

## ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ ЗЕЛЕНЧУКСКОЙ ГЭС-ГАЭС ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ «ДИСПЕТЧЕРСКИЙ ЦЕНТР 2» ПАО «РУСГИДРО»

### 1 Характеристика Зеленчукской ГЭС-ГАЭС

Зеленчукская ГЭС-ГАЭС расположена в Карачаево-Черкесской республике в бассейне р. Кубань. Станционный узел находится на левом берегу реки Кубань в 42 км южнее г. Черкесска (рис.1).

ГЭС-ГАЭС состоит из двух гидроагрегатов ГЭС 2X80 мВт и двух обратимых агрегатов ГАЭС 2X80/70 мВт (работающих в насосном/генерирующем режиме). Суммарная установленная мощность ГЭС-ГАЭС 300 мВт. Расчетный напор агрегатов ГЭС 234 м, расчетный напор обратимых агрегатов ГАЭС–210 м.

Комплекс гидротехнических сооружений Зеленчукской ГЭС-ГАЭС включает деривационный канал длиной 30 км от створа гидроузла на р. Б. Зеленчук до створа расположения Зеленчукской ГЭС на левом берегу р. Кубань. Из рек Б. Зеленчук, Маруха и Аксаут производится переброска воды (до 50% в половодно-паводковый период), транзитно используемой для выработки электроэнергии на Зеленчукской ГЭС-ГАЭС.

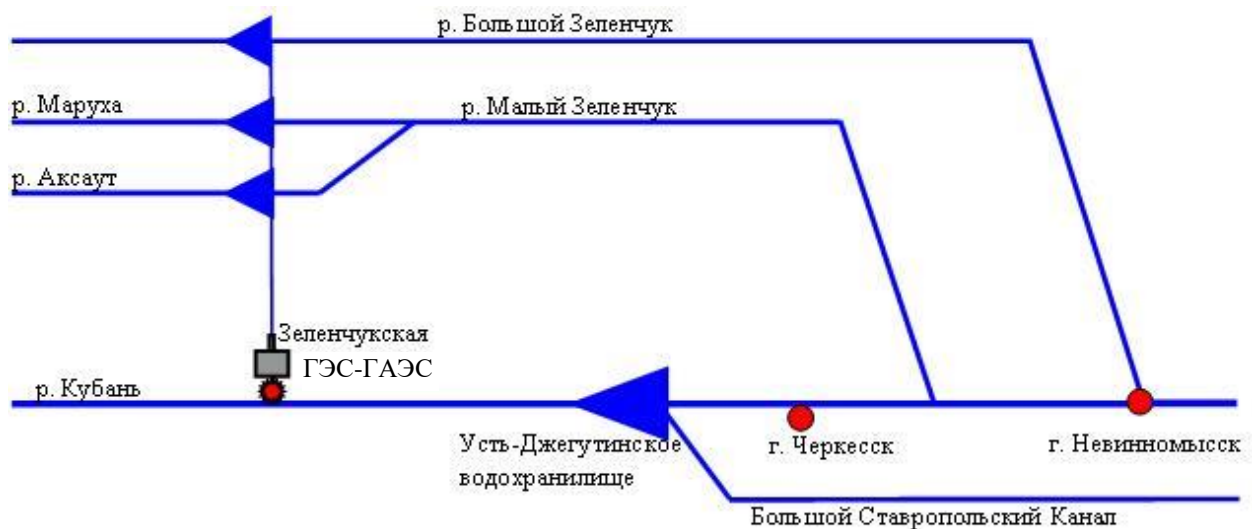


Рис.1. Схема расположения Зеленчукской ГЭС-ГАЭС

В состав водохозяйственного комплекса Зеленчукской ГЭС-ГАЭС входят следующие виды гидротехнических сооружений:

- гидроузлы на реках Большой Зеленчук, Маруха и Аксаут, в состав которых входят сооружения напорного фронта – земляные плотины, водозаборные сооружения, рыбнозащитные устройства, водосброс и шугосброс;
- деривационные водопроводящие сооружения – открытые и закрытые каналы, гидротехнические туннели, дюкера и ливнепроводы;

- специальные гидротехнические сооружения – отстойник, шлюз-регулятор (ШР), аварийно-перегораживающее сооружение (АПР), бассейн суточного регулирования, уравнительный резервуар и здание ГЭС.

Перераспределение стока воды осуществляется тремя однотипными водозаборными гидроузлами, расположенными последовательно на реках: Большой Зеленчук, Маруха и Аксаут, которые обеспечивают суммарный отбор воды до 70 м<sup>3</sup>/с.

По деривационным сооружениям вода с расчетным расходом до 70 м<sup>3</sup>/с (Большой Зеленчук — 35 куб.м/сек, Маруха — 15 куб.м/сек, Аксаут — 20 куб.м/сек) от гидроузлов поступает в бассейн суточного регулирования (полезным объемом 1,85 млн. м<sup>3</sup>) и из него по напорным тоннелям и водоводам с расчетным напором 234 м поступает на гидроагрегаты Зеленчукской ГЭС, расположенные на левом берегу русла р. Кубань.

Зеленчукская ГЭС работает в режиме генерации в половодно-паводковый период (с апреля по октябрь). В период с ноября по март попуски Зеленчукской ГЭС не предусмотрены. Зеленчукская ГЭС в зимний период может работать в режиме синхронного компенсатора (без несения активной нагрузки со сбросом воды расходом не более 4 м<sup>3</sup>/сек в течение не более 10-ти минут (время разворота режима синхронного компенсатора).

