

Генеральный проектировщик Нижне-Бурейской ГЭС ОАО «Ленгидропроект»

Строительство Нижне-Бурейской ГЭС является логическим продолжением работ по освоению гидроэнергетических ресурсов Дальнего Востока, где сосредоточено более 80% всего гидропотенциала России.

Проект разработан ОАО «Ленгидропроект», строительство ведется ОАО «РусГидро» с 2010 года, пуск первых гидроагрегатов запланирован на 2016 год.



Российская Федерация является страной, обладающей вторым по величине в мире гидроэнергетическим потенциалом — 852 млрд кВт·ч в год.

Наиболее богатыми гидроэнергетическими ресурсами регионами страны являются Сибирь и Дальний Восток. В настоящее время на территории Дальневосточного и Сибирского федеральных округов успешно функционируют 10 гидроэлектростанций, среди них крупнейшие в России Саяно-Шушенская, Красноярская, Братская, Усть-Илимская ГЭС, идет строительство еще трех ГЭС — Богучанской, Усть-Среднеканской и Нижне-Бурейской.

Нижне-Бурейская ГЭС, расположенная в 90 км от Бурейской ГЭС ниже по течению рек Бурей, запроектирована как составная часть единого Бурейского энергетического комплекса. При этом Бурейская ГЭС, как головная станция, работает в соответствии со всеми вариантами графика нагрузки, а Нижне-Бурейская ГЭС, являясь ее контррегулятором, предназначается для работы по базисной части графика.

Проект Нижне-Бурейской ГЭС на реке Бурей был разработан институтом «Ленгидропроект» в 1985 году, прошел все необходимые экспертизы и был утвержден в октябре 1986 года, но строительство ГЭС в этот период начато не было.

В 1995 году строительные титулы и сметы затрат на строительство Бурейской и Нижне-Бурейской ГЭС были объединены. В то время лишь частично были выполнены мероприятия по переселению людей из зоны затопления водохранилищем Нижне-Бурейской ГЭС, одновременно являющейся нижним бьефом Бурейской ГЭС. В 2003 году строительные титулы и сметы затрат по двум станциям были снова разделены, при этом возведение

Бурейской ГЭС было продолжено, а Нижне-Бурейская ГЭС так и осталась в стадии проекта.

К вопросу о строительстве Нижне-Бурейского гидроузла вернулись в 2007 году, когда была начата активная работа по корректировке проекта.

В 2010 году в присутствии председателя Правительства РФ В. В. Путина был заложен первый куб бетона в основные сооружения Нижне-Бурейской ГЭС.

За прошедшее с 1986 года время проект несколько раз корректировался в связи с меняющимися условиями ценообразования, появлением новых нормативных документов и необходимостью выполнения в новых требованиях по безопасности гидроузла.

В откорректированном и утвержденном проекте обоснована замена:

- правобережной земляной плотины на бетонную-гравитационную плотину;
- водосливной плотины с донными отверстиями на водосливную плотину с поверхночным водосливом;
- земляной плотины с супылистым ядром на земляную плотину с супылистым ядром и стеной в грунте в основании адром;
- трех агрегатов по 107 МВт каждый на 4 агрегата по 80 МВт каждый.

В состав строящихся основных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС (рис. 1) входят: водосливная плотина, здание ГЭС, монтажная площадка со вставкой, правобережная бетонная плотина, русловая земляная плотина с супылистым ядром, супылистым ядром, сопрягающий устой, раздельная стенка, правобережная подпорная стенка, пристанционная площадка, производственно-технологический корпус, здание КРУЭ 220 кВ.

