



# **ЗАДАЧИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

---

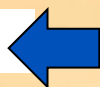
**Заместитель Технического директора – Главный технический  
инспектор ОАО РАО «ЕЭС России»  
В.К. Паули**

**ОАО АК «Якутскэнерго»  
23-25 июня 2006 г.**



# Авария 25 мая 2005 г.

Технические



Последствия  
аварии



Социальные

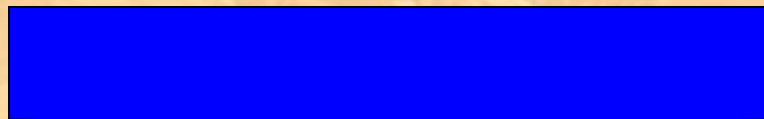
## Отключение потребителей:

- **Московская энергосистема – около 2500 МВт**  
(26% от общего энергопотребления в регионе)
- **Тульская энергосистема – 900 МВт (87%)**
- **Калужская энергосистема – 100 МВт (22%)**



Около 20 тыс. людей были заблокированы в поездах московского метро, около 1,5 тыс. застряли в лифтах  
Без электроснабжения остались около 4 млн. людей, большое количество предприятий, а также социально значимые объекты (продолжительность отключения составила от нескольких часов до суток).

Причины аварии





# Авария 25 мая 2005 г. - как произошло?

## Этапы развития аварии

Подстанция «Чагино» полностью отключена от Московской энергосистемы из-за повреждения оборудования (трансформаторы, воздушные выключатели, система воздушных проводов, изоляция)

Разорвано Московское энергокольцо 500 кВ из-за отключения ВЛ со стороны ПС «Чагино».

Возникновение дефицита реактивной мощности

Падение напряжения в южной части Московской энергосистемы

Перегрузка нескольких ЛЭП 110 и 220 кВ, вызвавшая провисание проводов

Многочисленные отключения ЛЭП 110-220 кВ

Не достаточно правильные действия оперативно-диспетчерского персонала

Перегрузка оставшихся ЛЭП 110 кВ

Падение напряжения в сети 110-220 кВ

**Каскадное развитие аварии. Отключение генерирующего оборудования (автоматическое или ручное). Прекращено энергоснабжение конечных потребителей в Московской, Тульской и Калужской энергетических системах.**



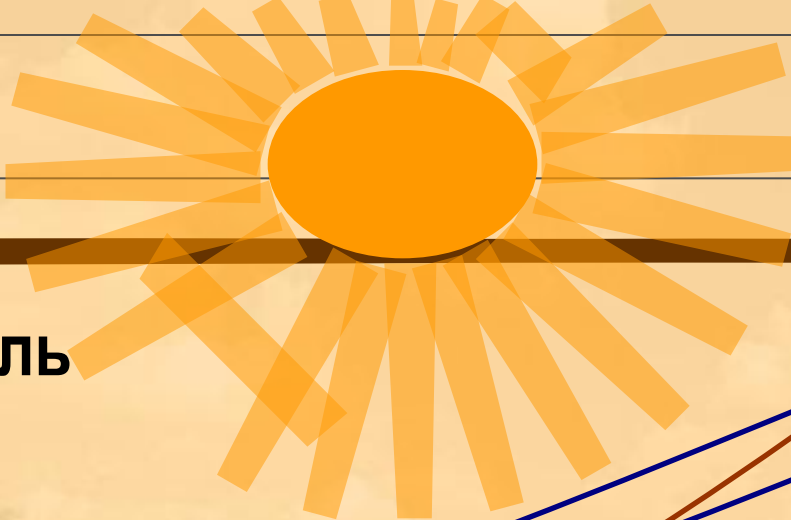
## Недостатки эксплуатации на ПС «Чагино», отсутствие которых не спровоцировало бы такое развитие

На повредившемся в 20<sup>57</sup> 24 мая 2005 года ТТ, как показал анализ документации, при достижении пробивного напряжения до значения, ограничивающего область нормального состояния (40 кВ), в нарушение РД 34.45.-54.300-97 «Объемы и нормы испытаний электрооборудования» не производился замер  $\text{tg}\delta$  изоляции.

