Оглавление

Введение…………………………………………………………………………...3

Глава 1 Основные представления о гидроэнергетике………………………….5

1.1. Понятие, история и международно-правовое регулирование гидроэнергетики…………………………………………………………………..5

1.2. Принцип работы и классификациягидроэлектростанций…………………9

Глава 2 Состояние и положение гидроэнергетики в России………………….13

2.1. Гидроэнергетика после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС……………..13

2.2. Анализ причин аварии и перспективы развития ГЭС в России…………18

Глава 3 Безопасность работы на гидроэлектростанциях……………………...25

Заключение……………………………………………………………………….29

Список используемой литературы……………………………………………...31

Введение

Тема курсовой работы представляется весьма **актуальной** в условиях функционирования информационного общества. В соответствии с [Конституцией](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2875/#dst0) Российской Федерации каждый имеет право на благоприятную окружающую среду, каждый обязан сохранять природу и окружающую среду, бережно относиться к природным богатствам, которые являются основой устойчивого развития, жизни и деятельности народов, проживающих на территории Российской Федерации.

Согласно пункту 3 статьи 40 Федерального закона от 10.01.2002 N 7 ФЗ "Об охране окружающей среды" «при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, вводе в эксплуатацию и эксплуатации гидроэлектростанций должны учитываться реальные потребности в электрической энергии соответствующих регионов, а также особенности рельефов местностей»[[1]](#footnote-1).

При размещении указанных объектов должны предусматриваться меры по сохранению водных объектов, водосборных площадей, водных биологических ресурсов, земель, почв, лесов и иной растительности, биологического разнообразия, обеспечиваться устойчивое функционирование естественных экологических систем, сохранение природных ландшафтов, особо охраняемых природных территорий и памятников природы, а также приниматься меры по своевременной утилизации древесины и плодородного слоя почв при расчистке и затоплении ложа водохранилищ и иные необходимые меры по недопущению негативных изменений природной среды, сохранению водного режима, обеспечивающего наиболее благоприятные условия для воспроизводства водных биологических ресурсов.

**Объект** исследования – безопасность гидроэлектростанций в России

**Предмет** курсовой работы составляет общая характеристика состояния и положения, а также обеспечения безопасности гидроэнергетики в России.

**Цель** исследования состоит в проведении комплексного анализа безопасности гидроэлектростанций в России.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи:**

- рассмотреть понятие, историю и особенности международно-правового регулирования гидроэнергетики;

- выявить принцип работы и классификации гидроэлектростанций;

- проанализировать проблему гидроэнергетики после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС;

- выявить и показать причины аварии и перспективы развития ГЭС в России.

Структура работы. Курсовая работа состоит из введения, трёх глав, заключения и списка используемой литературы.

Глава 1 Основные представления о гидроэнергетике

1.1. Понятие, история и международно-правовое регулирование гидроэнергетики.

Гидроэлектроста́нция (ГЭС) представляет собой  объект, который использует как источник энергии [энергию водных масс в русловых водотоках и приливных движениях](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%8D%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B8%D1%8F). Территориально ГЭС чаще всего располагаютсяна [реках](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%BA%D0%B0),сооружая [плотины](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%B8%D0%BD%D0%B0) и [водохранилища](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%BE%D0%B4%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D1%89%D0%B5), большие и малые водоёмы. Для [эффективного](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AD%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%BC%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%B8%D0%B2%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C) производства электроэнергии на ГЭС необходимы два основных фактора: гарантированная обеспеченность водой круглый год и возможно большие уклоны реки, благоприятствуют гидростроительству [каньонообразные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BD%D1%8C%D0%BE%D0%BD) виды рельефа.[[2]](#footnote-2)

В 1882 году в США на реке Фокс была построена первая ГЭС (мощностью 12, 5 Квт). Самой мощной ГЭС в мире на сегодня является ГЭС «Три ущелья» в Китайской Народной Республике на реке Янцзы, ее мощность составляет 22 400 МВт.   
Более 7300 ГЭС насчитывается в мире, общей суммарной мощностью около 1000 ГВт при общемировом техническом потенциале 3721 ГВт. Гидроэнергетика играет важную роль в энергоснабжении Канады, США, Норвегии, Дании, Исландии, КНР, Новой Зеландии, Австрии и многих других стран. Мировой опыт говорит о том, что многие страны стараются максимально осваивать свой гидропотенциал, даже при сравнительно большом наличии в недрах запасов других энергоресурсов. В Новой Зеландии 75 процентов всей производимой электроэнергии вырабатывается гидроэлектростанциями, в Норвегии этот показатель достигает 99 процентов, при этом Норвегия обладает большими запасами газа, в Канаде водные станции обеспечивают 60% электрической энергии, в Бразилии эта цифра составляет 86%. В общем производстве электрической энергии доля гидроэнергии в мире составляет около 16 %.

Данная тенденция обоснована в случаях, когда запасы таких природных носителей энергии, как уголь, нефть и газ исчерпаны, так как водные ресурсы - это возобновляемые и экологически чистые источники энергии. Их использование поможет снизить вредные выбросы в атмосферу, которые в свою очередь производят тепловые электростанции, и сохранит оставшийся ценный запас углеводородов.

Международно - правовое регулирование гидроэнергетики, как правило, основывается на международных договорах, национальном законодательстве и нормотворческой деятельности международных организаций. Так, в международно-правовом регулировании гидроэнергетики не малую роль играют такие организации, как Международная гидроэнергетическая ассоциация (IHA), Международная ассоциация водных ресурсов (IWRA), Международная гидроэнергетическая ассоциация (IHA) и Международная комиссия по ирригации и дренажу (ICID).