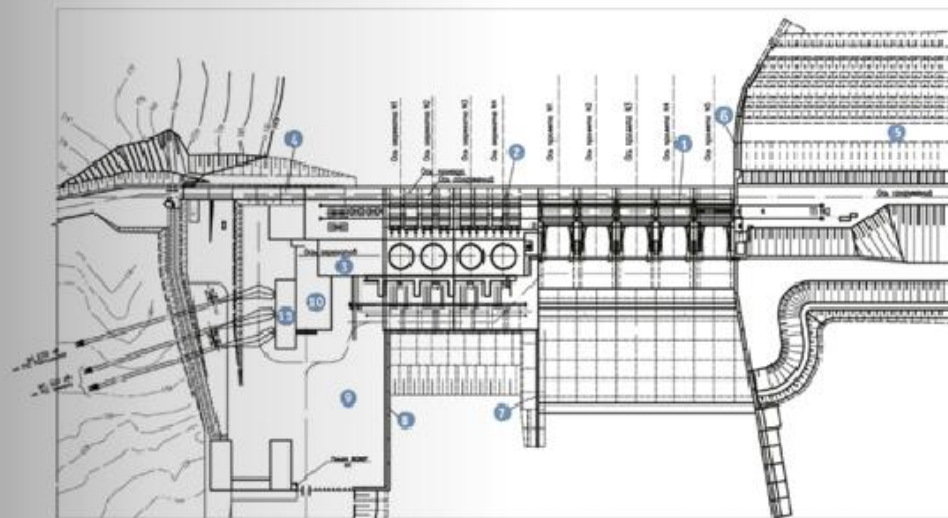


Рис. 1. Основные сооружения Нижне-Бурейской ГЭС.

1 — водосливная плотина; 2 — здание ГЭС; 3 — монтажная площадка со вставкой; 4 — правобережная бетонная плотина; 5 — русловая земляная плотина с супылистым ядром; 6 — сопрягающий устой; 7 — раздельная стенка; 8 — правобережная подпорная стенка; 9 — пристанционная площадка; 10 — производственно-технологический корпус; 11 — здание КРУЭ 220 кВ.

На гребне основных сооружений расположено служебный проезд. Монтажная площадка со вставкой врезана в правый берег и входит в напорный фронт гидроузла. Со стороны правого берега к монтажной площадке примыкает правобережная бетонная плотина, со стороны русла — русловое здание ГЭС. К дамбе ГЭС со стороны русла примыкает водосборная плотина. Со стороны нижнего бьефа между зданием ГЭС и водосборной плотиной размещается раздельная стенка. Между водосборной плотиной и русловой земляной плотиной располагается сопрягающий устой, выполненный со стороны верхнего и нижнего бьефов в виде струенправаляющей стенки, обеспечивающей плавный вход и выход потока. Земляная плотина имеет прямолинейное в плане очертание. На правом берегу ниже правобережной бетонной плотины организована пристанционная площадка.

Строительство Нижне-Бурейской ГЭС повысит надежность и качество электроснабжения потребителей в ОЭС Востока. Расчеты сравнительной эффективности строительства Нижне-Бурейской ГЭС показывают ее безусловную эффективность по сравнению с альтернативными источниками электроэнергии (тепловой, атомной электростанцией). Нижне-Бурейская ГЭС

может служить дополнительным источником реактивной мощности в регионе. В связи с этим ввод Нижне-Бурейской ГЭС будет способствовать увеличению размеров предельного перетока активной мощности от Бурейской и Зейской ГЭС в восточном направлении с одновременной нормализацией напряжений в дефицитных по реактивной мощности сетях 220 кВ.

К настоящему времени:

- выполнены высоковольтные переключки котлована основных бетонных сооружений;
- завершены основные буровзрывные работы в котловане основных сооружений;
- построены основные и временные автодороги;
- построены производственно-перевалочные базы;
- в бетонные основные сооружения уложено 55 тыс. м³ (работы ведутся на сопрягающем устье, глухой и водосборной плотинах, монтажной площадке и на раздельной стенке).

Нижне-Бурейская ГЭС является продолжением работ по освоению гидроэнергетического потенциала Дальнего Востока, начатых еще в 30-е годы прошлого столетия. Наряду с такими ГЭС, как Зейская, Бурейская, которые построены по проектам «Ленгидропроект», Нижне-Бурейская ГЭС даст возможность дополнительного развития Амурской области, обеспечит новые рабочие места и позволит более эффективно использовать водные ресурсы реки Бурей.

