



**ОАО «Всероссийский теплотехнический  
научно-исследовательский институт  
(ОАО «ВТИ»)**

**Учёт, статистическая обработка  
и анализ показателей  
технического использования,  
надёжности и экономичности  
оборудования ТЭС**

Заведующий сектором ОАО «ВТИ», к.т.н.  
**Римов Алексей Андреевич**

# Содержание

---

- 1. Что пользователь ожидает найти в статистическом справочнике по оборудованию?**
- 2. Необходимость контроля и мониторинга технического состояния оборудования – требование законов и НД**
- 3. Показатели надёжности, технического использования и экономичности энергетического оборудования. Методические аспекты учёта и обработки исходных данных**
- 4. Организация сбора и обработки исходных данных по оборудованию**
  - в период существования РАО «ЕЭС России»,
  - свёртывание работы в соответствии с приказом Минэнерго,
  - лучшие мировые практики,
  - доводы и рецепты противников статистики.
- 5. Приложения**
  - ✓ **Использование трендов показателей.**
  - ✓ **Использование статистических распределений показателей .**
  - ✓ **Надёжность, экономичность и риск эксплуатации оборудования блочных электростанций.**

# **1. Что пользователь ожидает найти в статистическом справочнике по оборудованию?**

---

- 1. Значения показателей интересующего пользователя оборудования, которые дают представление о возрасте оборудования, его загрузке, надёжности, эффективности.**
- 2. Возможность сравнения показателей конкретного оборудования с показателями однотипного оборудования.**
- 3. Возможность сопоставления показателей разнотипного оборудования.**
- 4. Сведения об имеющихся закономерностях изменения показателей в зависимости от факторов, влияющих на оборудование в процессе эксплуатации.**
- 5. Помощь в обосновании решения по интересующему пользователя оборудованию.**

## **2. Необходимость контроля и мониторинга технического состояния оборудования следует из требований законов и НД**

---

- ✓ **Закон об энергетике**
- ✓ **Закон о промышленной безопасности опасных производственных объектов**
- ✓ **Закон об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности**
- ✓ **Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей**
- ✓ **Руководящие документы РАО «ЕЭС Росси»**
- ✓ **Стандарты организаций электроэнергетики**
- ✓ **Концепция обеспечения надёжности в энергетике (проект Минэнерго РФ )**

### **Вывод:**

**Учёт и обработка показателей технического использования, надёжности и экономичности оборудования является частью системы контроля и мониторинга его технического состояния**

### 3. Показатели надёжности, технического использования и экономичности энергетического оборудования

Показатель	Длительность учётного периода времени
Коэффициент рабочего времени, $K_p = T_p/T_k$	Кратная одному календарному году
Коэффициент технического использования, $K_{ти} = (T_k - T_{рем})/T_k$	Кратная одному календарному году
Коэффициент простоя в резерве, $K_{рез} = T_{рез}/T_k$	Кратная одному календарному году
Коэффициент использования установленной мощности, $K_{иум} = Э/T_k * N_y$	Кратная одному календарному году
Средняя нагрузка, $N_{ср} = Э/T_k$	Кратная одному календарному году
Коэффициент неплановых простоев, $K_{нп} = (T_v + T_з)/T_k$	Не менее $3 * T_0$
Коэффициент готовности, $K_g = T_p/(T_p + T_v)$	Не менее $3 * T_0$
Коэффициент плановых ремонтов, $K_{пр} = T_{пр}/T_{мц}$	Кратная межремонтному циклу
Удельный расход условного топлива на энергоустановку, $B$	Месяц, квартал, год
Удельный расход тепла на турбину, $Q$	Месяц, квартал, год

**РД 153-34.1-08.556-99 «Методические указания по составлению отчета тепловой электростанции о техническом использовании оборудования» (макет 15511)**

**РД 34.08.552-95 «Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования» (макет 15506)**

**РД 153-34.0-20.801-2000 «Инструкция по расследованию и учету технологических нарушений в работе энергосистем, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей»**

# из Приложения 1 к Приказу Минэнерго России от 7 августа 2008 г. N 20

## ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИИ, ПРЕДОСТАВЛЯЕМОЙ СУБЪЕКТАМИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

---

1.1. Сведения о технологических нарушениях на электростанциях и в сетях

**НЕ ПРЕДУСМОТРЕНА ОТЧЁТНОСТЬ по РД 153-34.0-20.801-2000 «Инструкция по расследованию и учету технологических нарушений в работе энергосистем, электростанций, котельных, электрических и тепловых сетей»**

---

2.1. Сведения о работе тепловой электростанции

2.4. Сведения о производстве электроэнергии и тепла

2.6. Сведения об использовании установленной мощности электростанций

**НЕ ПРЕДУСМОТРЕНА ОТЧЁТНОСТЬ по**

**РД 153-34.1-08.556-99 «Методические указания по составлению отчета тепловой электростанции о техническом использовании оборудования»**

**РД 34.08.552-95 «Методические указания по составлению отчета электростанции и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования»**

**ВЫВОД: Приказ Минэнерго не обеспечивает сбор и обработку сведений о техническом использовании, надёжности и эффективности установленного на энергетических объектах оборудования.**

# Сбор данных и обработка статистики в ведущих энергетических корпорациях

**WEC** - с 1974 года сбор и обработка статистики по техническому использованию и надёжности электростанций. Объединяет к настоящему времени около 90 национальных энергетических советов. Установлено 7 – 8 основных «ключевых показателей»:

**EAF, UCF** - коэффициенты энергетической готовности;

**UCLF** - коэффициент неплановых упущенных возможностей (в долях от максимально возможной выработки энергии);

**PCLF** - коэффициент плановых упущенных возможностей (в долях от максимально возможной выработки энергии);

**UERL** - коэффициент неплановых потерь;

**LF** - коэффициент загрузки (использования установленной мощности);

**UF** - коэффициент использования – производная величина от LF и EAF;

**UAGS7** - коэффициент неплановых отключений от системы.

**NERC** оперирует 24 основными показателями аналогичного назначения (всего применяя около 140 показателей надёжности и технического использования).

