

# Уроки аварий и катастроф

Попытка анализа аварии СШГЭС  
(и не только)

Сердюков Г.Ф.

# Цель исследования:

## ПОКАЗАТЬ ЧТО:

- Авария на СШ ГЭС 17 августа 2009г не является случайностью;
- Авария на СШ ГЭС является следствием общесистемного кризиса происходящего в мире (и особенности в России)
- Причина аварии не в стрелочнике (которого назначат ответственным за аварию) а в разрушении инфраструктуры России
- Авария на СШ ГЭС, к сожалению, не будет последней. За ней последует цепь аварий и катастроф.
- Причина аварии не в технике, а в сознании людей желающих обогащение любой ценой, а так же в деградаци образования, культуры (в том числе технологической), пьянстве и падении морали
- и главная причина – РАВНОДУШИЕ людей.

- **Praemonitus  
praemunitus –  
Предупрежденный  
вооружен** (латинская  
поговорка)

# Назначение исследования

- «Стяжи дух мирен, и тысячи спасутся вокруг тебя» Серафим Саровский. Не претендуя на сравнения но, выполнить попытку объективного объяснения действительности не только себе, но и окружающим
- Спасение утопающих – дело рук самих утопающих (включая и прямой смысл этой пословицы)



# И ГЛАВНОЕ: Конституция РФ

- **Статья 42**
- Каждый имеет право на благоприятную окружающую среду,

достоверную информацию о  
ее состоянии и на возмещение  
ущерба, причиненного его здоровью или  
имуществу экологическим правонарушением.

# Анализ основан на конкретных законах технических документах и отчетах:

1. ГОСТ 22.6.02-97 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ «МОБИЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД»
2. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общие правила, задания требований по надежности
3. ГОСТ Р 22.0.05-94 ТЕХНОГЕННЫЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ Термины и определения
4. ГОСТ Р 22.2.05-94 ТЕХНОГЕННЫЕ АВАРИИ И КАТАСТРОФЫ. НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ И ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ КОНТРОЛЯ И ИСПЫТАНИЙ
5. СНиП 2.06.15-85 ИНЖЕНЕРНАЯ ЗАЩИТА ТЕРРИТОРИИ ОТ ЗАТОПЛЕНИЯ И ПОДТОПЛЕНИЯ
6. ФЗ N 68-ФЗ О ЗАЩИТЕ НАСЕЛЕНИЯ И ТЕРРИТОРИЙ ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО И ТЕХНОГЕННОГО ХАРАКТЕРА
7. ФЗ 116 о промышленной безопасности опасных производственных объектов

8. ПРИКАЗ от 29 декабря 2006 г. № 1163 "ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К СОДЕРЖАНИЮ ДЕКЛАРАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ» ЗАРЕГИСТРИРОВАНО В МИНЮСТЕ РФ 22 МАРТА 2007 Г. № 9138
9. Приложение N 5 к Дополнительным требованиям по разработке декларации безопасности гидротехнических сооружений объектов энергетики «МЕТОДИКА определения критериев безопасности гидротехнических сооружений »
- 10 ФЗ 117 О безопасности гидротехнических сооружений
11. КОНЦЕПЦИЯ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ И (ИЛИ) ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ОПАСНЫХ ГРУЗОВ
12. РД 153-34.2-21.342-00 ПОСОБИЕ К «МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИТЕРИЕВ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
13. СТО 17330282.27.140.003-2008.  
Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС.  
Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования

# И дополнение:

- Вашему вниманию представлена научно-техническая тема;
- Попытка назвать «Паникой» данный документ безосновательна так как термин «паника» (panic) – состояние ужаса, сопровождаемое резким ослаблением волевого самоконтроля (А.П. Назаретян «Агрессивная толпа, массовая паника, слухи» ЗАО «Питер» СПб 2004 страница 65)
- Анализ и паника несовместимые понятия (тем более анализ сотен документов и создание 200 слайдов технического текста в панике не делаются)

Для начала исследования:

# ФАКТЫ О ТЕКУЩЕМ СОСТОЯНИИ ИНФРАСТРУКТУРЫ России

# Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций



АТЛАС

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ И  
РИСКИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ  
В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Тираж первого издания -  
200 экземпляров  
Дата издания: март 2005г.

# Из Атласа природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций

- В год в России происходит в среднем до 800 чрезвычайных ситуаций техногенного и природно-техногенного характера.
- Сейчас в России функционирует свыше 2,5 тысяч химически опасных объектов, более 1,5 тысяч радиационно-опасных объектов, около 8 тысяч пожаро- и взрывоопасных объектов, более 30 тысяч гидротехнических сооружений. Большая часть этих объектов представляет потенциальную опасность для здоровья и жизни людей при возникновении на них аварий, а масштаб последствий может многократно усиливаться в случае возникновения катастрофических неблагоприятных явлений.

# Из Атласа природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций

- Серьезную опасность представляет состояние гидротехнических сооружений. Сейчас эксплуатируется более 28,5 тысяч водохранилищ, 510 накопителей промышленных стоков и отходов, в том числе 330 крупных водохранилищ емкостью более 10 миллионов кубических метров. Между тем, в зонах потенциального затопления живет около 10 миллионов человек, а на значительной части гидросооружений отсутствуют службы эксплуатации, из-за финансовых трудностей в полном объеме не выполняются текущие и капитальные ремонтно-восстановительные работы.



# Обратить внимание:

- В «Атласе» опасность ГТС (гидротехнических сооружений) описана в 2005 году.
- Т.е. до катастрофы СШ ГЭС-2009 года еще 4 года, после выпуска справочника.
- Возникают вопросы – Читало ли руководство РАО ЕЭС этот «Атлас»? Какие выводы сделало правительство и РАО ЕЭС для улучшения ситуации?
- Если выводы не были сделаны то, данный «Атлас» видимо выпускался для МЧС что бы знать куда лететь следующий раз для разгребания трупов, а не для исправления ситуации.

# По данным Счетной палаты РФ

- По итогам проведенной в 2006 г. проверки организации и эффективности управления водными ресурсами РФ, в том числе в ОАО "Саяно-Шушенская ГЭС", было установлено, что значительная часть гидротехнических сооружений в стране находится в аварийном и предаварийном состоянии. Об этом сообщает Департамент информации Счетной палаты Российской Федерации.

# Проверка СШ ГЭС Счетной палатой в 2007 г.

- Проведенная в 2007 г. проверка использования госсредств, направленных в 2006 г. на строительство, реконструкцию и текущий ремонт гидротехнических сооружений, в том числе в ФГУ "Управление эксплуатации Саянских водохранилищ", показала, что защитные сооружения Саяно-Шушенского водохранилища находились в неудовлетворительном состоянии, что ставило под угрозу безопасность ГЭС. Было установлено, что износ отдельных элементов защитных сооружений составлял 85 процентов.

# Проверка ГЭС в 2008 году

- В 2008 г. прошла проверка выполнения инвестпрограмм развития электроэнергетической отрасли за 2007 г., в том числе в ОАО "РусГидро" (ранее именовавшейся ОАО "Федеральная гидрогенерирующая компания"). По результатам контрольного мероприятия отмечалось, что на **многих ГЭС функционируют морально устаревшие и физически изношенные производственные фонды.** При этом, в стоимость работ по техническому перевооружению и реконструкции включаются мероприятия, не связанные с улучшением их технического состояния, в частности: обустройство территорий, создание музея, разработка логотипов и т.п.

# ЧП и Катастрофы в энергетике России

- **Июль 2006 – крупная авария на Камчатской ТЭЦ-1**
- **Март 2008 – Алтайское межрегиональное управление по технологическому и экологическому надзору завершило расследование аварии на Бийской ТЭЦ, принадлежащей ООО «Бийскэнерго»**
- **Апрель 2008 – чудом удалось избежать катастрофы на Балаковской атомной станции в Саратовской области**
- **Апрель 2009 – предаварийная ситуация на Вилюйской ГЭС**
- **Август 2009 катастрофа Саяно-Шушенской ГЭС**
- **.....**

# Рассмотрим ситуацию связанную с СШ ГЭС по следующим пунктам:

- Проектирование и строительство СШ ГЭС
- Эксплуатация СШ ГЭС
- Состояние ГЭС России
- Опасности связанные с авариями крупных технических объектов
- Попытка прогнозирования ситуации

# Крупнейшие ГЭС мира

| №№<br>п/п | Наименование ГЭС | Страна    | Установленная<br>мощность,<br>тыс. кВт | Примечание  |
|-----------|------------------|-----------|--|-------------|
| 1.        | Три Ущелья       | Китай     | 18200                                  | Строится    |
| 2.        | Итайпу           | Бразилия  | 12600                                  | Действующая |
| 3.        | Грэнд-Кули       | США       | 10830                                  | Действующая |
| 4.        | Гури             | Венесуэла | 10300                                  | Действующая |
| 5.        | Тукуруи          | Бразилия  | 8000                                   | Действующая |
| 6.        | Саяно-Шушенская  | Россия    | 6400                                   | Действующая |
| 7.        | Красноярская     | Россия    | 6000                                   | Действующая |
| 8.        | Ла Гранде        | Канада    | 5328                                   | Действующая |
| 9.        | Черчил-Фулз      | Канада    | 5225                                   | Действующая |







# Водохранилище СШ ГЭС

полным объёмом 31,34 куб. км (полезный объём — 15,34 куб. км)





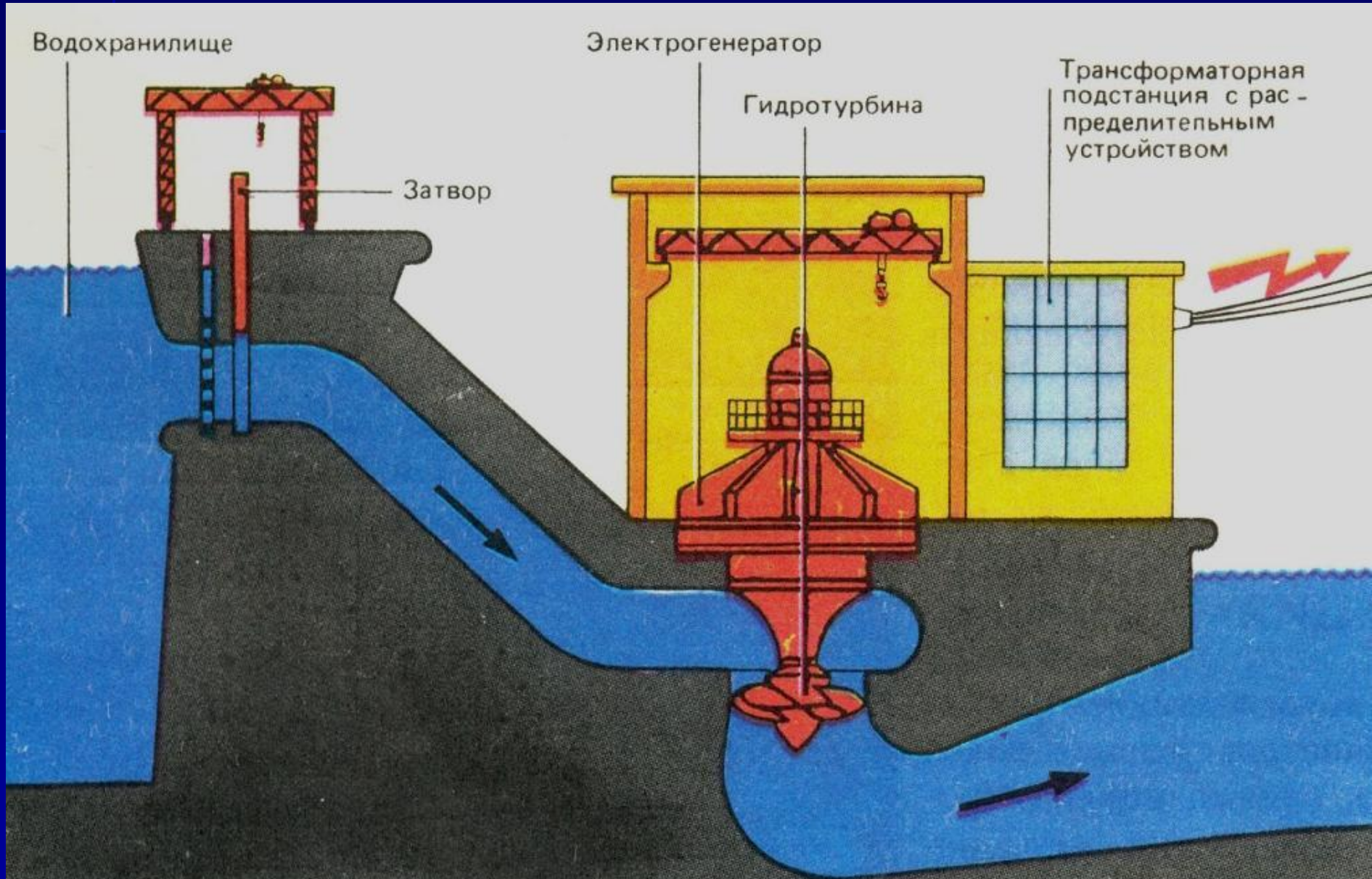
**Из ПРИКАЗА от 29 декабря 2006 г. № 1163 "ОБ  
УТВЕРЖДЕНИИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К  
СОДЕРЖАНИЮ ДЕКЛАРАЦИИ БЕЗОПАСНОСТИ  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ  
ЭНЕРГЕТИКИ"**

- **Для каждого объекта (ГТС) должна оформляться «Декларация безопасности ГТС»»**

# Декларация безопасности ГТС содержит:

- геометрические размеры ГТС (отметки гребня плотин и дамб, ширина по гребню, углы заложения откосов грунтовых плотин и др.);
- превышение отметок гребня плотины (а также гребня ядра или экрана грунтовой плотины) над нормальным и форсированным уровнем воды в водохранилище;
- водопропускная способность;
- характеристики сейсмостойкости;
- уровни воды в водохранилище;
- уровни воды в нижнем бьефе (изменение зависимости уровня воды от расхода);
- физико-механические и фильтрационные характеристики грунтов, использованных для возведения сооружений, а также грунтов основания;
- характеристики бетона и других материалов, использованных для возведения сооружений и строительных конструкций;
- фактические показатели механической и фильтрационной прочности и устойчивости сооружений и их оснований;

# Схема работы Гидроэлектростанции (ГЭС)



# Из новостных сообщений

- Глава Минэнерго обратил внимание, что «авария на Саяно-Шушенской ГЭС самая масштабная в мире», и непонятна причина произошедшей аварии, поэтому выдвигать какие-то версии пока рано.

# НО, В ГТС СОДЕРЖИТСЯ:

## АНАЛИЗ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

- 2.2.2.1. Данные об авариях, имевших место на аналогичных объектах.
- Приводятся описания аварий, произошедших на аналогичных объектах в России и за рубежом, со ссылкой на источник информации. По каждому случаю аварии указываются установленные причины и (при наличии информации) - основные мероприятия по ее ликвидации.
- 2.2.2.2. **Анализ схем возможных сценариев развития аварий.**
- Анализ схем возможных аварий выполняется на основании данных об авариях на аналогичных сооружениях, сведений о состоянии сооружений и негативных изменениях их состояния, данных о соответствии ГТС **критериям безопасности и возможном превышении расчетных нагрузок.**



# АВАРИИ СШ ГЭС

## ■ Авария 23 мая 1979 года

Первый агрегат был сдан в эксплуатацию в конце декабря 1978 года. Первый агрегат был сдан в эксплуатацию в конце декабря 1978 года. Технологические возможности не позволили уложить требующийся объём бетона в водосбросную плотину, поэтому к мощному половодью она оказалась не готова, и 23 мая Первый агрегат был сдан в эксплуатацию в конце декабря 1978 года. Технологические возможности не позволили уложить требующийся объём бетона в водосбросную плотину, поэтому к мощному половодью она оказалась не готова, и 23 мая 1979 года первый агрегат и здание ГЭС подверглись затоплению. Аэраторы, встроенные в стенки водосбросов, должны были обеспечивать подвод воздуха в поток в месте схода его с носка водосброса в водобойный колодец. Но вместо подсоса воздуха в аэратор произошло нагнетание в него воды из водосброса.[5]

## ■ Авария 1985 года

В 1985 году во время мощного половодья произошло разрушение 80 % площади дна водобойного колодца. Были полностью разрушены плиты крепления (толщиной более 2 метров), бетонная подготовка под ними и скалы ниже подошвы на глубину до 7 метров. Анкера диаметром 50 мм были разорваны с характерными следами наступления предела текучести металла. Были проведены

# АВАРИИ СШ ГЭС

- **Авария 1988 года**

В 1988 году В 1988 году паводок привёл к разрушению отремонтированного колодца. Было принято решение об эксплуатации ГЭС в щадящем режиме на пониженной отметке максимального уровня воды — не более 240 метров вместо проектных

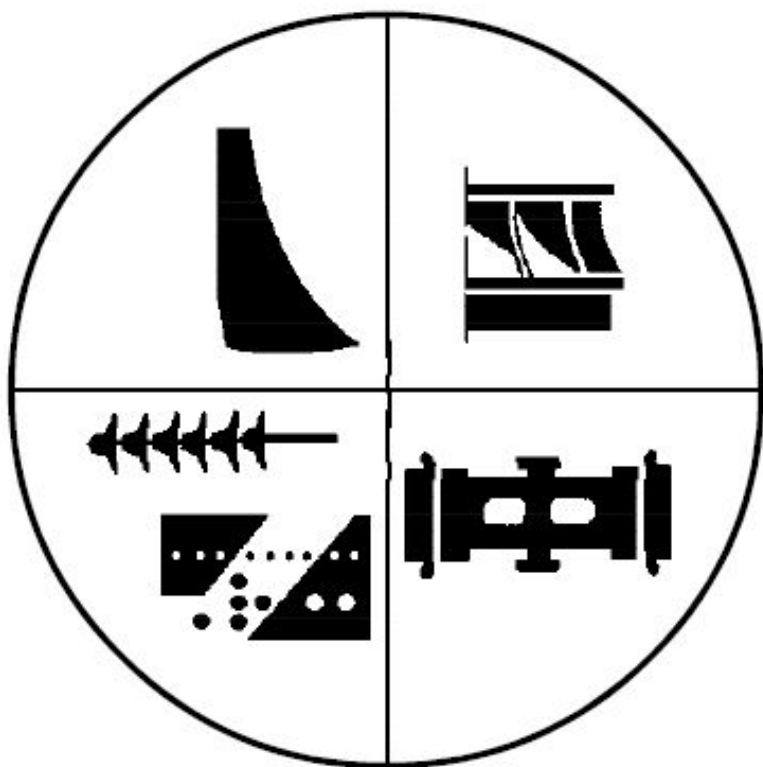


# АВАРИИ СШ ГЭС

- **Аварийная ситуация с фильтрацией тела плотины**
- Одной из главных проблем строительства было обнаружение увеличивающейся фильтрации тела плотины. Во избежание вымывания бетона провели дополнительную инъекцию в массив по существующей на тот период технологии, повторно цементировались межсекционные швы, выполнялась цементация трещин через восходящие скважины. Но все усилия были недостаточно эффективными: фильтрация продолжала увеличиваться. Чтобы устранить недостаток, между Саяно-Шушенской ГЭС и французской фирмой «Solétanche Bachy» («Солетанш Баши») была достигнута договорённость о применении её технологии (на основе французских смол) подавления фильтрации воды через бетон (1993). В дальнейшем был определён состав французских смол, и работы по подавлению фильтрации плотины в дальнейшем проводились российскими специалистами.
- **Авария 17 августа 2009 года**

В. И. Брызгалов

ИЗ ОПЫТА СОЗДАНИЯ И  
ОСВОЕНИЯ КРАСНОЯРСКОЙ  
И САЯНО-ШУШЕНСКОЙ  
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ



**Важнейший  
материал  
используемый для  
анализа**

# Из книги Брызгалова В. И.

Большая инженерная практика отечественного строительства низконапорных гидротехнических сооружений оказалась технологически неподготовленной к созданию первых бетонных плотин высотой 100-125 м Братской и Красноярской ГЭС, возводимых в суровых климатических условиях. Дальнейший переход от строительства этих гравитационного типа плотин к возведению ранее не применявшейся конструкции в широких створах арочно-гравитационной плотины высотой 245 м на Саяно-Шушенской ГЭС – оказался и научно не подготовленным. Методы расчёта её развивались параллельно с усовершенствованием вычислительной техники, исследованиями на моделях и в натуре, а также на основе параллельно накапливаемого опыта проектирования, строительства и эксплуатации плотины. Готовность научных обоснований, технологий строительства плотин, а также изготовления и монтажа агрегатов и их эксплуатации оказались неадекватными указанному росту высоты плотины и единичной мощности гидроагрегатов.

# Из книги Брызгалова В. И.

Это не могло не сказаться на качестве эксплуатационного состояния сооружений и оборудования, что является самой главной особенностью, определившей суть процесса освоения Красноярской и Саяно-Шушенской ГЭС, вызвавшей необходимость разработки новых направлений в обеспечении их нормальной эксплуатации, а также выявившей по-новому постановку задач создания в будущем крупных водоэнергохозяйственных комплексов с большими водохранилищами, высокими плотинами и уникальными гидроагрегатами в суровых климатических условиях и сложных геодинамических районах.

# Из книги Брызгалова В. И.

Площадь водосбора бассейна реки, обеспечивающей приток к створу ГЭС, составляет 179900 км<sup>2</sup>. Среднегодовой сток в створе составляет 46,7 км<sup>3</sup>.

Площадь водохранилища составляет 621 км<sup>2</sup>, полная ёмкость водохранилища – 31,3 км<sup>3</sup>, в том числе полезная – 15,3 км<sup>3</sup>.



# Из книги Брызгалова В. И.

Разделение гидростатического давления верхнего бьефа в рамках этого метода на консольное и арочное направления показывает, что арочный эффект (кривизна плотины в плане) уменьшает равнодействующую гидростатического давления на плотину приблизительно на 25%. Такого типа плотина с указанными геометрическими соотношениями, построенная в широком створе, является единственной в мире

# Федеральный закон 68

Информация в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, а также о деятельности федеральных органов государственной власти, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления и организаций в этой области является гласной и открытой, если иное не предусмотрено законодательством Российской Федерации

# ФЗ 68

## Граждане имеют право:

- быть информированными о риске, которому они могут подвергнуться в определенных местах пребывания на территории страны, и о мерах необходимой безопасности;
- обращаться лично, а также направлять в государственные органы и органы местного самоуправления индивидуальные и коллективные обращения по вопросам защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций



# ГОСТ Р-22

- техногенная чрезвычайная ситуация;  
техногенная ЧС:

Состояние, при котором в результате возникновения источника техногенной чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде

# ГОСТ Р-22

- К опасным техногенным происшествиям относят аварии на промышленных объектах или на транспорте, пожары, взрывы или высвобождение различных видов энергии.
- авария: Опасное техногенное происшествие, создающее на объекте, определенной территории или акватории угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению зданий, сооружений, оборудования и транспортных средств, нарушению производственного или транспортного процесса, а также к нанесению ущерба окружающей природной среде.