Пресс-служба ОАО «Ленгидропроект»



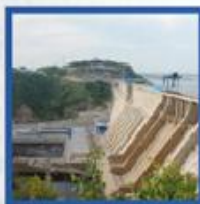
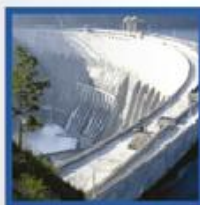
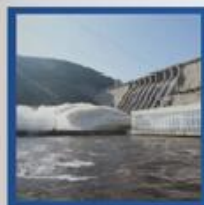
Монтаж Нижне-Бурейской ГЭС, вид с нижнего бьефа



Котлован основных бетонных сооружений Нижне-Бурейской ГЭС (лето 2013 — 2014 годы)



Компьютерная модель Нижне-Бурейской ГЭС, вид с верхнего бьефа



РусГидро
Ленгидропроект

ОАО «Ленгидропроект»
197227, Санкт-Петербург,
пр-т Испытателей, д. 22

Тел.: +7 812 395 29 01
Тел./факс: +7 812 394 44 26
Тел./факс: +7 812 395 29 12
office@lhp.ru

www.lhp.rushydro.ru

Проектно-изыскательский институт ОАО «Ленгидропроект» занимает одну из лидирующих позиций в области проектирования гидроэнергетических и водохозяйственных объектов и выполняет полный комплекс услуг по проектированию и авторскому надзору за строительством гидротехнических сооружений на территориях с особо сложными геолого-климатическими условиями.

За все время работы по проектам института построены, восстановлены и реконструированы более 90 гидроэлектростанций в России и ближнем зарубежье суммарной мощностью 24 500 МВт. Крупнейшие ГЭС — Саяно-Шушенская (6400 МВт с арочно-гравитационной плотиной высотой 242 м), Чиркейская (1000 МВт с арочной плотиной высотой 232 м), Зейская (1290 МВт с массивно-контрфорсной плотиной высотой 115 м), Красноярская (6000 МВт с плотиной гравитационного типа высотой 124 м), Колынская (900 МВт с грунтовой плотиной высотой 130 м, возведенной в условиях вечной мерзлоты).

Построены и успешно эксплуатируются ГЭС в Африке, Азии, Латинской Америке: ГЭС Шикапа (Ангولا), ГЭС Дадиян-Кова (Нигерия), ГЭС Балитела (Индия), ГЭС Бхакра (Индия), ГЭС Сальто Гранде (Аргентина), ГЭС Пьядраль-Агила (Аргентина) и другие.

«Ленгидропроект», как генпроектировщик большого числа гидротехнических объектов, продолжает вести работы по их сопровождению. В архивах института хранится многочисленная проектная документация, что позволяет эффективно решать возникающие в процессе эксплуатации объекта задачи. Специалисты ОАО «Ленгидропроект» участвуют в комиссиях по обследованию состояния оборудования и сооружений, разрабатывают проекты повышения надежности сооружений. Выполняются декларации безопасности по существующим объектам. Также ведутся разработки по разделам охраны окружающей среды, оценки воздействия на окружающую среду реконструкций гидротехнических сооружений и оборудования, правил использования водных ресурсов водохранилищ и многое другое.

В настоящее время по проектам института строятся Усть-Среднеканская, Нижне-Бурейская, Гоцатлинская ГЭС. За последние пять лет специалистами института была подготовлена проектная документация по ряду перспективных проектов, в их числе Нижне-Курейская ГЭС.

Ведется разработка проектной и рабочей документации комплексной модернизации действующих ГЭС, генеральным проектировщиком которых является «Ленгидропроект» — Зейской, Волгинской, Новосибирской и др.

Кроме многочисленных ГЭС, плотин и водосборов, на счету института реализация уникальных инженерных объектов. Особый вклад «Ленгидропроект» внес в создание Комплекса защитных сооружений города Санкт-Петербурга от наводнений. С 1967 года институт является генеральным проектировщиком этого стратегически важного объекта, введенного в эксплуатацию в 2011 году. В настоящий момент начата реализация комплексного проекта реконструкции существующих сооружений и строительства новых объектов Волго-Балтийского водного пути.

Нижне-Бурейская ГЭС: начало возведения, основные технические решения



Неретин С. С.

заместитель генерального директора по производству ОАО «Нижне-Бурейская ГЭС»



Боряков А. Н.

ведущий инженер проектно-конструкторского отдела ОАО «Нижне-Бурейская ГЭС»

Район строительства Нижне-Бурейской ГЭС расположен в 84 км от устья реки Бурей и относится к местности горно-таежного типа. Река Бурей является левым притоком реки Амур. Свое начало река берет в отрогах хребта Дуссе-Алинь, находящегося на территории Верхне-Бурейского района Хабаровского края.