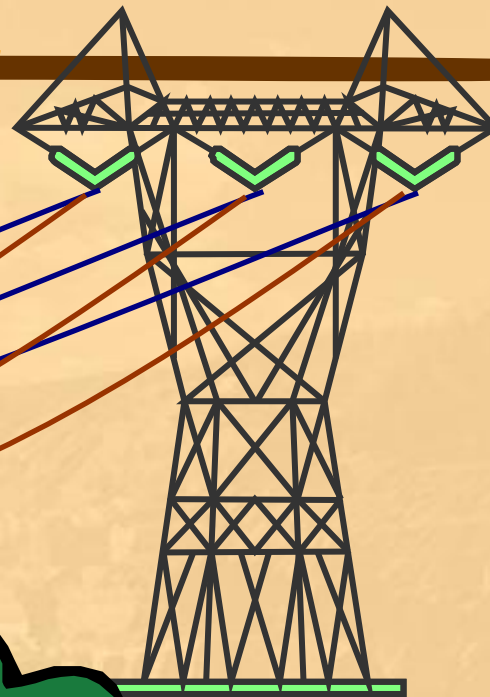
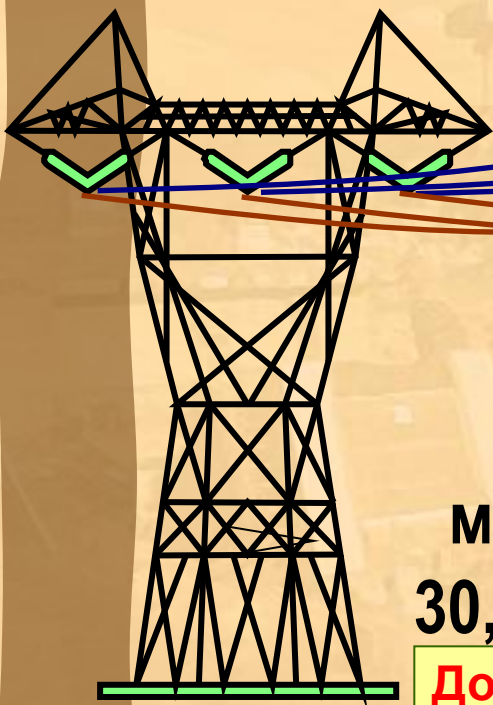
Последний замер был в 1988 году –  $\text{tg}\delta$  изоляции = 2,4, при первоначальном 0,55 и браковочном 3,0. **Что стало с этим показателем за 17 лет?**

Не было своевременно произведено отключение воздухопроводов, поврежденных осколками разрушенных трансформаторов тока, что привело к утечке воздуха из ресиверов и значительной задержке включения подстанции после полного ее погашения.

Не приняты меры дежурным персоналом подстанции по снятию напряжения с выключателей 500 кВ отключенных ВЛ 500 кВ путем отключения соответствующих разъединителей или требования от диспетчера энергосистемы снятия напряжения с отключившихся ВЛ. В результате произошло самопроизвольное включение ВВ 500 кВ ВЛ и замкнулась цепь на КЗ.



апрель



май

май  
30,6<sup>0</sup>С

Допустимые токовые нагрузки ВЛ были посчитаны на температуру наружного воздуха 20<sup>0</sup>С





## ПРОБЛЕМА! Происходит рост потребности в доставке реактивной мощности к шинам нагрузки – нонсенс!

После отмены приказом Министра энергетики (10.01.2000 №2) Правил пользования электрической и тепловой энергией, потребители перестали участвовать в поддержании напряжения на шинах нагрузок

Появились проблемы с поддержанием (повышением) напряжения на шинах нагрузок

Возросли потоки реактивной мощности по системообразующим и распределительным сетям к шинам нагрузок

Ограничилась пропускная способность ВЛ по активной мощности и существенно возросли потери в сетях

### Фактическая загрузка по Q отключившихся 25.05.2005 ВЛ:

ВЛ 220 кВ Очаково - Чоботы 98 МВАр  
КВЛ 220 ТЭЦ-20 – Академическая 122 МВАр  
ВЛ 220 кВ Чертаново – Южная 76 МВАр  
ВЛ 220 кВ Баскаково – Гальяново 256 МВАр  
ВЛ-220 кВ Шатура – Пески 107 МВАр  
ВЛ 220 кВ Осетр – Михайлов 54 МВАр