# Возможны ли на ГЭС крупные аварии:

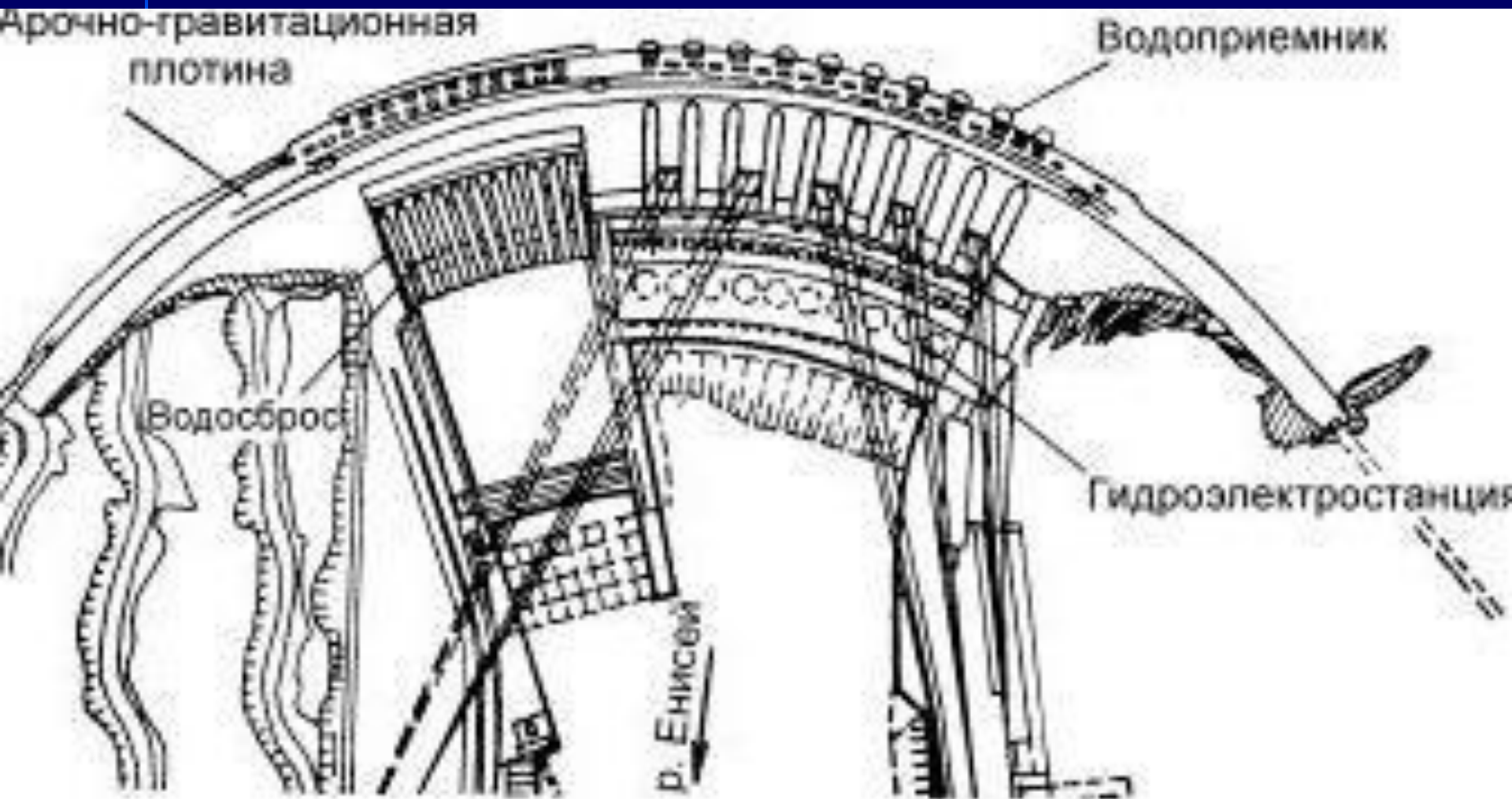
- В последние десятилетия в результате переполнения резервуаров в Китае погибло более 13,5 тысячи человек
- В результате прорыва двух дамб в провинции Хенань в августе 1975 года катастрофа унесла 230 тысяч жизней.
- 1963 года в Альпах, в результате подземных толчков 350 миллионов кубов скальной породы упало в водохранилище Вайонтской плотины. Гигантская волна, перемахнув через стену и устремившись в долину, убила почти три тысячи человек.

# ГОСТ Р-22

- Крупная авария, как правило с человеческими жертвами, является катастрофой.
- Авария на СШ ГЭС исходя из данного документа является

**КАТАСТРОФОЙ**

# Схема СШ ГЭС



# Вид до аварии

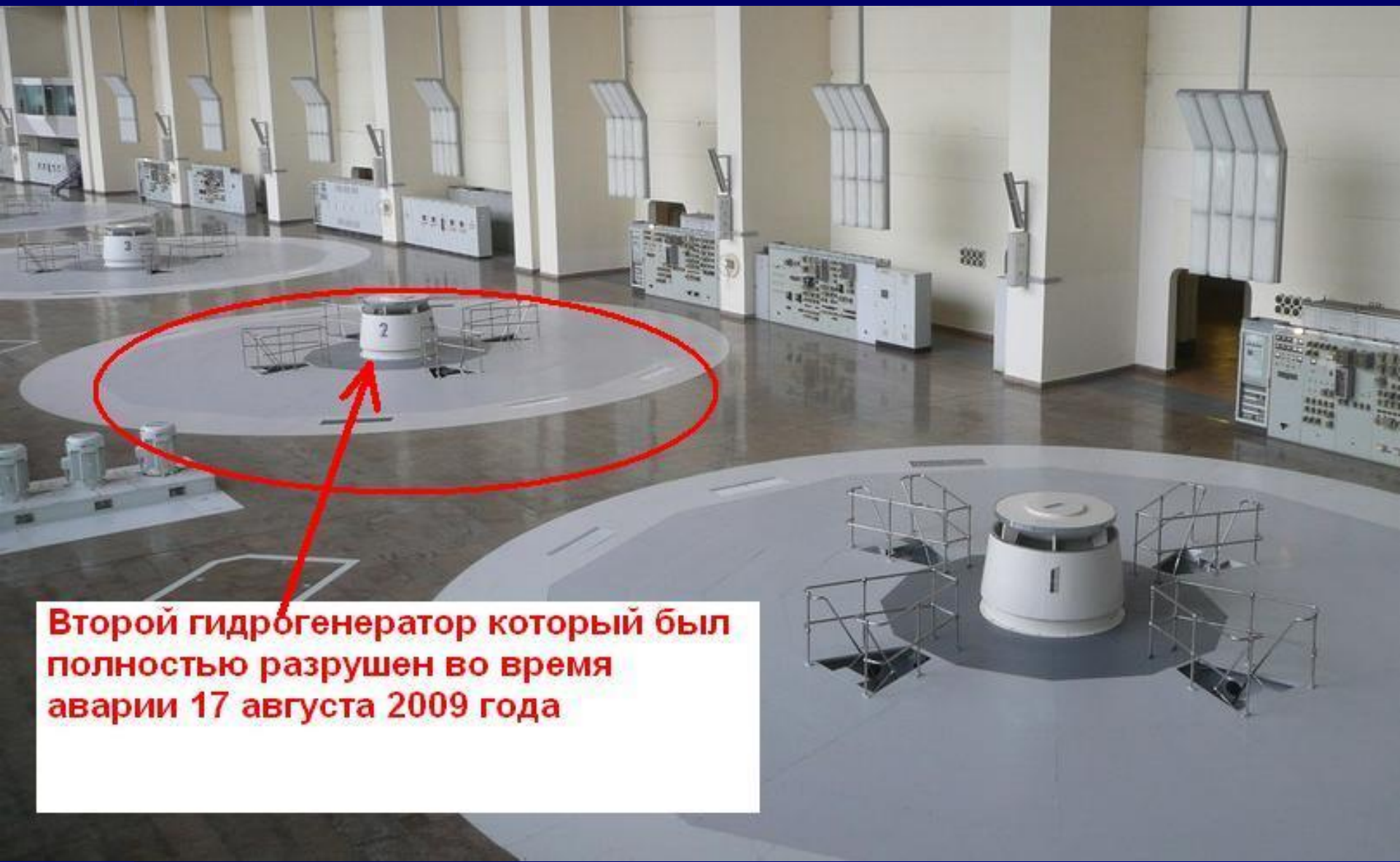




# Вид после аварии

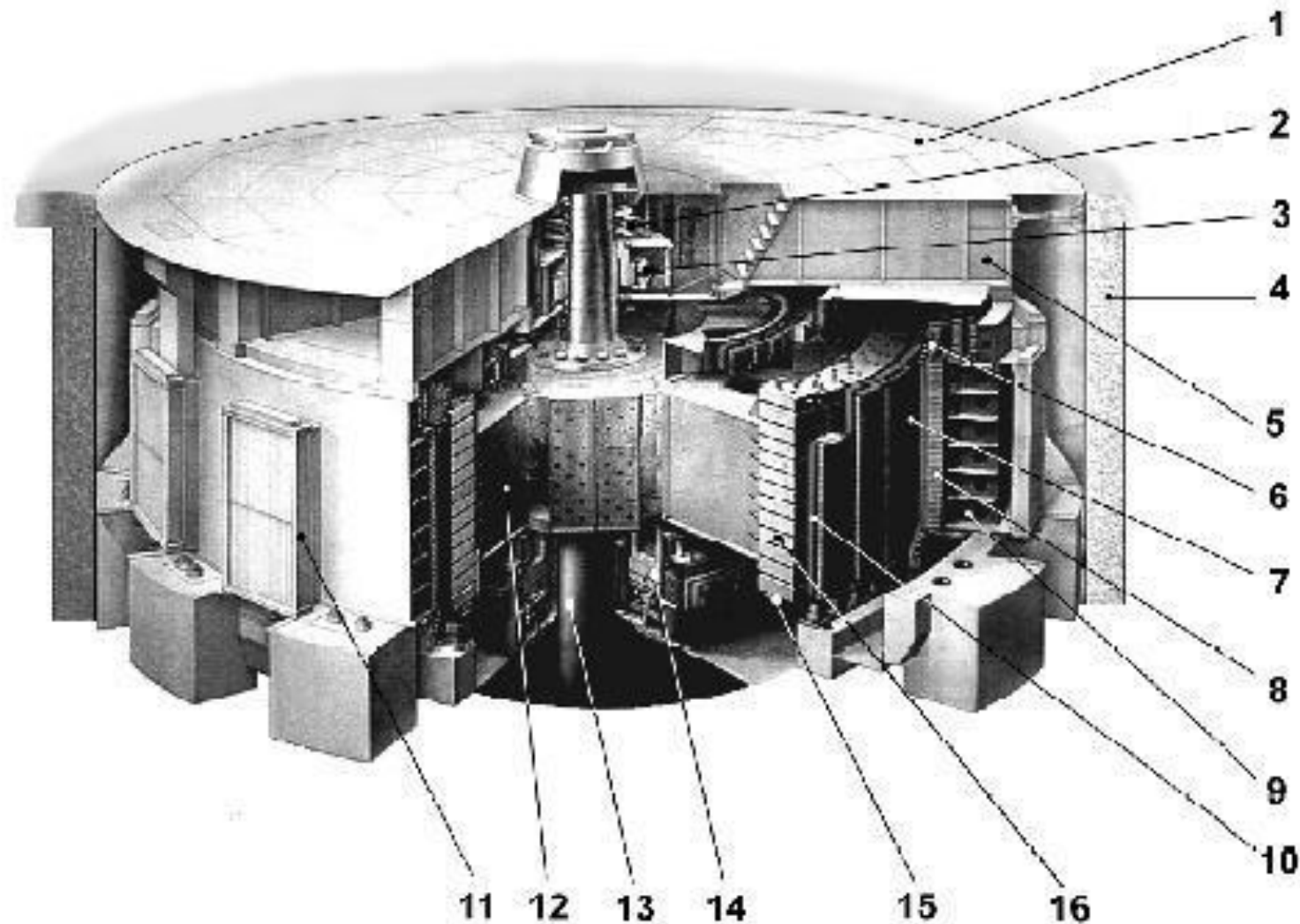






**Второй гидрогенератор который был полностью разрушен во время аварии 17 августа 2009 года**





### *Разрез по гидрогенератору Саяно-Шушенской ГЭС*

*1 – перекрытие генератора; 2 – контактные кольца; 3 – генераторный подшипник; 4 – железобетонная “бочка” генератора; 5 – крестовина генератора; 6 – лобовые части обмотки статора; 7 – полюс; 8 – сердечник статора; 9 – корпус статора; 10 – обмотка возбуждения; 11 – воздухоохладитель; 12 – спица ротора; 13 – вал; 14 – подпятник генератора; 15 – тормозное кольцо; 16 – обод*

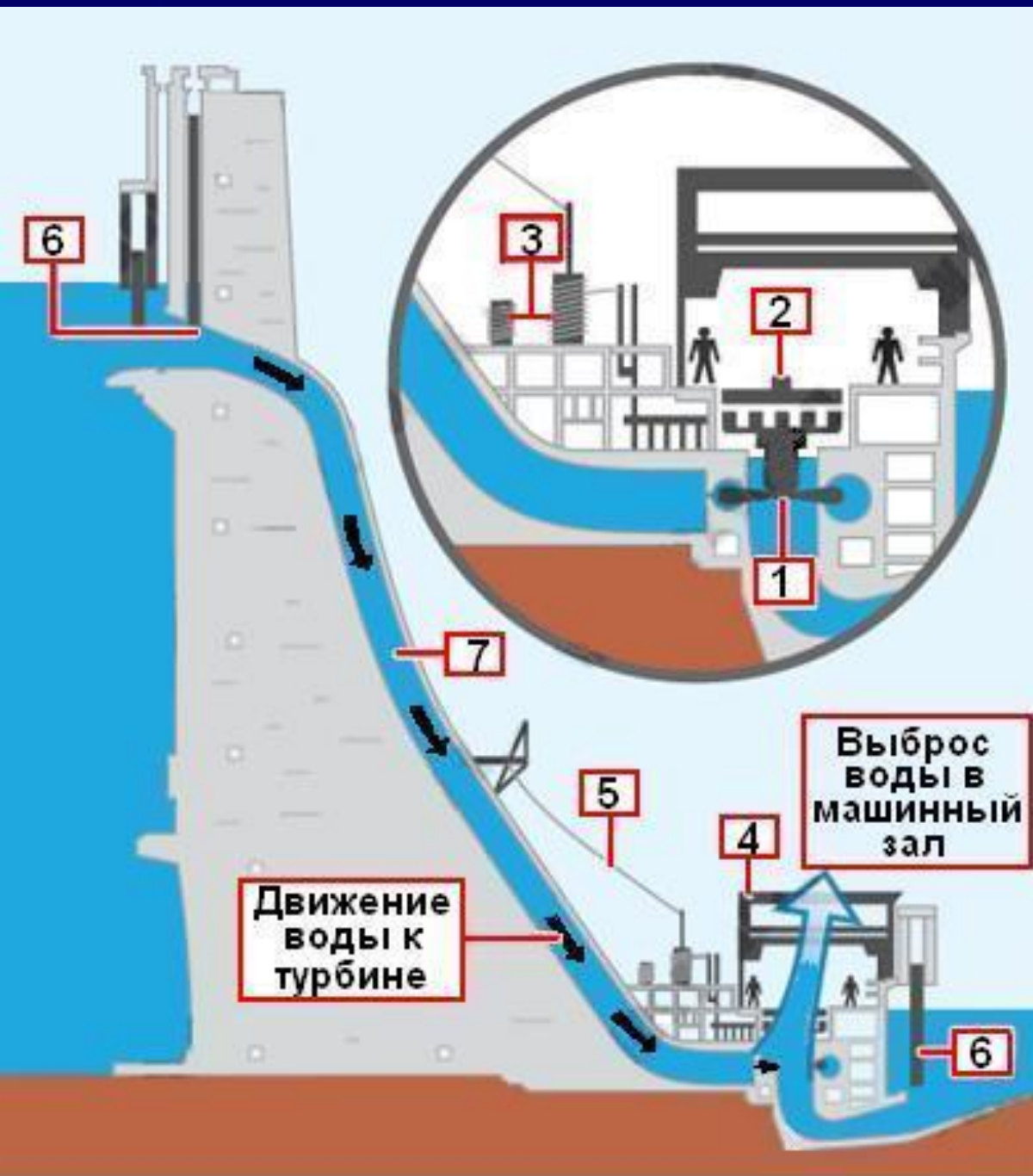
# Катастрофа СШГЭС- масштабы аварии



# Авария гидроагрегата

- 1,5 тыс. тонны (вес всего гидроагрегата 2,69 тыс. тонн). "Полторы тысячи весом летательный аппарат вопреки законам физики поднялся в воздух и летал", - отметил Кутьин. По его словам, все произошедшее на станции - результат выхода за предельные режимы работы второго гидроагрегата. Именно там произошла авария. Она длилась чуть более одного часа, пока не были закрыты аварийные затворы на уровне верхнего бьефа, и вода продолжала поступать в машинный зал. Последствия аварии усилило то, что седьмой и девятый гидроагрегаты продолжали работать, и своим вращением создали центробежную силу, засасывающую воду в машзал.





- 1 — гидротурбина
- 2 — гидрогенератор
- 3 — трансформаторы
- 4 — здание машинного зала ГЭС,
- 5 — линии высокого напряжения,
- 6 — затворы водоприемника,
- 7 — водовод

Движение воды к турбине

Выброс воды в машинный зал

# Ход аварии на СШ ГЭС

- По словам очевидца аварии, Олега Мякишева [Андрей Колесников. "Живых нет. Не может быть, никак" // Коммерсантъ, № 154 (4209) от 22.08.2009], вначале появился нарастающий шум, потом поднялось и вздыбилось рифленое покрытие гидроагрегата. Из-под него поднялся вращающийся ротор, сначала метра на три. Полетели камни, куски арматуры, люди начали уворачиваться от них. Затем рифленое покрытие поднялось до крыши и разнесло ее. Начала бить вода, все вокруг рушилось, а люди пытались плыть. Мякишев решил, что затворы надо закрывать срочно, вручную, чтобы остановить воду, так как напряжения нет, никакие защиты не сработали, и начал подниматься на гребень плотины.
- Оперативный персонал станции вручную закрыл затворы на работающих гидроагрегатах и в 9:20 поступление воды в машинный зал прекратилось.

- 1,5 тыс. тонны (вес всего гидроагрегата 2,69 тыс. тонн). "Полторы тысячи весом летательный аппарат вопреки законам физики поднялся в воздух и летал", - отметил Кутьин. По его словам, все произошедшее на станции - результат выхода за предельные режимы работы второго гидроагрегата.

## ПРОИЗВЕДЕМ РАСЧЕТ ЭНЕРГИИ ПОЛЕТА ОДНОГО ГИДРОГЕНЕРАТОРА

- $E (\text{полета гидроагрегата}) = M * g * h$
- $M = 1500\ 000\ \text{кг}$
- $g = 9,82\ \text{м/сек}^2$
- $h$  (так как летал) исходя из высоты гидроагрегата не менее 6 метров.
- $E = 1500000 * 9,82 * 6 = 88\ 380\ 000\ \text{Дж}$

### ■ **Энергия взрыва**

- Взрывчатые материалы удобно сравнивать по удельной энергии  $Q$ , рассчитанной на единицу массы. Характерная величина 1 ккал/г, или 4,2 кДж/г, соответствует удельной энергии тротила.
- 1 грамм тротила выделяет 4200 Дж
- Таким образом, полет гидроагрегата происходил при эквиваленте взрыва =
- $88\ 380\ 000\ \text{Дж} / 4200\ 000\ \text{Дж/кг} = 21,04\ \text{кг}$
- Вывод: **ДЛЯ ТОГО ЧТО БЫ ПОДНЯТЬ ГИДРОАГРЕГАТ НЕОБХОДИМ УДАР ПО МОЩНОСТИ СРАВНИМЫЙ С ВЗРЫВОМ 21КГ ТРОТИЛА (при условии направленного взрыва)**

# Разрушение основания плотины

ОБЛАСТЬ ВЕРОЯТНОГО  
РАЗРУШЕНИЯ ОСНОВАНИЯ  
ПЛОТИНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ УДАРА  
ГИДРОГЕНЕРАТОРОМ ВЕСОМ 1500  
ТОНН







НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫЙ  
УЧАСТОК. ПРИ РАЗРУШЕНИИ  
ЭТОГО УЧАСТКА ГИБЕЛЬ  
ПЛОТИНЫ НЕИЗБЕЖНА

ПОСТРАДАВШИЙ УЧАСТОК  
ИМЕННО ТУТ ЛЕТАЛ  
ГИДРОГЕНЕРАТОР. БЕТОН  
ПЛОТИНЫ НА ЭТОМ  
УЧАСТКЕ НАРУШЕН



# Аварии ГТС (гидротехнических сооружений) по РД 153-34.2-21.342-00

- под аварией на гидротехническом сооружении ГЭС понимается событие, приводящее к прорыву напорного фронта
- Прорыв напорного фронта возможен при нарушении устойчивости, фильтрационной или механической прочности ГТС, входящих в состав напорного фронта. Таким образом, согласно "Методике", под аварией ГТС понимается ситуация, при которой нарушается устойчивость, механическая или фильтрационная прочность ГТС и его основания, а также не обеспечивается пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений. Именно в этих случаях возможен неконтролируемый сброс воды или жидких отходов.

# Критерии состояния ГТС

- **К1** - первый (предупреждающий) уровень значений диагностических показателей, при достижении которого устойчивость, механическая и фильтрационная прочность ГТС и его основания, а также пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений еще соответствуют условиям нормальной эксплуатации.
- В условиях нормальной эксплуатации выполняются все основные требования нормативных документов и правил технической эксплуатации в течение длительного времени, сопоставимого со сроком службы сооружения.

# Критерии состояния ГТС

- **К2** - второй (предельный) уровень значений диагностических показателей, при превышении которых эксплуатация ГТС в проектных режимах недопустима.