Зеленчукская ГЭС состоит из двух гидроагрегатов, каждый из которых имеет максимальный расход 32 м<sup>3</sup>/с (по проекту 38 м<sup>3</sup>/с с учётом подпора водохранилища проектируемой Верхне-Красногорской ГЭС), оптимальный расход через турбину - 27 м<sup>3</sup>/с.

Дополнительный комплекс сооружений ГЭС-ГАЭС для обеспечения работы двух обратимых гидроагрегатов включает железобетонный монолитный трубопровод диаметром 5 м и длиной 423,5 м; деривационный тоннель диаметром 5 м и длиной 2270 м; уравнительный резервуар в виде металлического цилиндра диаметром 13,4 м и высотой 30,7 м с металлической трубой-стояком диаметром 5 м внутри; вертикальную шахту высотой 130 м; напорный тоннель диаметром 4,5 м и длиной 584 м; здание ГЭС-ГАЭС, совмещённое со зданием Зеленчукской ГЭС. Два обратимых гидроагрегата ГЭС-ГАЭС установлены в кратеры, планировавшиеся для монтажа 3-го и 4-го гидроагрегатов Зеленчукской ГЭС в первоначальном проекте. Для размещения электротехнического оборудования ГЭС-ГАЭС со стороны верхнего бьефа к зданию Зеленчукской ГЭС пристроено здание размерами 10×30 м.

Два водовода диаметром 5 м от здания ГЭС-ГАЭС ведут к нижнему бьефу и водоприёмнику нижнего бассейна. Нижний бассейн площадью 15 га и полезным объёмом 0,9 млн м<sup>3</sup>, расположен на правой террасе р. Кубань.

## **2 Цели проекта и характеристика объекта автоматизации**

Цели предлагаемого проекта создания информационной подсистемы управления водно-энергетическими режимами (ПУВЭР) Зеленчукской ГЭС-ГАЭС отвечают ранее сформулированным целям создания Информационной системы управления водно-энергетическими режимами «Диспетчерский центр-2» ПАО «РусГидро», а именно:

- обеспечения требуемого уровня безопасности и надёжности эксплуатации гидротехнических сооружений и основного оборудования за счет более точного задания ограничений, накладываемых на колебания уровня воды в водохранилищах посредством увеличения точности расчёта возможных водно-энергетических режимов работы ГЭС на всех горизонтах планирования;
- увеличения выработки электроэнергии, повышения эффективности использования водных ресурсов на объектах ГЭС-ГАЭС;
- обеспечения соблюдения требований субъектов системы управления водно-энергетическими режимами Зеленчукской ГЭС-ГАЭС.

Объектом автоматизации являются процессы планирования водно-энергетических режимов Зеленчукской ГЭС-ГАЭС на долгосрочном, среднесрочном, краткосрочном и сверхкраткосрочном горизонте, процессы формирования аналитической и статистической отчетности о режимах Зеленчукской ГЭС-ГАЭС.

Автоматизация планирования водно-энергетических режимов производится с целью достижения максимально возможного уровня выработки ГЭС-ГАЭС, обеспечения требований безопасности эксплуатации ГЭС-ГАЭС, повышения уровня ее рабочей мощности, а также увеличения выручки за счёт оптимизации режимов.

Планирование режимов ГЭС-ГАЭС осуществляется на три основных горизонта: долгосрочный, среднесрочный, краткосрочный горизонты планирования и **дополнительно – сверхкраткосрочный** в связи с расположением объектов ГЭС в паводкоопасной зоне и необходимости включения в контур системы управления автоматических гидрологических комплексов (АГК) для контроля в реальном масштабе времени гидрометеорологических факторов, определяющих формирование поверхностного стока в бассейнах водных объектов. Это также позволяет использовать в составе рассматриваемого компонента гидродинамических моделей для прогнозных расчетов, работающих в реальном масштабе времени. Данный компонент дает возможность повысить точность гидрологических прогнозов, эффективность управления объектами и сооружениями ГЭС-ГАЭС, а также уровень гидрологической и технической безопасности в зоне влияния Зеленчукской ГЭС-ГАЭС.

Долгосрочный горизонт планирования выбирается в соответствии с годовым циклом работы Зеленчукской ГЭС-ГАЭС и соответствует периоду от начала каждой текущей декады до конца водохозяйственного года с минимальным шагом дискретности – одна декада.

Среднесрочный горизонт планирования соответствует периоду от одной декады до одного квартала с минимальным шагом дискретности – одни сутки.

Краткосрочный горизонт планирования соответствует периоду от суток до декады с минимальным шагом дискретности – один час (или полчаса, в случае наличия требований функционального заказчика).

Сверхкраткосрочный горизонт планирования соответствует периоду от одного часа до одних суток с минимальным шагом дискретности – 10 минут (в штатном режиме) или 1-5 минут в случае возникновения неблагоприятных, опасных явлений и ЧС.

Предлагаемая подсистема ПУВЭР Зеленчукской ГЭС-ГАЭС (в составе выделенных компонентов) должна обеспечивать:

- автоматизированную поддержку деятельности, связанную с принятием решений при планировании водно-энергетических режимов Зеленчукской ГЭС-ГАЭС, нацеленных на повышение эффективности использования водных ресурсов;
- обеспечить гидрологическую и техническую безопасность в зоне влияния ГЭС-ГАЭС, в том числе создать эффективный механизм раннего предупреждения и оповещения должностных лиц, населения, служб спасения в случае угрозы ОЯ и ЧС.
- сбор, структурирование и ведение информации для анализа, формирование аналитической и статистической отчетности о водных и энергетических режимах ГЭС-ГАЭС, состоянии безопасности на водных объектах и гидротехнических сооружениях.