Рассматривая деятельность Международной гидроэнергетической ассоциации (IHA), которая в удовлетворении растущих мировых потребностей в водных ресурсах и энергии как экологически чистой, возобновляемой и устойчивой технологии, отводит важную роль гидроэнергетике. В IHA входят члены более чем 80 стран, и она является неправительственной ассоциацией организаций и частных лиц. Ассоциация была учреждена под эгидой ЮНЕСКО в 1995 году в качестве форума для поощрения и распространения передового опыта и дополнительных знаний о гидроэнергии.

Международная комиссия по большим плотинам (МКБП), в свою очередь является неправительственной международной организацией и играет не малую роль в международно - правовом обеспечений безопасности гидротехнических сооружений. Главной целью МКБП является обеспечение эффективного, безопасного, экономного и безвредного воздействия на окружающую среду строительства плотин. МКБП оказывает помощь странам по подготовке решения задач 21-го века в развитии и управлении всемирными водными и гидроэнергетическими ресурсами.

Для стран с большим числом плотин вопрос обеспечения их безопасности приобретает особую остроту. Во всем мире насчитывается более 800 тысяч плотин различных типов, из которых около 50 тысяч имеют высоту более 15 метров. Накопленная информация свидетельствует о более чем тысяче случаев повреждения и сотне случаев разрушения плотин подобных размеров. В этой связи возникает острая необходимость в нормативноправовом регулировании вопросов безопасности плотин (водохранилищ) и других водоподпорных гидротехнических сооружений. Российская Федерация не является исключением в решении данных проблем.[[3]](#footnote-3)

Международная комиссия по ирригации и дренажу (МКИД) представляет собой научно-техническую добровольную некоммерческую неправительственную международную организацию, основанную 24 июня 1950 года. Миссией МКИД является стимулирование и поддержание развития и применения технических, сельскохозяйственных, экономических, экологических и социальных наук и знаний в области управления водными и земельными ресурсами для ирригации, дренажа, контроля наводнений и регулирования речного русла.

Что касается Международной ассоциации по водным ресурсам (IWRA), данная ассоциация является некоммерческой, неправительственной, образовательной организацией, созданной в 1971 году. Ассоциация обеспечивает проведение глобального форума для налаживания контактов между различными отраслями знаний и географическими регионами, соединяя специалистов, студентов, частных лиц, корпорации и учреждения, занимающиеся вопросами устойчивого использования водных ресурсов мира.

Роль гидротехнических сооружений подчеркивалась в различных декларациях: Пекинская декларация по гидроэнергетике и устойчивому развитию (2004), Декларация «Плотины и Гидроэнергетика для устойчивого развития Африки» (2008) и Министерские декларации пятого, шестого и седьмого всемирного водного форума (2009/2012).

Как показывает зарубежный опыт, в странах с незначительными собственными запасами органического топлива (газ, нефть, уголь) величина экономического потенциала гидроэнергетики приближается к технически доступному. Степень освоения технического потенциала по некоторым данным в таких странах находится в пределах 60 - 90 процентов. В странах Западной Европы и Японии степень освоения технического потенциала составляет 60-90 процентов, в США и Канаде - 50-55 процентов. В России этот показатель равен 20,5 процентов[[4]](#footnote-4).

На территории России работают 102 гидростанции мощностью свыше 100 МВт. Общая установленная мощность гидроагрегатов на ГЭС в России составляет примерно 45 млн кВт (5 место в мире), а выработка порядка 165 млрд кВтч/год (также 5 место). При этом по экономическому потенциалу гидроэнергоресурсов Россия занимает второе место в мире (порядка 852 млрд кВтч, после Китайской Народной Республики), однако, по степени их освоения - 20 % - уступает практически всем развитым странам и многим развивающимся государствам. Так, во Франции и Швейцарии этот показатель превышает 90 %, Канаде и Норвегии — 70 %, США и Бразилии — 50%[[5]](#footnote-5).

1.2. Принцип работы и классификация гидроэлектростанций

Принцип работы гидроэлектростанций может быть охарактеризован как сравнительно простой. Цепь гидротехнических сооружений даёт нужный и достаточный напор воды. Далее вода поступает на лопасти гидротурбины. Гидротурбина, в свою очередь, заставляет работать генераторы. Генераторы вследствие этой работы дают электроэнергию.

Тот напор воды, который считается достаточным, возникает за счёт того, что конструируется плотина. Плотина располагается в конкретном месте. Это очень важно. Именно там происходит соедствие концентрации реки в нужной территориальной точке. Этот процесс получил название деривация. Естественный поток воды это и есть деривация. Иногда в целях добычи нужного напора воды создают деривацию и плотину совместно.

Сооружение гидроэлектростанции внутри содержит всё энергетическое оборудование, механизмы, необходимые средства. В зависимости от назначения, оно имеет своё определённое деление. [Гидроагрегаты](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B0%D1%82), непосредственно преобразующие энергию потока воды в электрическую энергию, нахоятся в машинном зале. Есть ещё всевозможное дополнительное оборудование, устройства управления и контроля над работой ГЭС, [трансформаторная станция](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F), распределительные устройства и многое другое.

Путём анализа научной литературы, можно убедиться в том, что существует множество различных классификаций ГЭС.

Итак, по мощности ГЭС следует подразделять на следующие виды:

- малые ГЭС (до 5 МВт);

- средние ГЭС (до 25 МВт);

- мощные (от 25 МВт).

Как отмечают специалисты, мощность ГЭС связана с напором и расходами воды, а также с КПД используемых турбин и генераторов. Из-за того, что по природным законам уровень воды постоянно меняется, в зависимости от сезона, а также ещё по ряду причин, в качестве выражения мощности гидроэлектрической станции принято брать цикличную мощность. К примеру, различают годичный, месячный, недельный или суточный циклы работы гидроэлектростанции.[[6]](#footnote-6)

Гидроэлектростанции также делятся в зависимости от максимального использования напора воды:

* высоконапорные — более 60 м;
* средненапорные — от 25 м;
* низконапорные — от 3 до 25 м.