# Эксплуатационные состояния сооружений:

- *нормальное* - состояние сооружения, при котором сооружение соответствует требованиям действующих нормативных документов и проекта, при этом значения диагностических показателей состояния сооружений не превышают своих критериальных значений  $K_1$

# Эксплуатационные состояния сооружений:

- *потенциально опасное* - состояние, при котором значение хотя бы одного диагностического показателя стало большим (меньшим) своего первого (предупреждающего) уровня критериальных значений (значений  $K_1$ ) или вышло за пределы прогнозируемого при данном сочетании нагрузок интервала значений. Потенциально опасное состояние сооружения не отвечает нормативным требованиям, но эксплуатация ГТС не приводит к угрозе немедленного прорыва напорного фронта, и сооружение может некоторое ограниченное время эксплуатироваться



# Эксплуатационные состояния сооружений:

- *предаварийное* - состояние, при котором значение хотя бы одного диагностического показателя стало большим (меньшим) второго (предельно допустимого) уровня критериальных значений (значений  $K_2$ ); в этом случае эксплуатация сооружения в проектных режимах недопустима без оперативного проведения мероприятий по восстановлению требуемого уровня безопасности и без специального разрешения органа надзора

- а) состояние сооружения нормальное (исправное),  
если  $F_{изм} \leq K_1$
- б) состояние сооружения потенциально опасное,  
если  $K_1 < F_{изм} \leq K_2$
- в) состояние сооружения предаварийное, если  
 $F_{изм} > K_2$ ,
- где  $F_{изм}$  - измеренное (вычисленное по измеренным) значение диагностического показателя;
  - $K_1, K_2$  - числа (критерии), достижение которых хотя бы одним диагностическим показателем будет означать переход из одного состояния в другое

**В период эксплуатации для корректировки состава и критериальных значений К1 и К2 диагностических показателей следует использовать:**

- 1. кроме результатов расчетов, данные натурных наблюдений за весь период строительства и эксплуатации,**
- 2. результаты анализа опыта эксплуатации данного ГТС**
- 3. результаты анализа опыта эксплуатации аналогичных по конструкции и условиям эксплуатации сооружений.**

# Основными причинами аварий на ГТС являются:

- нарушение механической прочности сооружений;
- превышение допустимых величин деформаций;
- нарушение фильтрационной прочности;
- потеря устойчивости;
- недостаточная пропускная способность водосбросных и водопропускных сооружений

# Зимнее состояние СШ ГЭС







**Результаты  
анализа  
проектирования и  
опыта  
эксплуатации ГТС  
СШГЭС**

*Проектное обоснование прочности и устойчивости ГТС и их оснований должно быть выполнено из условия недопущения*

## *пределных состояний*

$$\gamma_{lc} \cdot F \leq \frac{R}{\gamma_n}$$

$\gamma_n$  - коэффициент надежности по ответственности (назначению) сооружения;  
 $\gamma_{lc}$  - коэффициент сочетаний нагрузок;  
 $F$  - расчетное значение обобщенного силового воздействия;  
 $R$  - расчетное значение обобщенной несущей способности

- Плотина Саяно-Шушенской ГЭС - арочно-гравитационного типа. Арочные пояса - круговые трехцентровые арки.
- Напорная грань - цилиндрическая поверхность с вертикальной образующей.
- Каньон трапецеидальный.
- Высота плотины 242 м,
- длина плотины по гребню 1070 м, по подошве - 400 м,
- толщина плотины по гребню 25 м, максимальная толщина по подошве - 105 м. Вдоль потока плотина разделена на четыре столба толщиной 25 м каждый, поперек потока плотина разделена на 68 секций протяженностью 15 м каждая.



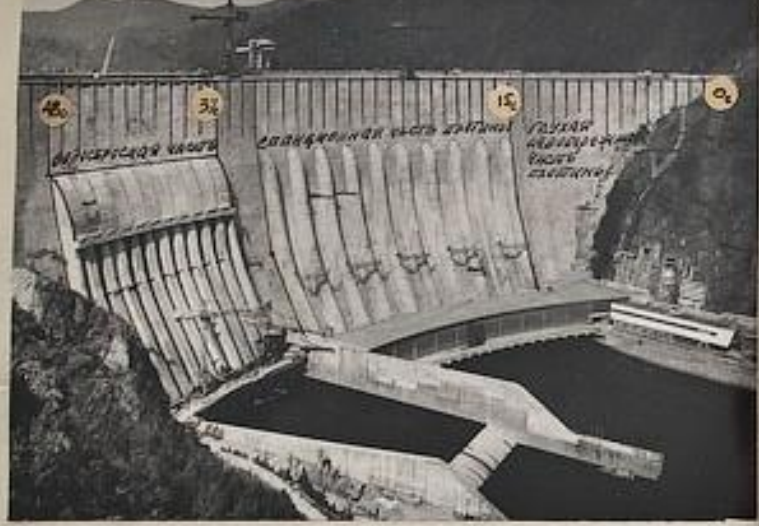
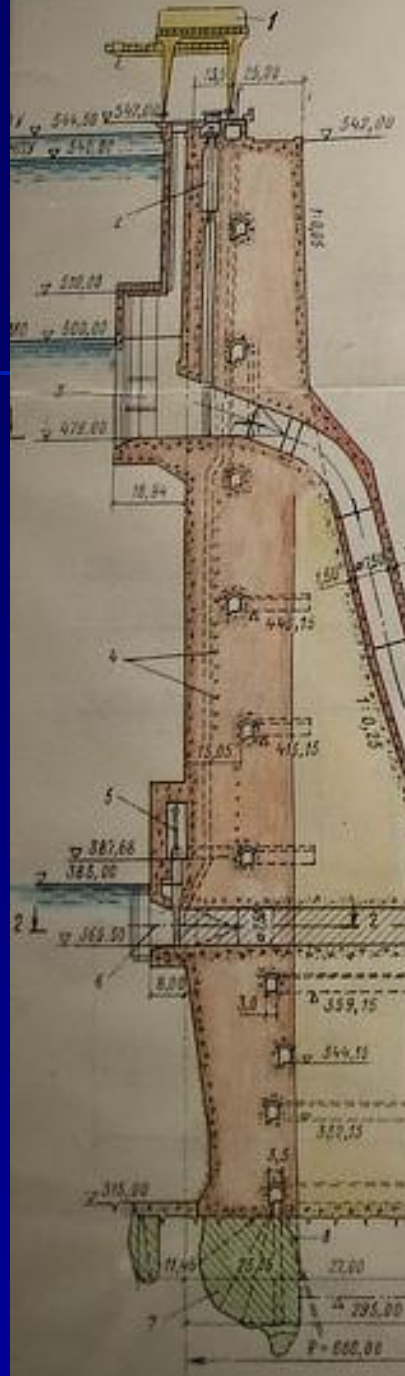






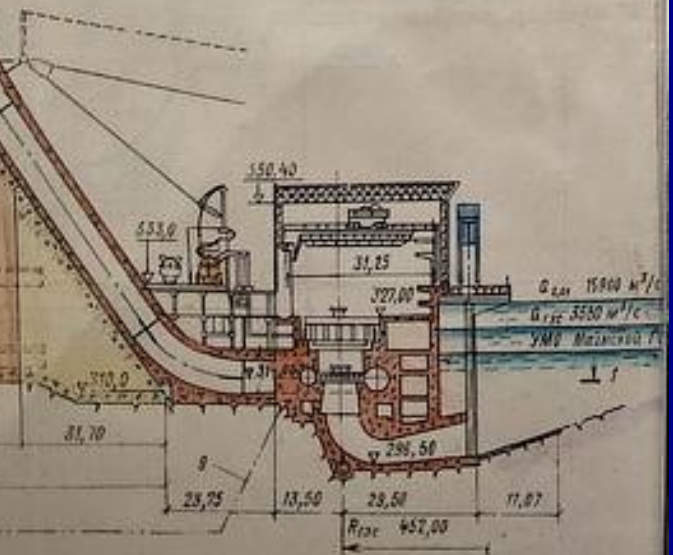
**Высота плотины  
242 м,  
длина плотины по  
гребню 1070 м,  
по подошве - 400 м,  
толщина плотины  
по гребню 25 м,  
максимальная  
толщина по  
подошве - 105 м.**





Стационарная часть плотины

1 — мостовой край грузоподъемностью 2,5/0,2/0,05 МН; 2 — привод грузоподъемностью 1,5 МН; 3 — постоянный водопроводчик; 4 — горизонтальный дренаж тела плотины; 5 — гидропривод грузоподъемностью 7,2 МН; 6 — временный водопроводчик агрегатов № 1 и 2 со скелетом рабочих колесов; 7 — глубочка цементации; 8 — связины глубокого дренажа; 9 — контур внешней цементации.



$Q_{\text{д.н.}} 15900 \text{ м}^3/\text{с}$   
 $Q_{\text{г.п.}} 3530 \text{ м}^3/\text{с}$   
 УМО Малмыгов РТ

# Характеристики СШ ГЭС

- **Саяно-Шушенская ГЭС им. П. С. Непорожного мощностью 6721 МВт** расположена на реке Енисей в Хакасии. Строительство началось 12 сентября 1968 года, последний гидроагрегат введен в строй 25 декабря 1985 года. Бетонная арочно-гравитационная плотина имеет высоту 245 м и длину 1074 м. В 2008 году выработка электроэнергии с учетом производительности входящей в комплекс Майнской ГЭС составила 19,9 млрд кВт ч. 75% вырабатываемой энергии потребляет Саянский алюминиевый завод.

# СТРОИТЕЛЬСТВО СШ ГЭС

- Сооружалась скоростным методом.
- Из 4 рядов составляющих плотину бетонных монолитов размером в плане по 25x15 метров, отлили только 3 ряда и отрапортовали, а четвертый ряд пристроили позже.
- При первом же паводке произошел прорыв воды в машзал, с его затоплением. Ремонт тогда занял 4 месяца.

**Геологические и  
тектонические  
особенности  
региона  
строительства СШ  
ГЭС**

# Возможно ли взаимовлияние крупного водохранилища и сейсмической обстановки?

- «Вес крупных водохранилищ настолько велик, что может спровоцировать землетрясения - зарегистрированы десятки случаев так называемой наведенной сейсмичности, причиной которой послужили водохранилища.»

И.Г. Киссин "Землетрясения и подземные воды». (1985г.)

# Румынский ученый Ион Текуч:

«толща воды высотой  
более 100 метров  
представляет собой  
сейсмический фактор  
большой важности»





**Схематическая геологическая карта гидроузла**

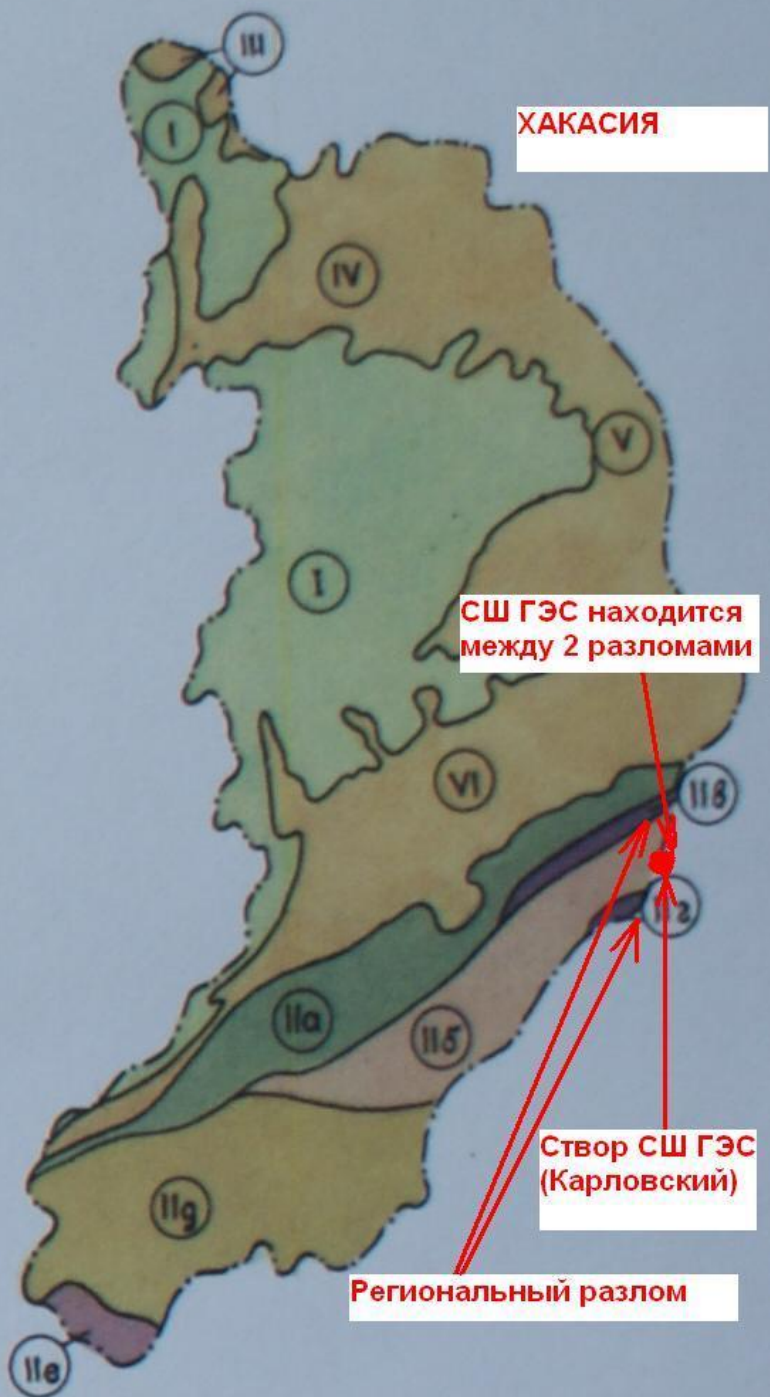
- 1 – парасланцы черемуховой толщи; 2 – парасланцы карымовской толщи; 3 – ортосланцы; 4 – граниты джойской интрузии; 5 – зоны контактного метаморфизма: А – сильного, Б – среднего, В – слабого; 6 – нерасчлененная зона контактного метаморфизма; 7 – тектонические зоны; 8 – угол залегания пород; 9 – контур плотины

# Характеристика слагающих пород

- **Парасланцы (parashist)**
  - метаморфические сланцы, образовавшиеся за счет осадочных горных пород.
- **Породы горные осадочные (sedimentary rocks)**
  - породы породы, сформировавшиеся на поверхности земной коры породы, сформировавшиеся на поверхности земной коры из продуктов разрушения породы горных пород путём химического или механического выпадения осадков из воды, а также остатков жизнедеятельности

# Вывод:

- Зона между ортосланцами и парасланцами является ослабленной зоной;
- Зона правого берега (парасланцы) сложен из пород залегающих под углом 15 градусов ( $90 - 75 = 15$ ), что характеризуется ослаблением при динамической нагрузке (особенно с учетом анизотропии);
- Учитывая направление залегания слоев, при увеличении нагрузки со стороны водохранилища, появляется составляющая сила направленная вверх от основания плотины и ослабляющая прочность правого края;
- Строительство нового водоотвода еще более ослабит зону примыкания тела плотины и правого берега;
- Так как долина реки Енисей представляет собой единый разломный шов, то построенная плотина поперек шва представляет собой объект с пониженной надежностью.



СШ ГЭС находится между двумя разломами. Между 11а и 11б старый разлом в метаморфических породах излитой магмой в ослабленной зоне. Ниже приведен пример разлома в 1000 раз менее значительного



Висячее крыло

Принадвиговая складка

Наклонный сместитель

Принадвиговая складка

Лежачее крыло

30°

Кандаловский надвиг

терригенной толщи сарагашской свиты D2 gv sr

Рис 1





# Влияние разломов на сейсмоопасность водохранилища

- Опасность представляет возможность обновления разлома при сейсмических толчках.
- Разлом представляет собой сеймопроводящую зону характеризующуюся большой глубиной заложения
- "Спусковым крючком" для сеймотолчков может послужить объем воды более 30 кубических километров.
- В результате увеличилась сейсмоопасность зоны водохранилища

# Креплен е бортов и берега СШ ГЭС

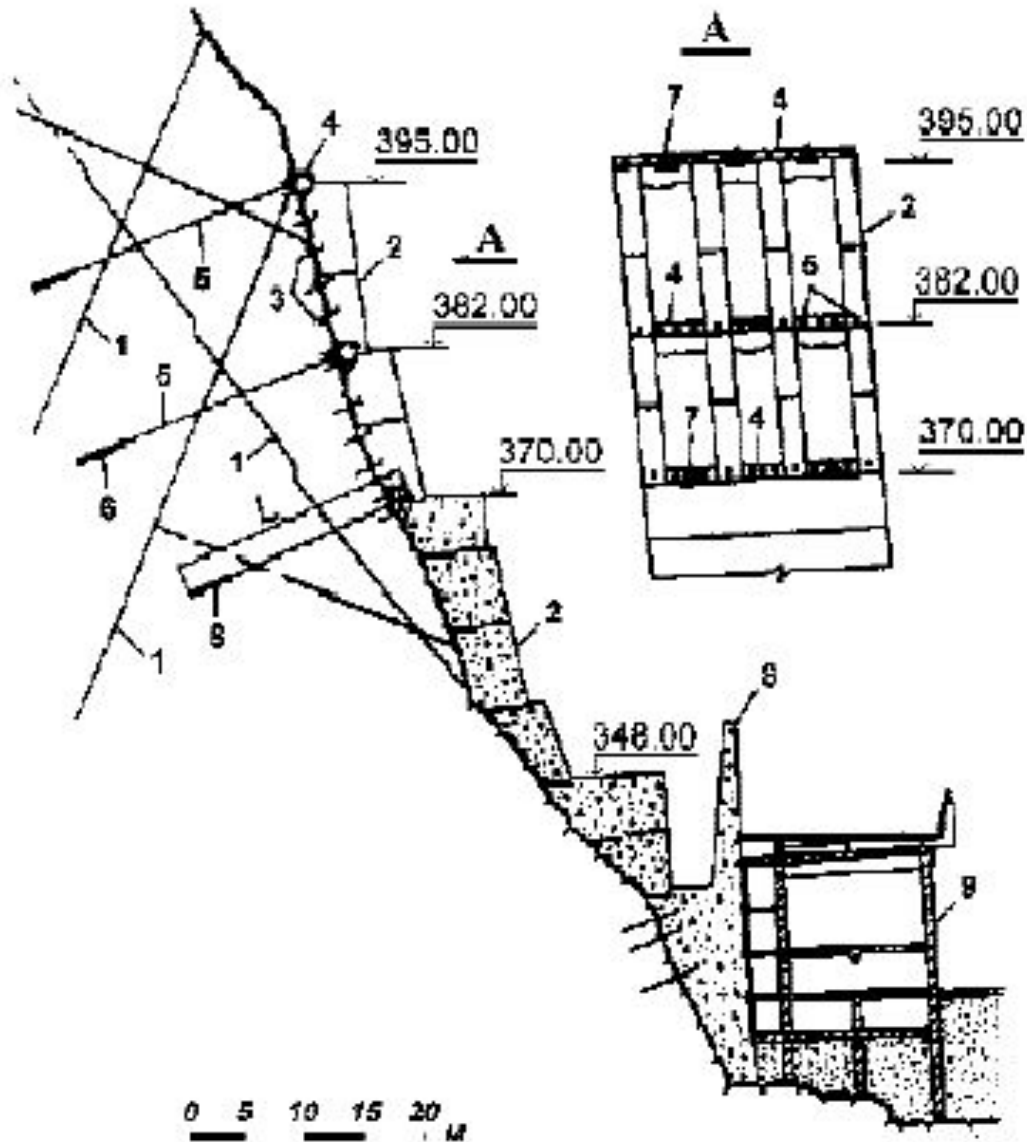


Рис. 2.7 Разрез по типовому сечению крепления потенциально неустойчивых массивов левобережного откоса, примыкающего к плотине Саяно-Шушенской ГЭС в нижнем бьефе

1 – трещины, отчленяющие массив; 2 – бетон крепления массива; 3 – анкера  $\varnothing 28$  крепления железобетонного пояса к откосу; 4 – железобетонный пояс анкерного

# Анкерное крепление

Срок службы подобных анкеров по некоторым литературным данным обычно составляет 15 лет<sup>1)</sup>, после чего необходимо будет выполнить их замену (проектом срок службы анкеров не установлен).

Стоимость работ по установке анкеров составляет 9,1% от стоимости среднегодовой выработки электроэнергии ГЭС, т.е. затраты на эту работу будут значительны.

Следует отметить, что работы, выполненные по установке ПНА для крепления скальных массивов на Саяно-Шушенской ГЭС, были первым в отечественной строительной практике массовым применением предварительно-напряженных анкеров в полиэтиленовых гофрированных чехлах. Эти работы носили опытно-конструкторский характер и сочетали в себе одновременно исследования, разработку, производственный эксперимент и строительство.

Отечественного опыта длительной (многолетней) работы подобного крепления нет. Надёжность канатных анкеров и их долговечность оцениваются разработчиками только на уровне инженерного прогноза.

Конструкция анкеров (рис. 2.8) не позволяет после их установки выполнять непосредственный контроль натяжения и состояния каждого анкера, а, следовательно, нельзя произвести их

Конструкция анкеров (рис. 2.8) не позволяет после их установки выполнять непосредственный контроль натяжения и состояния каждого анкера, а, следовательно, нельзя произвести их выборочный ремонт или замену

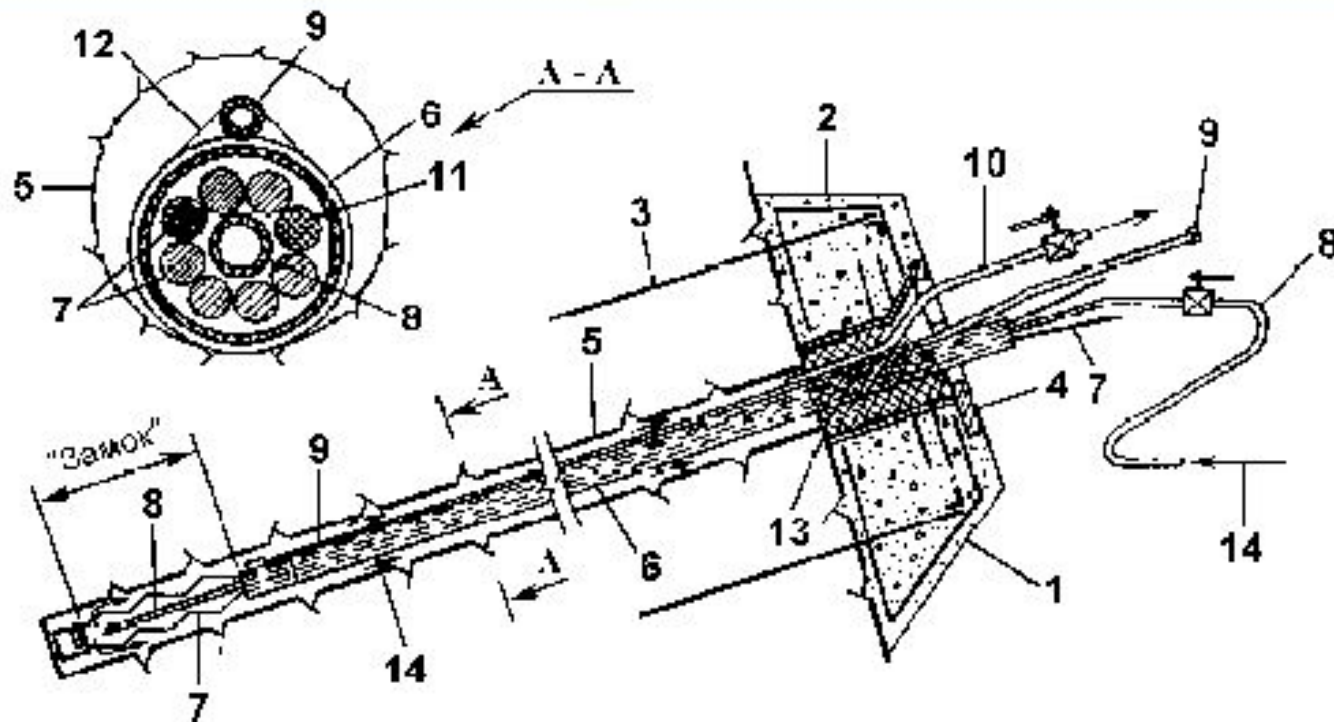


Рис. 2.8 Разрез по ПНА (показана стадия готовности к инъектированию замковой части)

1 – железобетонный пояс анкерного крепления; 2 – армирования анкерного пояса; 3 – анкер ( $\varnothing 28$  А-II) крепления ж.б. пояса к скальному откосу; 4 – опорная плита оголовка предварительно-напряженного анкера; 5 – скважина  $\varnothing 105-110$  мм; 6 – полиэтиленовый гофрированный чехол; 7 – армированные семипроволочные стальные канаты  $\varnothing 15$  мм; 8 – трубка №1 для инъектирования замковой части анкера; 9 – трубка №2 для

**ВОЗМОЖНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ АНКЕРОВ ОТСУТСТВУЕТ**



Опыт строительства и эксплуатации показал, что проектные предположения о допустимости очередности по времени закрепления потенциально неустойчивых массивов не оправдались. Такие работы должны были быть выполнены до начала строительства объектов, расположенных у склона, имеющего потенциально неустойчивые массивы.

