

О ПРИЧИНЕ АВАРИИ НА САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС В 2009 ГОДУ**© Воронков С.С.****Контакт с автором: vorss60@yandex.ru***Аннотация*

Рассматриваются причины аварии на Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 году. Показано, что причиной аварии явилось запредельное ускорение вращения турбины, что вызвало падение веса вращающихся частей (турбины и ротора генератора) и выброс их вертикально вверх. Факт потери веса ускоренно вращающихся тел противоречит положениям классической механики. Поэтому необходимо пересмотреть классическую механику. Для предотвращения подобных аварий на ГЭС необходимо контролировать ускорение вращающихся турбин и количественно ограничить эту величину.

17 августа этого года исполняется 10 лет с момента крупной аварии на Саяно-Шушенской ГЭС, унесшей жизни 75 человек. Расследованием причин аварии занималась комиссия Ростехнадзора, а также парламентская комиссия Государственной думы РФ. Результаты работы этих комиссий были опубликованы 3 октября и 21 декабря 2009 года соответственно [1]. Непосредственной причиной разрушения гидроагрегата №2 было названо усталостное разрушение шпилек крепления крышки

турбины в результате вибрации, возникавшей при переходах режима мощности гидроагрегата через диапазон «запрещённой зоны».

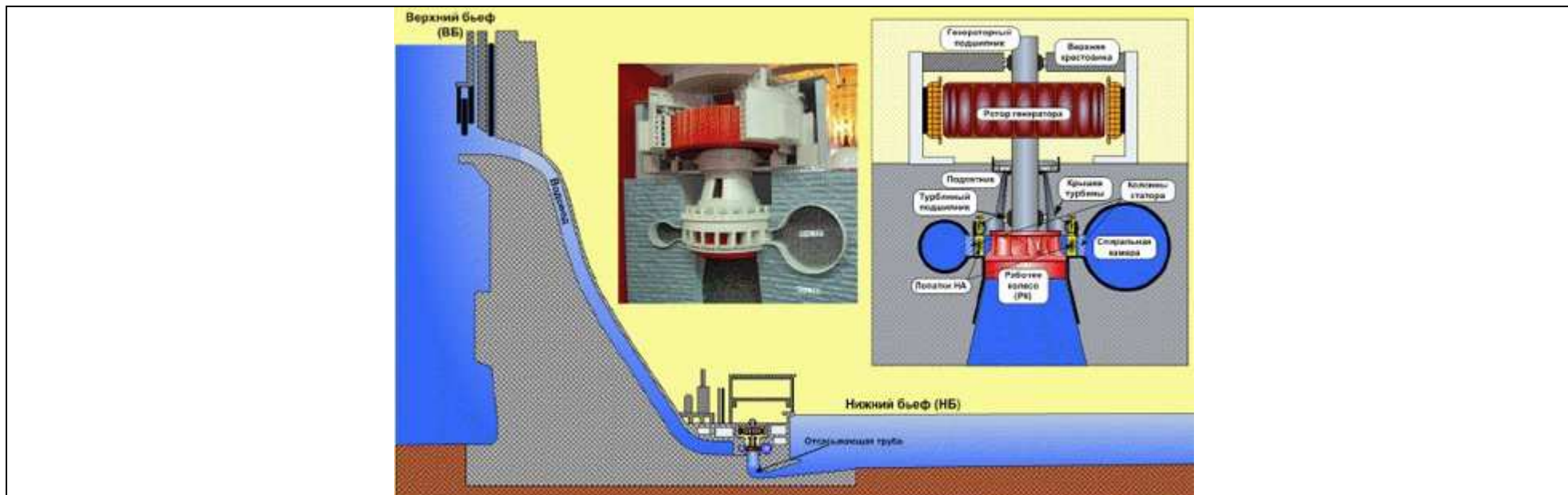


Рис. 1. Схема гидроагрегата Саяно-Шушенской ГЭС. Рисунок из работы [2].

В результате аварии [1]: «Находившийся в работе гидроагрегат № 2 внезапно разрушился и был выброшен напором воды со своего места – рис. 2. В машинный зал станции под большим напором стала поступать вода, затопившая машинный зал и технические помещения под ним. В момент аварии мощность станции составляла 4100 МВт, в работе находились 9 гидроагрегатов, автоматические защиты на большинстве из которых не сработали. Было потеряно электропитание собственных нужд станции, в результате чего сброс аварийно-ремонтных затворов на водоприёмниках (с целью остановки поступления воды) персоналу станции пришлось производить вручную».