В зависимости от напора воды, в гидроэлектростанциях применяются различные виды [турбин](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D0%B0). Для высоконапорных — [ковшовые](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%B2%D1%88%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D0%B0) и [радиально-осевые турбины](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE-%D0%BE%D1%81%D0%B5%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D0%B0) с металлическими спиральными камерами. На средненапорных ГЭС устанавливаются [поворотнолопастные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE-%D0%BB%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D1%82%D1%83%D1%80%D0%B1%D0%B8%D0%BD%D0%B0) и радиально-осевые турбины, на низконапорных — поворотнолопастные турбины в железобетонных камерах.

Принцип работы всех видов турбин схож — поток воды поступает на лопасти турбины, которые начинают вращаться. Механическая энергия, таким образом, передаётся на гидрогенератор, который и вырабатывает электроэнергию. Турбины отличаются некоторыми техническими характеристиками, а также камерами — стальными или железобетонными, и рассчитаны на различный напор воды.

Гидроэлектрические станции также разделяются в зависимости от принципа использования природных ресурсов, и, соответственно, образующейся концентрации воды. Здесь можно выделить следующие ГЭС:

* плотинные ГЭС. Это наиболее распространённые виды гидроэлектрических станций. Напор воды в них создаётся посредством установки плотины, полностью перегораживающей реку, или поднимающей уровень воды в ней на необходимую отметку. Такие гидроэлектростанции строят на многоводных равнинных реках, а также на горных реках, в местах, где русло реки более узкое, сжатое.
* приплотинные ГЭС. Строятся при более высоких напорах воды. В этом случае река полностью перегораживается плотиной, а само здание ГЭС располагается за плотиной, в нижней её части. Вода, в этом случае, подводится к турбинам через специальные напорные тоннели, а не непосредственно, как в [русловых ГЭС](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%83%D1%81%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%8F_%D0%93%D0%AD%D0%A1).
* деривационные ГЭС. Такие электростанции строят в тех местах, где велик уклон реки. Необходимая концентрация воды в ГЭС такого типа создаётся посредством [деривации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B5%D1%80%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F_(%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%B0)). Вода отводится из речного русла через специальные водоотводы. Последние — спрямлены, и их уклон значительно меньший, нежели средний уклон реки. В итоге вода подводится непосредственно к зданию ГЭС. Деривационные ГЭС могут быть разного вида — безнапорные или с напорной деривацией. В случае с напорной деривацией, водовод прокладывается с большим продольным уклоном. В другом случае в начале деривации на реке создаётся более высокая плотина, и создаётся водохранилище — такая схема ещё называется смешанной деривацией, так как используются оба метода создания необходимой концентрации воды.
* [гидроаккумулирующие электростанции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B0%D0%BA%D0%BA%D1%83%D0%BC%D1%83%D0%BB%D0%B8%D1%80%D1%83%D1%8E%D1%89%D0%B0%D1%8F_%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F). Такие ГАЭС способны аккумулировать вырабатываемую электроэнергию и пускать её в ход в моменты пиковых нагрузок. Принцип работы таких электростанций следующий: в определённые периоды (не пиковой нагрузки), агрегаты ГАЭС работают как насосы от внешних источников энергии и закачивают воду в специально оборудованные верхние бассейны. Когда возникает потребность, вода из них поступает в напорный трубопровод и приводит в действие турбины.[[7]](#footnote-7)

В состав гидроэлектрических станций, в зависимости от их назначения, также могут входить дополнительные сооружения, такие как [шлюзы](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BB%D1%8E%D0%B7_(%D0%B3%D0%B8%D0%B4%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5)) или [судоподъёмники](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%83%D0%B4%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B4%D1%8A%D1%91%D0%BC%D0%BD%D0%B8%D0%BA), способствующие навигации по водоёму, [рыбопропускные](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D1%8B%D0%B1%D0%BE%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%BF%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D1%81%D0%BE%D0%BE%D1%80%D1%83%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F), водозаборные сооружения, используемые для [ирригации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D1%80%D1%80%D0%B8%D0%B3%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F), и многое другое.

Глава 2 Состояние и положение гидроэнергетики в России

2.1 Гидроэнергетика после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС

17.08.2009 г. в 8 часов 13 минут на крупнейшей гидроэлектростанции России - Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС)-произошла авария на 2-м гидроагрегате. В результате аварии часть машинного зала, несколько агрегатов были разрушены, часть агрегатов, электротехническое и вспомогательное оборудование были залиты водой и вышли из строя. Были человеческие жертвы. В силу случайного стечения обстоятельств один из авторов уже через два часа был на станции и имел возможность видеть весь масштаб разрушений. Следует отметить, что авария не повлияла на устойчивость и надежность конструкции и не было никакой опасности затопления и других катастрофических последствий в зоне водохранилища и нижнего бьефа. Благодаря активным действиям МЧС России машинный зал в кратчайшие сроки был расчищен от обломков конструкций и оборудования, откачана вода из помещений. При проведении аварийно-спасательных работ в целом было привлечено до 2,7 тыс. человек (из них около 2 тыс. человек непосредственно на ГЭС), более 200 единиц техники, в том числе 11 воздушных судов и 15 плавсредств. Было разобрано свыше 5 тыс. кубометров завалов, откачано более 277 тыс. кубических метров воды. Установлено 9683 метра боновых заграждений, собрано 324,2 т маслосодержащей эмульсии. Интенсивные работы по ликвидации последствий аварии, ремонту оборудования и восстановлению функционирования гидроэлектростанции позволили в кратчайшие сроки воссоздать перекрытие машинного зала и тепловой контур, давший возможность выполнять строительно-монтажные и пусконаладочные работы в машзале и вводить наименее пострадавшие агрегаты в эксплуатацию.

Авторы участвовали в работе экспертной комиссии по установлению причин аварии на ГЭС. Сейчас, по истечении уже более чем двух лет, можно более точно объяснить технологические причины аварии на этом уникальном энергетическом объекте, определить необходимые действия по предотвращению подобных происшествий, а также роль и задачи науки в обеспечении безопасности объектов гидроэнергетики.