Более надёжным, безопасным и, вероятно, экономичным (если принять в расчет затраты будущей эксплуатации) было бы в период строительства, на самой начальной его стадии, выполнить обрушение потенциально неустойчивых массивов, обеспечить выполаживание склона с организацией камнеулавливающих многоярусных берм.

Кроме того, если проектной организацией предполагалось спрогнозировать изменение состояния незакрепленных участков потенциально неустойчивых массивов в процессе строительства и эксплуатации ГЭС с целью вынести окончательное решение об объеме их закрепления, то прекращение наблюдений за массивами является грубой ошибкой. Очевидно, что при этом проектная организация пренебрегла такими особенностями объекта, как циклическое деформирование прилегающей к плотине территории от веса воды водохранилища и сооружения, вибрационные нагрузки от работающих водосбросов и гидроагрегатов, а также высокой сейсмичностью района, что снижает надёжность и эффективность гидроузла.



# Возникают вопросы:

- Так как по словам Брызгалова В.И. стоимость замены анкеров укрепления бортов 9% от стоимости среднегодовой выработки то:
  1. Производился ли своевременный осмотр бортов?
  2. Производилась ли замена анкеров? (15 лет уже прошло)
  3. Какие средства РАО ЕЭС вкладывало в систему обеспечения безопасности бортов СШ ГЭС?

# Необходимость четкого слежения за креплением указана Брызгаловым В.И.

В составе проекта крепления предусмотрена система дистанционного наблюдения за состоянием закрепленных массивов посредством измерения натяжения только отдельных контрольных анкеров, усилия в которых осредняются. Это и служит основой для оценки натяжения всех 129 шт. анкеров крепления, из них контрольных 18 шт., или около 14%. Из некоторых литературных источников известно, что при снижении усилий натяжения в контрольных анкерах на 20% или увеличении на 10% частота периодичности контроля должна быть увеличена вдвое. Если значения растягивающих усилий продолжают изменяться, то это должно быть основанием для установки новых предварительно-напряженных анкеров.

# Макет СШ ГЭС









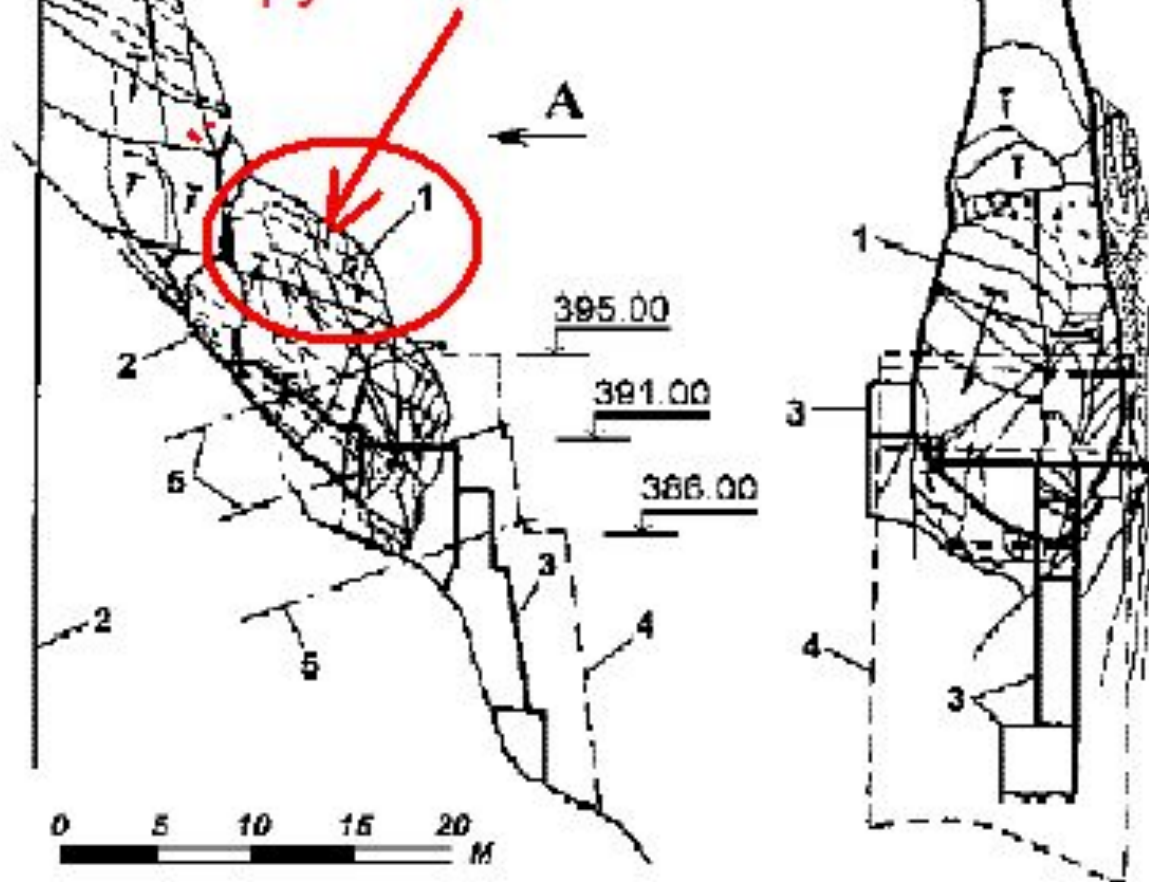
# **ВЛИЯНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА СШ ГЭС**

# Из книги Брызгалова В. И.

После землетрясения 14.03.94 г., интенсивность которого в районе гидроузла оценена в 3 балла, зафиксировано смещение незакрепленного потенциально неустойчивого блока VIII-П не менее, чем на 3 мм по сравнению с 1989 г. Это потребовало выполнения срочных работ по закреплению массива, хотя это закрепление относилось к работам второй очереди (рис. 2.9).

Опыт строительства и эксплуатации показал, что проектные предположения о допустимости очередности по времени закрепления потенциально неустойчивых массивов не оправдались. Такие работы должны были быть выполнены до начала строительства объектов, расположенных у склона, имеющего потенциально неустойчивые массивы.

Массив который может обрушиться



Подвижка  
скального  
грунта СШ ГЭС  
при  
землетрясении  
3 балла

Рис. 2.9 Незакрепленный скальный массив, подвижка которого произошла в результате землетрясения 3 балла

1 – потенциально неустойчивый скальный массив; 2 – трещины, отчленяющие массив;  
3 – временное крепление скального массива; 4 – контур проектного постоянного  
крепления; 5 – предварительно-напряженные анкеры, предусмотренные проектом  
постоянного крепления массива

# Влияние вибрации и землетрясений

Кроме того, если проектной организацией предполагалось спрогнозировать изменение состояния незакрепленных участков потенциально неустойчивых массивов в процессе строительства и эксплуатации ГЭС с целью вынести окончательное решение об объеме их закрепления, то прекращение наблюдений за массивами является грубой ошибкой. Очевидно, что при этом проектная организация пренебрегла такими особенностями объекта, как циклическое деформирование прилегающей к плотине территории от веса воды водохранилища и сооружения, вибрационные нагрузки от работающих водосбросов и гидроагрегатов, а также высокой сейсмичностью района, что снижает надёжность и эффективность гидроузла.

Возведенная в подножии склона камнезащитная стенка не в состоянии обеспечить полную безопасность расположенных вплотную к склону сооружений от падения скальных блоков или даже отдельных камней.



# Землетрясения Хакасии

- 10.04.2006
- **Восемь землетрясений зафиксировано на территории Сибирского федерального округа с 3 по 10 апреля. Жертв, пострадавших и разрушений нет.**
- Шесть из восьми подземных толчков зарегистрировано на территории Тувы, один – в Иркутской области, еще один – на границе Хакасии и Кемеровской области (эпицентр землетрясения находился в 84 км. от Междуреченска). По данным Центра сейсмического мониторинга, все толчки были силой 2-3 балла

- Подобные процессы специалисты-сейсмологи называют «фоновой сейсмичностью», то есть обычной ситуацией для горных территорий с молодыми, так называемыми, растущими горами. К таковым относятся и Саяны, и Кузнецкий Алатау.
- Известно, что Хакасия относится к сейсмоактивной зоне. Тектонические разломы присутствуют на всей территории республики, а движение земной коры происходит постоянно. Отсюда и подземные толчки различной интенсивности, однако, они не превышают сейсмических уровней, предусмотренных для нашей территории. Например, в гражданском строительстве необходимо учитывать сейсмоопасность в 7, а в районе Саяно-Шушенской ГЭС, 8 баллов.

# Землетрясения Хакасии

- В Хакасии иркутское землетрясение 27.08.08 почувствовали жители верхних этажей многоквартирных домов. Толчки магнитудой около 2 баллов средь утром ощутило население городов Абакана и Черногорска. Пострадавших во время землетрясения на территории Хакасии не зарегистрировано.
- Сейсмическая волна дошла и до Красноярска — там были толчки силой 3 балла.

**Возможно ли землетрясение  
которое приведет СШ ГЭС к  
катастрофическим  
последствиям? ДА! Сейчас  
мы узнали о  
проектировании ГЭС.  
Ситуация еще более  
ухудшилась в результате  
несоответствующего  
обслуживания ГЭС.**



# Ошибки расчета и создания плотины

Разработанная и успешно реализованная при возведении плотины Красноярской ГЭС технология укладки массивного бетона в суровых условиях Сибири породила у создателей Саяно-Шушенской ГЭС уверенность в том, что строительство ее плотины, новой конструкции и вдвое большей высоты, также будет успешным. Отсутствие в стране опыта возведения сложных арочно-гравитационных плотин и отсутствие мирового опыта по строительству таких конструкций в широких створах не особенно принималось во внимание. В частности, у строителей произошла своего рода подмена оценок. Нарботанные технологические приёмы на 100-метровых гравитационных плотинах превалировали над соображениями об особенностях НДС, присущих новой конструкции плотины. Даже при несовершенстве расчётных схем в то время некоторые из этих особенностей были известны в самом начале строительства, например, требование возводить плотину полным проектным омоноличенным профилем в три этапа – дань этому. К тому же следует добавить большое влияние волевых решений директивных организаций на сроки возведения сооружений – часто вопреки технологическим соображениям и при непротивлении этому прямым создателям гидроузла.

# Ошибки проектирования и изыскательских работ

Приступая к проектированию, авторы проекта не проявили  
должной настойчивости для создания более совершенного аппарата  
статического расчета уникальной плотины новой конструкции, хотя  
такие возможности в конце 60-х – начале 70-х годов уже имелись.  
Плотина проектировалась с использованием традиционных рас-  
четных моделей, применимых для относительно тонких арочных  
плотин, которые не позволяли судить о напряженно-деформи-  
рованном состоянии скального основания. В то же время в про-

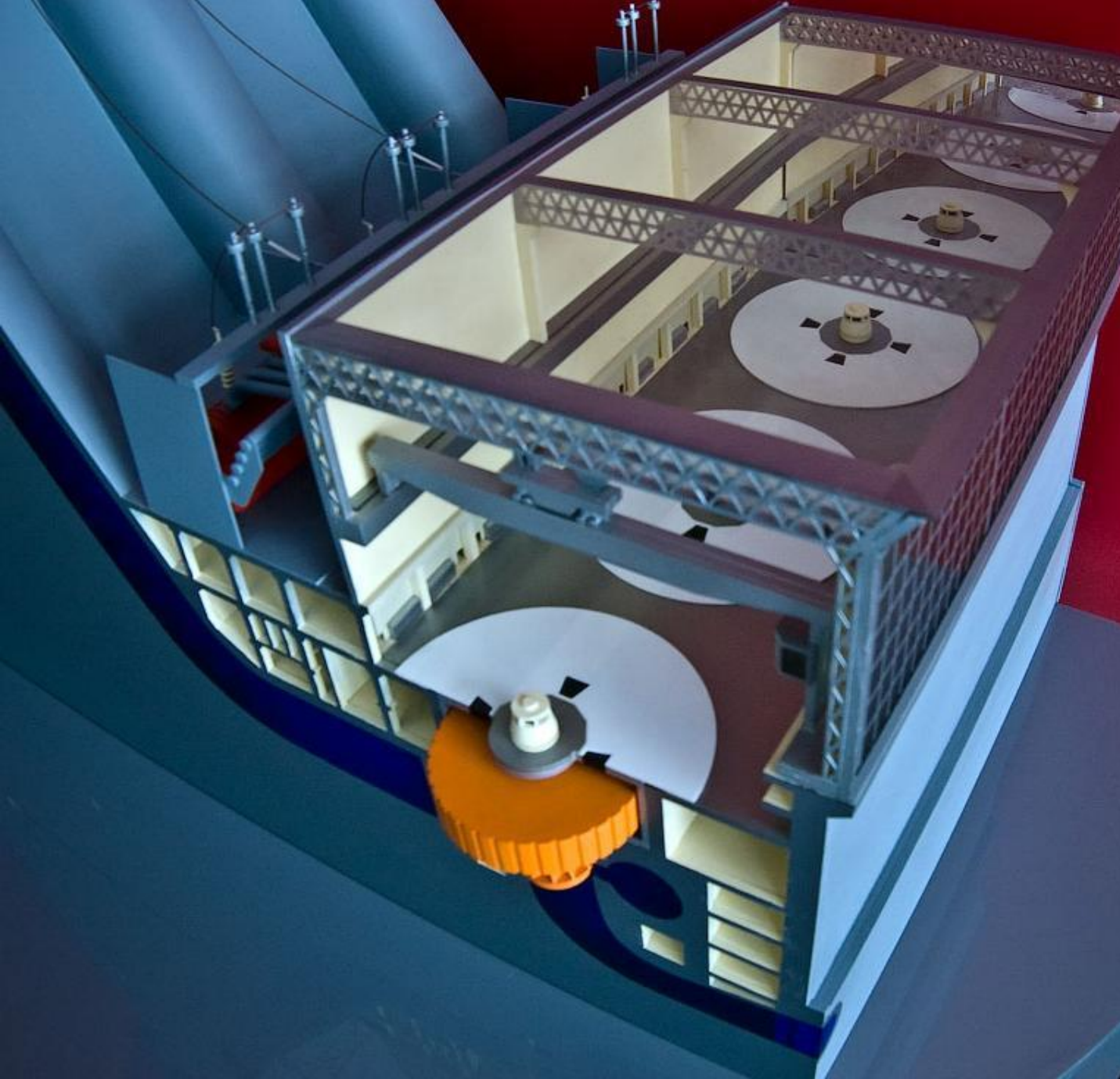
ектную практику в других странах уже внедрялись расчеты мас-  
сивных арочных плотин методом конечных элементов в рамках  
трехмерных расчетных моделей. Одновременно с этим не было  
организовано альтернативных инженерно-геологических и геоди-  
намических исследований природно сложного района расположения  
ГЭС. Все это вместе взятое негативно повлияло на напряженно-  
деформированное состояние плотины Саяно-Шушенской ГЭС,

# ВЫВОД ПО ПЛОТИНЕ:

- Проектирование плотины СШ ГЭС выполнялось не на должном уровне для обеспечения безопасности
- При строительстве плотины ошибки проектировщиков усугубились ошибками строительства, этим еще больше уменьшив безопасность
- Несоответствующее обслуживание СШ ГЭС окончательно перевело СШ ГЭС в список опасных объектов.



# Машинный зал





# Машинный зал СШ ГЭС

- В здании ГЭС размещено 10 радиально-осевых ГА мощностью по 640 МВт, работающих при расчетном напоре 194 м.
- Максимальный статический напор на плотину — 220 м.
- гидротурбина СВФ 1285/275-42У4 изготовлен Ленинградским ПО "Электросила"
- Общая масса комплекта гидротурбинного оборудования равна 1440 т., а общая масса гидротурбины — 1860 т.

# Устройство турбины

- Турбина имеет рабочее колесо диаметром 6,77 м, весом 156 тонн, содержащим 16 цельноштампованных лопастей изготовленных из нержавеющей кавитационностойкой стали.
- Турбины пропускают расход 358,5 м<sup>3</sup>/с и вращаются со скоростью 142,8 об/мин
- Направляющий аппарат гидротурбины состоит из 20 профилированных лопаток, изготовленных из нержавеющей стали. Впервые в отечественной практике для направляющего аппарата применён привод индивидуальным: сервомоторами для каждой из лопаток. Система регулирования рассчитана на давление 63 МПа.
- Вал гидротурбины верхним фланцем крепится непосредственно к центральной части ротора генератора, который своего вала не имеет. Диаметр вала 1900 мм, толщина стенки вала - 300 мм. Направляющий подшипник - сегментный с обрезиненными вкладышами.

**Турбина – основная часть  
гидроагрегата – именно она была  
разрушена при аварии 17 августа 2009  
года**



# Лопасть гидрогенератора





# Разрушения турбины при аварии СШ ГЭС

- вес турбины превышает 900 тонн, взлетела на 20 м, пробив потолок машинного зала
- Только для того что бы поднять турбину до уровня пола машинного зала необходимо передать энергию эквивалентную взрыву 21 кг тротила. С учетом передачи давления воды во все стороны одинаково – 130 кг тротила

# Ротор генератора вращается закрепленным на оси с турбиной



# Сведения о разрушенной турбине

- нижний подшипник турбины плавает в масляной ванне диаметром 6 метров.
- Номинальная частота вращения генератора СШ ГЭС - 142 оборота в минуту
- Турбина была создана на АО «Силовые машины» в 1979г. Срок работы 30 лет. Но уже 15 лет их специалистов не допускали к осмотру агрегата

# Крышка энергоблока с верхним подшипником и центрирующими анкерами





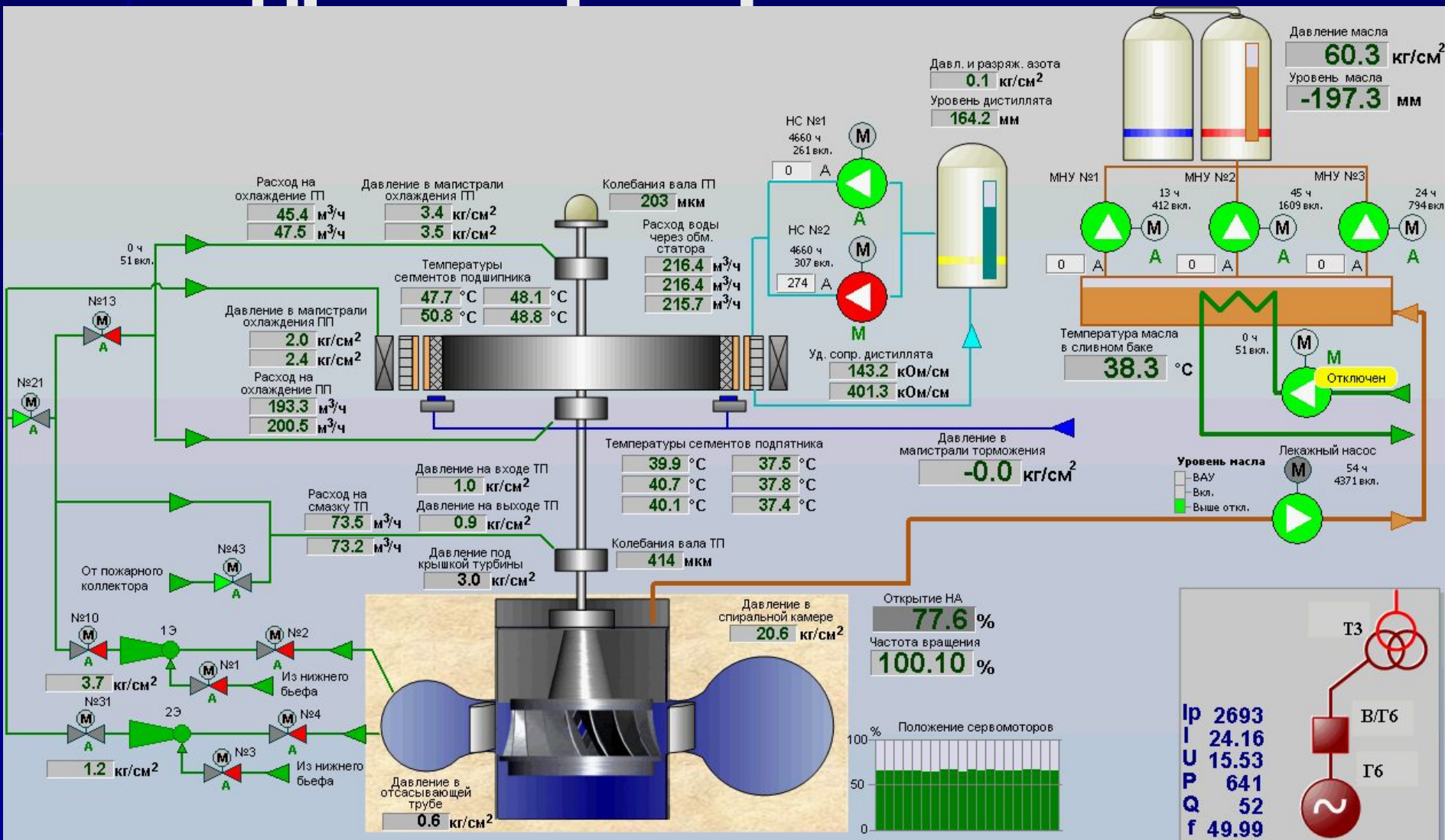


Обод  
ротора  
до и  
после





# Схема работы гидрогенератора





# Разрушенный гидрогенератор



# Преобразователи энергии

- группы однофазных трансформаторов на напряжение 15,75/500 кВ мощностью 533 МВ А в фазе изготовлены ПО "Запорожтрансформатор".