Верховья реки Буреи представляют собой горную страну между Буреинским хребтом и хребтом Турана, высота местности — до 2167 м. В верховьях бассейн находится в светло-хвойных лесах. Ниже Бурейской ГЭС горная местность сменяется сопочными грядками высотой до 200 м. Река протекает по Зейско-Бурейской низменности, имеет широкую пойменную долину, сужающуюся на участке створа Нижне-Бурейской ГЭС до 700–800 м. Створ Нижне-Бурейского гидроузла приурочен к Долдыканскому сужению.

В административном отношении район строительства Нижне-Бурейской ГЭС расположен в Бурейском районе Амурской области, в 90 км от Бурейской ГЭС ниже по течению реки Буреи и в 10 км от административного центра Бурейского района — поселка городского типа Новобурейского.



НАЗНАЧЕНИЕ

Основным назначением Нижне-Бурейской ГЭС являются:

- выработка электроэнергии и обеспечение ею потребителей ОЭС Востока;
- выполнение функций контррегулятора: вывершение режимной Бурейской ГЭС для снятия ограничений в режиме ее работы и возможности Бурейской ГЭС вести неограниченное суточное и недельное регулирование мощности от нуля во время ночных провалов нагрузки до полной установленной мощности во время максимальных нагрузок.

Кроме того, строительство Нижне-Бурейской ГЭС позволит:

- ликвидировать зимние подтопления ряда поселков, расположенных в нижнем бьефе Бурейской ГЭС;
- повысить надежность и качество электроснабжения потребителей, находящихся в зоне влияния Нижне-Бурейской ГЭС;
- отказаться от строительства тепловой электростанции, использующей органическое топливо; экономия дорогостоящего дальнопривозного топлива составит около 700 тыс. т.т. в год;
- создать инфраструктуру, обеспечивающую улучшение социальных и экономических условий жизни населения близлежащих районов Амурской области.

В результате строительства Нижне-Бурейской ГЭС Бурейский район получит целый ряд объектов социального назначения, стоимость которых заложена в сводку затрат Нижне-Бурейской ГЭС.

ИСТОРИЯ ПРОЕКТА

1932 год — институт «Гидропроект» провел на реке Бурей реконструкторские и изыскательские работы.

1959 год — институт «Ленгидропроект» разработал «Схему комплексного использования реки Бурей».

1978 год — проведен выбор створа Долдыканского (Нижне-Бурейского) гидроузла в 84,6 км от устья реки Бурей, в 950 м выше устья реки Долдыкан.

1986 год — Министерство электроэнергетики и электрификации СССР утвердило проект Бурейского энергетического комплекса в составе Бурейской ГЭС и контррегулирующей Нижне-Бурейской ГЭС.

2003 год —пуск первого агрегата Бурейской ГЭС, разделение титулов Бурейской и Нижне-Бурейской ГЭС приказом ЯО «ЭЭС России».

2008 год — корректировка проекта Нижне-Бурейской ГЭС с учетом изменения экономических условий, технологий гидростроительства, снижения сметной стоимости строительства.

2010 год — корректировка проекта Нижне-Бурейской ГЭС с учетом новых требований безопасности.

2010 год — закладка первого кубометра бетона в тело плотины Нижне-Бурейской ГЭС.

2011 год — проект Нижне-Бурейской ГЭС прошел государственную экспертизу.

Сентябрь 2010 года по октябрь 2011 года — подготовительный период строительства, создание инфраструктуры строительства: постоянные и временные дороги, маришар, складские базы, водоснабжение, канализация, энергоснабжение, отопление, размещение персонала подрядчиков и заказчика, охрана строительных объектов.

2012 год — по результатам конкурсных процедур определен генподрядчик, им стало ОАО «Трест Гидроинтанк».



Возведение утепленного пола на участке пилежит



Котлован правобережной бетонной плотины. Общий вид



Скальное основание, обработанное до проектных отметок безразличной методикой

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И СТРОИТЕЛЬСТВА, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ОБЪЕКТА



Бетонирование монолитной железобетонной фермы



Бурение скважин буровыми станками Wagner BG 42 и Wagner BG 26



Перемычки котлована основных бетонных сооружений. Вид с водоема быфа

ПОДГОТОВКА СКАЛЬНОГО ОСНОВАНИЯ ГЭС БЕЗВЗРЫВНЫМ МЕТОДОМ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

В ноябре 2010 года на строительной площадке Нижне-Бурейской ГЭС начались работы по подготовке скального основания правобережной бетонной плотины. Для этих целей впервые в мире на строительстве гидротехнического сооружения было принято решение применить технологию канатной резки. Совместно со специалистами фирмы Sedima были проведены опытные работы на участке 2-5-й секции плотины, в месте, где скальный массив преимущественно состоит из диоритов — скальных пород, высокой прочности.