Рис. 2. На рисунке слева целый агрегат. Справа агрегат после аварии. Рисунок из работы [3].

Возникает вопрос: какие силы привели к выбросу турбины и ротора генератора из шахты на высоту более 10 м? На этот вопрос комиссии по расследованию не дали конкретного ответа. В настоящее время выдвинуто большое количество альтернативных гипотез причин аварии [4]: «возможность развития в напорном тракте ГЭС автоколебательных (резонансных) процессов, воздействие на ГЭС геологических процессов, навал плотины на здание ГЭС, рассинхронизация лопаток направляющего аппарата и др.». По словам экс-министра энергетики России С. И. Шматко [4]: «это самая масштабная и непонятная авария гидроэнергетики, которая только была в мире».

Для установления физического механизма, приведшего к выбросу турбины из шахты, рассмотрим эксперименты Зателепина-Баранова по определению веса ускоренно-вращающихся тел [5].

В работе [5] приведены результаты экспериментов, указывающие на зависимость веса ускоренно вращающегося тела от ускорения. Схема экспериментальной установки приведена на рис. 3. Применяемые цифровые весы, измеряющие вес тела с частотой 5 измерений в секунду, позволили зафиксировать аномальные скачки веса вращающегося тела в моменты его ускорения и замедления.

Причем из рис. 4 следует зависимость направления скачков веса тела от направления вращения: по или против часовой стрелки.

Схема взвешивания на рычажных весах с USB выходом

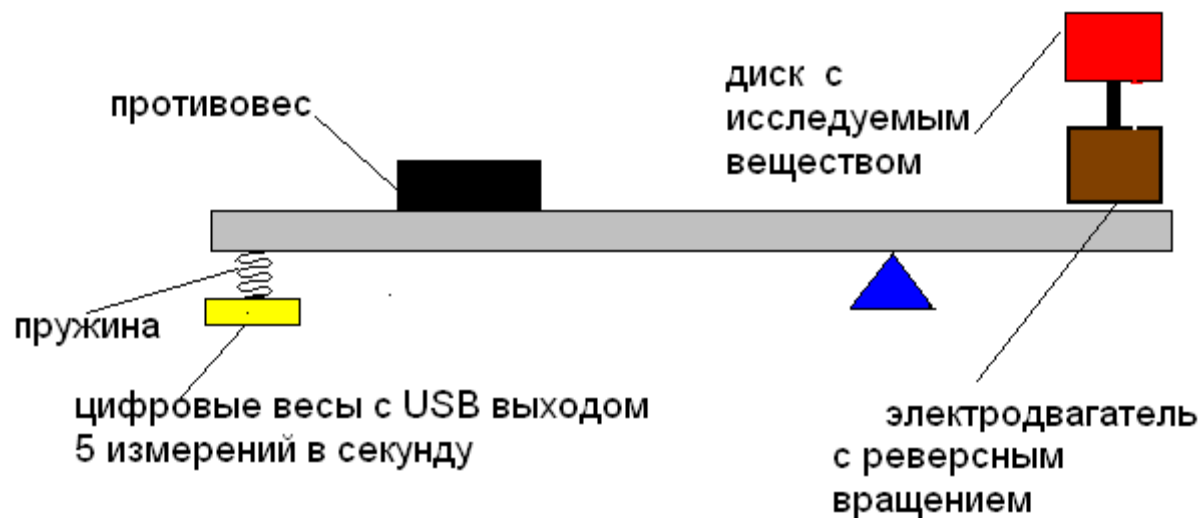
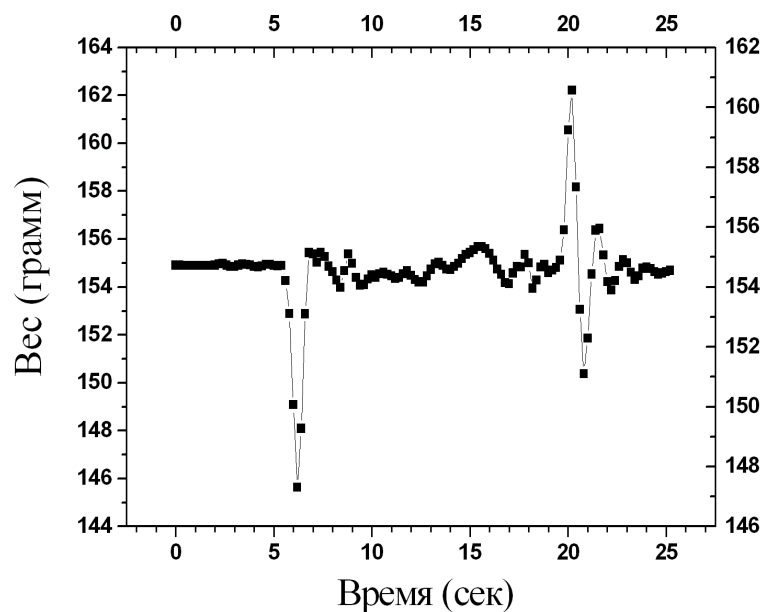