Саяно-Шушенская ГЭС им. П.С. Непорожнего является крупнейшей гидроэлектростанцией России и одной из крупнейших в мире (см. табл.), расположена на юге Республики Хакасия, в верховьях р. Енисей. Установленная мощность ГЭС — 6,4 млн кВт. Десять гидроагрегатов ГЭС имеют номинальную мощность 640 МВт каждый при расчетном напоре 194 м. Общая пропускная способность турбин 3400—3600 мУс.

Параметры крупнейших ГЭС мира

Название ГЭС, страна Река Мощность, МВт Выработка энергии, ТВт-ч Напор, м Диаметр рабочего колеса, м Число агрегатов

Три ущелья, Китай Янцзы 18200 84,7 112 9,2 26

Итайпу, Бразилия Парана 12600 71,0 118 8,5 18

Гури 2, Венесуэла Каропи 10300 51,0 136 7,17 10+10

Тукуруи, Бразилия Токаптис 8000 32,4 68 7,8 12+12

Грэпд-Кули, США Колумбия 10830 20,3 108 9,75; 9,91 18+6

Саяпо-Шушепская ГЭС, Россия Бписей 6400 23,7 194 6,77 10

Красноярская ГЭС, Россия Бписей 6000 34,5 101 7,5 12

Среднемноголетняя выработка электрической энергии составляет 21,84 млрд кВт-ч, но в последние годы она была выше. Строительство ГЭС началось в 1963 году, ввод первого агрегата на пониженных напорах с временным рабочим колесом во временную эксплуатацию произошел в 1978 году, окончание строительства — 2000 год. Основным потребителем электрической энергии, вырабатываемой Саяно-Шушенской ГЭС, является Федеральная сетевая компания, из региональных потребителей — Саянский производственно-территориальный комплекс (г. Саяногорск). В состав гидротехнических сооружений СШГЭС входят арочно-гравитационная плотина и здание ГЭС приплотинного типа.[[8]](#footnote-8)

Арочно-гравитационная плотина воспринимает давление воды массивной своей частью, а также передает часть давления на борта арочной частью. Горизонтальные сечения плотины представляют собой арки кругового и трех-центрового очертания. Радиус верховой грани в русловой части плотины составляет 600 м. По фронту плотина разделена радиальными швами через 15,8 м на68 секций. Потолщине плотина разрезана на 4 столба шириной 25—27 м.

На станционной части плотины имеется 10 водоприемников, сопрягающихся с 10 сталеже-лезобетонными турбинными водоводами, приан-керенными к низовой грани станционной части плотины. Внутренний диаметр турбинных водоводов — 7,5 м. Водоприемники оборудованы со-роудерживающими решетками, аварийно-ремонтными (быстропадающими) затворами с индивидуальными гидроподъемниками, а также пазами для установки ремонтных затворов.

Водосбросная часть плотины имеет 11 водосбросных отверстий с размерами расчетного сечения 8,2x5,4 м и заглубленными водозаборами, пороги которых ниже на 60 м относительно НПУ= = 539 м. Отверстия перекрыты плоскими колесными затворами, обслуживаемыми двумя козловыми кранами грузоподъемностью 500 т каждый. Объем бетона, уложенный в арочно-гравитаци-онную плотину, — около 8,5 млн м~. Здание ГЭС имеет длину (с монтажной площадкой) 289 м, ширину — 35 м, объем бетона — 290 тыс. м3. В здании ГЭС уставлены 10 гидроагрегатов, объединяющих гидротурбину и генератор. Гидравлическая турбина типа Р0230/833-В имеет параметры: мощность номинальная — 650 МВт, нормальная частота вращения — 142,8 об/мин, разгонная частота — 280 об/мин, диаметр рабочего колеса — 6,77 м, масса турбины — 154 т. Гидро-генератортипа СВФ1285/275-42 имеет параметры: полная мощность — 711 МВА, напряжение — 15,75 кВ, диаметр расточки ротора — 11,85 м, масса генератора — 1790 т, масса ротора — 912 т. В состав гидроузла входит водохранилище, имеющее параметры: нормальный подпорный уровень (НПУ) — 539,00 м; форсированный подпорный уровень (ФПУ) — 540,00 м; уровень мертвого объема (УМО) — 500,00 м; полный объем — 30710 млн полезный объем — 14710 млн ; площадь зеркала при ФПУ 324,00 м — 608 км2; длина водохранилища при ФПУ — 312,0 км; ширина максимальная — 7,0 км; глубина максимальная — 226,0 м.[[9]](#footnote-9)

До момента аварии Саяно-Шушенская ГЭС работала в режиме автоматического регулирования. На сеть работали 9 агрегатов СШ ГЭС. 16.08.2009 в 23:14 агрегат ГА-2 был введен в работу под автоматическим управлением в качестве приоритетного. Начинаяс23:1416.08.2009 идо 8:13 17.08.2009 агрегат ГА-2 пять раз проходил нерекомендуемую режимную зону II, которая характеризуется повышенным уровнем динамических нагрузок и вибраций. Во время 6-го прохода зоны II в 8 часов 13 минут местного времени произошла авария. В момент аварии произошло лавинообразное нарастание вибраций ГА-2, что привело к ослаблению крепления крышки турбины — часть шпилек не была закручена (или раскрутилась в результате вибрации), а часть шпилек имела усталостный износ до 80—95%: Произошел отрыв крышки турбины от фланца на статоре. Анализ показывает, что спровоцировать начало аварии могло существенное ослабление шпилек со 2-й по 20-ю, и в силу этого мог начаться лавинообразный отрыв крышки. Далее произошло отделение гидроагрегата, включая рабочее колесо, вал, крышку турбины, роторгенератора (общая масса около 1700 т), и его выталкивание давлением воды (около 7500 т) из не разрушен шахты гидроагрегата. Из шахты вырвался столб воды расходом око, который привел к разрушению кровли не разрушен 95 машзала, заливу электротехнического борудования и коротким замыканиям в других гидроагрене разрушен не разрушен 5 гатах. Из-за потери собственных нужд не удалось сразу закрыть аварийно-ремонтный затвор верхнего бьефа, и вода из водовода около часа поступала в машзал (пока персонал ценой колоссальных усилий в темноте вручную не закрыл затвор).