### **3 Структура и функционал предлагаемой подсистемы управления водно-энергетическими режимами (ПУВЭР) Зеленчукской ГЭС-ГАЭС**

Подсистема включает следующие информационно-технологические компоненты:

1. Измерительный комплекс параметров окружающей среды (сенсорный уровень).
2. Технология сбора и передачи информации, ведения архивов данных.
3. Технология аналитической обработки параметров окружающей среды, прогноза притока к створам гидроузлов с оценкой опасных гидрологических явлений, планирования водно-энергетических режимов ГЭС-ГАЭС, технологических режимов работы комплекса ГТС.
4. Технология представления (визуализации) аналитической, прогнозной и текущей информации для конечного пользователя с созданием АРМ и специального интерфейса для службы оперативных режимов ГЭС-ГАЭС и функционального заказчика.
5. Технология оперативного информирования о возможных изменениях плановых параметров и технологических режимов объектов ГЭС-ГАЭС, оповещения должностных лиц и сил реагирования об угрозах неблагоприятных и опасных гидрологических явлений.

#### ***Технологический комплекс 1. Измерительный комплекс параметров окружающей среды (сенсорный уровень).***

Реализует технологию измерения параметров окружающей среды (сенсорный уровень) на сети автоматизированных гидрологических комплексов (АГК), размещаемых на водосборной площади и в руслах рек. Основные физические величины, контролируемые на АГК: уровень воды в реке (водоеме), количество и тип осадков за промежуток времени, сила и направление ветра, влажность атмосферы, атмосферное давление, температура воздуха и др.

В основе реализации данной технологии лежит измерительный комплекс «ЭКОР». Указанный комплекс опционально может включать датчики измерения уровней рек и открытых водоемов, а также осадки в точках измерения (в т.ч. в твердой и жидкой фазе) и другие метеорологические параметры (температура, сила и направление ветра, текущая влажность воздуха, атмосферное давление и др.).

Данный измерительный комплекс внесён в Государственный реестр средств измерения (Свидетельство RU.C.34.021.A №48573 от 21.11.2012) и рекомендован также, как и его модернизированный аналог "ЭМЕРСИТ" по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений. Программное обеспечение указанных измерительных комплексов и центра сбора информации внесено в Государственный реестр программ для ЭВМ.

#### ***Технологический комплекс 2. Технология сбора и передачи информации, ведения архивов данных.***

Данная технология реализует:

- сбор и передачу данных о состоянии окружающей среды на сети АГК;
- сбор и обработку данных из информационных систем (Росгидромет, другие источники) о срочных прогнозах стока и метеоданных, состоянии поверхности почв и снежного покрова;
- сбор и обработку данных о текущих водно-энергетических режимах ГЭС-ГАЭС и работе комплекса ГТС (АСУ ТП Зеленчукской ГЭС-ГАЭС);
- сбор и обработку данных о плановых показателях работы ГЭС-ГАЭС на заданный горизонт планирования (служба оперативных режимов, АСУТП Зеленчукской ГЭС-ГАЭС);

- ведение баз данных и архивов.

В качестве основы для построения подсистемы сбора и передачи данных от АГК используется специализированный контроллер «Эмерсит-М40», спроектированный ООО «Эмерсит». Для экономии электроэнергии, в состав контроллера входит управляемый блок питания (включающий в т.ч. солнечный модуль), который подключает измерительные системы, датчики и системы связи только на время измерения или передачи данных. Для ведения оперативного архива данных используется накопитель на SDCard. Для связи с измерительными системами используются интерфейсы SDI-12 и RS485, GPIO (счетный вход). Передача данных от поста к серверу может производиться по проводным сетям (Ethernet) и каналам связи сотовых или спутниковых операторов. Для организации связи по спутниковым каналам используются низкоорбитальные группировки. Модем сотовой связи поддерживает работу с двумя операторами (в новой модификации с четырьмя) для надежности передачи данных.

Дополнительно осуществляется интерфейс для получения оперативных данных Росгидромета по прогнозу элементов весенне-летнего стока, квартально-месячных прогнозах стока, недельных, суточных и часовых прогнозах метеоданных, параметрах основных стокообразующих факторов, таких как: запасы воды в снеге, осеннее увлажнение почвогрунтов, глубина промерзания почвы, текущая влажность атмосферы и почв. Недостающие данные могут быть получены из других открытых источников, либо оцениваются на основе модельных расчетов.

Сбор и обработка данных о текущих водно-энергетических режимах ГЭС-ГАЭС, технологических режимах работы комплекса ГТС, а также о плановых показателях работы ГЭС-ГАЭС на заданный горизонт планирования осуществляется на основе интерфейса с АСУ ТП Зеленчукской ГЭС ГАЭС и службой оперативных режимов. Для оперативных дежурных Зеленчукской ГЭС-ГАЭС и функционального заказчика предполагается разработка АРМ с полным функционалом подсистемы на основе web-интерфейса.