Помимо этого: база данных по инцидентам, произошедшим на элементах как основного, так и вспомогательного энергетического оборудования.

Стандарты NERC по надёжности, обязательные к применению на территории США.

**VGB PowerTech e.V.** Оптимизация технического использования, надёжности и эффективности европейских электростанций, входящих в ассоциацию. База данных «KISSY».

Возможность членам ассоциации выполнять анализ статистики в режиме on-line.

**Как «работает» статистика** для пользы западных энергетических компаний? Статистика позволяет:

- ✓ оценивать качество ремонтов оборудования
- ✓ оценивать коммерческую готовность
- ✓ выявлять пути улучшения технико-экономических показателей электростанции
- ✓ прогнозировать надёжность и техническое использование генерирующих мощностей в зависимости от вложенных средств



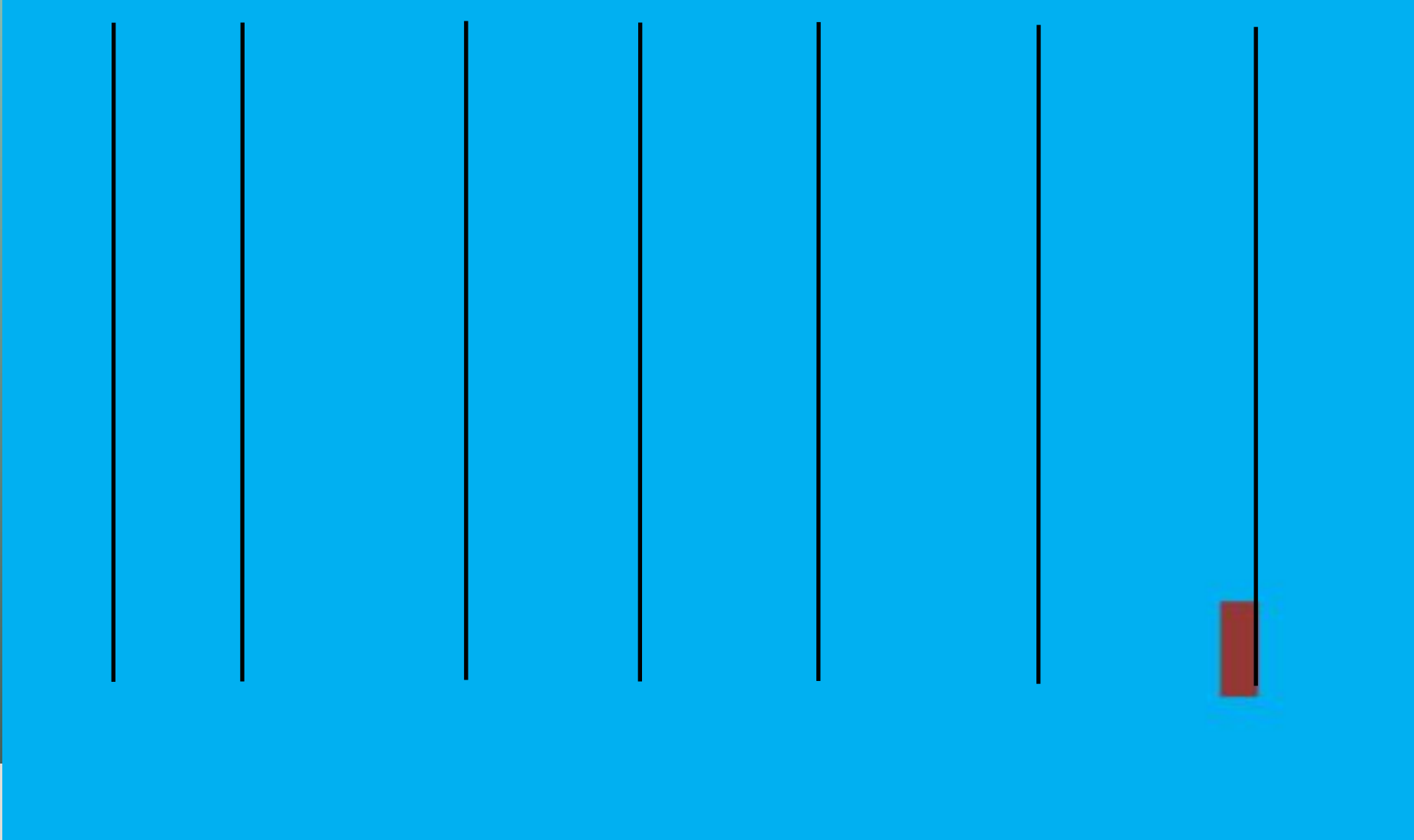
## 4. Организация сбора и обработки исходных данных по оборудованию. Доводы и рецепты противников статистики