2.2. Анализ причин аварии и перспективы развития ГЭС в России

Многочисленные экспертные заключения и ряд комиссий выдвигали и анализировали множество версий и причин произошедшей аварии. В конечном итоге основными техническими причинами аварии можно назвать следующие: работа гидроагрегата ГА-2 с частыми переходами через зоны нерекомендуемых нагрузок при пуско-остановочных операциях и регулировании нагрузки; продолжительная эксплуатация ГА-2 с недопустимо сильной вибрацией, в том числе в период эксплуатации с временным рабочим колесом; начало аварии могло произойти в результате отрыва шпилек в проблемной зоне — с 2-й по 20-ю — из-за увеличения давления под крышкой турбины на 10 м при закрытии направляющего аппарата и пульсаций давления в размере^—22 м при прохождении зоны повышенной вибрации. непосредственной причиной являеггсято чтосум-марное давление на крышкутурбины снизу превысило несущую способностью шпилек крепления крышки турбины, ослабленных длительной эксплуатацией со знакопеременными вибрациями.

Таким образом, основными причинами аварии являются статические и динамические усилия, возникающие при работе гидроэнергетического оборудования и действующие на элементы проточного тракта, в том числе на крышку турбины. Сила, оторвавшая крышку, с учетом пульсацион-ной составляющей ( не путать с гидроударом) по расчетам М ГСУ составила 5277 т, что значительно превысило несущую способность шпилек (по данным ЦНИИТМАШ, с учетом износа на 64,9 %, составлявшую 3457 т). Вспоминая похожую, но не приведшую к столь тяжелым последствиям аварию на Нурекской ГЭС, можно отметить, что причиной там тоже было превышение давления снизу больше уровня сопротивления удерживающих крышку турбины работоспособных шпилек. Нотам авария была локализована своевременным закрытием предтурбинного затвора. На СШГЭС таких затворов не было.

Причина аварии на СШГЭС носила за-проектный характер, ее было невозможно предсказать на стадии проектирования. Следует вспомнить, что в 70-е годы проектирование и сооружение СШГЭС проводилось на основе проведения многочисленных научных исследований, обобщения опыта предыдущих крупных проектов, объединения усилий профильных проектных, строительных, монтажных, энергетических, электротехнических предприятий и организаций. Объективности ради следует отметить, что на момент проектирования и затем строительства на СШГЭС были применены самые передовые и эффективные решения и технологии. Тем не менее с сегодняшнего уровня знаний можно отметить ряд принятых проектных решений, которые могли спровоцировать такую аварию и жертвы: объединение в узком створе водосливной плотины и здания ГЭС, имеющих значительные вибрации каждое по себе; размещение на затапливаемых отметках оборудования собственных нужд, ремонтных служб, вспомогательного оборудования (что из-за разлива масла привело к загрязнению Енисея); отсутствие резервирования энергоснабжения аварийного затвора,направляющего аппарата и других аварийных устройств.

Ряд причин аварии лежит в области эксплуатации ГЭС (несвоевременное и некачественное выполнение ремонтных работ и др.) и сфере управления объектом, причем как на уровне внут-ристанционного управления (неоптимальное распределение нагрузки между агрегатами), так и на уровне внешнего управления со стороны Системного оператора (необоснованное увеличение маневренности СШГЭС).

После произошедшей аварии проведена большая работа не только по восстановлению станции, но и по анализу и корректировке нормативной документации по эксплуатации ГЭС, по повышению надежности и безопасной эксплуатации оборудования и сооружений, выполнен комплекс НИР по отдельным направлениям и процессам работы гидротехнических сооружений, водопроводящего тракта и гидроэнергетического оборудования. Вместе с тем после аварии стало понятно, что крайне необходимо восстановить научно-техническое сопровождение процессов создания и эксплуатации крупных и уникальных гидроэнергетических объектов. Необходимо проведение междисплинарных исследований для получения комплексных результатов на основе объединения усилий научных коллективов РАН, отраслевых институтов и вузов по таким направлениям, как: научные основы и методы обоснования продления срока службы гидроэнергетического оборудования и сооружений ГЭС за пределы проектного срока; анализ перспективных требований к вторичному регулированию частоты и мощности с участием ГЭС для разработки методов проектирования и управления агрегатами ГЭС; повышение надежности проектных решений по ГЭС и гидроэнергетическому оборудованию, в т.ч. новые компоновочные решения приплотин-ных ГЭС с выносом водосбросов из створа и сооружение береговых водосбросов; ограничение зоны применения приплотинных ГЭС с напорами 120—150 м, разработка новых типов гидротурбин, не имеющих запрещенных зон; применение новых схем использования водной энергии с более низкими напорами и выносом регулирующих емкостей на притоки; разработка новых типов гидротурбин, обладающих высокоманевренными свойствами в плане регулирования мощности и др.; разработка принципов оптимального формирования сложных природно-технических систем с гидроэнергетическими объектами и оценка надежности и безопасности их элементов с учетом безопасных проектных компоновочных решений, безопасных и независимых схем управления и обеспечения экологической безопасности бьефов; расчет условий и параметров запроектных аварий и выработка рекомендаций по их предотвращению и снижению ущербов; разработка правил каскадного регулирования и оптимизации управления водными ресурсами на многоагрегатных ГЭС с учетом требований Системного оператора, неэнергетических отраслей и охраны природы, а также в условиях нарушения проектных режимов;[[10]](#footnote-10)

разработка основ и принципов создания систем мониторинга и диагностики, расчет состояния оборудования и сооружений на гидроэнергетических объектах.