***Технологический комплекс 3. Технология аналитической обработки параметров окружающей среды, прогноза притока к створам гидроузлов с оценкой опасных явлений, планирования водно-энергетических режимов ГЭС-ГАЭС, технологических режимов работы комплекса ГТС.***

Данная технология включает программные средства и модельный аппарат, позволяющие выполнить:

- аналитическую обработку поступающей информации, сравнительный и статистический анализ данных, оценку текущих режимов в соответствии с заданными критериями;
- прогноз притока к створам гидроузлов в виде гидрографов с заданной детализацией и горизонтом планирования;
- оценку риска неблагоприятных (НЯ) и опасных (ОЯ) гидрологических явлений в створах гидроузлов;
- планирование водно-энергетических режимов ГЭС-ГАЭС, включая комплекс гидротехнических сооружений: ВГУ, перебросной канал, БСР, нижний бассейн, стационарный узел и оборудование;
- моделирование гидрологического режима в нижних бьефах водозаборных гидроузлов с оценкой риска неблагоприятных и опасных явлений;
- моделирование гидрологического режима на участке р.Кубань ниже сброса отработанных расходов Зеленчукской ГЭС-ГАЭС для установления безаварийного пропуса

поступающих расходов через плотину Усть-Джегутинского гидроузла в компенсационном режиме, оценки риска НЯ и ОЯ.

Вся поступающая от постов наблюдения АГК информация анализируется сервером и пишется в базу данных. Пост наблюдения получает квитанцию об успешной доставке сообщения. Служба аналитической обработки данных, получив извещение о поступлении новой порции измерений, производит сравнение измерений с заданными критериями и осуществляет расчет прогноза расхода (уровня) воды в заданных створах. Если прогнозируемый уровень воды превышает отметки НЯ (ОЯ), то производится расчет возможной зоны подтопления и вероятностный расчет ущерба (риска). В случае обнаружения любого вида опасности, аналитическая служба извещает об этом подсистему оповещения должностных лиц.

*Модельный комплекс подсистемы состоит из следующих модулей:*

- модуль прогнозирования притока к створам ВГУ на долгосрочный период планирования (горизонт прогнозирования – от начала текущей декады до конца водохозяйственного года с минимальным шагом дискретности – одна декада);

- модуль прогнозирования притока к створам ВГУ на среднесрочный период планирования (горизонт прогнозирования – от одной декады до 1-го квартала с минимальным шагом дискретности – одни сутки);

- модуль прогнозирования притока к створам ВГУ на краткосрочный период планирования (горизонт прогнозирования – от одних суток до 1-й декады с минимальным шагом дискретности – один час или полчаса, в случае наличия требований функционального заказчика);

- модуль прогнозирования притока к створам ВГУ на сверхкраткосрочный период (горизонт прогнозирования – от 1-часа до 1-х суток с минимальным шагом дискретности – 10 минут – в штатном режиме или 1-5 минут в случае возникновения НЯ или ОЯ);

- модуль планирования режимов работы ВГУ и перебросного деривационного канала на основе прогноза притока к ВГУ и (или) плана выработки ГЭС-ГАЭС;

- модуль прогнозирования гидрологического режима в нижних бьефах водозаборных гидроузлов с оценкой риска неблагоприятных и опасных явлений;

- модуль планирования режимов работы системы напорной деривации и водно-энергетических режимов станционного узла ГЭС-ГАЭС;

- модуль гидродинамического моделирования гидравлического режима на участке р. Кубань в нижнем бьефе Зеленчукской ГЭС-ГАЭС и режима работы Усть-Джегутинского водохранилища.

Представленный модельный комплекс включает набор компьютерных моделей: имитационных, статистических, аналитических, оптимизационных.

В совокупности представленный модельный комплекс строится на основе системы имитационных моделей функционирования Зеленчукской ГЭС-ГАЭС различной сложности и детальности.

Блочная структура системы имитационных моделей представлена на рис.2.