Преимуществами данного метода являются:

- отсутствие динамических и виброгрузок на подошву плотины;
- высокая производительность при малых трудозатратах;
- наличие дополнительных аксессуаров, позволяющих выполнять пиление в любом направлении и любой конфигурации;
- экологически чистый метод по сравнению с другими методами разрабатываемых пород при подготовке основания ГЭС;
- компактность и мобильность оборудования.

Физически описать процесс алмазной резки довольно просто. В быту все знакомы с использованием такого режущего инструмента, как болгарка. В ней используются наждачные круги. В нашем случае рабочие органы — круги, коронки, канаты и т.д., имеют поверхности, в которые интегрированы искусственные алмазы. По сравнению с абразивом они более безопасны и обладают большей устойчивостью к разрушению, истиранию. Если говорить о канате, то принцип его работы похож на привод велосипедных колес. Системой полиэфирных канат заводятся в объем объекта, который предстоит разрезать, при натяжении канат истирает, разрезает поверхность объекта. Из канат, или диск не прожигают динамическую нагрузку на конструкцию, соответственно, не появляются деформации и микротрещины в теле бетона.

ПЕРЕМЫЧКИ КОТЛОВА НА ОСНОВНЫХ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЯХ. ЗАВЕСА, СООРУЖАЕМАЯ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

В проектной документации ограждение котлована выполнялось верховой и низовой высокоуровневыми поперечными земляными перемычками и продольной бетонной перемычкой, роль которой выполняло постоянное сооружение — сопрягающий устой, возводимый под защитой нижележащих перемычек. Противофильтрационный элемент поперечных земляных перемычек выполнялся в виде суглинистого ядра.

Для оптимизации строительного процесса перемычки, поперечные верховая и низовая и продольная, были выполнены грунтовыми с противофильтрационным элементом в виде «стены в грунте» из буронабиваемых глиноцементобетонных свай.

Именно конструкции перемычек имели ряд важных преимуществ:

- строительство под их защитой основных бетонных сооружений;
- строительство сопрягающего устоя наряду со строительством водосброса, ГЭС и монтажной площадки в настоящее время осуществляется в едином котловане;
- возможность частичной отсыпки русловой грунтовой плотины насухо в пазухе между сопрягающим устоем и

продольной перемычкой;

- уменьшению на порядок фильтрационного притока в котлован основных бетонных сооружений по сравнению с проектным вариантом;
- проектным вариантом имел высокие риски при его исполнении: на критическом пути было зимнее бетонирование сетчатой воды из котлована и борьбы со льдом, при срыве выполнения данных работ был риск продления строительства еще на один год с соответствующими издержками;
- чистый дисконтированный доход проекта от ввода агрегатов на один год раньше может составить 1,7 млрд руб., а с учетом сокращения объема бетона в раздельном устое (10 тыс. м³) экономия составит около 200 млн руб.

Возведение «стены в грунте» было выполнено силами ЗАО «Корпорация «Союзгаздобстрой» с использованием специализированного современного бурового оборудования: Wagner BG 42, Liebherr 28, Wacker BG 28, Casagrande B-300 с диаметром скваж 10 20 мм, шагом 0,9 м. Работы выполнялись в зимний период 2012 — 2013 годов.

Параметры «стены в грунте» перемычки Нижне-Бурейской ГЭС:

- материал заполнения скважин — глиноцементобетонная смесь;
- глубина бурения — переменная, заглублением в скалу на 0,5 м;
- длина «стены в грунте» по осям скваж: на верховой перемычке — 360,59 м; на продольной перемычке — 352,35 м; на низовой перемычке — 350,75 м;
- количество скваж: на верховой перемычке — 426 шт.;



Котлован основных бетонных сооружений



Бурение скважин под установку штурвальных зарядов станками Atlas Copco

на продольной перемычке — 408 шт.;

- на низовой перемычке — 388 шт.;
- ширина «стены в грунте» в основании — 0,30 м.