---

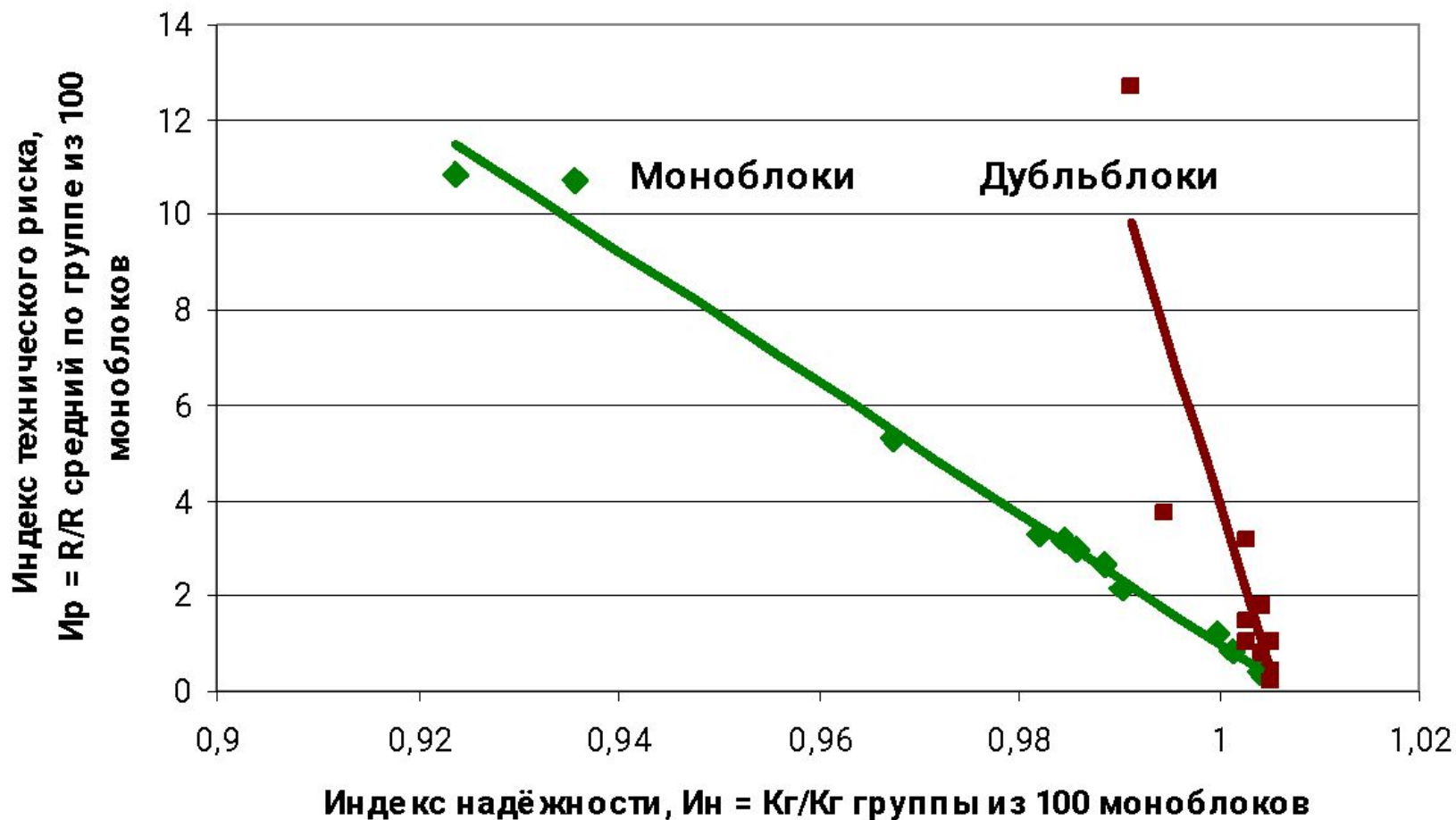
- ✓ **Статистика лжёт, поскольку «в одну реку нельзя войти дважды»:** оборудование, отказывающееся сегодня, уже далеко не то, которое отказывало 10 лет назад. Поэтому: работайте в соответствии с требованиями РД и слушайте мнение экспертов – в этом залог надёжной, безопасной и эффективной эксплуатации оборудования.
- ✓ **Статистика лжёт, поскольку надёжность исходных данных сомнительна – они собираются и поставляются немотивированными людьми.** Поэтому: работайте в соответствии с требованиями РД и слушайте мнение экспертов ...
- ✓ **Объём исходной информации непомерно огромен, её невозможно систематизировать и обработать.** Поэтому: надо смотреть и делать выводы «по-крупному», а «частности» (т.е. техническое состояние, надёжность, риски оборудования) – удел владельца оборудования.
- ✓ **«То там поработаем, то здесь поработаем»:** не бойтесь бессистемного подхода к сбору исходной информации – ваша база данных будет пополняться естественным образом по мере выполнения вами новых работ по новым договорам.

**Использование трендов. Пример неудовлетворительного планирования и выполнения ремонтов и замен. Динамика повреждаемости критических элементов пылеугольного энергоблока 300 МВт. Двухкорпусный котёл П-50**

---



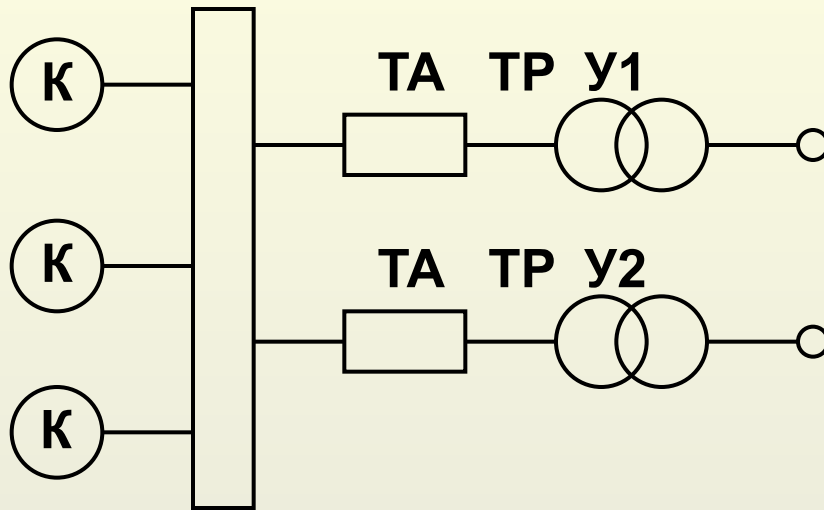
# Надёжность и технический риск основного оборудования энергоблоков



