ IСШ АТ-3 в 05 ч. 31 мин 25.05.2005 г.

10 ч 45 мин из-за провисания проводов и возникновения КЗ устройствами релейной защиты с неуспешным АПВ отключились семь линий электропередачи 220 кВ.

**Таблица 1. Фактические напряжения на подстанциях 25.05.2005 г., кВ**

Время	Пахра 110	Чертаново 110	Баскаково 110	Баскаково 220	Лесная 220	Бугры 220
8.00	106,1	103,9	108,0	214,5	211,2	220,0
9.00	103,9	103,9	106,0	210,1	207,9	215,6
10.00	101,2	103,9	105,0	205,7	204,6	214,0
10.34	96,2	97,3	97,3	187,0	193,6	194,7
10.55	93,5	92,4	95,1	180,4	187,0	187,0
11.00	91,8	88,5	92,4	172,1	184,0	184,0

Из-за отключения линий электропередачи произошло еще большее снижение напряжения в сети 110 кВ до 85–90 кВ (см. таблицу 1), приведшее к лавине напряжения. Итогом лавины напряжение явилась полная или частичная потеря генерации на ГЭС-1, ТЭЦ-8, 9, 11, 17, 20, 22, 26, ГРЭС-4 в Московской энергосистеме и Алешинской ТЭЦ, Новомосковской ГРЭС, Ефремовской ТЭЦ, Щекинской ГРЭС в Тульской энергосистеме. В результате дальнейшего развития аварии (с 10 ч 53 мин до 11 ч 14 мин отключились 21 линия электропередачи напряжением 110 и 220 кВ) в Московской энергосистеме была отключена 321 подстанция 35–220 кВ.

Около 12 ч 30 мин развитие аварии было остановлено действием оперативного персонала и устройствами автоматики. Все отключения, выполненные оперативным персоналом и автоматикой, были осуществлены штатно и без повреждений. Несмотря на сложность режима в условиях развития аварии, сеть 500 кВ и 750 кВ ЕЭС России не была затронута аварийным процессом. Это позволило ограничить масштаб аварии.

Для ликвидации аварии был создан оперативный штаб под руководством Председателя правления РАО «ЕЭС России», который организовал координацию деятельности по восстановлению энергоснабжения. Это позволило уже к 21 ч включить 42 из 51 важнейших и социально значимых объектов г. Москвы. К 18 ч 26.05.2005 г. последствия аварии полностью ликвидированы.

Основными причинами данной системной аварии являются:

1. Погашение ПС «Чагино» из-за повреждения оборудования (измерительных ТТ 110 кВ, воздушных выключателей 110 кВ, воздухопроводов, подвесной изоляции).
2. Эксплуатация оборудования, выработавшего свой ресурс.
3. Неудовлетворительная организация технического обслуживания и эксплуатации оборудования подстанции.
4. Дефицит активной и реактивной мощности в Московской энергосистеме (потеря 640 МВт генерации на ТЭЦ-22, отключения двух синхронных компенсаторов на ПС 500 кВ «Чагино»).
5. Недостаточная наблюдаемость сети и режима оперативно-диспетчерским персоналом.
6. Отсутствие автоматики разгрузки линий электропередачи при снижении напряжения и перегрузке по току.
7. Высокая температура воздуха, приведшая к увеличению провеса проводов и возникновению КЗ.
8. Недостаточно эффективные действия оперативно-диспетчерского персонала по обеспечению и восстановлению допустимых уровней напряжения и устранению перегрузок линий электропередачи.

Последствия аварии:

В результате аварии в Московской энергосистеме была отключена 321 подстанция, в том числе 16 ПС 220 кВ, 201 ПС 110 кВ, 104 ПС 35 кВ. В результате этого произошло отключение потребителей:

Московской энергосистемы – порядка 2 500 МВт;

Тульской энергосистемы – 900 МВт;

Калужской энергосистемы – 100 МВт;

Рязанской энергосистемы – 26,5 МВт;

Смоленской энергосистемы – 13 МВт.

Длительность аварии – 45 ч.

УДК 621.311

## СТАТИЧЕСКИЙ ТИРИСТОРНЫЙ КОМПЕНСАТОР НА ОСНОВЕ УПРАВЛЯЕМОГО ШУНТИРУЮЩЕГО РЕАКТОРА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА

*Сильченко О.В.*

Научный руководитель – д-р техн. наук, профессор ПОСПЕЛОВ Г.Е.

Рассмотрена принципиально новая схема статического тиристорного компенсатора на основе управляемого шунтирующего реактора трансформаторного типа. Показано, что при подключении к компенсационной обмотке УШРТ параллельно фильтрам высших гармонических конденсатора или батареи конденсаторов, он работает в режиме выдачи реактивной мощности при разомкнутой обмотке управления, а также при углах зажигания тиристоров, близких к  $180^\circ$ . Путем подбора емкости конденсатора можно обеспечить любое требуемое соотношение между номинальными токами СТК в емкостном и индуктивном режимах. При этом используется только один тиристорный блок, шунтирующий обмотку управления СТК.

Реактор имеет три обмотки (рисунок 1):

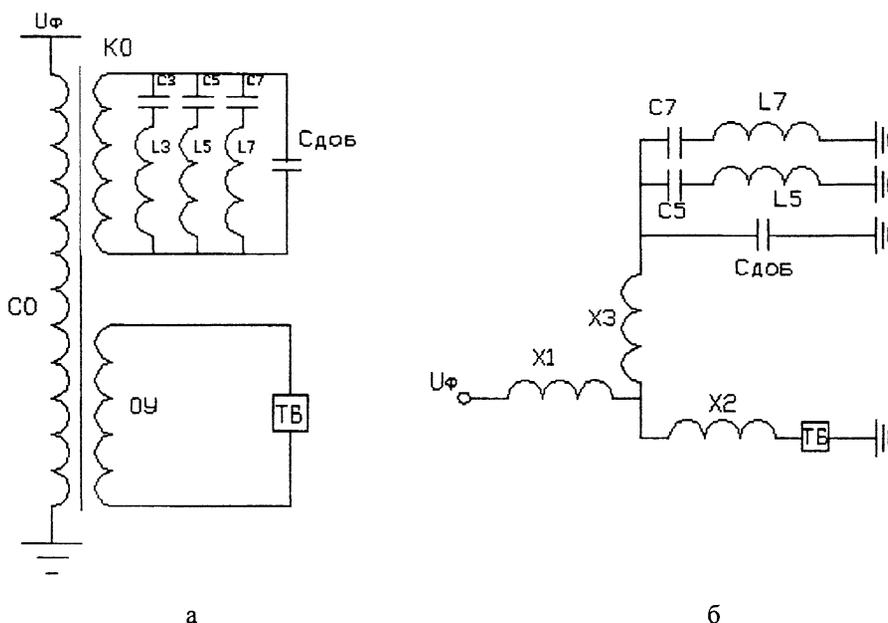


Рисунок 1. Принципиальная однолинейная схема (а) и эквивалентная схема (б) СТКТ