Хроника событий за последние два года по восстановлению ГЭС выглядит следующим образом:

В ноябре 2009 года были завершены работы по созданию теплового контура машинного зала, что позволило, не снижая темпов, продолжить работы по восстановлению Саяно-Шушенской ГЭС.

24 февраля 2010 года был включен в сеть гидроагрегат № 6.

22 марта 2010 года был возращен в строй гидроагрегат № 5. В результате рабочая мощность станции выросла до 1280 МВт.

15 апреля 2010 года был закончен демонтаж гидроагрегата № 2, полностью разрушенного во время аварии.

1 июня 2010 года завершены строительно-монтажные работы по обеспечению готовности первой очереди строительства берегового водосброса к пропуску паводковых расходов.

2 августа 2010 года был введен в эксплуатацию гидроагрегат № 4. Мощность станции составила 1920 МВт.

1 октября 2010 года завершились гидравлические испытания берегового водосброса, которые подтвердили готовность сооружения к пропуску паводковых вод.

22 декабря 2010 года был включен в сеть для проведения экслуатационных испытаний гидроагрегат № 3. Рабочая мощность Саяно-Шушенской ГЭС достигла 2560 МВт (40 % от установленной мощности). Суммарная выработка электроэнергии на восстанавливаемой станции преодолела отметку в 10 млрд кВт-ч.

12 октября 2011 года введен в эксплуатацию береговой водосброс, обеспечивающий сброс более 4000 м~/с по боковому тракту мимо плотины станции.

Запуск гидроагрегата № 3 в декабре 2010 года подвел черту под первым этапом реконструкции Саяно-Шушенской ГЭС, входе которого после восстановительного ремонта были введены в работу четыре наименее пострадавших в аварии гидроагрегата.

В 2011 году ОАО «РусГидро» начало работы по реализации второго этапа восстановления станции. В рамках этого этапа (в 2011—2013 гг.) в машинном зале СШГЭС будут установлены шесть абсолютно новых гидроагрегатов, изготовление которых в настоящий момент ведется концерном «Силовые машины» (Санкт-Петербург).

На завершающем этапе реконструкции в 2013—2014 году новыми гидроагрегатами будут также заменены четыре восстановленных в 2011 году. Срок службы новых гидроагрегатов будет увеличен до 40 лет, при этом максимальный КПД гидротурбины составит 96,6 %. Турбины будут оснащены более эффективной системой технологических защит, приводящих к автоматическому останову агрегата в случае возникновения недопустимых режимных отклонений контролируемых параметров. Для снижения динамических нагрузок при совместной эксплуатации здания ГЭС и эксплуатационного водосброса и улучшения работы его водобойного колодца в июне 2010 года была введена в эксплуатацию первая очередь берегового водосброса. Большой общественный резонанс после аварии вызвали слухи о возможности разрушения самой арочно-гравитационной плотины. Для проверки такой опасности были проведены исследования напряженно-деформационного состояния плотины с использованием самых современных вычислительных средств. Рядом организаций, в том числе и СПбГПУ, были созданы конечно-элементные модели системы «плотина СШГЭС — основание — береговые примыкания» (рис. 7), которые позволяют учитывать: неоднородность физико-механических свойств материалов плотины и скальных пород; нелинейные свойства материалов плотины и скальных пород; произвольную гидростатическую нагрузку, в том числе противодавление; произвольное температурное воздействие; реальную последовательность возведения и нагружения плотины; возникновение и раскрытие швов и трещин в теле плотины и скальном массиве. Общее количество неизвестных (степени свободы) в конечно-элементной модели СПбГПУ— около 850000. На основе данных натурных наблюдений, предоставленных службой мониторинга состояния плотины СШГЭС, была проведена параметрическая идентификация конечно-элементной модели. Это позволило повысить достоверность прогнозных расчетов по определению реакции плотины на возможные экстремальные воздействия.

В ходе расчетов было проверено соответствие количественных диагностических показателей в определенных местах плотины и результататов расчетов. Кчислу важнейших количественных диагностических показателей, по которым оценивается состояние плотины, относятся радиальные перемещения гребня плотины, а также сжимающие напряжения: арочные (горизонтальные) на верхних отметках и консольные (вертикальные) в низовом клине плотины. Для этих показателей установлены критериальные значения, при превышении которых можно говорить об опасности нарушения режима нормальной эксплуатации.

В ходе многочисленных дискуссий о причинах аварии рассматривалось также явление гидроакустического удара и возникновение вихревого жгута в отсасывающей трубе. Для исследования этих процессов в элементах водо-проводящего тракта в СПбГПУ были созданы численные модели (состоящие из нескольких миллионов конечных элементов) и выполнены расчеты с использованием суперЭВМ, включающей 64 процессора, по определению полей давлений и скоростей при различных режимах работы.

Анализ наиболее вероятных причин аварии на основе изучения разносторонней информации, полученной авторами статьи, в том числе непосредственно на СШГЭС, позволил оперативно выявить возможные сценарии аварийного процесса, определить основные направления научного сопровождения при восстановлении ГЭС. Однако сегодня, по прошествии более двух лет с момента аварии, не определен перечень научно-технических работ и не сформирована Федеральная целевая программа по повышению безопасности ГЭС, как действующих, так и строящихся либо намечаемых к проектированию и строительству.

Представляется, что в ближайшие 2—3 года необходимо разработать и внедрить в практику эксплуатации ГЭС системы обеспечения безопасности, включая системы интеллектуального управления по аналогии с тем, как это делается на других крупных энергетических и промышленных объектах — тепловых, атомных электростанциях, потенциально-опасных предприятиях.