### Фактическая загрузка по Q На 12-00 16.05.2006:

100 МВАр  
45 МВАр  
100 МВАр  
140 МВАр  
26 МВАр  
60 МВАр



# Влияние загрузки ВЛ реактивной мощностью

Безусловно, будь скомпенсирована реактивная мощность у потребителей Московской энергосистемы, майской аварии 2005 года могло бы не быть. Скорее всего, ее и не было бы, потому что не было бы такой загрузки реактивной мощностью и соответственно дополнительного провиса отключившихся линий электропередачи, напряжение в узлах нагрузок было бы выше, генераторы бы не перегрузились из-за форсировки возбуждения, так как она не потребовалась бы, хватило бы времени на загрузку пускаемого оборудования и т.д.





# РЕАКТИВНАЯ МОЩНОСТЬ И ПРОБЛЕМЫ...

Повышенное потребление реактивной мощности электроприемниками или пониженный коэффициент мощности при  $P = \text{const}$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Возрастание тока, протекающего через сеть

$$I = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3}U}$$

Снижается пропускная способность сетей

Увеличивается сечение проводов - удорожание

$$s = \frac{\rho l P^2}{\Delta P U^2 \cos^2 \varphi}$$

Увеличиваются потери активной мощности

$$\Delta P = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} R$$

Перерасходуется электроэнергия

Необходимость прокладки новых сетевых магистралей – удорожание

Увеличиваются потери напряжения

$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U}$$

Уменьшается напряжение на шинах электроприемников

Дополнительное увеличение тока электрической сети





При снижении напряжения потребитель свою мощность все равно выбирает...

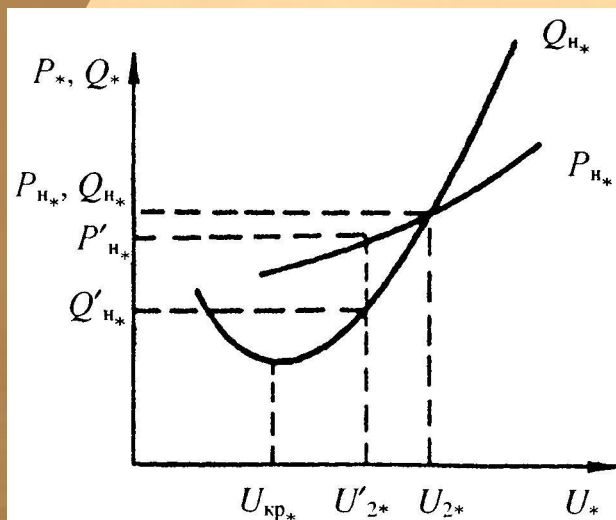
Уменьшается напряжение на шинах электроприемников

$$\Delta U = \frac{\sum P \cdot R + \sum Q \cdot X}{U}$$

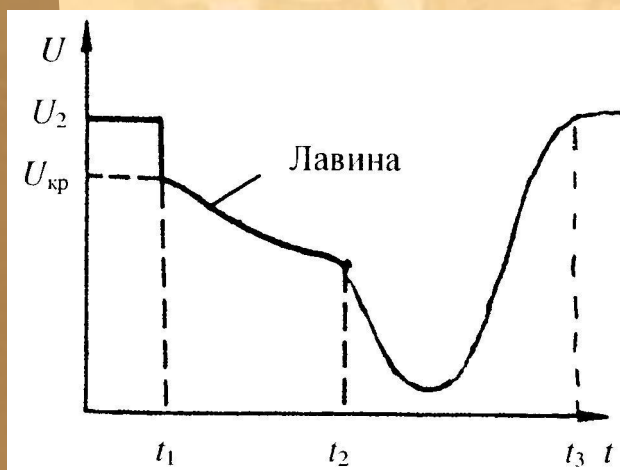
Происходит дополнительное увеличение тока в линиях электропередачи и дальнейшее снижение напряжения



# ПОЧЕМУ ОПАСНО СНИЖЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ?



статические характеристики реактивной (рис. 2а) мощности  $Q_n = f(U)$  более крутые, чем статические характеристики активной мощности  $P_n = f(U)$  – изменение напряжения на 1% приводит к изменению реактивной мощности на 2-5%, в то время как активной лишь на 0,6-2%;



при снижении напряжения на шинах нагрузки до уровня  $U < U_{кр}$  (критического напряжения статической характеристики узла нагрузки по напряжению) происходит резкое повышение потребления реактивной мощности, приводящее к увеличению потери напряжения, дальнейшему снижению напряжения и быстроразвивающемуся в течение нескольких секунд процессу, называемому лавиной напряжения



# Потери в электрических сетях

- Потери активной мощности при передаче и потреблении реактивной мощности определяются по формуле, кВт:

$$\Delta P = 3 \times I^2 \times r \times 10^3$$

где:  $I$  – ток нагрузки, А;  $r$  – сопротивление, Ом.