## Блочная структура комплекса имитационных моделей ПУВЭР Зеленчукской ГЭС-ГАЭС

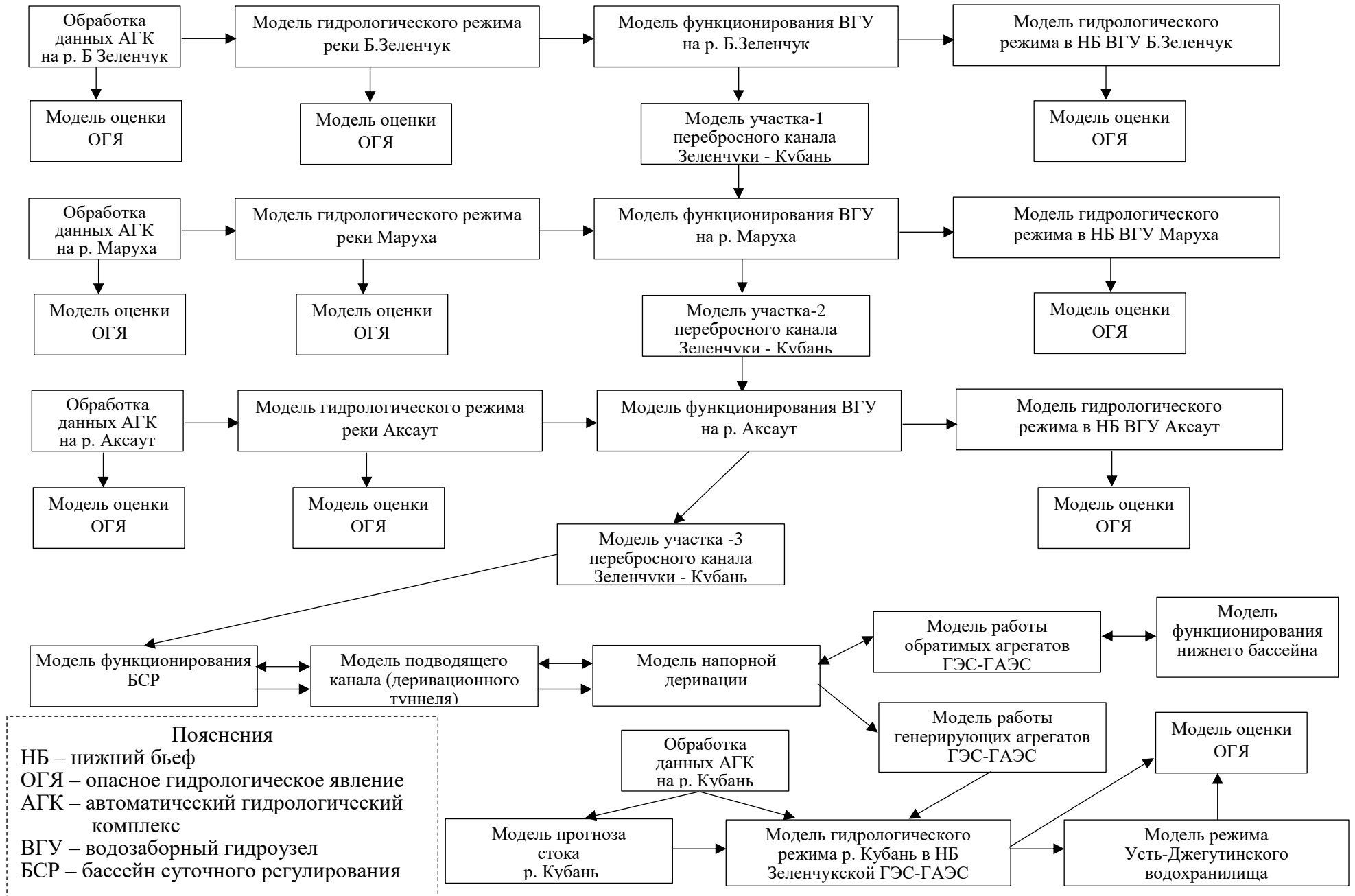


Рис.2. Блочная структура комплекса имитационных моделей ПУВЭР Зеленчукской ГЭС-ГАЭС



Рис.3 Схема прогноза гидрографа с пошаговой коррекцией



Рис.4. Схема управления оперативными водно-энергетическими режимами



### *1. Модуль прогнозирования притока на долгосрочный период планирования*

Модуль предназначен для определения прогнозного притока воды к створам водозаборных гидроузлов на реках Бол. Зеленчук, Маруха и Аксаут. Результатом работы модуля являются помесячные и подекадные гидрографы притока на долгосрочный период планирования. Осуществляется прогнозирование притока к створам гидроузлов на основе данных по прогнозу элементов весенне-летнего стока по опорному створу Усть-Джегутинского гидроузла, предоставляемых Росгидрометом, с их пересчётом для створов ВГУ Зеленчукской ГЭС-ГАЭС и выбранных из архива прошлых лет гидрографов-аналогов. Расчётный гидрограф уточняется в режиме пошаговой коррекции по мере фактического развития гидрометеорологической обстановки по прогнозным данным и наблюдениям на АГК.

### *2. Модуль прогнозирования притока на среднесрочный период планирования*

Модуль предназначен для определения прогнозного притока к створам водозаборных гидроузлов, определённого на основе алгоритма прогнозирования притока с использованием прогнозных данных Росгидромета и накопленных архивных данных о притоке к створам гидроузлов за предыдущие годы. Результатом является гидрограф притока к створу гидроузла на среднесрочный период планирования с посуточным шагом. Расчётный гидрограф уточняется в режиме пошаговой коррекции на основе фактического развития гидрометеорологической обстановки, наблюдениям на АГК и использования статистических моделей.

### *3. Модуль прогнозирования притока на краткосрочный период планирования*

Модуль предназначен для определения прогнозного притока к створам водозаборных гидроузлов, определённого на основе алгоритма прогнозирования притока с использованием краткосрочных прогнозных метеоданных Росгидромета и данных АГК на текущий период. Модуль строится на основе модели формирования речного стока с рассредоточенными параметрами с заданными начальными условиями, имитирующими процессы стокообразования на площади водосбора ВГУ, включая осадки, инфильтрацию, испарение, водный режим почв, формирование снежного покрова и снеготаяние, формирование поверхностного, внутрипочвенного, грунтового и речного стока. Результатом является гидрограф притока к створу гидроузла на краткосрочный период планирования с часовым (получасовым) шагом. Расчётный гидрограф уточняется в режиме пошаговой коррекции по мере фактического развития гидрометеорологической обстановки и данных АГК.

### *4. Модуль прогнозирования притока на сверхкраткосрочный период планирования*

Модуль предназначен для прогнозирования притока к створам ВГУ в случае прогноза и фактического возникновения опасных гидрологических явлений (ОГЯ) и управления в условиях ЧС. Модуль позволяет прогнозировать приток к створам ВГУ с заблаговременностью от 1-х часа до 1-х суток в режиме пошаговой коррекции на скользящем временном отрезке.

Модуль также будет использован для повышения эффективности управления ВГУ с учётом использования оперативных данных о прогнозируемой приточности. Модуль строится на основе автоматизированной сети гидрологических и метеорологических наблюдений (АГК) стокообразующих факторов на водосборной площади, фактических расходов в вышерасположенных створах и использования этих данных в гидродинамических моделях формирования стока в бассейне и руслового добегания расходов к створам ВГУ. Результатом является гидрограф притока к створу гидроузла на сверхкраткосрочный период планирования с 10-ти минутным шагом (1-5 минутным при наступлении НЯ или ОЯ).