Авария на СШГЭС в значительной мере может повлиять на перспективы развития гидроэнергетики России. Тем более важен своевременный анализ факторов безопасности, их учет на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации. Безопасность в конечном счете связана и со значительной экономической эффективностью использования этого источника.

Глава 3 Безопасность работы на гидроэлектростанциях

Со времени принятия Федерального закона «О безопасности гидротехнических сооружений» ответственные за его исполнение организации (Миниэнерго России, гидроэнергокомпания «РусГидро», ее многочисленные дочерние предприятия — дирекции большинства ГЭС страны, проектно-изыскательский институт Гидропроект, в том числе ответственные за безопасность ГС научные институты НИИЭС и ВНИИГ) провели большую работу по реализации основных направлений обеспечения безопасности ГС. Главные проблемы, возникшие с реализацией этого закона, связаны с недостаточностью финансирования научно-проектных работ по обеспечению безопасности ГС, отсутствием опыта разработки и эксплуатации современных информационно-диагностических систем автоматизированного мониторинга состояния ГС и дефицитом гидротехников-исследова-телей, имеющих требуемую подготовку в этой важной области.[[11]](#footnote-11)

Требования к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений для объектов использования атомной энергии устанавливаются [федеральными нормами и правилами](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_164519/3157e2b8b13602800b14fcc28a824e5039a0ab22/#dst100142) в области использования атомной энергии, принимаемыми в соответствии с Федеральным [законом](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_200911/#dst129) от 21 ноября 1995 года N 170-ФЗ "Об использовании атомной энергии".

Безопасность гидротехнических сооружений – это свойство гидротехнических сооружений, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов.[[12]](#footnote-12)

В учебных магистерских программах ведущих университетов России (МГУ, МГСУ, РУДН, МГУП и др.) и Европы отсутствует тематика по безопасности ГС, несмотря на очевидную ее актуальность.

Интересным и практичным представляется разработанная в рамках национального проекта «Образование» научно-учебная лаборатория (НЛ) «Гидрологическая и техническая безопасность ГС» (далее «Безопасность ГС») и учебно-методический комплекс (УМК) с этим же названием, включающий описание курса, программу и электронный учебник.

Основные научные направления работы НЛ и программы «Безопасность ГС»:

— численные и модельные исследования гидрологической и технической (статической и сейсмической) безопасности плотин и водосбросов;

— численные исследования устойчивости грунтовых плотин и откосов при статических и сейсмических воздействиях

— численные исследования статической и сейсмической устойчивости и прочности плотин из укатанного бетона на скальных и грунтовых основаниях;

— теория расчета и модельные исследования водосбросов и условий сопряжения сбрасываемого потока с нижним бьефом;

— модельные и численные исследования взаимодействия водного потока с деформируемым руслом (русловые процессы, эрозия дна, берегов, устья рек).

Список программ расчетов ГС и подземных сооружений

Код и название программы Владелец программы, ее статус Операционная среда (пред- и постпроцессорная обработка)

PL-STRESS. Расчеты НДС грунтовых сооружений с помощью упругопластической модели Ляпичев Ю. П. (РУДН), свободный Windows (ввод данных в Excell обработка, результаты расчетов с помощью Surfer)

Пакет CADAM. Расчеты статической и сейсмической прочности и устойчивости бетонных гравитационных плотин Политехнический университет Монреаля (Канада), свободный Windows XP (пред- и постпроцессорная обработка, визуализация, печать всех данных)

Пакет PLAXIS (основной, фильтрационный и динамический модули). Расчеты НДС в подземных и грунтовых сооружениях Компания PLAXIS

Пакет FLAC-5 (2D). Расчеты статического и сейсмического НДС и фильтрации в грунтовых и подземных сооружениях Корпорация ITASCA (США), лицензионный

Пакет FLAC/Slope. Расчеты статической и сейсмической устойчивости грунтовых откосов

Пакет ADINA. Расчеты статического, сейсмического и температурного НДС бетонных и грунтовых сооружений Компания ADINA (США)

Пакет MIKE-11. Одномерные гидравлические и гидрологические расчеты волны прорыва и ее последствия в НБ Компания DHI Water and Environmental (Дания).

Программа «Безопасность ГС» кроме проведения учебно-научных модельных гидравлических, фильтрационных и русловых исследований на одних из лучших в мире гидравлических лотках и установках фирмы АгшАеИ (Англия), предусматривает широкое применение современных компьютерных программ численных расчетов поведения ГС, информационных технологий и знакомство с информационно-диагностическими системами мониторинга состояния как плотин, защитных дамб, водосбросов и хвостохранилищ, так и русловых процессов на реках, разработанных в наших институтах-партнерах: ОАО НИИЭС, ИВП РАН, ОАО НИИ ВОДГЕО.

Заключение

По результатам проведённого исследования была показана актуальность изучения проблемы безопасности гидроэлектростанций в России, рассмотреено понятие, история и особенности международно-правового регулирования гидроэнергетики; выявлен принцип работы и классификации гидроэлектростанций; проанализирована проблема гидроэнергетики после аварии на Саяно-Шушенской ГЭС; выявлены и показать причины аварии и перспективы развития ГЭС в России. В связи с вышеизложенным, цель настоящей куровой работы считаем достигнутой.

Был сделан вывод о том, что безопасность гидротехнических сооружений - это свойство гидротехнических сооружений, позволяющее обеспечивать защиту жизни, здоровья и законных интересов людей, окружающей среды и хозяйственных объектов

Предельные значения количественных и качественных показателей состояния гидротехнического сооружения и условий его эксплуатации, соответствующие допустимому уровню риска аварии гидротехнического сооружения и утвержденные в установленном порядке федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными на осуществление федерального государственного надзора в области безопасности гидротехнических сооружений, в составе декларации безопасности гидротехнического сооружения, являются критериями безопасности гидротехнического сооружения.