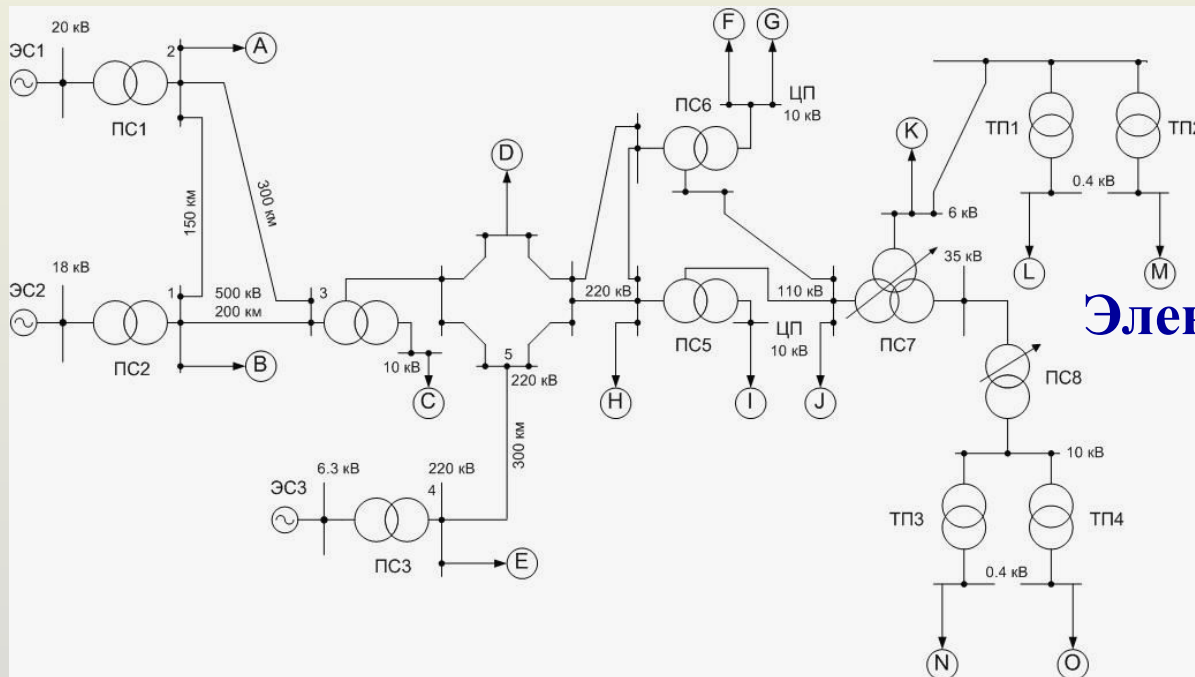
# Группы энергоблоков с повышенным индексом технического риска

№ группы энергоблоков	Тип энергоблоков, моно/дубль	Количество энергоблоков в группе	Тип котла (изготовитель)	Тип турбины	Индекс надёжности	Индекс технического риска
1	Моно	9	ТПЕ-214 (ТКЗ)	К-200-130 (ЛМЗ)	0,988	2,63
2	Моно	2	П-67 (ЗИО)	К-800-240 (ЛМЗ)	0,986	2,98
3	Моно	5	БКЗ-670-140 (БКЗ)	К-200-130 (ЛМЗ)	0,985	3,14
4	Дубль	8	ПК-40-1,2 (ЗИО)	К-200-130 (ЛМЗ)	1,00	3,16
5	Моно	4	ТП-92 (ТКЗ)	К-150-130 (ХТЗ)	0,982	3,27
6	Дубль	3	ТП-240 (ТКЗ)	К150-170 (ЛМЗ)	0,995	3,70
7	Моно	4	ПК-33 (ЗИО)	К-200-130 (ЛМЗ)	0,967	5,31
8	Моно	6	П-57 (ЗИО)	К-500-240 (ХТЗ)	0,936	10,7
9	Моно	2	ПК-40 (ЗИО)	К-200-130 (ЛМЗ)	0,924	10,9
10	Дубль	1	П-49 (ЗИО)	К-500-240 (ХТЗ)	0,991	12,7