*5. Модуль планирования режимов работы ВГУ и перебросного деривационного канала на основе прогноза притока к ВГУ и (или) плана выработки электроэнергии на ГЭС-ГАЭС*

Модуль предназначен для определения режимов работы водохранилищ ВГУ и элементов перебросного деривационного канала (ПДК) в зависимости от прогнозируемого притока и планового режима ГЭС-ГАЭС, добегающих расходов по системе ПДК с определением (как конечной задачи) суммарного гидрографа поступления воды в бассейн суточного регулирования (БСР) станционного узла ГЭС-ГАЭС на каждом шаге расчетов. Задачами модуля являются:

- определение самотечного забора воды из водохранилищ ВГУ в перебросной канал;
- определение холостых сбросов в нижний бьеф (НБ) ВГУ;
- определение подачи расходов в рыбоходные каналы;
- подготовка данных для расчета гидравлического режима участков нижних бьефов ВГУ при неустановившемся режиме и пропуске экстремальных расходов;
- расчет гидравлического режима работы объектов перебросного деривационного канала (определение расходов и времени добегающих, оценка фильтрационных потерь по длине канала), формирование объемов и гидрографа поступления воды в БСР на планируемые периоды.

Расчет режимов ВГУ и ПДК осуществляется на основе имитационных моделей водного (водохозяйственного) баланса водохранилищ и гидравлики ГТС, а также моделей гидродинамики открытого русла и различных элементов ПДК (открытых каналов, гидротехнических тоннелей, дюкеров, трубопроводов) для оценки добегающих расходов по ПДК и оценки его пропускной способности на различных участках.

Результатом работы модуля являются, в зависимости от горизонта планирования и расчетного шага, детализированные гидрографы водоподдачи в ПДК для отдельных ВГУ и рыбоходы, холостых сбросов в НБ, поступления воды в БСР, а также расходы, уровни и возможные площади затопления (подтопления) участков НБ гидроузлов на наиболее ответственных участках и в населенных пунктах.

Расчеты выполняются на скользящем временном отрезке (в режиме пошаговой коррекции) в зависимости от решаемой задачи (долгосрочного, среднесрочного, краткосрочного и сверхкраткосрочного) планирования.

Модуль предусматривает решение, как прямой, так и обратной задачи:

а) планирование «сверху» в соответствии с утвержденным планом работы ГЭС-ГАЭС, определяющим необходимость обеспечить хронологически заданный гидрограф подачи воды на гидроагрегаты, поступления воды в БСР и соответствующие режимы работы ВГУ на заданной временной развертке;

б) планирование «снизу», т.е. определение возможного забора воды в ПДК и гидрографа подачи в БСР и на гидроагрегаты, отталкиваясь от прогноза притока воды к ВГУ для определения планового графика выработки электроэнергии и формирования предложений для Системного оператора ЕЭС.

Расчеты прогноза притока и режимов работы ГТС рассчитываются на каждом временном шаге для трех расчетных вариантов с учетом допустимой ошибки прогноза (при наличии статистической информации): для усредненного прогнозного гидрографа, а также для его верхней и нижней огибающих с учетом вероятностного распределения ошибок прогнозных показателей.

*6. Модуль прогнозирования гидрологического режима в нижних бьефах водозаборных гидроузлов с оценкой риска неблагоприятных и опасных явлений.*

Модуль предназначен для формирования краткосрочного и сверхкраткосрочного прогноза расходов, уровней воды и возможных зон затопления на участках нижних бьефов ВГУ, а также своевременного информирования и оповещения должностных лиц и населения об угрозах неблагоприятных и опасных явлений.

Расчеты выполняются на краткосрочном горизонте планирования (от 1-х суток до 1 декады) с почасовым (получасовым) интервалом и на сверхкраткосрочном горизонте (от 1 часа до 1-х суток) с 10 или 1-5 минутным интервалом в зависимости от скорости изменения расходов, поступающих в нижний бьеф ВГУ, определяемых фактической или расчетной гидрологической обстановкой в верхнем бьефе ВГУ.

По результатам расчетов на каждом шаге выполняется оценка и прогноз наступления неблагоприятных и опасных гидрологических явлений в местах проживания и жизнедеятельности населения.

Задача решается на основе математических моделей гидродинамики открытого русла с распределенными параметрами с учетом начальных и граничных условий. Задание и корректировка на каждом временном шаге начальных и граничных условий осуществляется по результатам оценочных расчетов модулей 3, 4 и 5, а также оперативных данных о фактических и планируемых сбросах в нижние бьефы ВГУ.

Расчеты выполняются в режиме скользящей коррекции по фиксируемым изменениям начальных и граничных условий с использованием результатов текущих расчетов, данных АГК в вышерасположенных створах, об изменении режима работы ВГУ.

Система моделей гидравлического режима нижнего бьефа включает несколько взаимосвязанных блоков моделей:

- а) модели поверхностного стока с участков водосбора;
- б) модели руслового добега (кинематической волны) неустановившегося водного потока с учетом сбросов ВГУ, бокового притока и различных факторов, влияющих на русловую динамику;
- в) модели затопления (подтопления) прилегающих участков при выходе воды на пойму;
- г) расчет индекса гидрологической опасности и вероятностного ущерба (риска).