Общий объем бурения составил 17 078,67 п.м. Объем уложенного глиноцементобетона составил 15 744,3 м³.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Широко используются на территории России и других странах эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) и неэлектрические системы инициирования. Впервые были применены в практике гидротехнического строительства при производстве БВР на Нижне-Бурейской ГЭС.

Применение патентованных ЭВВ вместо промышленных взрывчатых веществ (ПВВ) дает экономическую выгоду, так как их стоимость ниже, существенно сокращается выделение вредных газов, тротилового пыли, оказывающей влияние на экологию, что намаловажно при строительных работах.

ЭВВ имеют меньшую бризантность — способность БВ и локальному дроблению воздействию на среду, в которой происходит взрыв, чем ПВВ, но увеличивается сейсмическое воздействие на близлежащие объекты, в том числе на бетонные сооружения. Данный фактор является немаловажным при сокращении сроков строительства, что приводит к необходимости производства БВР рядом с бетонными сооружениями с разными стадиями набора прочности.

Применение неэлектрической системы инициирования «Искра» позволило сократить сейсмическое воздействие. В случае необходимости производства БВР рядом с бетонными сооружениями на расстоянии меньше 10 м применялось замедление на каждый шаг, тем самым обеспечены минимальное сейсмическое воздействие и уменьшение разлета.



Монтаж взрывной сети



Разрывание скальных грунтов скважинными зарядами вблизи бетонированных секций правобережной бетонной плотины

ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ НИЖНЕ-БУРЕЙСКОЙ ГЭС

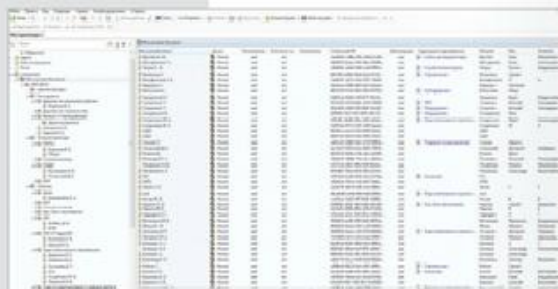


Рис. 2. Зарегистрированные в системе пользователи ЕИП НБГС на платформе «Софт-PLM»

В декабре 2012 году по итогам конкурсных процедур между ОАО «Нижне-Бурейская ГЭС» и ЗАО «НПЦ «Инструктор» был заключен договор по созданию Единой информационной системы проектирования (ЕИП НБГС). ЕИП НБГС представляет собой облако знаний, хранящее в себе всю информацию, связанную с объектом строительства.

Система позволяет:

- пользователям работать одновременно дистанционно (он-лайн) из любой точки мира с проектной (рабочей) документацией (проектировщики, подрядчики, изготовители оборудования, заказчик, авторский надзор и т. д. (рис. 1));

- работать исключительно с актуальной версией документа, видя в режиме реального времени закладки, предложения других специалистов, работающих с документом, что позволяет уйти от хаоса множественного обмена документами между различными участниками проекта; результат — сокращение стоимости и сроков проектирования, повышение качества проектирования.

- проводить согласование рабочей документации до ее выдачи в производство посредством электронного согласования, после прохождения электронного согласования документ может быть просто распечатан и подписан (выдан в производство); при этом все согласование содержания, с хранением всей истории согласования и доработок документа, проводится в электронной форме (рис. 2);

- работать с 3D-параметрической моделью, построенной на основании проектной и рабочей документации; 3D-модель — это не только визуализация двучерновой документации, но и возможность проверки, стыковки и сборки объекта из различных частей документации, разработанных различными проектировщиками, создаваемая параметрическая модель позволяет анализировать, проводить инженерные расчеты, хранить и брать из системы объемно-качественные характеристики по объекту, конструктиву и т. д. (рис. 3);

- в электронном виде организовывать и контролировать процесс проектирования, согласования; распределять задания между участниками и видеть в реальном времени ход исполнения заданий, получать в реальном времени актуальную информацию об исполнении графика проектирования и т. д. (рис. 4);

- иметь полный архив всей документации, относящейся к объекту строительства (проектной, рабочей, исполнительной, эксплуатационной), с удобными инструментами поиска, гиперссылками для быстрого перехода между документами и т. д., в том числе с хранением версий и историй документов в электронном виде и доступом к нему;

- обеспечить защиту информации, размещаемой в ЕИП, в соответствии со всеми самыми современными требованиями по защите информации, права пользователей настраиваются вплоть до ограничения действий с конкретными документами.