# Надёжность и риск эксплуатации сложных восстанавливаемых систем



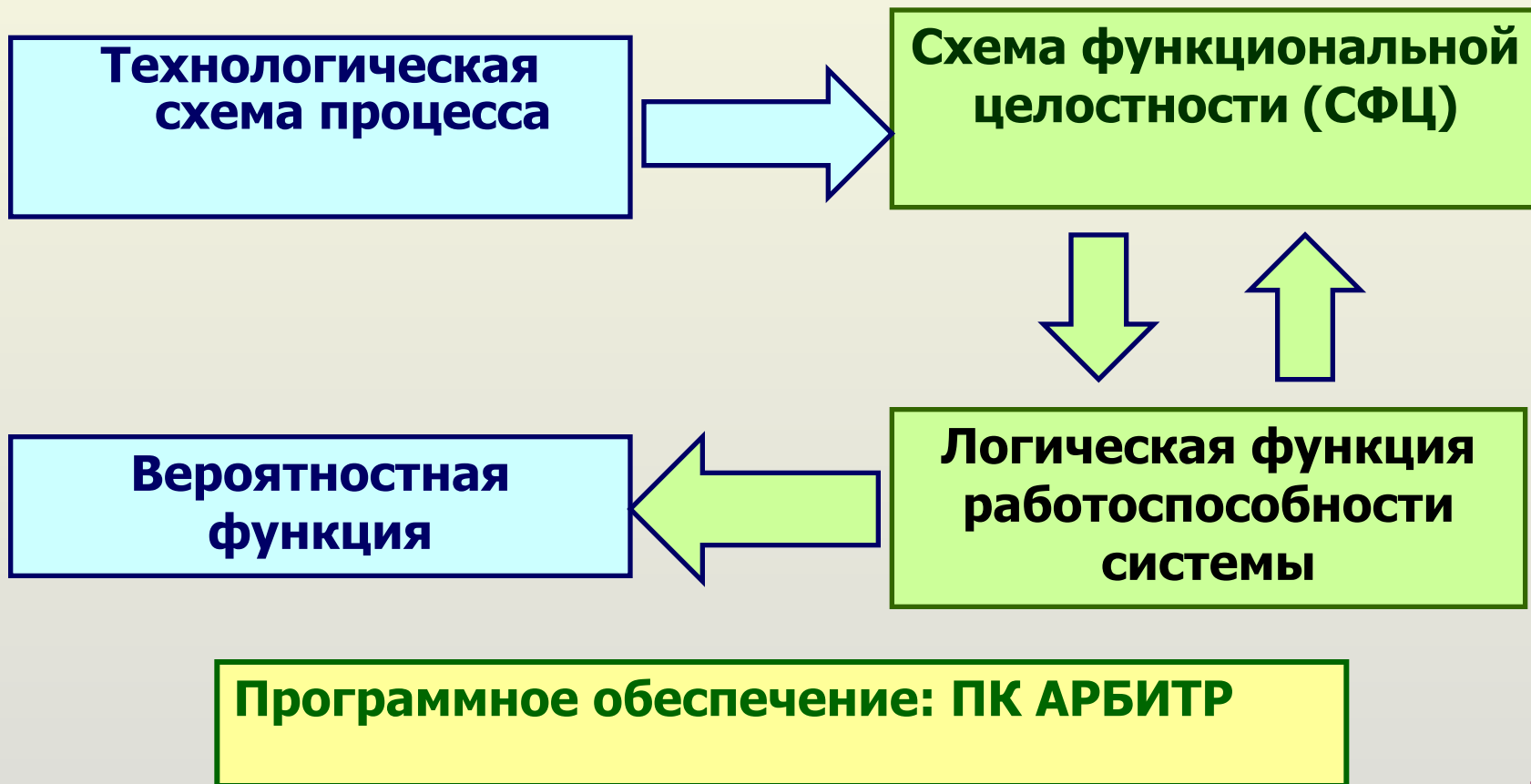
Тепловая электростанция



Электрические системы,  
сети

# Моделирование работоспособного состояния системы

## Общий логико-вероятностный метод анализа надёжности и риска сложных систем



# Основной графический аппарат СФЦ

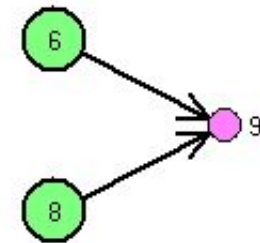
## Головные вершины

- 1 **Функциональная**
- 4 **Фиктивная**

## Конъюнктивные соединения



## Дизъюнктивные соединения



## Чему соответствует

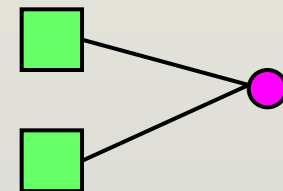
■ **Элемент системы**

● **Результат событий**

## Последовательное соединение элементов

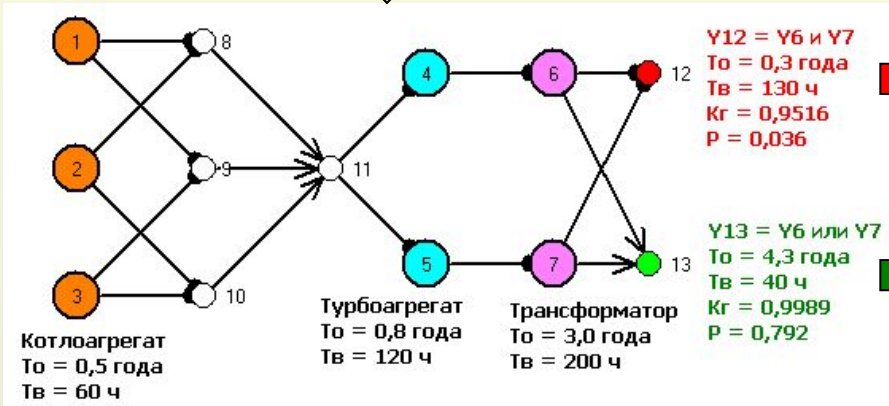


## Параллельное соединение элементов

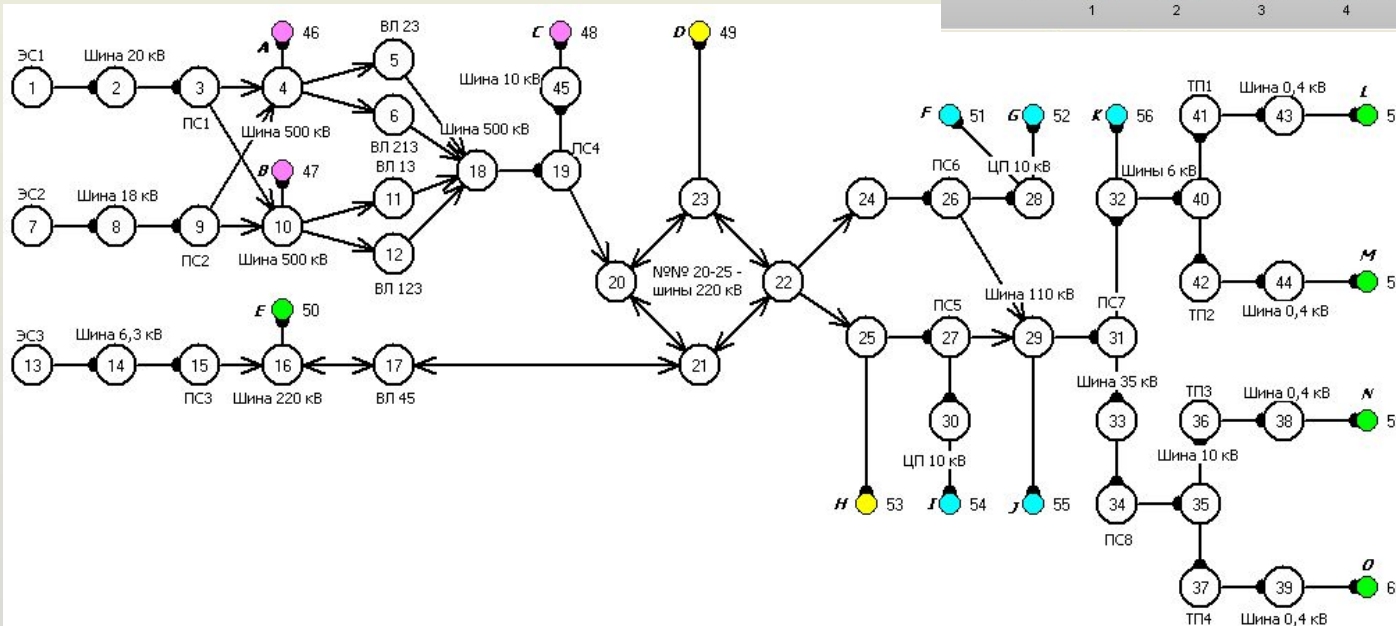


# Примеры схем функциональной целостности (СФЦ) энергетических объектов, оценка и анализ надёжности

СФЦ электростанции



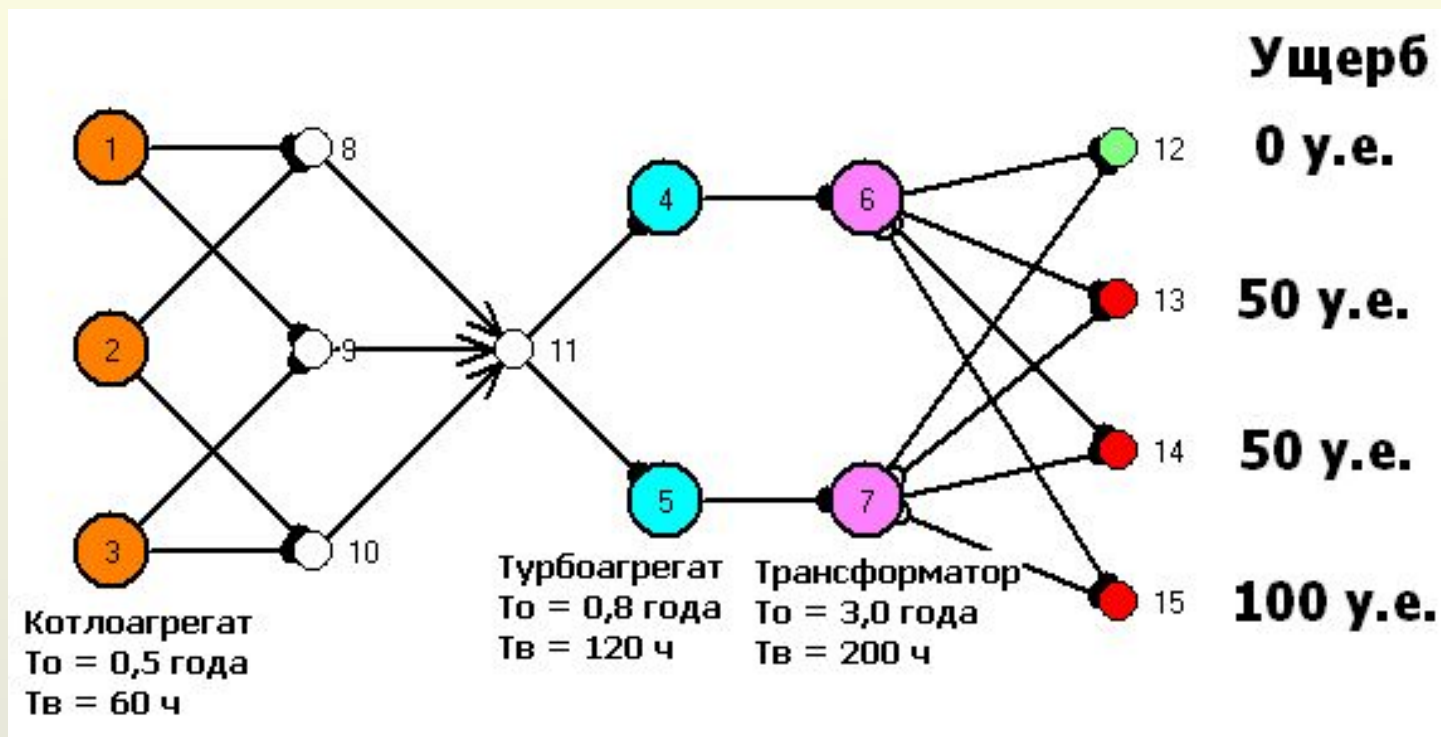
Диаграммы вкладов элементов в надёжность системы



СФЦ электрических систем, сетей



# Оценка риска эксплуатации электростанции



Риск (средний ущерб), сопутствующий эксплуатации ТЭЦ в течение одного года равен:

$$R = \sum_{i=12}^{15} K\Gamma_i \times Y_i = 3,8 \text{ у.е.}$$

# Апробация методики количественной оценки надёжности/рисков основного оборудования

---

**Методика апробирована в 2008 – 2009 г.г.** в рамках разработки мероприятий, направленных на обеспечение надёжной эксплуатации и увеличение межремонтного периода основного оборудования:

- **6-ти энергоблоков Каширской ГРЭС-4**
- **12-ти энергоблоков Сургутской ГРЭС-1**
- **8-ми энергоблоков Ириклинской ГРЭС**
- **2-х энергоблоков Нижневартовской ГРЭС**

**В частности, было установлено, что:**

- межремонтный период на основном оборудовании может быть увеличен до 50000 часов, однако, оптимальный уровень надёжности основного оборудования может быть обеспечен только в случае предложенной оптимизации сроков вывода оборудования в ремонт и своевременного проведения укрупнённых замен.