# Трансформаторы СШ ГЭС установлены на открытом пространстве



# Результат разрушения трансформаторов





# Еще более «экономно», но опасно расположены трансформаторы Чиркейской ГЭС в Дагестане





# Результат разрушения СШ ГЭС













# Конструкционные недостатки машинного зала СШ ГЭС



# Сравнение конструкции машинного зала Гуверовской ГЭС и СШ ГЭС. Обратите внимание на конструкцию генератора и бетонные стены машинного зала ГЭС Гувера





# Конструкция машинного зала выполнена МАРХИ

далее из книги Брызгалова В.И.

Новое решение верхнего строения машинного зала Саяно-Шушенской ГЭС из перекрестно-стержневой конструкции было воспринято создателями гидроузла неоднозначно. Многие специалисты из числа строителей и руководства Министерства энергетики и электрификации СССР были против применения конструкции МАРХИ для машинного зала Саяно-Шушенской ГЭС, считая её недостаточно фундаментальной, не соответствующей уровню крупнейшей гидростанции мира. За внедрение этой конструкции бескомпромиссную позицию заняла проектная организация (Л. В. Чулкевич, Г. С. Никулин), которую поддерживали специалисты-эксплуатационники.

# из книги Брызгалова В.И.

Из вышеизложенного видно, что насколько глубоко была проработана архитектурно-художественная часть проекта верхнего строения машзала, настолько недостаточным было внимание технологическому его исполнению. Отмеченные выше недостатки пространственно-стержневой конструкции МАРХИ – это результат отсутствия предварительного всестороннего анализа условий, в которых должна работать новая конструкция; отсутствия подчиненности технического решения и свойств структуры требованиям технической эксплуатации энергетического объекта с минимальными затратами и повышенной надежностью.

# И сейчас после аварии:

- По сообщению НИА Хакасия: «Разрушенный в результате аварии шатер машинного зала гидроэлектростанции решено было воссоздать в соответствии с первоначальным проектом, используя ту же технологию и материалы. Именно поэтому заказ на изготовление металлического каркаса для машинного зала ГЭС направили на фирму «ВиСта» — головное предприятие по производству перекрестно-стержневых пространственных конструкций типа «МАрХИ», производство которых расположено в Семенове. »
- Повторяем неудачную конструкцию?

# Анализ состояния СШ ГЭС

- В 1998 году в прогнозе МЧС была названа **ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМ ОБЪЕКТОМ**
- Исходя из требований Гост Р-22 и ФЗ-68 к 2000 году она должна быть остановлена
- Какие основания для этого?



# Опасный уровень безопасности из «методики определения безопасности ГТС» пункт 4.

- Развиваются опасные процессы снижения прочности и устойчивости ГТС и их оснований, показатели состояния ГТС превышают предельно допустимые (критериальные) значения, характеризующие переход от ограниченно работоспособного к неработоспособному состоянию сооружений и оснований (К2

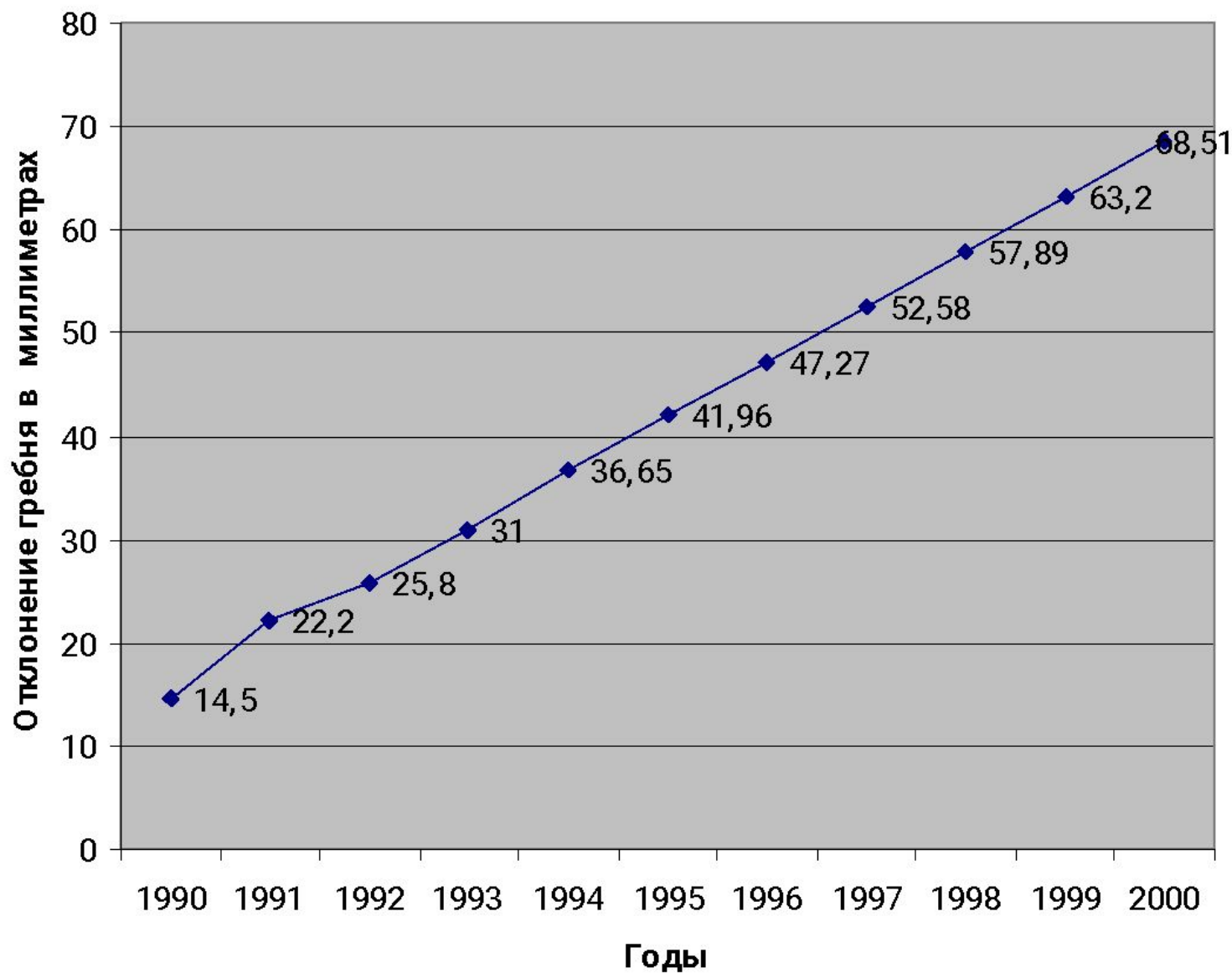
# Необратимые радиальные перемещения (мм) гребня плотины (из пособия по безопасности ГТД)

| <b>Год</b>  | <b>За год</b> | <b>С начала измерений</b> |
|-------------|---------------|---------------------------|
| <b>1990</b> |               | <b>14,5</b>               |
| <b>1991</b> | <b>7,7</b>    | <b>22,2</b>               |
| <b>1992</b> | <b>3,6</b>    | <b>25,8</b>               |
| <b>1993</b> | <b>5,2</b>    | <b>31,0</b>               |

# Подтверждение: Из отчета по безопасности ГТС СШ ГЭС

- за 4 года (1990 – 1993) необратимые перемещения гребня плотины составили 31 мм. Размах полных (измеренных) перемещений за период наполнения от УМО отм. 500 м до НПУ отм. 540 м в эти годы составлял 83 - 91 мм (см. таблицу П.П.1). **Очевидно, что нельзя пренебрегать столь значительными необратимыми перемещениями при оценке безопасности плотины.**

# Предположительные отклонения гребня в мм





# Конструкционные недостатки СШ ГЭС

- Проектировщики неправильно оценили последствия гидравлических ударов, и уже после сброса первого паводка в 1986 году дно колодца под плотиной было разрушено.



# План ГЭС

# Вид сверху







**Вода в  
водобойных  
колодцах  
ударяется  
летя под  
углом более  
60 град.  
размывая  
основания  
колодца**



# Сброс воды в водобойные КОЛОДЦЫ



**Вот как описывает  
подробности разрушений  
конструкции Саяно-  
Шушенской ГЭС бывший  
начальник научно-  
исследовательского  
сектора КБ "Гидросталь"  
Минэнерго Павел  
Хлопенков:**

«Произошла катастрофа. Было разрушено более 30 тыс. куб. м конструкций и скального основания. И это при паводке вдвое слабее расчетного! Каверны и траншеи глубиной 6 м вблизи основания плотины нарушили ее прочность и дали импульс к деформации плотины, сдерживающей колоссальный напор воды в водохранилище. Вполне возможны более сильные паводки, которые неминуемо разрушат плотину. »



# Авария 1986 года



17.07.86



# Из отчета Брызгалова

«Такому, значительному по масштабам, разрушению колодца предшествовало частичное повреждение его дна, которое было обнаружено после пропуска половодья 1981 г.

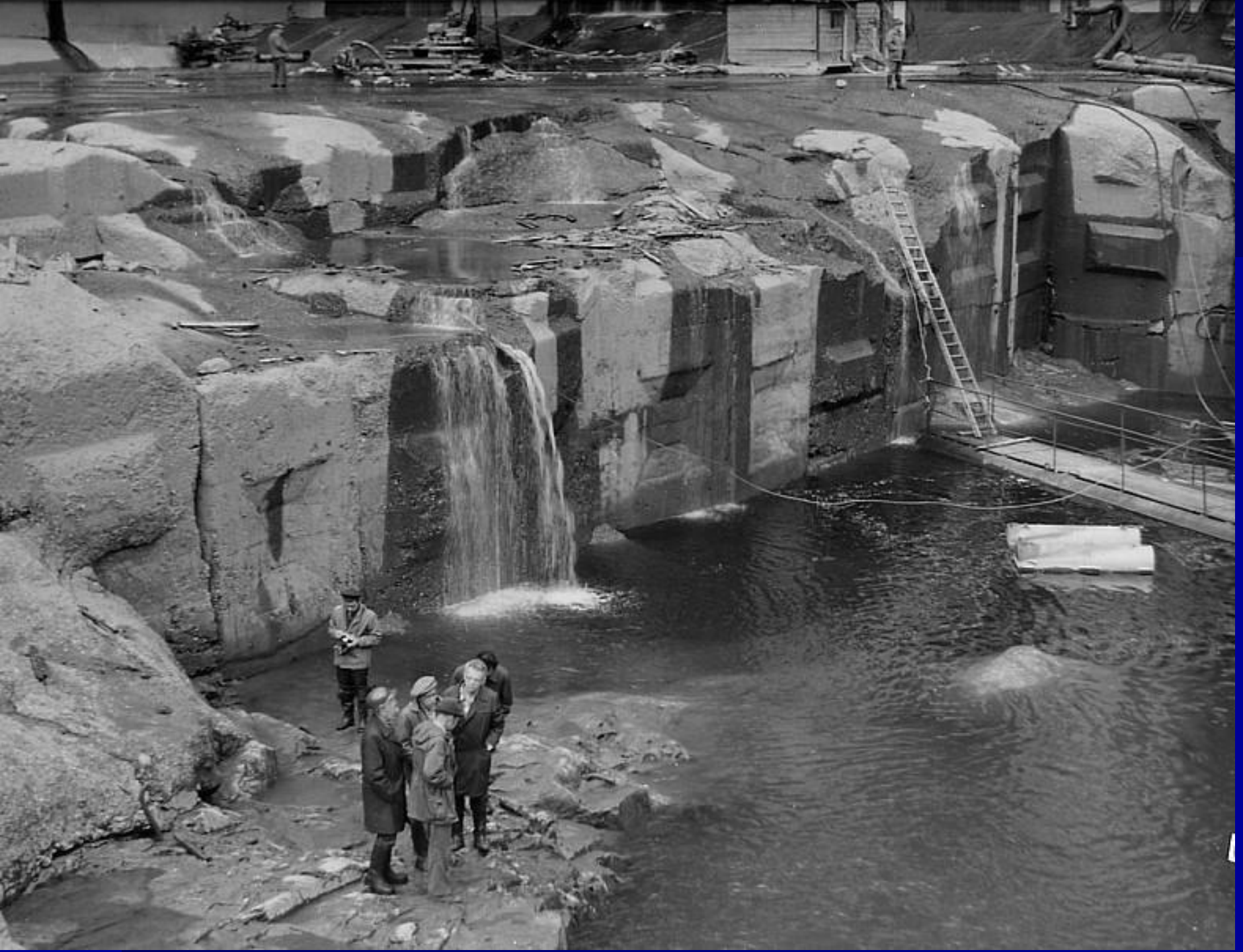
Глубина повреждений была от 0,6 до 2,5 м. Причиной этого была названа лишь кавитационная эрозия, которая безусловно имела место. Хорошо известно, что при скоростях воды 40 м/с и более бетон как материал, даже при очень высокой прочности и идеальной поверхности, противостоят потоку не может.

Строительные расходы были сравнительно невелики, расходы пропускались при напоре 100-170 м, и скорость воды в колодце не превышала 40 м/с. На самом деле имела место совокупность воздействий. Кавитационная эрозия в данном случае явилась следствием, которому предшествовали местные разрушения поверхности бетона перемещающимися по ней механизмами, а затем и обломочными материалами, попадавшими в колодец в течение 7 лет строительства (1975-81 гг.).»



## Разрушение дна

колодца является ярким свидетельством инженерных просчётов. До определённого уровня гидродинамических воздействий отремонтированные участки, не имея герметизации межплитных швов, работали достаточно устойчиво в течение трёх лет при напоре до 175 м, а потеря устойчивости крепления дна колодца наступила лишь при увеличении гидродинамических сил (напор достиг 193 м), превышающих технические возможности конструкции.





На Саяно-Шушенской ГЭС в период паводка сбрасывается поток чудовищной мощности — каждую секунду с высоты 200 м "спрыгивает" и разбивается вдребезги средняя московская многоэтажка. Можно себе представить, что происходит в этом месте под плотиной. Там настоящий ад, который на языке специалистов называется "водобойным колодцем". Это специальный бассейн, сделанный так, чтобы гасить энергию сбрасываемой воды. Стены и дно водобойного колодца выложены особо прочным бетоном, который должен выдерживать удары, равные взрывам мощных фугасных бомб.

**Но даже этот бетон не выдержал энергии сбрасываемой воды.**

По мнению Хлопенкова, в поддержку которого он приводит собственные расчеты, плотина интенсивно размывала свое основание, ослабляя его сцепление с дном русла. Из-за нерасчетных деформаций в теле плотины образовались трещины, куда устремилась вода под высоким давлением, и "все это могло кончиться катастрофой"

# При строительстве плотины:

- Было съэкономлено более 10 тыс. куб. м бетона. Плотина получилась легкой и изящной. Однако конструкция не оправдала надежд. Под давлением воды плотина потеряла свойства "кирпича" и превратилась в чистую "распорку". А на этот режим она не была рассчитана.

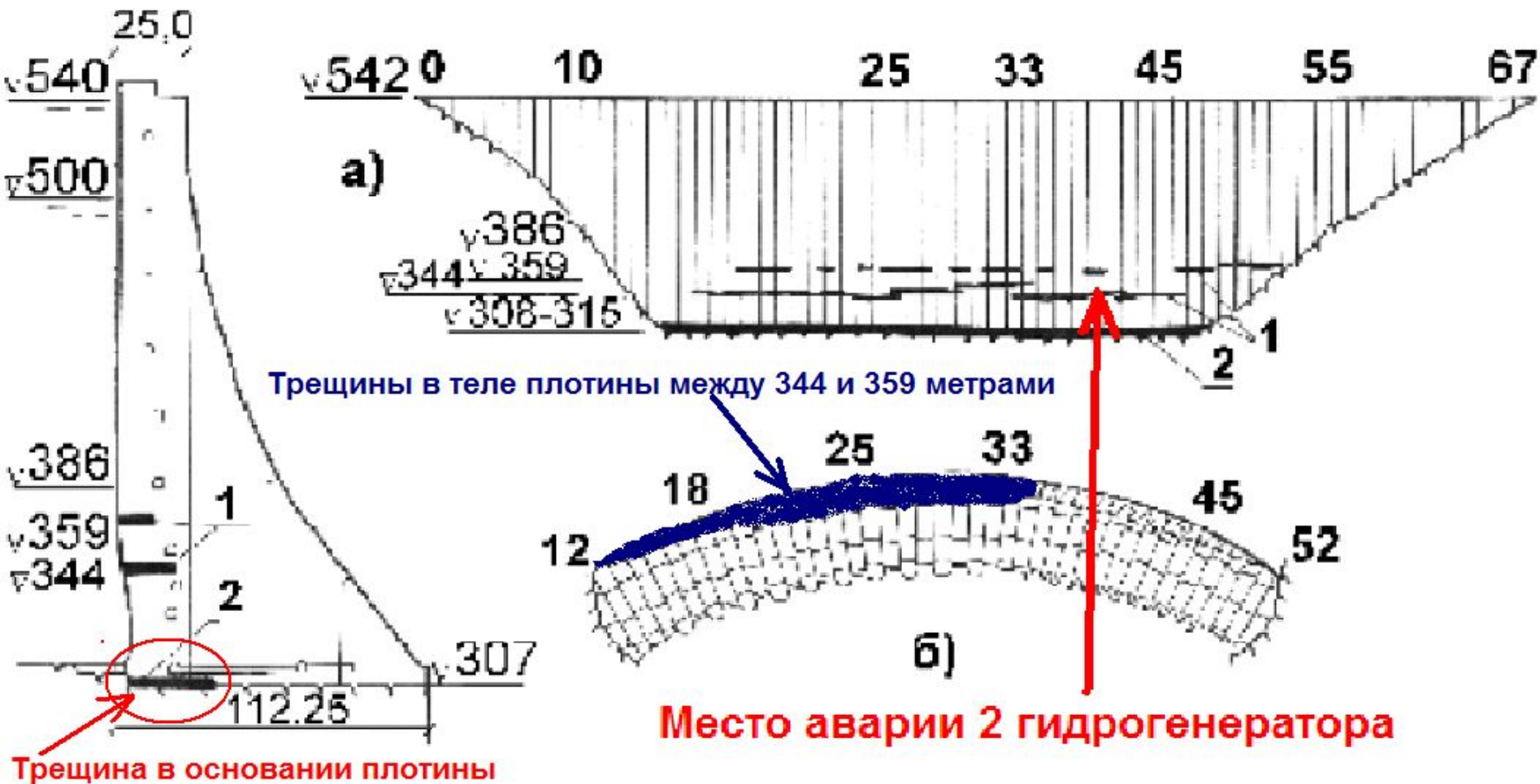
# Образование трещин в плотине СШ ГЭС

. В 1986 г.,

когда по результатам вышеуказанного вида измерений было установлено, что трещина проникла на глубину около 1,5 м, было отмечено и возрастание радиальных перемещений в сторону нижнего бьефа части плотины выше отметки расположения трещины. А в первый год наполнения водохранилища до НПУ (1990 г.) при визуальных осмотрах из смотровых шахт в бетоне напорной грани русловых секций между отм. 344 м и 359 м были обнаружены напорные течи в виде "кинжальных" струй, что явилось уже бесспорным признаком трещинообразования. При НПУ суммарный расход фильтрации в указанной области увеличился почти до 300 л/с. Более того, трещины появились и в поясе между отметками 376–380 м, где также ежегодно растут фильтрационные расходы и также отмечены "кинжальные" течи (рис. 2.34)\*).



# Трещины в плотине СШ ГЭС на 1990



**Расположение трещин на напорной грани и в основании.**

а) вид с верхнего бьефа; б) план на отметке 359,0 м;

в) поперечный разрез по ключевой секции 33;

1 – трещины на напорной грани плотины; 2 – трещина на контакте “скала – бетон”;

▨ – примерная граница распространения трещины между отметками 344-359 м

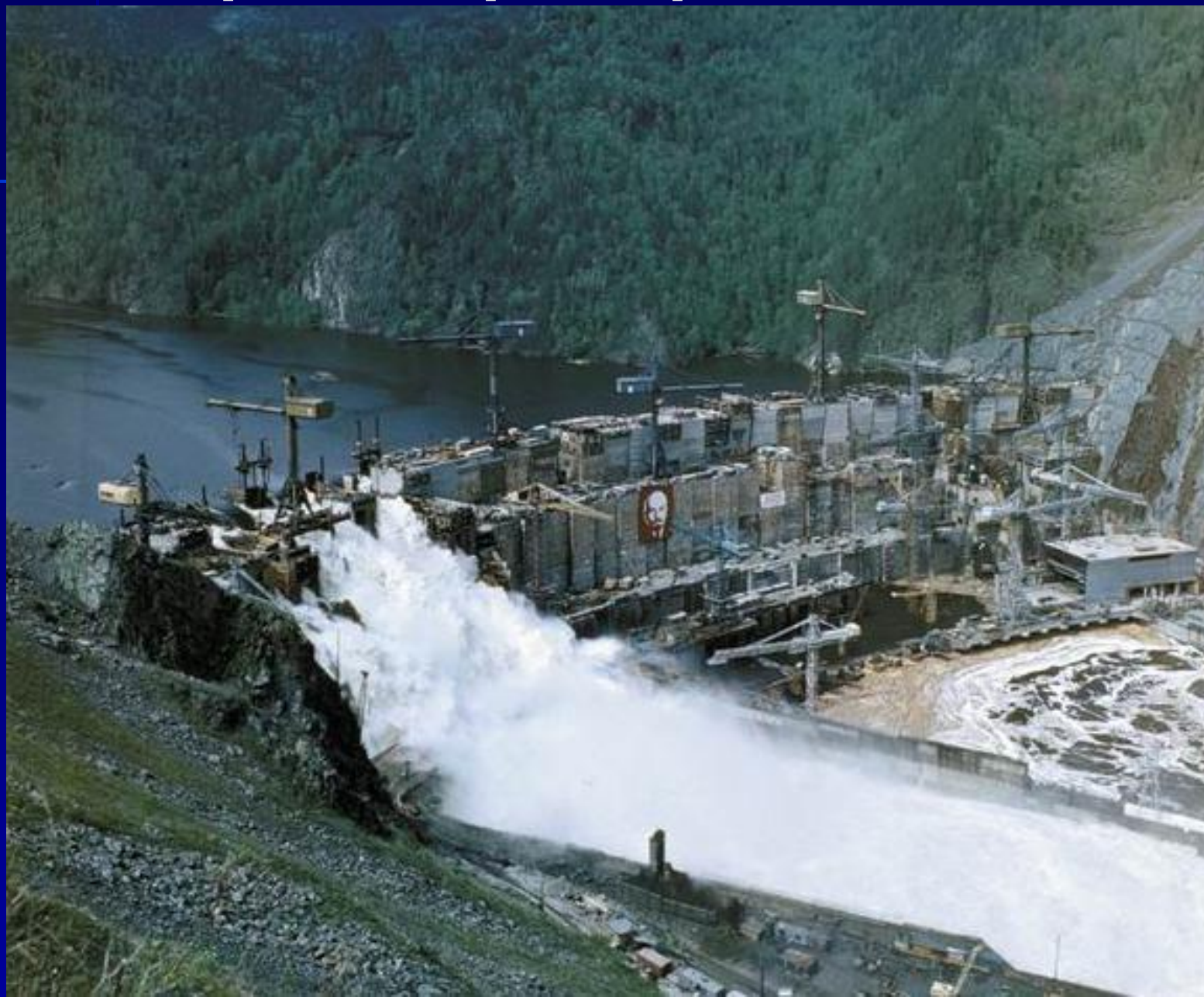
# Вывод:

- Трещинообразование плотины продолжается
- Для обоснования опасности (или безопасности плотины) необходимо знать текущее состояние плотины (на сентябрь 2009 года)

# Еще о конструкционных недостатках СШ ГЭС

- ПРИ проектировании СШ ГЭС не рассматривался вариант затопления машинного зала

# Первая авария строящейся СШ ГЭС





## Как выполнялось строительство плотин на зарубежных ГЭС?

- Итайпу (Бразилия) – 1) выполнен водоотвод, 2) вся вода пущена в обход основного русла, 3) плотина строилась на сухом грунте
- Плотина Гувера (США) - 1) выполнен основной водоотвод (в дальнейшем вся вода в турбины пущена через него), 2) вся вода пущена в обход основного русла, 3) плотина строилась на сухом грунте
- Гури (Венесуэла) и Грэнд-Кули (США) – та же последовательность действий.