Рис. 3. Схема экспериментальной установки. Рисунок из работы [5].

Показания электронных весов при изменении скорости вращения образца

По часовой стрелке



Против часовой стрелки

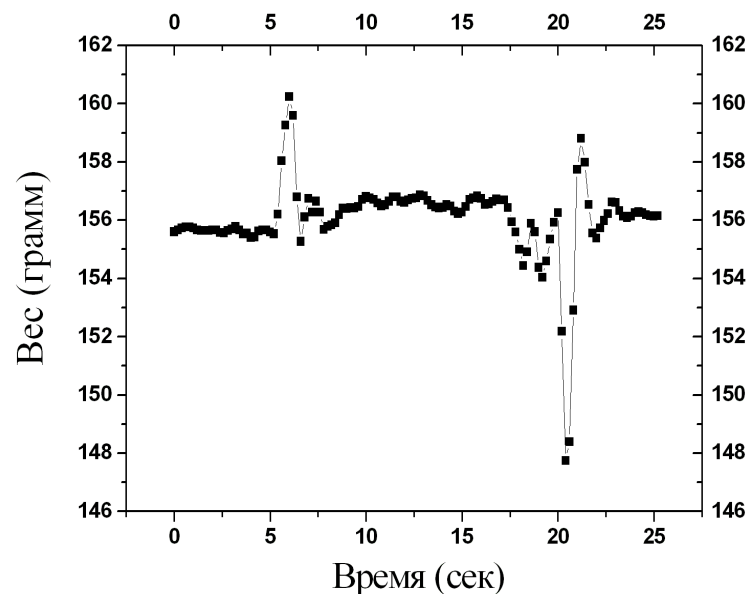


Рис. 4. Показания электронных весов. Рисунок из работы [5].

На рис. 5 приведена схема эксперимента по взлету ускоренно вращающегося диэлектрического цилиндра.

Этот эксперимент фактически моделирует поведение гидротурбины при ускоренном вращении. В работе [5] приведена покадровая распечатка взлета цилиндра.