# Алгоритм действий, направленных на оптимизацию уровня надёжности и риска энергетических объектов

Сбор и обработка статистических данных по повреждаемости элементов оборудования. Оценка технического состояния оборудования по результатам его диагностики. Качественная оценка надёжности. Выявление необходимости количественной оценки надёжности/риска электростанции

Формализация поставленной задачи: построение математической модели, адекватно описывающей надёжность/риск электростанции

Определение количественных показателей надёжности/риска, как то: временной зависимости вероятности отказа, среднего времени наработки на отказ, коэффициента готовности, среднего ущерба и др.

Установление оптимального (требуемого) уровня надёжности электростанции с учётом экономического фактора

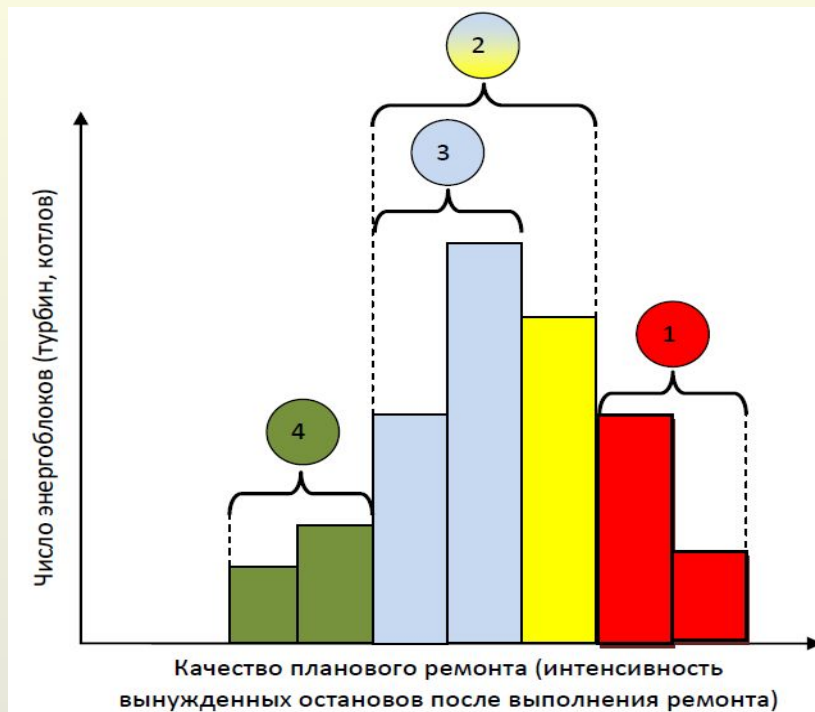
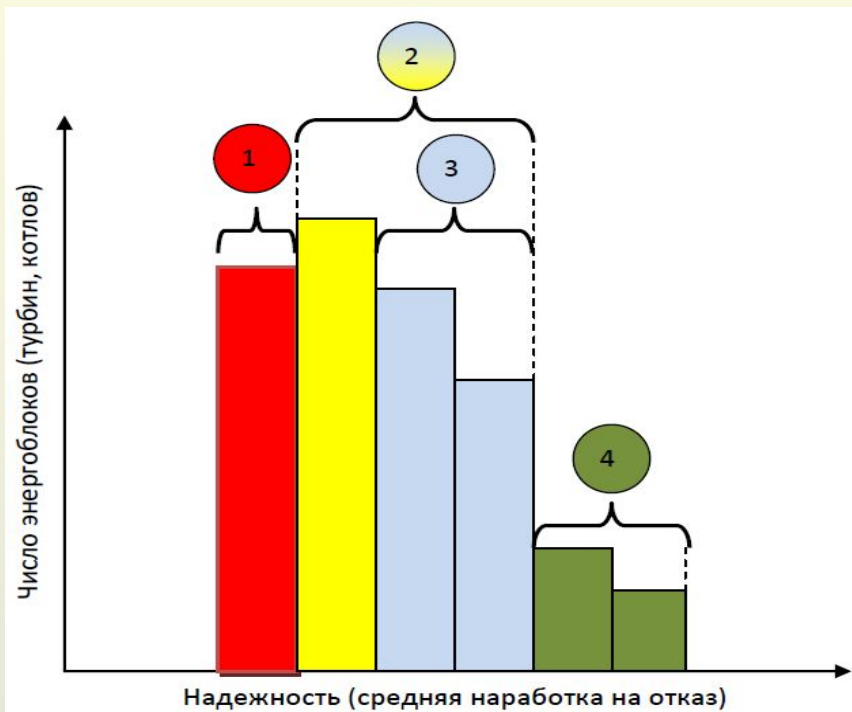
Выявление критических элементов, их ресурса и «весовых» показателей,  $W$ , - положительных и отрицательных вкладов в надёжность/риск электростанции

Исследование влияния изменения «весовых» показателей элементов,  $\Delta W$ , на надёжность/риск электростанции. Нахождение величин  $\Delta W^{(i)}_{\text{оптим}}$

Определение соответствия между  $\Delta W^{(i)}_{\text{оптим}}$  и требуемым объёмом работ по повышению надёжности/уменьшению риска  $i$ -го элемента