Оценка безопасности гидротехнического сооружения представляет собой определение соответствия состояния гидротехнического сооружения и квалификации работников эксплуатирующей организации требованиям к обеспечению безопасности гидротехнических сооружений, установленным законодательством Российской Федерации.

Список используемой литературы

Нормативно-правовые акты

1. Конституция Российской Федерации (принята всенародным голосованием 12.12.1993) (с учетом поправок, внесенных Законами Российской Федерации о поправках к Конституции Российской Федерации от 30.12.2008 № 6-ФКЗ, от 30.12.2008 № 7-ФКЗ, от 05.02.2014 № 2-ФКЗ, от 21.07.2014 № 11-ФКЗ) // Собрание законодательства Российской Федерации. – 04.08.2014. – № 31. – Ст. 4398.

2. Об охране окружающей среды: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ офиц. текст по состоянию на 20.05.2018 // Российская газета. – № 6. –12.01.2002.

3. Об использовании атомной энергии: федеральный закон от 21.11.1995 № 170-ФЗ офиц. текст по состоянию на 17.05.2018 // Российская газета. – № 230.– 28.11.1995.

4. Федеральный закон "О безопасности гидротехнических сооружений" от 21.07.1997 N 117-ФЗ (ред. 15.06.2018) // Российская газета. – № 225.– 30.07.1997.

Научная и учебная литература

**1.** Александров А.Е., Незамстдинов Э.У. Опыт разработки и внедрения автоматической системы диагностирования гидроагрегатов ГЭС. Тезисы докл. науч.-техн. конф. "Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии". СПб: ВНИИГ, 2005. С 220.

2. Безопасность гидротехнических сооружений. Основные понятия. Термины и определения. СО 34.21.307-2017. СПб: ВНИИГ, 2017. С 20.

3. Василевский А.Г., Стефанишин Д.В. Понятия, определения, критерии и подходы при анализе надежности и безопасности гидротехнических сооружений. Гидротехн. стр-во, 2017, №11 С 17.

4. Дудченко В. Безопасность гидротехнических сооружений. Мир неразрушающего контроля. СПб., 2013 С. 225.

5. Епифанов, А.П. Из опыта организации безопасной эксплуатации Саяно-Шушенской арочно гравитационной плотины / А.П. Епифанов, Н.И. Стефаненко // Гидротехническое строительство. 2017. — № 11. — С. 5-10.

6. Карпик, А.П. Оценка состояния Саяно-Шушенской плотины в период нормальной эксплуатации по данным геодезических измерений / А.П. Карпик, Н.И. Стефаненко // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2009. - № 5. -С. 3-11.

7. Карпович Д.В. Определение технического состояния гидроэнергетического оборудования, ремонт и оценка его качества на ГЭС в РФ. Гидротехн. стр-во, № 7. 2017. С. 30.

8. Левина С.М., Штильман В.Б. Методологические основы исследований по оценке надежности элементов водопроводящих трактов гидросооружений. Тезисы докл. науч.-техн. конф. "Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии". СПб: ВНИИГ, 2005. С. 222-224.

9.http://www.electromax.by/malaya\_ges\_znachenie.html Интернет ресурс ООО «ЭлектроМакс».

10.http://www.rushydro.ru/industry/russianhydropower/ Интернет ресурс Группа «РусГидро».

1. Об охране окружающей среды: федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ офиц. текст по состоянию на 20.05.2018 // Российская газета. – № 6. –12.01.2002 [↑](#footnote-ref-1)
2. Александров А.Е., Незамстдинов Э.У. Опыт разработки и внедрения автоматической системы диагностирования гидроагрегатов ГЭС. Тезисы докл. науч.-техн. конф. "Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии". СПб: ВНИИГ, 2005. С 220. [↑](#footnote-ref-2)
3. Дудченко В. Безопасность гидротехнических сооружений. Мир неразрушающего контроля. СПб., 2013 С. 225.  
     
    [↑](#footnote-ref-3)
4. http://www.electromax.by/malaya\_ges\_znachenie.html Интернет ресурс ООО «ЭлектроМакс» [↑](#footnote-ref-4)
5. http://www.rushydro.ru/industry/russianhydropower/ Интернет ресурс Группа «РусГидро» [↑](#footnote-ref-5)
6. Карпович Д.В. Определение технического состояния гидроэнергетического оборудования, ремонт и оценка его качества на ГЭС в РФ. Гидротехн. стр-во, № 7. 2017. С. 30.  
    [↑](#footnote-ref-6)
7. Левина С.М., Штильман В.Б. Методологические основы исследований по оценке надежности элементов водопроводящих трактов гидросооружений. Тезисы докл. науч.-техн. конф. "Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии". СПб: ВНИИГ, 2005. С. 222-224.  
     
    [↑](#footnote-ref-7)
8. Епифанов, А.П. Из опыта организации безопасной эксплуатации Саяно-Шушенской арочно гравитационной плотины / А.П. Епифанов, Н.И. Стефаненко // Гидротехническое строительство. 2017. — № 11. — С. 5-10.  
      
    [↑](#footnote-ref-8)
9. Карпик, А.П. Оценка состояния Саяно-Шушенской плотины в период нормальной эксплуатации по данным геодезических измерений / А.П. Карпик, Н.И. Стефаненко // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2009. - № 5. -С. 3-11.  
     
    [↑](#footnote-ref-9)
10. Причиы аварии / Левина С.М., Шевченко Ю.В., Новкунский А.А. // Известия ВНИИГ. Т.278. 2015. С.79-85. [↑](#footnote-ref-10)
11. Василевский А.Г., Стефанишин Д.В. Понятия, определения, критерии и подходы при анализе надежности и безопасности гидротехнических сооружений. Гидротехн. стр-во, 2017, №11 С 17.  
     [↑](#footnote-ref-11)
12. Безопасность гидротехнических сооружений. Основные понятия. Термины и определения. СО 34.21.307-2017. СПб: ВНИИГ, 2017. С 20.  
     [↑](#footnote-ref-12)