Схема эксперимента по взлету диэлектрического цилиндра

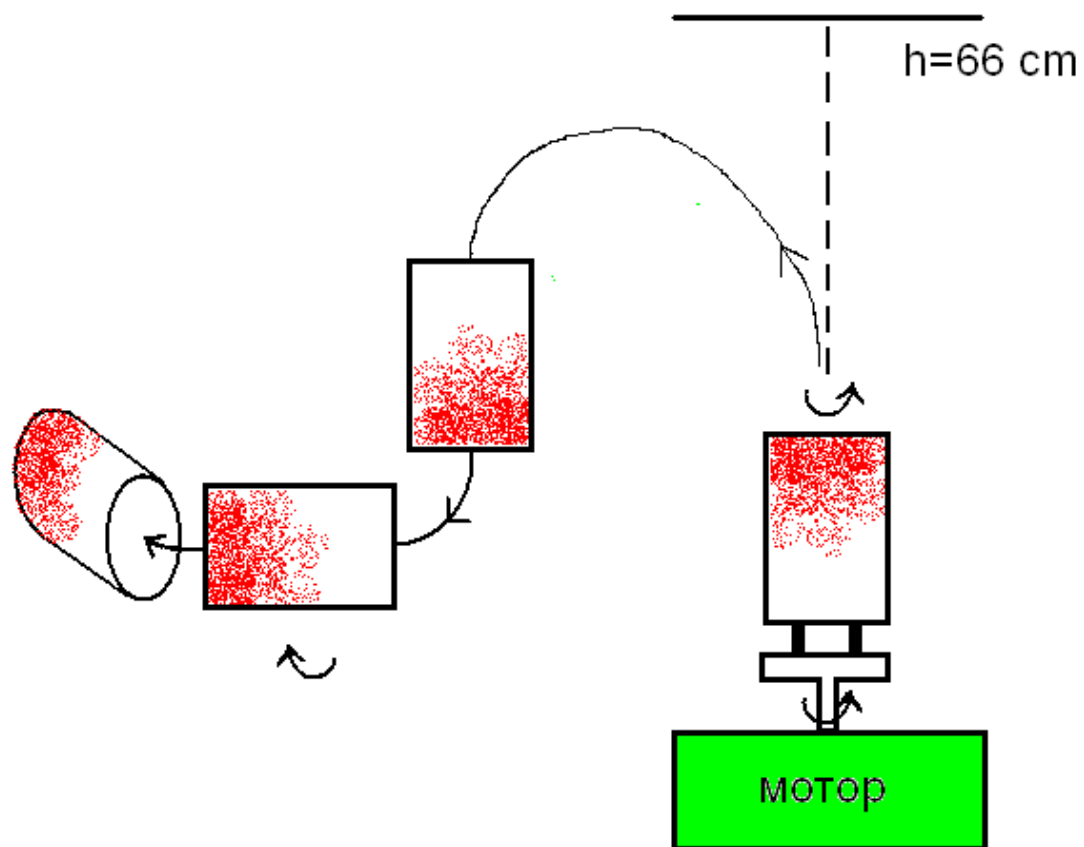


Рис. 5. Взлет диэлектрического цилиндра при ускоренном вращении. Рисунок из работы [5].

Вес вращающихся тел

Таким образом, в работе [5] установлено, что вес вращающихся тел зависит от их ускорения. При постоянной угловой скорости вращения вес тела равен его весу в покоем состоянии. При изменении угловой скорости, то есть при ускорении или замедлении вращения, вес тела может изменяться как в большую, так и в меньшую сторону, вплоть до изменения направления действия «силы тяжести».

Но эти установленные экспериментальным путем факты противоречат законам классической механики. Следует отметить, что физика XX века, в основе которой лежат идеи Эйнштейна, носит линейный характер. Эйнштейн построил упрощенную, линейную модель мира [6]. Реальный мир нелинеен, и в этом заключается основное противоречие [7].

Необходимо пересмотреть многие положения физики XX века и ответить на вопросы: что такое мировая среда, масса, силы инерции, тяготение, электрический заряд и др.

Мировая среда, масса, силы инерции, тяготение [7]:

- Мировая среда представляет собой сплошную непрерывную среду, состоящую из электронов и заполняющую все пространство, в которой электроны сохраняют ближний порядок. Пустого пространства не существует.
- Масса тела есть мера его взаимодействия с электронной средой.
- Силы инерции представляют собой силы, действующие на тело со стороны электронной среды при ее ускорении.
- Причиной тяготения являются непрерывные пульсации электронной среды. При «погружении» тел в электронную среду они искажают эти равномерные пульсации, что приводит к возникновению осредненной силы притяжения между телами.

<p>Линейная модель мира Эйнштейна [6]</p>	<p>Нелинейная модель реального мира [7]</p>
$\frac{\partial^2 \mathbf{A}}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 \mathbf{A},$ $\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = c^2 \nabla^2 \varphi,$ <p>$c = \text{const.}$</p>	$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 \eta \mathbf{V}}{\partial t^2} + 2(\mathbf{V} \cdot \nabla) \frac{\partial \eta \mathbf{V}}{\partial t} + \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \nabla \right) \eta \mathbf{V} + (\mathbf{V} \cdot \nabla)(\mathbf{V} \cdot \nabla) \eta \mathbf{V} &= c^2 \nabla^2 \eta \mathbf{V}, \\ \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + 2(\mathbf{V} \cdot \nabla) \frac{\partial \varphi}{\partial t} + \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \nabla \right) \varphi + (\mathbf{V} \cdot \nabla)(\mathbf{V} \cdot \nabla) \varphi &= c^2 \nabla^2 \varphi, \\ \frac{\partial \eta}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \eta + \eta \nabla \cdot \mathbf{V} &= 0, \\ c^2 &= \frac{\partial \varphi}{\partial \eta}. \end{aligned} \right\}$
<p>Здесь \mathbf{A} – векторный потенциал, φ – скалярный электрический потенциал, c – скорость света, η – плотность электронной среды, \mathbf{V} – вектор скорости электронной среды, $\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$ – оператор набла, $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа.</p>	

Зависимость веса ускоренно вращающегося тела от ускорения описывается уравнением, полученным в работе [7].