# Интересный факт:

- При строительстве ГЭС Итайпу (Бразилия) из затопляемой зоны было выловлено и переселено 70 тысяч диких животных
- О переселении диких животных из наших полей и лесов при затоплении я не слышал
- Это говорит об уровне культуры строительства ГЭС

# Результаты анализа опыта эксплуатации аналогичных сооружений

# Плотина Гувера США

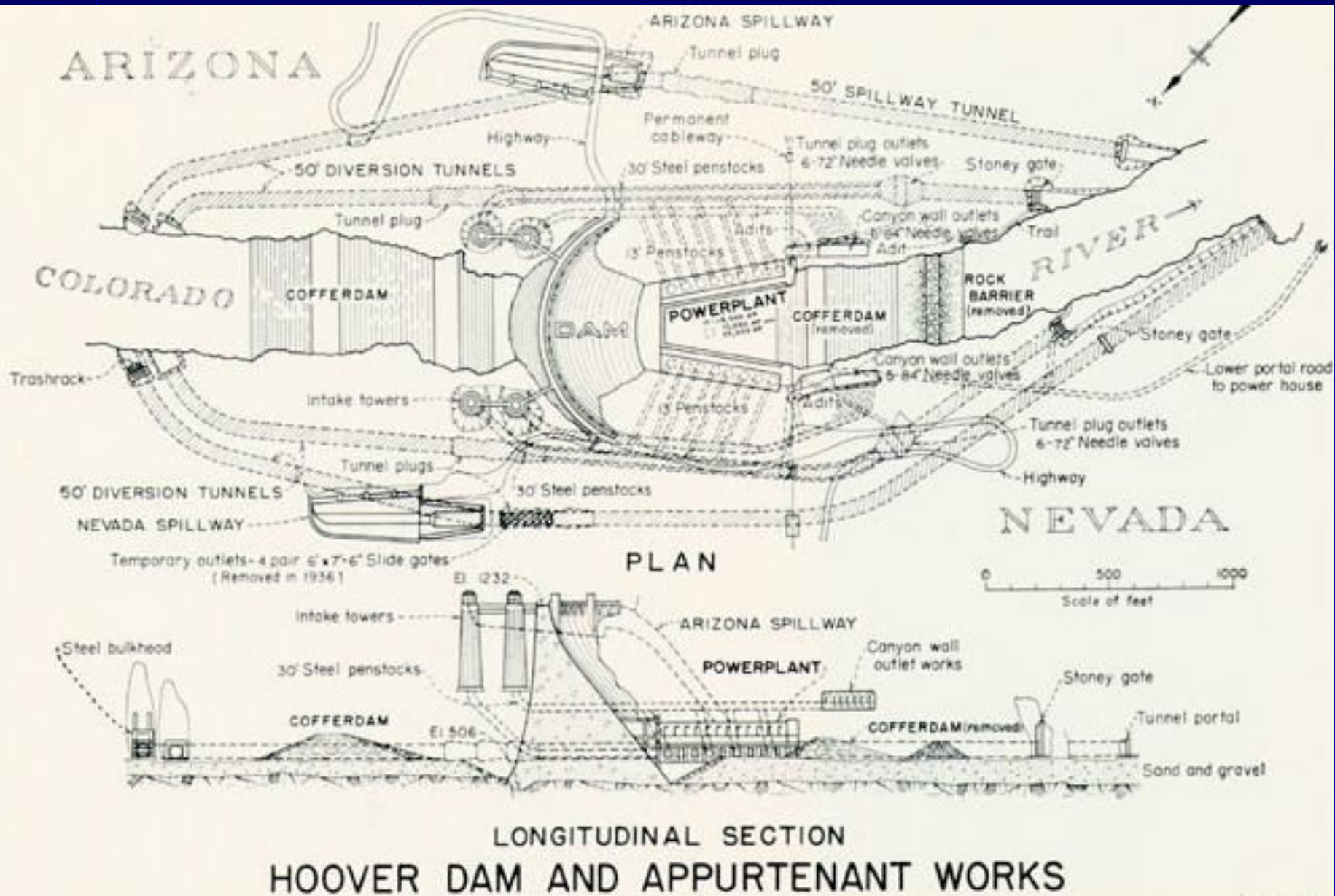
- уникальное гидротехническое сооружение уникальное гидротехническое сооружение в США уникальное гидротехническое сооружение в США, бетонная уникальное гидротехническое сооружение в США, бетонная плотина уникальное гидротехническое сооружение в США, бетонная плотина высотой 221 м и гидроэлектростанция уникальное гидротехническое сооружение в США, бетонная плотина высотой 221 м и гидроэлектростанция, сооружённая в нижнем течении реки Колорадо уникальное гидротехническое сооружение в США, бетонная плотина высотой



# Плотина Гувера

- Высота плотины — 221,4 м (вторая по высоте в США).
- Длина плотины — 379,2 м.
- Ширина плотины — 200 м у основания, **15 м** в верхней части.
- На строительство плотины было израсходовано 3,33 млн. м<sup>3</sup> бетона.
- Максимальная электрическая мощность электростанции — 2074 МВт.

# Схема плотины Гувера



# Плотина Гувера:

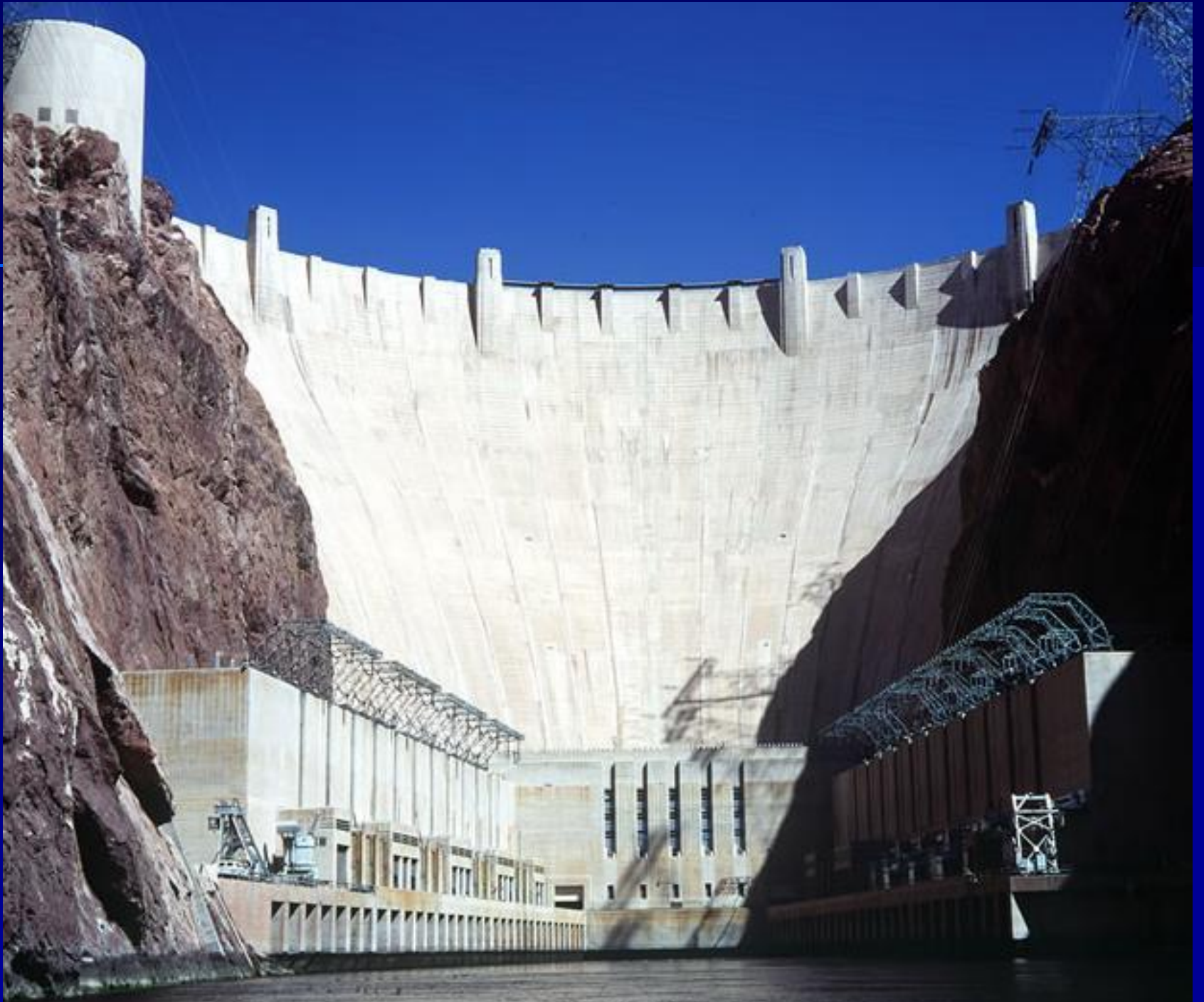
- Все водоводы находятся на расстоянии от плотины;
- Через тело плотины не проходят водоводы
- При строительстве первым шагом было обустройство водоводов и осушение места строительства плотины
- С помощью блоков специальной формы выполнено основание тела плотины толщиной 200 метров
- Гидроагрегаты вынесены в стороны от плотины, что повышает безопасность.



# Вид плотины Гувера из космоса









# Поверхность плотины СШ ГЭС





# Водоводы к турбинам СШ ГЭС

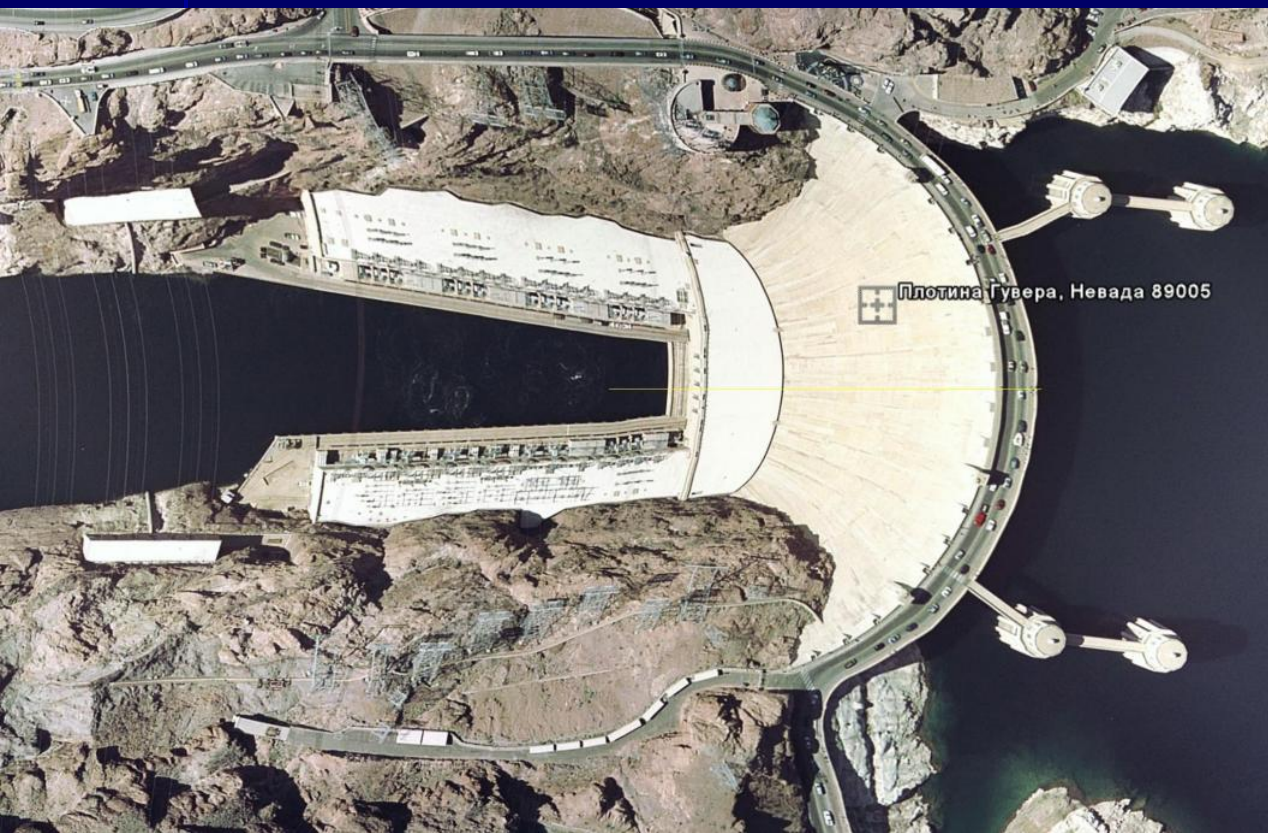


# Сравнение плотины Гувера и плотины СШ ГЭС

| Плотина | Длина<br>плотины<br>(м) | Ширина<br>подошвы<br>(м) | Ширина<br>гребня<br>(м) | Высота<br>плотины<br>(м) |
|---------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| ГУВЕРА  | 379,2                   | 200                      | 15                      | 221,4                    |
| СШ ГЭС  | 1074                    | 105                      | 25                      | 245                      |

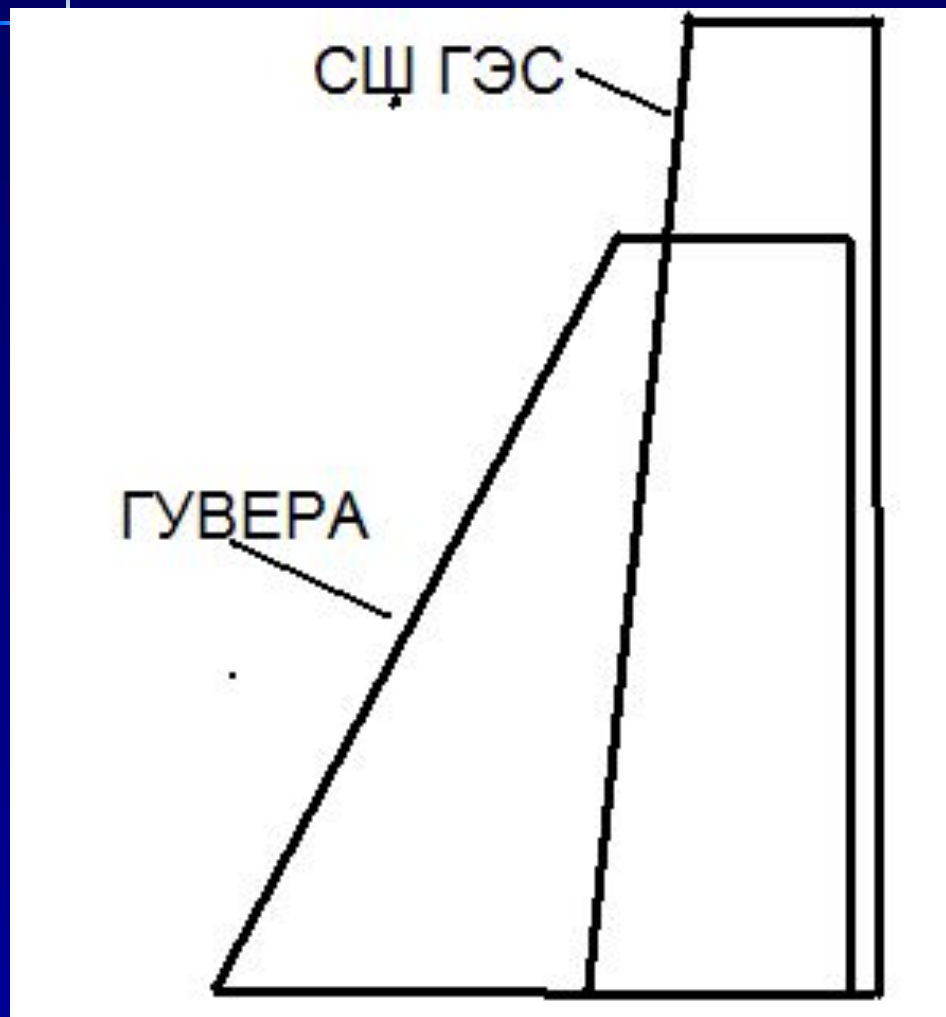


# Сравнение плотины Гувера и плотины СШ ГЭС



| Плотина | Длина плотины (м) | Ширина подошвы (м) | Ширина гребня (м) | Высота плотины (м) |
|---------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| ГУВЕРА  | 379,2             | 200                | 15                | 221,4              |
| СШ ГЭС  | 1074              | 105                | 25                | 245                |

# Разница плотин Гувера и СШ ГЭС



# Аварийность при сбросе воды

- Вода через водосброс падает чуть не вертикально со скоростью более 50 м/с и ударяется непосредственно в основание плотины. По замыслу конструкторов, гасить энергию воды должен специальный водобойный колодец, покрытый бетонными плитами. Плиты водобойного колодца разрушаются. В 1985-м, во время паводка вода разрушила 75 процентов бетонных плит, а в 88-м повторно разнесла уже восстановленный колодец. Разрушению подвергаются и направляющие бетонные пиллерсы сооружения, и опорная стенка, расположенная между колодцем и собственно электростанцией.



# Работа водосброса СШ ГЭС





# Плотина «Итайпу»

## Бразилия

Состав сооружений ГЭС:

- Комбинированная плотина общей длиной 7 235 м, шириной 400 м и высотой 196 м;
- Бетонный водосброс с максимальным потоком в 62 200 м<sup>3</sup>/с.
- Мощность станции — 14 000 МВт. Среднегодовая выработка — 69,5 млрд кВт·ч.
- Силовое оборудование станции состоит из 20 гидроагрегатов мощностью по 700 МВт, в силу превышения расчётного напора доступная для генераторов мощность достигает 750 МВт в течение более чем половины времени работы.
- Плотина гидроэлектростанции образовала относительно небольшое (в отношении к мощности) водохранилище длиной 170 км, шириной от 7 до 12 км, площадью 1 350 км<sup>2</sup> и объёмом 29 млрд м<sup>3</sup>.



**ВОДООТВОД**

**Водосброс. Обратите внимание на малый угол и взаимопогашение энергии струй**

# Плотина Итайпу

- Строилась с первоначальным осушением русла и подготовкой основных и вспомогательных водоводов
- Особое внимание было обращено на безопасность ГЭС и подготовку персонала
- За пределы водохранилища вывезены не только люди, но и дикие животные



# ГЭС Гранд-Кули США





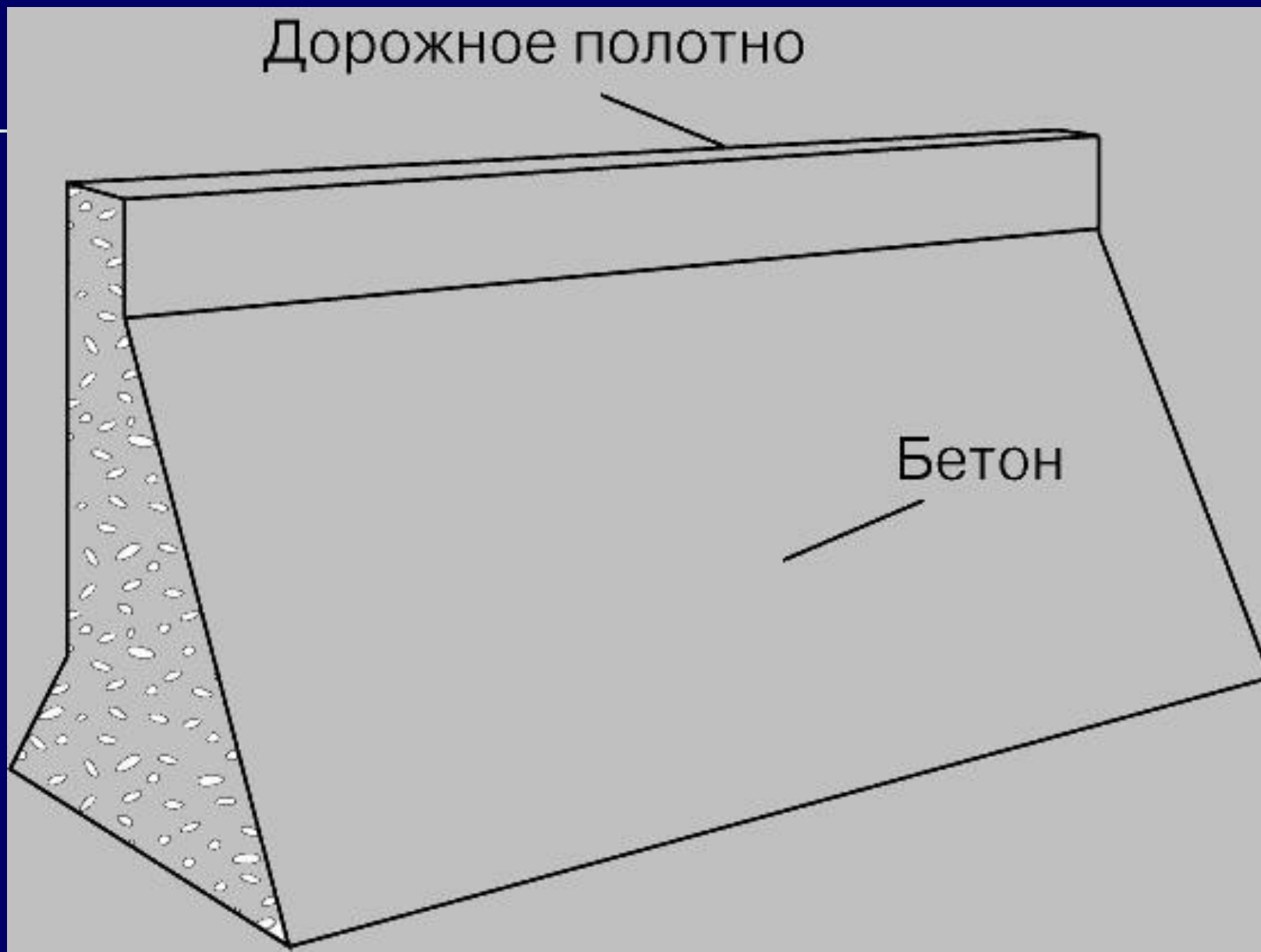
# Плотина Гранд-Кули

- Полная длина дамбы: 1 592 m
- Гидравлическая высота: 116 m
- Высота дамбы от основы: 168 m
- Высота выше оригинального streambed: 122 m
- Бассейн Озеро Рузвельт простирается 243 км
- Средний выпуск: 110 000 футов<sup>3</sup>/s (3 100м.<sup>3</sup>/s)
- 4 электростанции, 33 генератора
- Установленная способность производства: 6809 МВт

# Плотина Гранд-Кули

- В начале строительства выполнен водоотвод
- Перед плотиной сооружена защитная дамба
- Водосброс не осуществляется в теле плотины

# Схема плотины Гранд-Кули



# АРОЧНАЯ ПЛОТИНА ХАНГРИ-ХОРС на р. Флатхед в шт. Монтана

- Бетонное тело этой гравитационно-арочной плотины работает как свод и передает часть горизонтального давления воды берегам реки.