Т.е. зависят от квадрата тока нагрузки, поэтому для уменьшения потерь важно снизить величину полного тока.

Например, если потребитель потребляет 4 единицы активной энергии и 3 единицы реактивной энергии, то сеть оказывается загруженной на 5 единиц, а потери в ней возрастают с величины пропорциональной  $4^2 = 16$  единицам, до величины, пропорциональной  $4^2 + 3^2 = 25$  единицам.



# Потери в электрических сетях

- Уменьшение потерь активной электроэнергии обусловленных перетоками реактивных мощностей, является реальной эксплуатационной технологией энергосбережения в электрических сетях. Эффективное экономическое регулирование реактивных потоков необходимо также для обеспечения первоочередных стандартных условий качества электрической энергии, а именно уровней напряжения на границе балансовой принадлежности электросетей, что является одной из наиважнейших проблем Российской электроэнергетики.

**Снижение потерь по Холдингу на 1% только за счет компенсации реактивной мощности на шинах нагрузок высвободит для потребителей же 1600 МВт, на 2 % - 3200 МВт и т.д.**



**Большим заблуждением менеджмента энергокомпаний является мнение о том, что основную часть потерь составляют коммерческие потери.**

- Да с ними надо бороться, но надо понимать, что на дворе не середина девяностых годов прошлого столетия, а время, когда платежная дисциплина потребителей благодаря планомерным действиям РАО «ЕЭС России» для подавляющего числа потребителей стала нормой.
- Поэтому с потерями надо бороться вооружившись знаниями, замерами, формулами и расчетами, схемно-режимными мерами и улучшением баланса реактивной мощности.





# Компенсация реактивной мощности

Стандартная коррекция коэффициента мощности



Уменьшение реактивной нагрузки позволит производителю электроэнергии при той же величине производимой мощности снабжать дополнительных потребителей, то есть обеспечить в определенной степени прирост потребления без увеличения вырабатываемой мощности. Или потребителю прирастить свои производственные мощности без увеличения потребления из сети.



## **«Реактивная мощность» - требуется от РАО «ЕЭС России»:**

**В соответствии с проектом постановления Правительства РФ «Об утверждении правил розничного рынка электроэнергии и мощности и порядка ограничения потребителей» должен быть разработан в 2006 г., утверждаемый МПЭ России:**

**«Порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных приемников (групп приемников) потребителей электрической энергии, применяемых для определения обязательств сторон в договорах оказания услуг по передаче электрической энергии (электроснабжения) и расчета сетевых организаций на установку устройств, обеспечивающих регулирование реактивной мощности»**

**В данный документ необходимо в обязательном порядке внести требование о выдерживании потребителями значений  $\operatorname{tg} \varphi$  не более 0,4, или  $\cos \varphi$  не менее 0,93.**

**Такое требование имеется, например в Польше!**



## Специальная программа «Реактивная мощность»

- ✓ Внесение в договора электроснабжения условий о выполнении потребителями требований ранее выданных технических условий на присоединение в части поддержания указанных в них значений  $\cos \varphi$  ( $\tan \varphi$ );
- ✓ Проведение совместно с потребителями инвентаризации и ревизии неподключенных у потребителей источников компенсации реактивной мощности и принятие всех мер по их вводу в работу, как одного из требований выданных технических условий на присоединение;
- ✓ Установка устройств компенсации реактивной мощности в энергоузлах распределительных сетей, имеющих высокую загруженность линий электропередачи реактивной мощностью;
- ✓ Проведение семинаров с участием руководителей и специалистов электросетевых компаний, включая муниципальные сети и сети потребителей, и представителей потребителей на тему «Реактивная мощность и ее значение в надежности и экономике электроснабжения» с целью повышения заинтересованности внедрения систем компенсации реактивной мощности.