Покажем, как из уравнения для скалярного потенциала, второе уравнение нелинейной модели мира, выводится закон тяготения.

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + 2(\mathbf{V} \cdot \nabla) \frac{\partial \phi}{\partial t} + \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \nabla \right) \phi + (\mathbf{V} \cdot \nabla)(\mathbf{V} \cdot \nabla) \phi = c^2 \nabla^2 \phi, \quad (1)$$

где \mathbf{V} – вектор скорости движения электронной среды с проекциями V_x, V_y, V_z на оси декартовой системы координат x, y, z соответственно; ϕ – скалярный электрический потенциал; c – скорость света;

$\nabla = i \frac{\partial}{\partial x} + j \frac{\partial}{\partial y} + k \frac{\partial}{\partial z}$ – оператор набла; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – лапласиан в декартовой системе координат.

Подставим $\text{grad} \phi$ из вспомогательного уравнения (4.41) работы [7], разделив левую и правую части на c^2 . В результате получим

$$\nabla^2 \phi = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + \frac{2\mathbf{V}}{c^2} \cdot \text{grad} \frac{\partial \phi}{\partial t} - \frac{\eta}{c^2} \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 - \frac{\eta}{c^2} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot (\text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V}) - \frac{\eta}{c^2} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \cdot \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right) + \frac{1}{c^2} \mathbf{V} \cdot \text{grad} (\mathbf{V} \cdot \text{grad} \phi), \quad (2)$$

где η – плотность электронной среды или $\eta = \frac{m_e}{e}$, где m_e – масса электрона, e – заряд электрона.

Рассмотрим, как и в параграфе 5.2 работы [7], взаимодействие между двумя нейтронами в электронной среде, расположенными на расстоянии r . Тогда, проведя осреднение по времени уравнения (2), пренебрегая величинами более высокого порядка малости, получим

$$\nabla^2 \phi = -\frac{\eta}{c^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 dt, \quad (3)$$

где T – период осреднения.

Проделав выкладки, как и в параграфе 5.2 работы [7], окончательно для силы F взаимодействия между двумя нейтронами получим

$$F = -\gamma_0 \frac{m_n m_n}{r^2}, \quad (4)$$

где $\gamma_0 = \frac{1}{6\eta c^2} \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \right)^2 dt$ – гравитационная постоянная, m_n – масса нейтрона.

При осреднении по времени уравнения (2) мы пренебрегли членами четвертым и пятым как величинами более высокого порядка малости. При рассмотрении процессов на более малых временных интервалах их необходимо учесть. Тогда для гравитационной постоянной получим

$$\gamma = \gamma_0 + \frac{1}{6\eta c^2} \frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} \left(\text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} + \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right) \right). \quad (5)$$

Полагая универсальность закона тяготения, для веса тела получим

$$P = mg, \quad (6)$$

где $g = \gamma \frac{M}{r^2}$ – ускорение свободного падения (мы здесь не учитываем центробежные силы от вращения Земли); M – масса Земли, r – радиус Земли, m – масса тела.

Учитывая выражения (5) и (6), вес тела можно представить

$$P = P_0 + \Delta P = mg_0 + Am \frac{\partial V}{\partial t}, \quad (7)$$

где $P_0 = mg_0$ – вес покоящегося тела; $g_0 = \gamma_0 \frac{M}{r^2}$ – ускорение свободного падения покоящегося тела;

$$\Delta P = Am \frac{\partial V}{\partial t} \text{ – изменение веса при ускорении вращающегося тела; } A = \frac{1}{6\eta c^2} \frac{M}{r^2} \left(\text{rot} \mathbf{V} \times \mathbf{V} + \text{grad} \left(\frac{V^2}{2} \right) \right).$$

Полученное выражение (7) для веса ускоренно вращающегося тела показывает, что вес тела зависит от ускорения. Причем второй член в правой части может быть как положительным, так и отрицательным и при определенных значениях ускорения тело полностью теряет вес, вплоть до изменения направления действия «силы тяжести».

Глубокий и всесторонний анализ по выявлению причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС выполнен в работе Лобановского [8]. Приведем интерпретацию текущих событий из этой работы.