*7. Модуль планирования режимов работы системы напорной деривации и водно-энергетических режимов стационарного узла ГЭС-ГАЭС.*

Модуль предназначен для планирования водно-энергетических режимов ГЭС-ГАЭС на долгосрочном, среднесрочном и краткосрочном горизонте с учетом специфики каждого уровня планирования и применяемых методик прогнозирования водности и планирования водно-энергетических режимов. Предусматривается решение как прямой, так и обратной задачи для каждого из горизонтов планирования.

Модуль функционирует на основе решения задач водного баланса по расчету режимов наполнения-сработки БСР (с учетом поступления воды по перебросному деривационному каналу и режима подачи воды в напорную деривацию на агрегаты ГЭС-ГАЭС по согласованному графику), режима работы нижнего бассейна, оптимизации водно-энергетических режимов ГЭС-ГАЭС по заданным критериям. В составе модуля предусматриваются следующие функции:

- расчет планового гидрографа водоподдачи в БСР по перебросному каналу;

- расчет динамики уровней БСР (конечный и средний за интервалы) за период планирования;
- расчет текущего и планируемого графика наполнения и сработки БСР, режима нижнего бассейна (НБ) ГАЭС;
- расчет текущего расхода и планируемого гидрографа водоподачи на агрегаты ГЭС-ГАЭС (суммарно, в отдельности для агрегатов ГЭС, ГАЭС, для каждого агрегата);
- расчет почасового графика выдачи мощности и выработки (суммарно, в отдельности для ГЭС, ГАЭС, для каждого агрегата);
- расчет графика и режима работы ГАЭС в насосном режиме;
- выполнение оптимизационных расчетов по заданному критерию и определение водно-энергетических характеристик ГЭС-ГАЭС;
- осуществление мониторинга текущих водно-энергетических режимов, оценки их отклонения от плановых режимов на краткосрочном горизонте планирования.

Модуль строится на основе моделей водного баланса водохранилищ и гидравлики сооружений. В процессе расчетов учитывается расчетный (плановый) гидрограф поступления воды в БСР, потери на фильтрацию и испарение, гидрограф подачи воды в напорную деривацию на агрегаты ГЭС-ГАЭС.

В составе расчетных моделей предусматривается блок оптимизации водно-энергетических режимов с учетом следующих критериев: а) максимум выработки электроэнергии, б) максимум выручки от продажи электроэнергии с учетом затрат на покупку электроэнергии при работе ГАЭС в насосном режиме.

Оптимизации водно-энергетических режимов ГЭС-ГАЭС осуществляется с учетом:

- предварительного или утвержденного СО ЕЭС графика выдачи мощности (выработки электроэнергии);
- ограничений на режимы работы ГЭС-ГАЭС:
  - а) по максимальному и минимальному объему располагаемых водных ресурсов для возможности водозабора и подачи расхода на агрегаты с учетом времени добегания и пропускной способности перебросного канала в разрезе интервалов времени внутри суток;
  - б) динамики уровней и ограничений по объемам водохранилищ ВГУ, емкости БСР и нижнего бассейна;
  - в) по максимальной и минимальной мощности и выработки ГЭС-ГАЭС;
  - г) по допустимой рабочей мощности гидроагрегатов.
- суточных ценовых графиков на реализуемую и покупаемую электроэнергию для оптимизации по выручке;
- фактических запасов воды в системе на начало расчёта;
- показателей системы управления генерирующим оборудованием (ГРАМ).

Результатом расчёта модуля будут варианты режимов работы ГЭС-ГАЭС, включающие следующие показатели:

- оптимальные значения параметров, с учётом располагаемых водных ресурсов и заданного критерия, режимов работы ВГУ и других ГТС в течение планируемого периода;
- оптимальный состав генерирующего оборудования;
- средние на каждые сутки и часы суток уровни и объемы воды в водохранилищах ВГУ, БСР и НБ за период расчёта;
- средние на каждые сутки и часы суток расходы воды в нижние бьефы ВГУ и рыбоходные каналы за период расчёта;
- средние на каждые сутки и часы суток расходы воды через агрегаты ГЭС-ГАЭС в генерирующем режиме за период расчёта;
- средние на каждые сутки и часы суток расходы воды через агрегаты ГАЭС в насосном режиме за период расчёта;
- располагаемая мощность на каждые сутки и часы суток и пиковая мощность ГЭС-ГАЭС;
- оптимальный, с учётом выбранного критерия, почасовой (получасовой) график рабочей мощности ГЭС-ГАЭС на ближайшие сутки, пятидневку, декаду, месяц, квартал.

*8. Модуль гидродинамического моделирования гидравлического режима на участке р. Кубань в нижнем бьефе Зеленчукской ГЭС-ГАЭС и режима работы Усть-Джегутинского водохранилища*

Модуль предназначен для расчета гидрологического режима р. Кубань в нижнем бьефе при смене режимов работы ГЭС-ГАЭС, фактической водности реки и поступающих расходов от стационарного сброса для планирования режима компенсационного регулирования Усть-Джегутинского гидроузла в целях обеспечения безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений.

Задача решается на основе математической модели гидродинамики открытого русла с распределенными параметрами с учетом начальных и граничных условий. Задание и корректировка начальных условий осуществляется по данным АГК, установленным непосредственно выше и ниже по течению от сброса ГЭС-ГАЭС.

Граничные условия в начальном (верхнем) створе определяются по данным измерения АГК, сверхкраткосрочному прогнозу изменения расходов и уровней в вышерасположенном створе, а также планового графика сброса вод от Зеленчукской ГЭС-ГАЭС для заданного цикла расчетов и пересчитываются в режиме пошаговой коррекции.