В планах заказчика стоит реализация возможностей системы по интеграции 3D-модели с графиками производства работ и с укрупненными стоимостными параметрами строительства. Кроме указанных общих возможностей, ЕИП позволяет решать частные задачи, например 3D-моделирование расстановки кранов на строительной площадке, схемы провоза и разгрузки крупногабаритных грузов, оборудования, схемы процесса монтажа оборудования и т. д.

В условиях договоров заказчика с подрядчиками, поставщиками оборудования прописаны требования по передаче документации заказчику в форматах и посредством инструментария ЕИП.

В системе размещен архив проектной документации, прошедшей ГТЗ, по мере выпуска размещается рабочая документация, используемая в дальнейшем в моделировании объекта строительства. Построена модель по проектной документации (рис. 5, 6).

По окончании строительства в конце объекта в эксплуатацию в ЕИП НБГС будет храниться точная электронная копия — модель построенной станции со всей необходимой информацией, что существенно упростит жизнь эксплуатирующей организации. Кроме того, данную модель возможно разрезать, создавая на основе эксплуатационной документации электронные инструкции/формулы для проведения регламентных работ по обслуживанию и ремонту оборудования,



а также хранения всей информации обо всех воздействиях в период жизненного цикла объекта.

Трежнерное проектирование возможно на первоначальной стадии и ведет к увеличению усилий и трудозатрат, но зато существенно экономит время и трудозатраты на всех дальнейших этапах: при доработке, изменении документации, проверке и согласовании документации, тиражировании проектных решений.

Внедрение 3D-технологий несет практическую ценность во всем жизненном цикле объекта — от проектирования до эксплуатации:

- позволяет сократить сроки проектирования (не разработка конкретного документа, а полный цикл от разработки до выдачи в производство с учетом исправлений, доработок, согласования);
- создает комфортные условия для коллективной работы всех участников строительства независимо от их местоположения;
- оптимизирует процесс организации и контроля за ходом проектирования, строительства;
- оптимизирует процесс ввода объекта в эксплуатацию;
- оптимизирует процесс обслуживания и ремонта на всем жизненном цикле объекта.

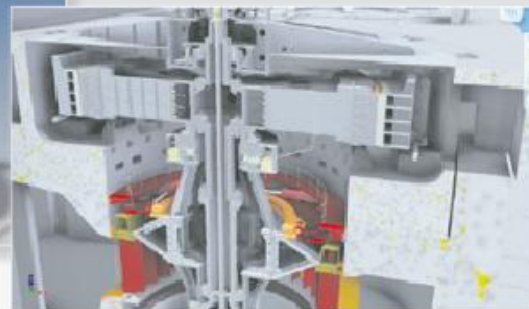


Рис. 3. Модель гидроузла, созданная по проектной документации с использованием Autodesk Inventor

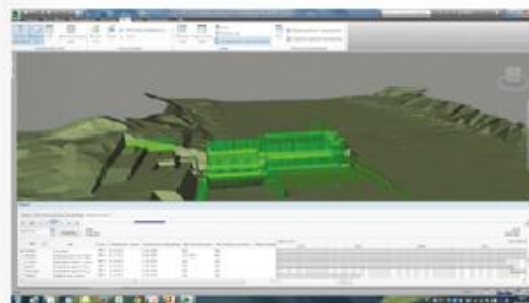


Рис. 4. 4D-планирование с помощью Autodesk Navisworks

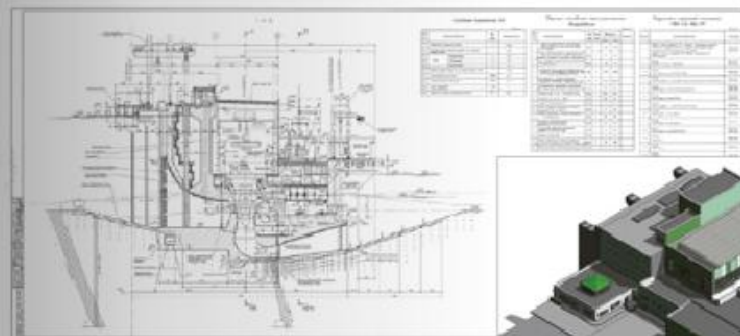


Рис. 5. Фрагмент проектной документации



Рис. 6. Модель станционного узла, созданная по проектной документации с использованием Autodesk Revit