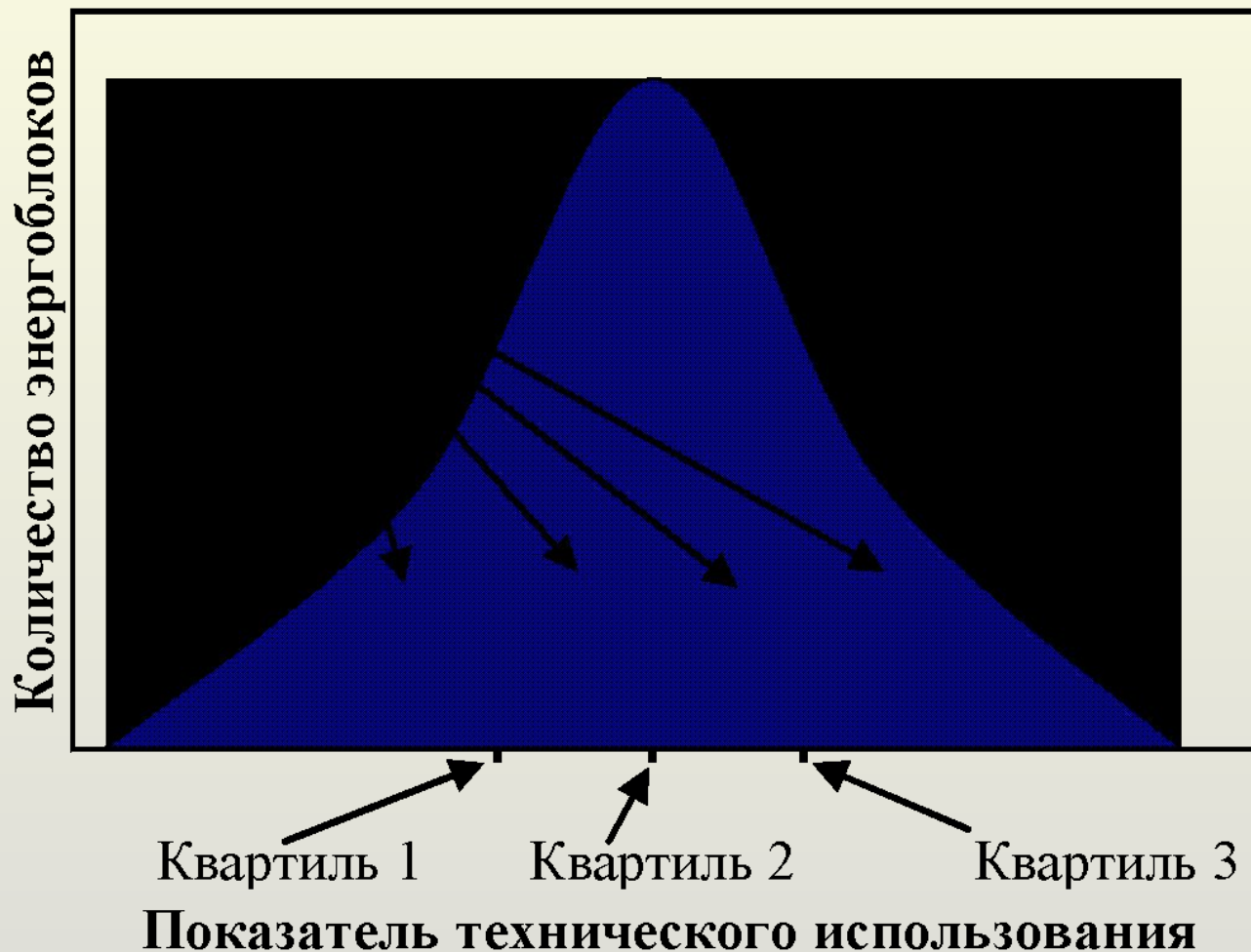
Планирование оптимальных сроков ремонтов и объёмов замен элементов оборудования

# Использование баз данных и обработанной статистики для оптимизации надёжности/рисков энергетических объектов



- 1** - «группа риска»
- 2** - диапазон оптимальных значений
- 3** - диапазон, соответствующий лучшим мировым практикам
- 4** - группа с лучшими показателями

# Использование баз данных и обработанной статистики для оптимизации надёжности/рисков энергетических объектов



# Использование баз данных и обработанной статистики для оптимизации комплексного показателя электростанции

Сопоставительный анализ показателей надёжности, технического использования и экономичности блочных электростанций

X1 = Киум

X2 = Ncp/Ну

X3 = 1-Кнп

X4 = 1/В

$$I_{\text{ТИ}} = \tilde{X}1 \times \tilde{X}2 \times \tilde{X}3 \times \tilde{X}4$$

№ п/п	I <sub>ти</sub>	Номер квадрант а	Код ТЭС	Прогнозное увеличение ΔI <sub>ти</sub> , %, в случае максимального увеличения			
				ΔX1=m ax	ΔX2=m ax	ΔX3= max	ΔX4= max
1	0,32	I	008	171	45	4	44
2	0,36	I	035	146	75	0	20
...	...	.....	....	...	...	...	....
51	1,85	IV	031	0	4	0	5
52	1,95	IV	049	0	0	0	6

## **Принципиальные требования к сбору и обработке статистики по оборудованию**

---

- 1. Обеспечение научно-техническим центром конфиденциальности предоставляемой информации**
- 2. Работа должна выполняться на долгосрочной основе**
- 3. В работу должно быть вовлечено максимально большое количество генерирующих компаний**
- 4. Объём и периодичность предоставляемой информации должны быть минимально необходимыми и в тоже время достаточными для выполнения надёжного анализа и составления адекватных рекомендаций и прогнозов по оборудованию**
- 5. Организации – поставщику сведений должно быть обеспечено получение выгоды за счёт предоставления статистических отчётов по надёжности, состоянию парка однотипного оборудования и методических рекомендаций по эксплуатации, ремонтам, продлению ресурса и др.**

# **Статистическая информация и результаты оценки надёжности/рисков объектов нужны**

---

- ✓ генерирующим компаниям**
- ✓ государственным управляющим структурам**
- ✓ Системному Оператору и сетевым компаниям**
- ✓ заводам-изготовителям**
- ✓ проектным организациям**



## **Ближайшие задачи по восстановлению, учёту и обработке отраслевой отчётности по оборудованию**

---

- ✓ **распоряжение Минэнерго РФ о сборе данных по оборудованию энергетических объектов**
- ✓ **установление детализированного по элементам перечня оборудования электростанций, сетей, подлежащего мониторингу и статистической отчётности**
- ✓ **ревизия, актуализация существующих и разработка новых правил сбора, обработки и обмена статистикой, отвечающих современным условиям перехода к рыночным отношениям в электроэнергетике и потребностям в статистической информации со стороны генерирующих компаний, заводов-изготовителей, государственных управляющих структур**

---

**Спасибо  
за  
ВНИМАНИЕ**