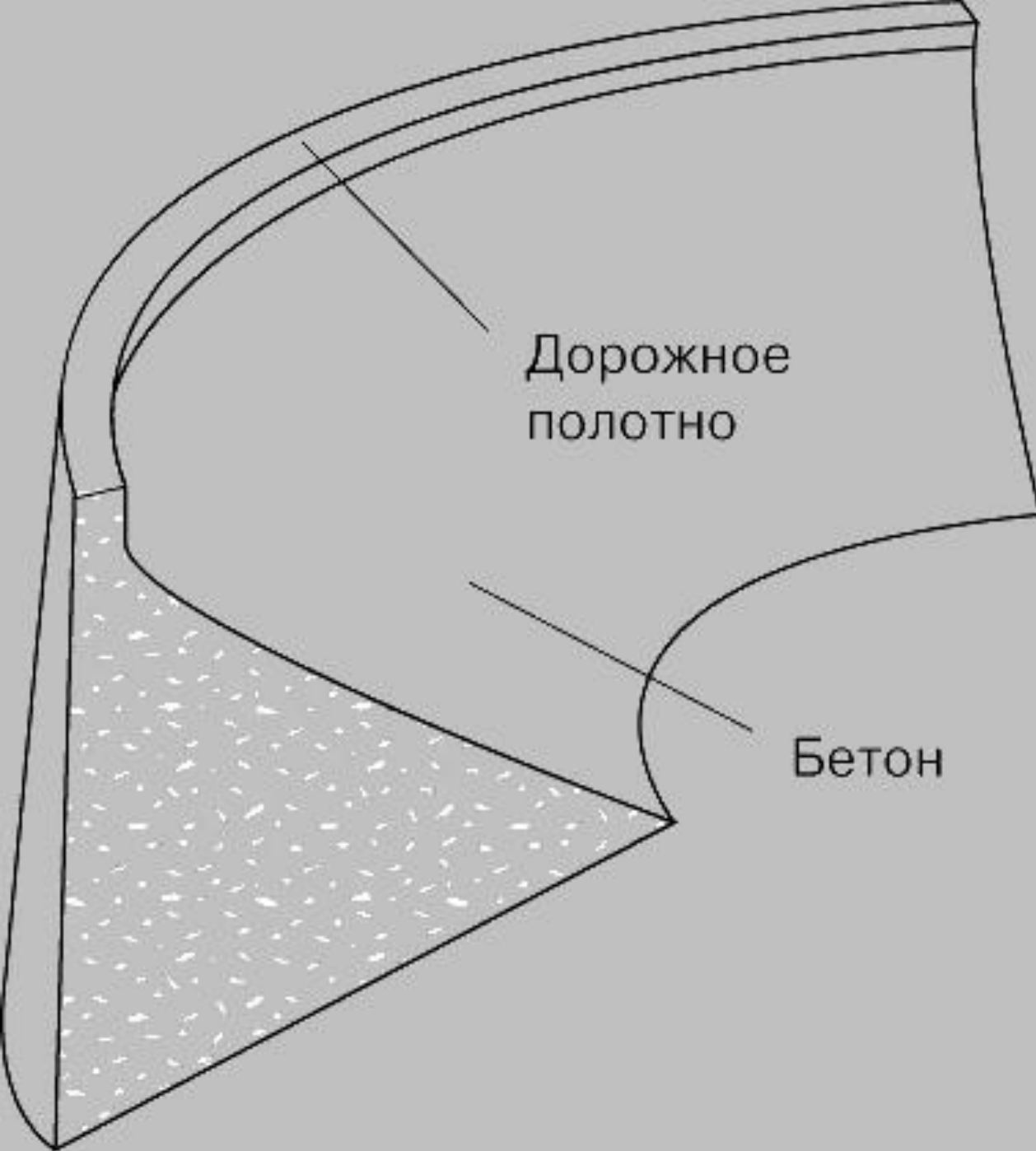


# АРОЧНАЯ ПЛОТИНА ХАНГРИ-ХОРС – водосброса в теле плотины нет, водоводы на большом расстоянии от плотины



Водоотвод выполнен через  
боковое ущелье

В теле плотины отсутствуют  
водосбросы. Водоводы для работы  
турбины внутри тела плотины



# Схема плотины Хангри- Хорс

# Вывод:

- Во всех рассмотренных плотинах первоначальной задачей стояла задача безопасности плотины, а для этого:
  1. Возводилось мощное основание плотины
  2. Выполнялись водоотводы, далеко отстоящие от тела плотины
  3. Водосброс работает эффективно и безаварийно не повреждая тело плотины
  4. Эффективно выполнены вспомогательные задачи (даже спасение животных)

# **Общий вывод по проектированию и строительству СШ ГЭС:**

- **Плотина СШ ГЭС на уровне проекта не обеспечивала безопасность**
- **В процессе строительства в результате экономии бетона и материалов а так же методов соцстроительства – «сдадим к ... дате» плотина стала потенциально опасным объектом**



# Эксплуатаци я СШГЭС

# Как часто должны осматриваться узлы ГЭС?

- Кроме регулярных осмотров каждые пять лет проводится комплексное обследование всех сооружений и оборудования гидроузла. По результатам обследования составляется программа ремонтных работ, которая включается в Декларацию безопасности. В нее также включаются специально разработанные критерии, подтверждение которых в процессе свидетельствует о безопасности сооружения. Декларация является документальным разрешением на эксплуатацию, и в случае СШ ГЭС срок последней – еще не истек.

# Кстати, (из отчета АО «Силовые машины»)

- Гидростанции, аналогичные СШ ГЭС, хоть и менее мощные, и укомплектованные оборудованием с тех же ленинградских предприятий, строились в 70-е годы и в союзных республиках. Большинство таких станций провели у себя капитальный ремонт еще в 2005 - 2007 годах. Особое внимание уделялось рабочему колесу, направляющему аппарату, тормозному диску ротора, уплотнению вала крышки турбины и т.д

# Проблемы эксплуатации СШ ГЭС

- Физический износ и моральное старение оборудования. Так, еще в 2006 году специалисты СШ ГЭС констатировали [Александр Гаршин. Кто будет следующим? // Московский комсомолец, от 18.09.2009], что износ гидротурбин составляет более 60%, гидрогенераторов — 40-60%, высоковольтных выключателей — до 80%. Для устройств технологической и системной автоматики, релейной защиты элементов электрической схемы ГЭС, устройств системы возбуждения электрических генераторов и сигнализации эти специалисты приводили цифры 100% морального износа.
- Отмечалось, что на тот момент половина гидротурбин СШ ГЭС имела наработку более 90 тысяч часов. А уже при наработке в среднем 50 тысяч часов объемы ремонтных работ значительно увеличиваются. После ремонта через каждые 9-10 тысяч часов приходится выполнять работы по заварке трещин от кавитации на лопастях рабочих колес турбин.



# Корни аварии на СШ ГЭС

«Состоят в пороках реформы. Структура (электроэнергетики), которая создана, – недееспособна, в ней очень ущемлены технические службы, чего не должно быть в такой технически сложной отрасли. В энергокомпаниях были фактически ликвидированы технические службы, упразднены позиции главных инженеров»

Доктор технических наук бывший замминистра энергетики В. Кудрявый  
(из интервью “Интерфаксу”)

# Журнал «Власть» 17 августа 2009г.

- Саяно-Шушенская ГЭС уже появлялась в сводках МЧС, так как катастрофу ученые предсказывали давно, правда, они опасались, что подведет не оборудование, а плотина.
- Вследствие просчетов проектировщиков после первого паводка в 1986 году дно водосбросного колодца под плотиной было разрушено, ее основание подмыто, а по телу пошли трещины. Плотина была отремонтирована, но ее прочностные характеристики так и не вернулись к расчетным.
- В результате в 1998 году МЧС назвало станцию потенциально опасным объектом.

# С. Степашин: Счетная палата РФ предупреждала об износе оборудования на СШ ГЭС еще два года назад

■ *08.09.2009 11:33*

Счетная палата РФ предупреждала об износе оборудования на Саяно-Шушенской ГЭС еще два года назад, сообщил на совещании в Барнауле глава ведомства Сергей Степашин. По его словам, проведенная в то время "проверка" показала 85-процентный технологический износ ГЭС". Степашин отметил, что информация об этом была своевременно направлена в правительство и Генпрокуратуру. "Мы получили ответ, что ГЭС является акционерным обществом, а значит, пусть с этой проблемой разбираются акционеры", - сказал глава Счетной палаты.

# Официальный ответ АО «Силовые машины»

- АО «Силовые машины» выполняла поставку гидроагрегатов на СШГЭС
- Начиная с 1993 года специалисты АО «Силовые машины» к эксплуатации и ремонту гидрооборудования на СШ ГЭС не привлекались



# **Вывод комиссии по катастрофе СШ ГЭС**

- **Ростехнадзор обнародовал некоторые результаты расследования обстоятельств катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС. Специалисты ведомства, осмотревшие место аварии, в которой погиб 71 человек и четверо пропали без вести, отвергли версии гидроудара и теракта и пришли к выводу, что причиной ЧП стали "запредельные режимы работы" второго гидроагрегата ГЭС.**

# Деятельность РАО ЕЭС на СШ ГЭС

- В процессе работы СШГЭС руководство РАО ЕЭС многократно проводило сокращение персонала станции
- Фонды на обслуживание станции урезались
- Вспомогательные службы выводились за пределы станции

# 17 июля 2008 года

- На «Саяно-Шушенской ГЭС» в Хакасии выявлено около 300 нарушений
- В рамках подготовки к осенне-зимнему периоду энергетических предприятий специалистами Ростехнадзора по Сибирскому Федеральному округу, совместно со специалистами Управления по технологическому и экологическому надзору (УТЭН) по Республике Хакасия и Енисейского межрегионального УТЭН, была проведена плановая комплексная проверка соблюдения норм и правил промышленной безопасности филиала ОАО «ГидроОГК» – «Саяно-Шушенская ГЭС»

**17 июля 2008 года**

- **В ходе проверки «Саяно-Шушенской ГЭС»**  
**Роспотребнадзор**  
**обнаружил 284**  
**нарушения требований**  
**промышленной**  
**безопасности.**



# 17 июля 2008 года

В ходе обследования были установлены нарушения:

1. в организации работы с персоналом и производственного контроля,
2. эксплуатации и техническом состоянии энергооборудования,
3. безопасности гидротехнических сооружений,
4. эксплуатации опасных производственных объектов,
5. охране труда,
6. пожарной безопасности
7. проведении ремонтов и другое

# 17 июля 2008 года

- Всего выявлено и предписано к устранению 284 нарушения требований промышленной безопасности.
- Выписано 45 постановлений о наказании в виде административного штрафа, в том числе 3 на юридическое лицо и 42 на должностных лиц.
- Помимо этого, отстранены от исполнения обязанностей 4 должностных лица

# Гидроагрегаты перед аварией

- Сейсмологи в ночь перед аварией на *Саяно-Шушенской ГЭС* зафиксировали новую частоту в работе одного из гидроагрегатов станции, что, предположительно, напрямую связано с выходом гидроагрегата в другой режим работы, сообщил в четверг журналистам руководитель *Ростехнадзора Николай Кутьин*. **РИА Новости** 27.08.09 13:32

# руководитель Ростехнадзора Николай Кутьин -

«частоты вибрации были зарегистрированы в диапазоне от 14 до 18 Герц. Данные об этом были получены с одной из сейсмостанций, расположенных в непосредственной близости от Саяно-Шушенской ГЭС в поселке «Черемушки».

**Раньше вокруг ГЭС стояло четыре сейсмостанции, теперь только одна.** Если бы все четыре по-прежнему работали, то за счет получения перекрестных данных можно бы было точнее определить, в каком из агрегатов произошел сбой »



# Деятельность «РусГидро» на СШ ГЭС

- Наследница РАО ЕЭС продолжила ту же политику что и РАО ЕЭС
- Топ-менеджерам станции была поставлена задача максимальной выдачи электроэнергии при минимальных затратах на обслуживание
- В 2009 году был зафиксирован максимум выдачи электроэнергии

# Из отчета «Русгидро» 12 февраля 2009г.

- 14 января был остановлен гидроагрегат №2 СШ ГЭС для проведения среднего ремонта с наплавкой рабочего колеса. Эту работу выполняют специалисты ЗАО «Гидроэнергоремонт». На гидроагрегате также будет выполнена реконструкция автоматизированных систем управления технологическими процессами - ее проведут специалисты Научно-производственного объединения «Ракурс» из Санкт-Петербурга. А персоналом электротехнической лаборатории СШ ГЭС будет выполнен профконтроль релейной защиты и систем возбуждения на гидроагрегате, будет модернизирована колонка электрогидравлического регулятора частоты вращения - что принципиально отличает ремонт этого гидроагрегата от проведенных ранее ремонтов агрегатов СШ ГЭС.
- Осуществив проект по замене колонки на данном гидроагрегате, эксплуатационники получают ряд преимуществ: уберутся все тросовые обратные связи и электрогидравлический преобразователь - что позволит повысить надёжность и существенно уменьшить трудозатраты во время проведения технического обслуживания оборудования. В ближайшие дни колонка ЭГР поступит на станцию, начнутся монтажные, и затем наладочные работы. Замену ее будут проводить специалисты Санкт-Петербургской компании «Промавтоматика» строго по графику, и закончат 16 марта.



# Электрогидравлические регуляторы

## Электрогидравлические регуляторы

Электрогидравлические регуляторы предназначены для регулирования частоты вращения и активной мощности гидроагрегата. Регулятор обеспечивает следующие режимы работы: на холостом ходу; на изолированную нагрузку; на мощную энергосистему с обратной связью по открытию или по мощности; в режиме синхронного компенсатора; в групповом режиме от центрального задатчика; в режиме водотока.

# Обратите внимание:

- Работы по модернизации гидрооборудования турбины проводились без представителя ОАО "Силовые машины"
- Есть ли в этом случае гарантия надежности работы модернизированного оборудования?  
– НЕТ.



# Из общения с очевидцем... оставшимся живым (из интернет)

- Несколько месяцев подряд (до катастрофы) писались служебные записки о перегреве ГА2.

Всё воскресенье была сильнейшая вибрация на станции.

Насколько я понял, многие задвижки внутри машзала закрылись автоматически, закрывая выход персоналу.

# РД 153-34.2-31.401-2002

## 2 ТРЕБОВАНИЯ К ГИДРОТУРБИННОЙ УСТАНОВКЕ

2.1 Гидротурбинная установка должна соответствовать требованиям ТЗ, ТУ и комплекту конструкторской документации изготовителя.

- **ВЫВОД: Мы видим нарушения РД и ГОСТ 12405-81: Регуляторы электрогидравлические для гидравлических турбин**

# Состояние СШ ГЭС – 2009 год

- Приточность Енисея в 2009 году превысила среднегодовые значения на 10 процентов. В связи с этим с апреля 2009 года Саяно-Шушенская гидроэлектростанция работала с максимально повышенной нагрузкой. В частности, в июне-июле выработка электроэнергии достигала 105 миллионов кВт/ч в сутки.

# Генерация электроэнергии на СШ ГЭС в 2009г.

- За семь месяцев 2009 года  
Саяно-Шушенский  
гидроэнергокомплекс выработал  
более 15 миллиардов кВт/ч  
электроэнергии, что на 2  
миллиарда выше плана.



# Из официального отчета «Русгидро»

11 августа 2009 года

[\\_http://www.sshges.rushydro.ru/press/news/7508.html](http://www.sshges.rushydro.ru/press/news/7508.html)



11 августа 2009 г.

**Саяно-Шушенская ГЭС вырабатывает рекордное количество электроэнергии за счет повышенной приточности**

[Версия для печати](#)

Приточность реки Енисей в 2009 году превышает среднемноголетние значения на 10 процентов, в связи с этим с апреля гидроэлектростанция работает с повышенной нагрузкой.

В июне-июле суточная выработка электроэнергии достигала 105 млн. кВтч - это максимальная суточная выработка за весь

# Из официального отчета «Русгидро»

**11 августа 2009 года** (взято с сайта Русгидро»)

<http://www.sshges.rushydro.ru/press/news/7508.html>

- Приточность реки Енисей в 2009 году превышает среднемноголетние значения на 10 процентов, в связи с этим с апреля гидроэлектростанция работает с повышенной нагрузкой.
- В июне-июле суточная выработка электроэнергии достигала 105 млн. кВтч - это максимальная суточная выработка за весь тридцатилетний период эксплуатации Саяно-Шушенской ГЭС.
- Прогнозные данные по приточности на август-сентябрь также на 10 процентов выше средних значений, поэтому в августе и сентябре Саяно-Шушенская ГЭС также будет работать с максимально возможной нагрузкой.

# Сейчас в сентябре во время увеличения осадков подумайте о следующей информации «Русгидро»:

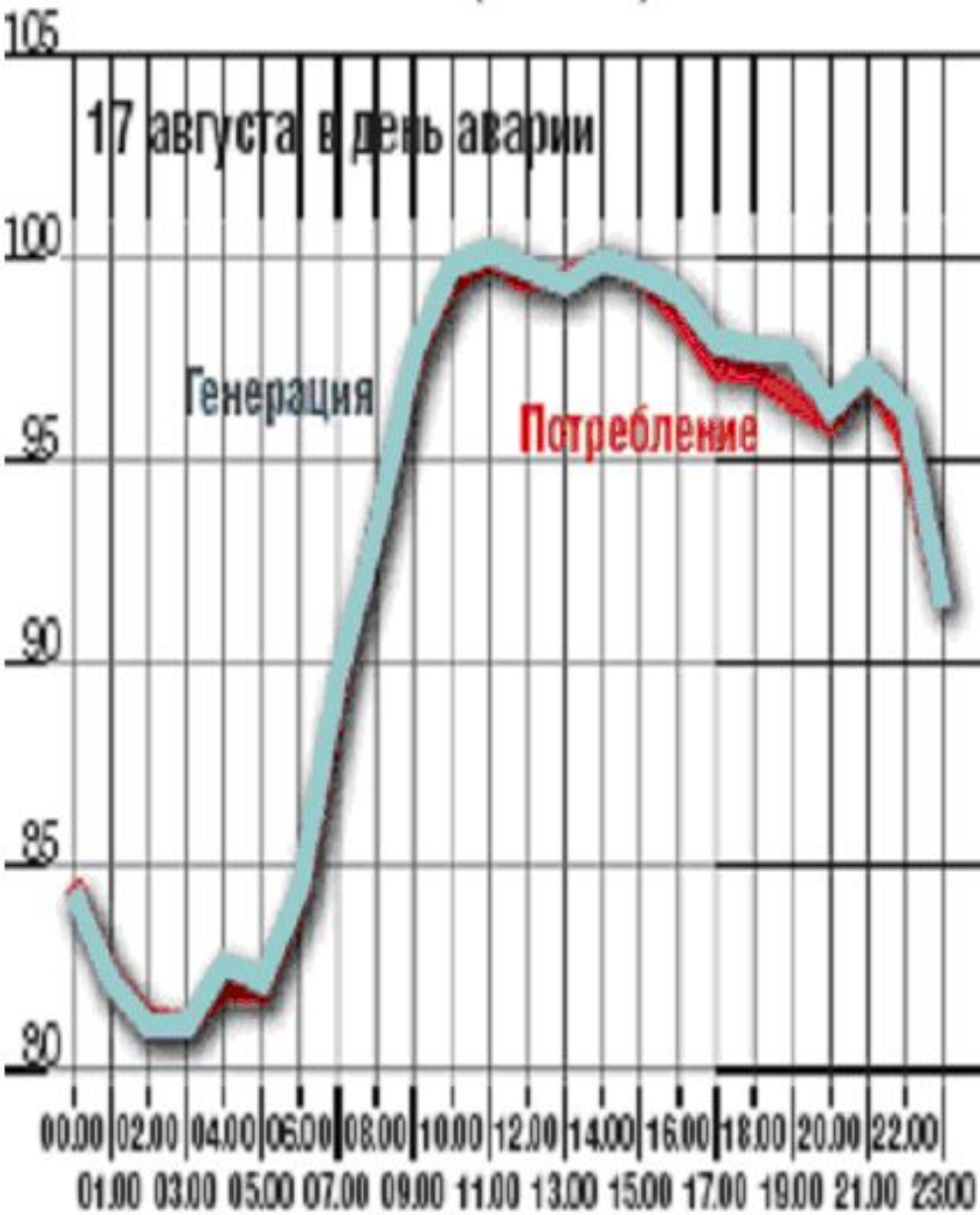
- Прогнозные данные по приточности на август-сентябрь также на 10 процентов выше средних значений, поэтому в августе и сентябре Саяно-Шушенская ГЭС также будет работать с максимально возможной нагрузкой.
- Наполнение водохранилища происходит в соответствии с графиком, вся повышенная приточность воды компенсируется работой гидроэлектростанции с повышенной нагрузкой.
- Состояние гидротехнических сооружений соответствует проектным параметрам. В работе находится девять гидроагрегатов из десяти. Один из гидроагрегатов-гидроагрегат №6 находится на плановом ремонте, который был начат в январе этого года и будет закончен в августе.

## Сейчас в сентябре во время увеличения осадков подумайте о следующей информации «Русгидро»:

- За семь месяцев 2009 года Саяно-Шушенский гидроэнергокомплекс выработал более 15 млрд. кВт.ч электроэнергии., что на 2 млрд. кВт.ч выше плана.
- Если фактический приток августа и сентября превысит прогнозные данные, то с конца августа до середины сентября не исключены холостые сбросы в небольших объемах, которые не представляют никакой опасности для объектов, расположенных в нижнем бьефе гидроэлектростанции.



**ГЕНЕРАЦИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЕ  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЕДИНОЙ  
ЭНЕРГОСИСТЕМЕ РОССИИ (тыс. МВт)**



# Генерация энергия в день аварии 17 августа 2009г.

- Данные Минэнерго

## **Вывод:**

- Катастрофа СШ ГЭС является результатом хищнической политики проводимой хозяевами станции.
- Неуемная жажда денег (ослепление «Золотым тельцом») привела к гибели людей и поставила на грань катастрофы огромный регион – Хакасия и Красноярский край

# Финансовые итоги аварии («Власть» 24.08.09)

- Главный вопрос сейчас заключается в том, сможет ли энергосистема России долгое время подпитывать Сибирь, особенно в зимний период, и какой ценой.
- В восстановлении Саяно-Шушенской ГЭС рублем поучаствует каждый российский гражданин — если не при оплате коммунальных счетов, то при покупке товаров в магазине точно.

# Вопросы:

1. Поучаствует ли своим личным рублем бывшее руководство РАО ЕЭС отвратительно эксплуатировавшее станцию
2. Поучаствует ли своим личным рублем нынешнее руководство «РусГидро» - приведшее СШ ГЭС к катастрофе
3. Поучаствуют ли своим личным рублем получившие дивиденды от СШ ГЭС



## **Анализ состояния СШ ГЭС (данные сайта Плотина.Нет)**

- Существует угроза подмыва плотины СШ ГЭС, поскольку не был построен туннель для сброса паводковых вод. Сброс воды осуществляется по водосбросу весьма неудачной конструкции. Падающая вода разрушает водобойные колодцы.

# Анализ состояния СШ ГЭС (данные сайта Плотина.Нет)

- Авария создала критическую ситуацию, когда расхода воды через водоводы нет, и весь расход сбрасывается через водосбросы, то есть нагрузка на конструкцию плотины значительно возросла. К тому же, по словам Василия Зубакина, ГЭС не удастся восстановить до нового паводка в 2010 году, и тогда потребуются сброс от 6 до 12 тысяч кубометров в секунду, вместо нынешних 2,6 тысяч кубометров. Как это будет делаться, пока не очень понятно, а времени на решение проблемы осталось в обрез.

# Выводы сайт Плотина.Нет

- На станции за ее историю случилось четыре крупных аварии, имеется угроза подмыва плотины, и она представляет собой реальную опасность для населения нижележащих населенных пунктов, а также для Красноярской ГЭС. Существование этой ГЭС всегда носило характер балансирования на грани катастрофы
- Необходимо перевести станцию в консервационно-ликвидационный режим
- Население регулярно оповещать о реальном состоянии СШ ГЭС

# О будущем СШ ГЭС

- Специалисты отмечают, что максимальный зарегистрированный (т.е. реально произошедший) паводок на Енисее давал увеличение притока в водохранилище на 24 000 кубических метров в секунду. Максимальная пропускная способность существующего водосброса (резервный до весны не построят) — 14 000 куб.метров в секунду. Оставшиеся 10 000 кубов в секунду прибывающей воды будет давить на плотину.
- **Весенний паводок может окончательно уничтожить Саяно-Шушенскую ГЭС**



# Трудности ремонта СШ ГЭС

- В плотине Майнской ГЭС отсутствуют шлюзы для пропуска судов (снимок плотины). При строительстве гидроагрегаты для СШ ГЭС были доставлены водным путем по Северному морскому пути до устья Енисея и далее вверх по реке. Теперь такая возможность отсутствует, а других путей для доставки груза нет .

Гидроагрегаты можно разобрать на части, но все равно турбина весит почти 900 т. Даже если баржа с буксиром пройдет через разрушенную плотину Майны, потребуется еще плавучий кран грузоподъемностью не менее 1500 тонн для того, чтобы оперировать с грузом порядка тысячи тонн на приличном вылете стрелы, т.к. потребуется перегрузить части гидроагрегата (турбина весит примерно 900 т) с баржи на монтажную площадку машзала.

# Валентин Брызгалов

- В книге, написанной еще десять лет назад, Валентин Брызгалов признает, что Саяно-Шушенская ГЭС была экспериментальной по своей сути (между прочим, госкомиссия официально приняла станцию в эксплуатацию лишь в 2000 году — как раз в это время Валентин Брызгалов покидал управление станцией). За годы ее работы произошло несколько десятков нарушений работы гидротурбин и повреждений их узлов. В частности, «первые четыре агрегата Саяно-Шушенской ГЭС (в том числе и № 2) испытывали достаточно сильное вибрационное воздействие из-за работы с нерасчетными напорами.

- В результате на ряде узлов усталостная прочность оказалась недостаточной. Вместе с тем выявились дефекты, связанные с недостаточной предварительной натурной изученностью отдельных явлений и новых конструкторских разработок. В некоторых случаях сказалось бескомпромиссное стремление к снижению затрат металла на один киловатт установленной мощности». В подтверждение недостаточной изученности и продуманности конструкторских решений Брызгалов отмечал непредвиденные остановки турбин, которые происходили и тогда, когда они работали только на расчетных напорах.

- Особенно настойчиво Валентин Иванович предупреждал об опасности работы турбин станции на повышенной мощности. В свое время на станции проводились эксперименты, чтобы определить запас мощности в гидротурбинах и возможность его использования в случаях крайнего дефицита мощности в энергосистеме. Производились измерения вибрации гидроагрегата, а также всех параметров, характеризующих гидравлический режим турбины. Брызгалов предупреждал о разрушительном для турбины режиме в так называемой зоне IV (когда напор воды очень высок и направляющие аппараты-решетки на лопатки турбины открывались более чем на 93%). Такой режим работы хоть и предполагал мощность выдачи энергии с одного гидрогенератора более 740 МВт (вместо заявленных 640 МВт), но был очень опасен. В своей книге Брызгалов как раз отмечает повышенную вертикальную вибрацию крышки турбины гидроагрегата.



# БУДУЩЕЕ СШ ГЭС

- Кстати и наше с Вами будущее

# Строительство берегового водосброса





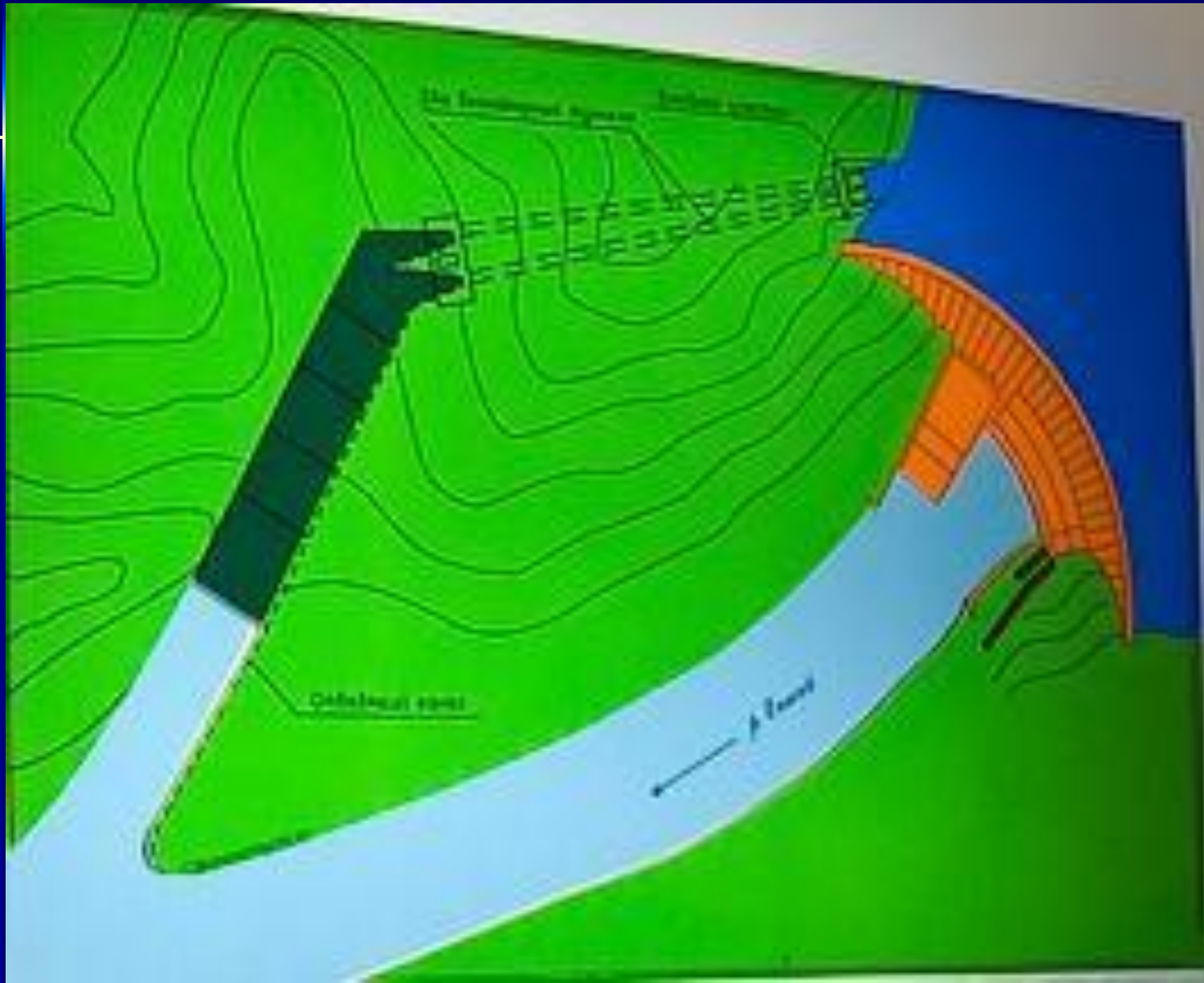




**строительство  
берегового  
водосброса  
должно быть  
завершено до  
паводка 2010  
года**



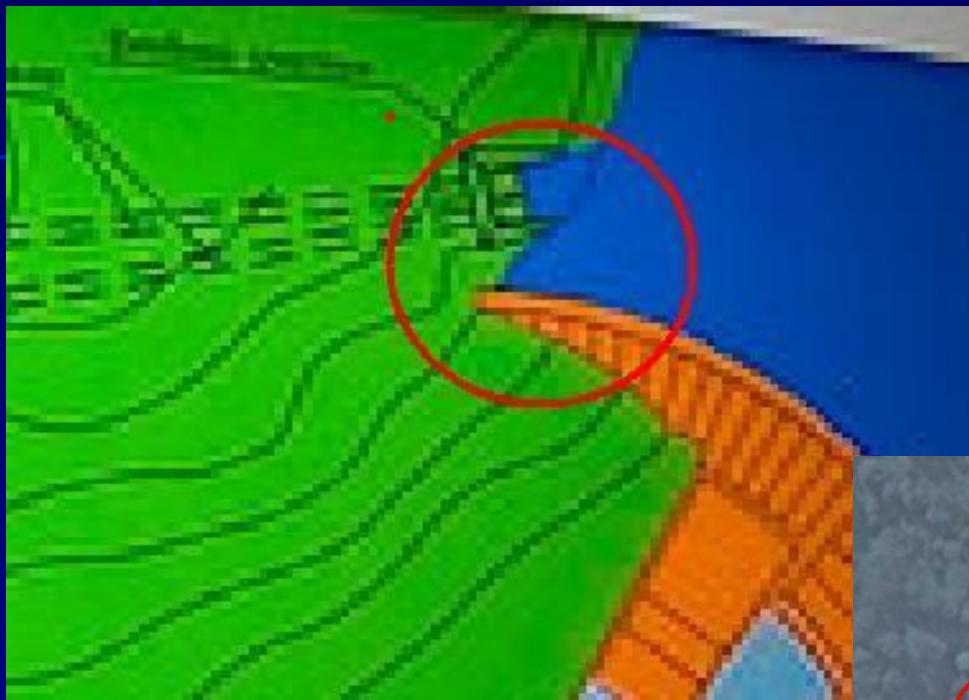
# Береговой водосброс сильно ослабит зону примыкания плотины к берегу



# Зона примыкания плотины к берегу



# Береговой водосброс сильно ослабит зону примыкания плотины к берегу



# ЧТО МОЖЕТ ОЖИДАТЬ СШ ГЭС

- Задача 3 класса про 2 трубы:

Пропускная способность водосброса плотины — 13600 м<sup>3</sup>/сек

Максимальный зарегистрированный приток к створу — 24400 м<sup>3</sup>/сек,

Расход через турбины 10х360 = 3600 м<sup>3</sup>/сек (до паводка 2010 вероятно не будет запущен)

строящийся водосброс должен увеличить наибольший сбрасываемый расход на 8000 м<sup>3</sup>/сек.

При паводке 24400 м<sup>3</sup>/сек - 13600 м<sup>3</sup>/сек - 8000 м<sup>3</sup>/сек. =

**2800 м<sup>3</sup>/сек – даже при построенном водоводе**

**НАБОР ВОДЫ В 5КМ<sup>3</sup> будет выполнен через 20,66**  
**суток при непрерывном притоке к створу 24400**  
**м<sup>3</sup>/сек**



# Береговой водосброс СШ ГЭС достроят за 5 млрд руб.

- Для завершения строительства берегового водосброса Саяно-Шушенской ГЭС (СШ ГЭС) и повышения безопасности станции необходимо освоить порядка 5 миллиардов рублей.
- Об этом сообщил журналистам генеральный директор ЗАО «Саянское управление основных сооружений» Сергей Бурков.
- При этом он не уточнил, сколько денег уже освоено с начала строительства водосброса. Строительство водосброса началось 18 марта 2005 года. Работы ведутся вахтовым методом с использованием труда высококвалифицированных специалистов, напомним Бурков. По его словам, первая очередь берегового водосброса на ГЭС (первый тоннель) должна быть запущена в июне 2010 года. В настоящее время оба тоннеля берегового водосброса готовы на 50%, уточнил он.
- В целом же восстановление СШГЭС после аварии обойдется примерно в 40 млрд рублей

# **Состояние гидротехнических объектов в других областях России**

# Из отчета Счетной палаты РФ от 17.12.2007

- Основные производственные фонды ОАО РАО "ЕЭС России" находятся в неудовлетворительном состоянии, степень их износа в 2006 г. в целом составляла около 59 процентов. При этом физический износ оборудования на тепловых электростанциях достиг критического уровня - 70 процентов, на гидравлических электростанциях вырос до 80 процентов. Нормативный парковый ресурс безаварийной эксплуатации выработан на 41 процент на ТЭС и на 50 процентов на ГЭС.

# Волжская ГЭС имени XXII съезда КПСС

- **Мощность 2551 МВт** - является крупнейшей гидроэлектростанцией Европы.
- В эксплуатацию ГЭС была принята правительственной комиссией 10 сентября 1961 года.
- Выработка электроэнергии за 2008 год составила 11,8 млрд кВт ч.
- **В 2002 году зафиксирован износ оборудования ГЭС порядка 85%**
- 2007 года на ней была произведена реконструкция десяти гидроагрегатов. Является филиалом "Русгидро".



# Жигулевская ГЭС им. В. И. Ленина мощностью 2320 МВт

- Станция строилась в 1951-1957 годах
- В 2003 году, когда степень износа ГЭС превысила 90%, было принято решение начать реконструкцию 6 из 16 гидротурбин. Четыре уже отремонтированы.
- Входит в "Русгидро".

# Саратовская ГЭС

## мощностью 1360 МВт

- Строительство ГЭС велось с 1956 по 1971 год
- Износ основного оборудования составляет 71%. В настоящее время проводятся капитальный ремонт и модернизация гидроагрегатов ГЭС.
- Входит в "Русгидро".

# Зейская ГЭС мощностью 1330 МВт

- находится на реке Зее в Амурской области. Построена в 1964-1985 годах.
- Износ оборудования не превышает 65%.
- Летом 2006 года после сброса воды ГЭС оказались подтоплены 42 дома в селе Овсянка, ущерб составил около 630 млн руб.
- Входит в "Русгидро".

# Вилюйская ГЭС

- Тело ее плотины, которое зиждется на вечно мерзлых породах, всегда под угрозой: происходит протаивание грунтов, падает их устойчивость.



# Строящиеся и проектируемые ГЭС

- Продолжается строительство Богучанской ГЭС
- Выполняются проектировочные работы по Эвенкийской ГЭС

# Текущее состояние ГЭС

- Экологи считают, что ситуация в районе в ГЭС, очень серьезна. "Трагическое происшествие, унесшее жизни людей, заставляет задуматься по поводу грандиозных планов "РусГидро" по строительству ГЭС в бассейне Енисея и других регионах", – говорится в сообщении российского Гринпис.
- Гринпис потребовал от правительства России пересмотреть Генеральную схему размещения объектов энергетики до 2020 года, исключив из нее наиболее экологически опасные объекты, такие как Эвенкийская ГЭС, Мотыгинская ГЭС в Красноярском крае, каскад ГЭС в Якутии, Центральная ГАЭС в Тверской области.

# Эвенкийская ГЭС

- Финансирование проектно-изыскательских работ по ГЭС включено в инвестиционную программу ГидроОГК на 2007 Финансирование проектно-изыскательских работ по ГЭС включено в инвестиционную программу ГидроОГК на 2007. В 2006 Финансирование проектно-изыскательских работ по ГЭС включено в инвестиционную программу ГидроОГК на 2007. В 2006—2007 годах ГидроОГК провело работы по обследованию территории гидроузла
- 24 января 2008 года экологические общественные организации обратились к Совету безопасности и правительству РФ с требованием свернуть реализацию чрезвычайно опасного проекта по строительству Эвенкийской гидроэлектростанции
- В мае 2008 года председатель Сибирского отделения Российской академии наук Николай Добрецов заявляет, что разработчики проекта до сих пор не обращались к

# Экологи о Богучанской ГЭС

- **Алексей Колпаков:** Богучанская ГЭС - это четвертая плотина, которая строится сейчас на Ангаре. Это крупная плотина. Строится она уже более 20 лет. Был большой период консервации этой гидростанции. Вот сейчас она уже несколько лет назад расконсервирована, идет ее достройка. За это время само тело плотины, бетонное основание плотины серьезно пострадало. Это одна из угроз безопасности этой гидроэлектростанции. Было проведено исследование в рамках банковского ТЭО специалистами "Эколайна" как раз Богучанской ГЭС. И в этом заключении "Эколайна" содержится ряд серьезнейших замечаний в разделе аварийность, безопасность этой гидростанции. Учтены ли эти замечания "Эколайна" нашими гидростроителями или нет, мы не знаем, мы не можем получить ответ на это. При этом еще не выполнена оценка воздействия на окружающую среду ложа водохранилища этой Богучанской ГЭС.



# Обобщенные данные федерального агентства водных ресурсов (2008 год) по гидротехническим сооружениям (ГТС)

Данные о количестве комплексов ГТС, зарегистрированных в РРГТС и их техническом состоянии

| Субъект РФ         | Внесено комплексов ГТС | Количество | %    | Уровень безопасности ГТС | Количество | %    |
|--------------------|------------------------|------------|------|--------------------------|------------|------|
| Республика Хакасия | Всего                  | 17         |      | всего                    | 69         |      |
|                    |                        |            |      | нет данных               | 12         | 17.4 |
|                    | По декларациям         | 9          | 52.9 | нормальный               | 48         | 69.6 |
|                    | По заявлениям          | 8          | 47.1 | пониженный               | 9          | 13   |
| Красноярский край  | Всего                  | 118        |      | всего                    | 256        |      |
|                    |                        |            |      | нет данных               | 7          | 2.7  |
|                    | По декларациям         | 31         | 26.3 | нормальный               | 112        | 43.8 |
|                    | По заявлениям          | 87         | 73.7 | пониженный               | 85         | 33.2 |
|                    |                        |            |      | неудовлетворительный     | 34         | 13.3 |
|                    |                        |            |      | опасный                  | 18         | 7    |

# Вывод:

- Мы видим типичный вариант развития событий приводящих к катастрофам
- Причина – общесистемный кризис России и плохое осознание опасности этого кризиса
- В дальнейшем существует возможность лавинообразного нарастания различных ЧП и катастроф.

# Выводы по всем подобным авариям:

- Несоответствие выполняемых работ требованиям безопасности
- Несвоевременное проведение технического обслуживания
- Безразличие руководителей предприятий ко всему, кроме выкачки денег из подведомственных предприятий

**ЧТО В РОССИИ  
БУДЕТ ДАЛЬШЕ?**



# Адмирал Куроедов после гибели «Курска»

«То состояние, в котором находится флот, закрытическое. Было 1600 кораблей. Я принял 420. Чтобы флот сохранить, удержал 400. Так что рушили флот те, кому это нужно», - веско сказал Куроедов.

# **Западные аналитики о катастрофах в России**

**так как у нас модно  
ссылаться на «Запад»**

# Ли Дэвис, автор справочника «Рукотворные катастрофы»

- «человеческий фактор» техногенных катастроф практически целиком сводится к следующим обстоятельствам:

**глупость, небрежность и  
корыстолюбие**

# Пол Гобл, ведущий американский эксперт по России, в прошлом советник Госдепартамента США по Советскому Союзу

- «Катастрофа на Саяно-Шушенской ГЭС произошла потому, что станция работала с повышенной нагрузкой, не предусмотренной ее техническими возможностями, и потому, что Москва игнорировала многочисленные предостережения о связанном с этим риском, а также не вкладывала средства в ремонт и обновление критически важной для энергообеспечения страны пятой крупнейшей в мире ГЭС»



## Пол Гобл напоминает:

«Одиннадцать лет назад Москву предупреждали, что Саяно-Шушенская ГЭС, как и многие другие старые ГЭС, нуждается в реставрации и переоборудовании. Однако на эти предупреждения не обращали внимания. Инвестиций в инфраструктуру не было и нет по сей день»»

**Пол Гобл:**

**«То, что мы сейчас видим, – это начало коллапса значительной части российской инфраструктуры».**

# Пол Гобл:

«Россия с готовностью отправляет деньги в Абхазию и Южную Осетию и тратит средства на производство оружия, но не проявляет желания финансировать строительство дорог и охрану окружающей среды. То, что произошло на обветшавшей гидроэлектростанции – это сигнал тревоги, предупреждающий о грядущих катастрофах»

# СМИ Великобритании

- Инцидент на СШГЭС ярко показывает "неумолимую деградацию инфраструктуры советских времен", пишет K2Капитал со ссылкой на британскую The Independent.
- "Все – от электростанций до портов и аэропортов, от газопроводов до железных дорог, от городских систем отопления до московского метрополитена – остро нуждается в обновлении", - отмечает издание.



# ОБЩИЙ ВЫВОД

Выжить Россия сможет только тогда когда:

- Мы не будем обманывать себя и других людей
- Поймем что, бизнес-воровство это подлость, обман и убийство
- Честно будем работать во имя будущего, а не во имя собственного кармана
- Жизнь наших детей и внуков зависит от каждого из нас
- Равнодушие – это гибель

**Спасибо за внимание**