# Но сначала необходимо:

- 1. Выполнить требования приказа РАО «ЕЭС России» от 25.10.2005 № 703 «О лицензировании деятельности по продаже электрической энергии и обязательной сертификации электрической энергии в электрических сетях общего назначения».**
- 2. Оценить оснащенность приборами контроля и учета реактивной мощности в энергосистеме и доукомплектовать.**
- 3. Оценить и оформить балансы реактивной мощности по всей энергосистеме.**



# Обеспечение системной надежности за счет нормализации баланса реактивной мощности и напряжения

Широкомасштабно осуществляется процесс сертификации качества электрической энергии, в рамках которого проведена оценка уровней напряжения в распределительных сетях на соответствие требованиям ГОСТ 13109-97, в ДЗО разработаны соответствующие мероприятия и план-графики их выполнения (приказ РАО ЕЭС «России» от 25.10.2005 №703).

*46% электросетевых компаний получили сертификаты соответствия электрической энергии установленным требованиям на центры питания, входящие в первую очередь планов-графиков*

В Московской энергосистеме реализуются проекты по устранению дефицита реактивной мощности за счет установки в 2006 году УКРМ в наиболее проблемных узлах ( *ПС Кубинка, Можайск, Слобода, Грибово*).

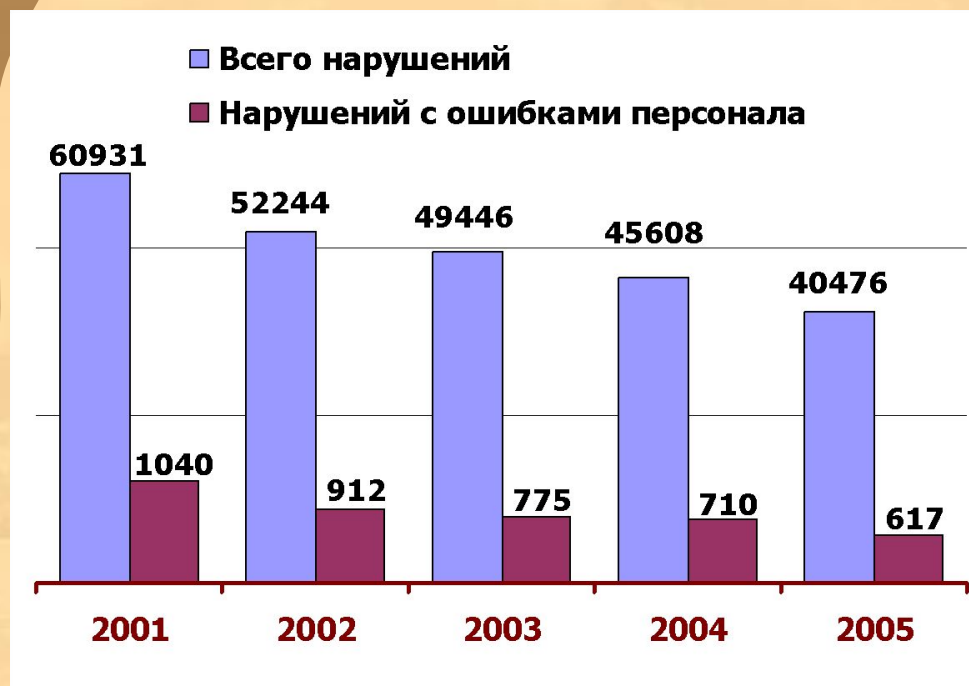
В ДЗО ОАО РАО «ЕЭС России» разрабатывается и реализуется программа «Реактивная мощность», основной целью которой является оптимизация балансов реактивной мощности, снижение ее перетоков и приведение уровней напряжения в соответствие с нормируемыми значениями (приказ РАО «ЕЭС России» от 20.04.2006 № 284).

**А как в ОАО АК «Якутскэнерго»?**





# Динамика аварийности



Динамика в сравнении с ОЗП 2004/2005:

## Особенности прошедшего ОЗП:

- аномально длительные и значительные понижения температур одновременно на значительной территории Европейской части России, Урала и Сибири
- в 14 регионах России превышен исторический максимум потребления



Отказы в электроэнергетических системах происходят по разным причинам.