Граничные условия в нижнем створе определяются плановыми расходами сброса в р. Кубань через Усть-Джегутинский гидроузел, подачей воды в БСК, режимом уровней у плотины и корректируются (оптимизируются) в ходе итеративных имитационных расчетов по заданному критерию с целью минимизации колебаний уровней у плотины при неустановившемся режиме (компенсационное регулирование) с учетом времени добега расходов.

Расчеты выполняются на сверхкраткосрочном периоде планирования с временным шагом от 10 до 1 минуты со скользящей коррекцией по фиксируемым изменениям начальных и граничных условий с использованием результатов текущих расчетов, данных АГК, данных об изменении режима работы ГЭС-ГАЭС.

Основные задачи, решаемые с помощью данного модуля:

- сверхкраткосрочный прогноз колебания расходов и уровней на рассматриваемом участке р. Кубань в зависимости от суточного графика работы Зеленчукской ГЭС-ГАЭС;
- расчет гидрографа притока к Усть-Джегутинскому водохранилищу;
- расчет изменения полной, полезной, динамической емкости, текущей отметки уровня у плотины и кривой свободной поверхности Усть-Джегутинского водохранилища;
- оптимизация режима Усть-Джегутинского водохранилища по заданным критериям (сброс в р. Кубань, подача воды в БСК, режим уровней водохранилища)
- информационное взаимодействие службы оперативных режимов ГЭС-ГАЭС и диспетчерской службы ФГБУ УЭБСК.

Результатом расчёта модуля будут:

- сверхкраткосрочный прогноз с заблаговременностью не менее 3-часов времени добегания расходов к Усть-Джегутинскому гидроузлу, как в случае смены режимов ГЭС-ГАЭС, так и значительного изменения водности р. Кубань при наступлении естественных паводков и возникновения опасных гидрологических явлений;
- гидрологическая обстановка на промежуточном участке и сверхкраткосрочный прогноз ее изменения;
- варианты режимов работы Усть-Джегутинского гидроузла и рекомендации по их оптимизации в целях безопасной эксплуатации ГТС.

**Технологический комплекс 4. Технология представления (визуализации) аналитической, прогнозной и текущей информации для конечного пользователя с созданием АРМ и специального интерфейса для службы оперативных режимов ГЭС-ГАЭС и функционального заказчика.**

Визуализация информации о текущем, прогнозном состоянии водных объектов, ГТС, планируемых и расчетных водно-энергетических режимах ГЭС-ГАЭС осуществляется с использованием web-технологий. Предусматривается возможность редактирования через web-интерфейс параметров имитационной модели.

Пользователями подсистемы являются инженеры оперативной службы филиала ПАО «РусГидро» «Карачаево-Черкесский филиал» (осуществляют ввод данных в систему и формируют отчёты с набором аналитических функций, осуществляют отправку макетов на электронный адрес Системы «Диспетчерский центр» ПАО РусГидро, проводят расчёты водно-энергетических режимов и определение сценариев водного режима в рамках филиала), специалисты функционального заказчика управления режимами (формируют сводные отчёты, осуществляют расчёты водно-энергетических режимов и определение сценариев водного режима и располагаемых водных ресурсов ГЭС-ГАЭС), специалисты Департамента информационных технологий исполнительного аппарата.

Для пользователей подсистемы предусматриваются АРМ с расширенным функционалом сбора информации для следующих специалистов: инженер, гидролог, специалист Исполнительного аппарата.

Для случаев возникновения неблагоприятных и опасных гидрологических явлений для задач сверхкраткосрочного прогнозирования с использованием данных АГК и модельного блока гидродинамического моделирования предусматривается дополнительный функционал и группа авторизованных пользователей – это оперативные дежурные ЕДДС муниципальных образований, подразделений МЧС, сил спасения и пр.

**Технологический комплекс 5. Технология оперативного информирования о возможных изменениях плановых параметров и технологических режимов объектов ГЭС-ГАЭС, оповещения должностных лиц и сил реагирования об угрозах неблагоприятных и опасных гидрологических явлений.**

В составе подсистемы управления водно-энергетическими режимами Зеленчукской ГЭС-ГАЭС реализуется мониторинг и технология информирования пользователей о текущих и возможных отклонениях от плановых режимов на уровне, как отдельных объектов гидроэнергетического комплекса, так и конечных показателей работы ГЭС-ГАЭС в плановом периоде с предоставлением соответствующей аналитики.

На основе измерительного комплекса параметров окружающей среды на АГК и модельного комплекса сверхкраткосрочного прогнозирования гидрологического режима водных объектов реализуется система раннего предупреждения и оповещения в случае возникновения угрозы НЯ и ОЯ.

Система оповещения, получив от службы аналитической обработки извещение о наступлении (или вероятном наступлении) опасного или неблагоприятного явления, в зависимости от степени угрозы (риска) и места возникновения тревоги, задействует соответствующий сценарий оповещения. В качестве каналов доставки тревожных сообщений используются сети стационарных и сотовых операторов связи. Сообщения являются голосовыми и формируются посредством синтезатора речи.

Для дублирования механизмов доставки тревожных сообщений предусматриваются еще два способа доставки сообщений. Первый – использует специальные светозвуковые приборы, устанавливаемые в помещениях, где находятся оперативные дежурные. Светозвуковой прибор получает извещение об опасности от сервера гидрологических прогнозов и непосредственно от поста наблюдения в виде SMS сообщения. Второй резервный канал связи доставки тревог реализован непосредственно на посту наблюдения. Извещение доставляется в виде SMS сообщений ограниченному количеству абонентов.