Интерпретация текущих событий в локальном времени [8]:

«08:13:21.5 – начало поворота лопаток направляющего аппарата системой управления для остановки гидрогенератора;

08:13:23.8 – снижение системой управления тока в обмотке возбуждения электрогенератора при постоянном числе оборотов гидроагрегата;

08:13:25.2 – катастрофический рост турбулентных пульсаций на лопастях турбины – начало выхода на закритический режим обтекания;

08:13:25.4 – начало раскрутки ротора.

08:13:26.8 – реакция системы управления на мнимое снижение угловой скорости вращения ротора по данным датчика частоты вращения раскрытием лопаток направляющего аппарата, подстегнувшим раскрутку ротора вплоть до выхода на угонные обороты; уход в закритический режим обтекания из-за неадекватного положения направляющих лопаток;

08:13:27.8 – короткое замыкание на электрогенераторе, усиление раскрутки ротора из-за почти полного сброса нагрузки, отказ системы управления лопатками направляющего аппарата;

08:13:29.0 – полное обесточивание электрогенератора;

08:13:31.0 – вылет ротора гидроагрегата из турбинного колодца вследствие отрыва турбинной крышки.

Итак, отказ датчика частоты вращения ротора – ключевой момент в развитии катастрофы.

Примерно в 08:13:25.2 начался, а в период с 08:13:26.8 при раскрытии направляющего аппарата по данным этого датчика ротор стал необратимо разгоняться. При этом турбина попала из области А в область А' с интенсивным ростом ударных пульсаций давления. С 08:13:29.0 по 08:13:31.0 произошел отрыв турбинной крышки. Длительность этого резонансного процесса укладывается в период, начинающийся около 08:13:25.4 – 08:13:26.8 и заканчивающийся в 08:13:29.0 – 08:13:31.0, то есть составляет от 3 до 5 с».

Анализ приведенных данных показывает, что отказ датчика частоты вращения ротора – ключевой момент в развитии катастрофы. Вместо замедления ротора, ротор начал неконтролируемо разгоняться и терять в весе. Короткое замыкание на электрогенераторе привело к еще большему ускорению ротора, потере веса вращающихся частей гидротурбины и выбросу их из шахты.

Причиной аварии явилось запредельное ускорение вращения турбины, что вызвало падение веса вращающихся частей (турбины и ротора генератора) и выброс их вертикально вверх.

Выводы:

1. Анализ приведенных данных показывает, что отказ датчика частоты вращения ротора – ключевой момент в развитии катастрофы. Вместо замедления ротора, ротор начал неконтролируемо разгоняться и терять в весе. Короткое замыкание на электрогенераторе привело к еще большему ускорению ротора, потере веса вращающихся частей гидротурбины и выбросу их из шахты.
2. Причиной аварии явилось запредельное ускорение вращения турбины, что вызвало падение веса вращающихся частей (турбины и ротора генератора) и выброс их вертикально вверх.
3. Факт потери веса ускоренно вращающихся тел противоречит положениям классической механики. Поэтому необходимо пересмотреть классическую механику.
4. Для предотвращения подобных аварий на ГЭС необходимо контролировать ускорение вращающихся турбин и количественно ограничить эту величину.

Литература

1. Саяно-Шушенская ГЭС. Авария 17 августа 2009 года. – Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

2. Тарасов В.Н. Механизмы Саяно-Шушенской аварии. Факты и гипотезы. Режим доступа: <https://tayga.info/102805> 2011, – 17 с.
3. Рассохин Г. О достоверности официально обнародованных причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС. Режим доступа: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=6482> 2016, – 5 с.
4. Авария на Саяно-Шушенской ГЭС. – Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
5. Баранов Д.С., Зателепин В.Н. Изменение веса тел, вращающихся с ускорением. Эксперимент. Лаборатория ИНЛИС. г. Москва. – 54 с. Доклад на семинаре в РУДН, 25.04.2019 г. Режим доступа: http://lenr.seplm.ru/seminary/opublikovany-prezentatsii-i-video-dokladov-na-seminare-v-rudn-25_04_2019
6. Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел. – Собрание научных трудов, т.1. – М.: Наука, 1965, с. 7-35.
7. Воронков С.С. Общая динамика. – 7-е изд., переработанное. – Псков: ЛЕВИТРОН, 2018. – 232 с. Электронный вариант работы представлен на Яндекс.Диске: <https://yadi.sk/i/ANdrL7ix3Ujo9b>
8. Лобановский Ю.И. Технические причины катастрофы на Саяно-Шушенской ГЭС (итоги расследования). Режим доступа: <http://www.synerjetics.ru/article/catastrophe.htm> 2009. – 48 с.