## **НО БОЛЬШЕ ВСЕГО БЕСПОКОИТ ТО, ЧТО СТАЛА НАРАСТАТЬ ТЯЖЕСТЬ ПОСЛЕДСТВИЙ ОТКАЗОВ**

- **нарастает число случаев отключения потребителей и увеличиваются размеры отключаемых нагрузок защитами при снижении напряжения во время коротких замыканий в электрических сетях, что говорит о недостаточной устойчивости нагрузки к внешним возмущениям в связи с отсутствием запаса по напряжению на шинах присоединения**
- **по сравнению с предшествующим ОЗП:**
  - ***возросло в 2 раза число технологических нарушений, приведших к нарушениям электроснабжения потребителей на величину нагрузки 25 МВт и выше***
  - ***возрос в 2,3 раза недоотпуск электрической энергии из-за технологических нарушений***
  - ***возросло в 1,4 раза число технологических нарушений, вызванных неблагоприятными погодными условиями***



# Специальная программа *«Повышение надежности распределительных электрических сетей»*

✓ Использование преимущественно защищенных проводов в сетях 110 кВ и самонесущих изолированных проводов в сетях 35 кВ и ниже при реконструкции и новом строительстве распределительных сетей;

✓ Использование завышенных опор;

✓ Проведение целевого обследования ЛЭП со сроком службы 40 лет и более с целью выявления участков с низкой надежностью и принятия мер по проведению реконструкции в приоритетном порядке;

✓ Выполнение проектов при реконструкции и новом строительстве электрических сетей на основе реальных температурных и гололедоветровых условий;

✓ Применение с целью повышения надежности электроснабжения потребителей секционирования распределительных сетей с использованием выключателей вместо разъединителей при реконструкции и новом строительстве в регионах с тяжелыми климатическими условиями.



**В настоящее время среди электроэнергетиков нет единого мнения о том, каков должен быть набор показателей при оценке надежности сложной электроэнергетической системы**

**Перечень используемых в российской и зарубежной электроэнергетике показателей надежности применительно к электроэнергетическим системам и их составляющим:**

- ***Системные показатели надежности электроэнергетических систем***
- ***Показатели систем электроснабжения (распределительных электрических сетей)***
- ***Показатели, ориентированные на потребителей***
- ***Показатели, характеризующие недоотпуск электрической энергии***
- ***Показатели, характеризующие надежность элементов электроэнергетических систем***
- ***Показатели, отражающие ущерб от снижения надежности систем электроснабжения***



## Системные показатели надежности электроэнергетических систем:

- баланс активной мощности;
- баланс реактивной мощности;
- критерии статической устойчивости;
- критерии динамической устойчивости;
- энергетический индекс надежности;
- число выходов напряжения в контрольных пунктах энергосистемы за допустимые пределы.





## Показатели систем электроснабжения (распределительных электрических сетей):

- системный индекс нарушения электроснабжения
- среднее по системе ограничение потребителей на один отказ
- системный показатель недоотпуска электрической энергии потребителям
- число выходов напряжения в контрольных пунктах системы электроснабжения за допустимые пределы.



## Показатели, ориентированные на потребителей:

- **системный показатель средней частоты перерывов электроснабжения потребителей**
- **показатель средней частоты перерывов электроснабжения потребителей**
- **системный показатель средней длительности перерывов электроснабжения потребителей**
- **показатель средней длительности перерывов электроснабжения потребителей**
- **средний показатель надежности (ненадежности) электроснабжения потребителей.**



## Показатели, характеризующие недоотпуск электрической энергии:

- **недоотпущенная потребителям электроэнергия;**
- **средний по системе (на одного потребителя) недоотпуск электрической энергии;**
- **средний показатель ограничения одного потребителя.**



## Показатели, характеризующие надежность элементов электроэнергетических систем:

- вероятность отказа или средний коэффициент вынужденного простоя
- параметр потока отказов (среднее количество отказов) или частота отказов
- среднее время восстановления
- параметр потока преднамеренных отключений
- среднее время преднамеренных простоев или их средняя продолжительность.





## Показатели, отражающие ущерб от снижения надежности систем электроснабжения:

- ущерб потребителя от недоотпуска электрической энергии;
- ущерб электроснабжающей организации в виде потерь бизнеса, затрат на восстановление и затрат на возмещение (с учетом страховых покрытий).





**СПАСИБО ЗА  
ВНИМАНИЕ!**