

На правах рукописи

Светозарская Светлана Владимировна

**МЕТОДИКА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
ОБОРУДОВАНИЯ И СООРУЖЕНИЙ ЗДАНИЙ ГАЭС**

05.14.08 – энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2011

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор  
Кубышкин Леонид Иванович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Арефьев Николай Викторович

кандидат технических наук, доцент  
Евдокимов Сергей Владимирович

Ведущая организация: ОАО «Ленгидропроект»

Защита состоится «27» декабря 2011 г. в \_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.229.17 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургском государственном политехническом университете» по адресу: 195220, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д.29, Гидрокорпус – 2, ауд. 411.

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет».

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
доктор технических наук

Г.И. Сидоренко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Гидроэнергетические объекты (ГЭО) остаются наиболее важными источниками электроэнергии, обеспечивающими выполнение условия устойчивого развития экономики России с точки зрения рационального природопользования, экологической безопасности и энергоэффективности. Энергетическая стратегия России на период до 2030 г., утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации № 1715-р от 13.10.2009 г., предусматривает увеличение доли гидроэнергетики в производстве электроэнергии. В соответствии с прогнозными оценками к 2020 г. производство электроэнергии на ГЭС и ГАЭС должно увеличиться до 284 ТВт·ч по сравнению со 168 ТВт·ч в 2010 г.

Научно обоснованное развитие гидроэнергетики невозможно без совершенствования технологий проектирования и строительства. Одним из направлений внедрения прогрессивных технологий является применение трехмерного (3D) моделирования в процессе проектирования, строительства и эксплуатации гидроэнергетических объектов. Актуальность и перспективность данного направления подтверждается опытом применения трехмерного моделирования отечественными и зарубежными организациями гидроэнергетического профиля. В настоящее время разработаны и используются трехмерные модели различной степени детализации Бурейской ГЭС, Загорской ГАЭС-2, Нижегородской ГЭС, Саяно-Шушенской ГЭС, ГЭС Чаппараль (Сальвадор), Се-Конг-4 (Южный Лаос) и др. Кроме того, необходимость создания трехмерных моделей гидротехнических сооружений регламентируется требованиями «Методических рекомендаций по выдаче заключения о готовности организации, эксплуатирующей гидротехнические сооружения, к локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций и защите населения и территории в случае аварии гидротехнического сооружения» от 30.06.2011 г.

Создание трехмерных моделей гидроэнергетических объектов позволяет сократить количество ошибок на стадии проектирования, снизить сроки

проектирования объектов, обеспечить координирование работы проектировщиков, строителей и эксплуатирующих организаций.

**Актуальность** темы диссертационной работы определяется необходимостью разработки методического, программного и информационного обеспечения технологий проектирования гидроэнергетических объектов на базе трехмерного параметрического моделирования для повышения качества проекта, экономической и энергетической эффективности и снижения сроков проектирования.

**Целью** диссертационной работы является создание методики трехмерного параметрического моделирования оборудования и сооружений зданий ГАЭС, базирующейся на использовании взаимосвязанных параметрических моделей.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Проведен анализ современных методов автоматизации проектирования объектов гидроэнергетики.
2. Разработано формализованное описание трехмерной модели здания ГАЭС и его элементов, позволяющее реализовать сквозную параметризацию моделей оборудования и сооружений станции.
3. Разработаны элементы прикладного программного и информационного обеспечения автоматизированного проектирования здания ГАЭС.
4. Разработана методика автоматизированного проектирования зданий ГАЭС, основанная на использовании базы данных, включающей модели оборудования и сооружений.
5. Проведена апробация методики на примере создания трехмерной модели здания Ленинградской ГАЭС.

**Научная новизна** заключается в следующем:

1. Впервые разработана методика сквозной параметризации моделей оборудования и сооружений зданий ГАЭС.

2. Разработаны компоненты информационного и программного обеспечения технологии автоматизированного проектирования ГАЭС на основе трехмерного параметрического моделирования.
3. Разработана методика обоснования параметров оборудования и сооружений зданий ГАЭС, базирующаяся на трехмерном параметрическом моделировании.

**Достоверность полученных результатов** исследований, теоретических и методических обоснований, выводов и рекомендаций подтверждается использованием в разработках научно-обоснованных и проверенных методов различных научных дисциплин, корректным применением адекватного математического аппарата, информационного и программного обеспечения, а также совпадением результатов тестового моделирования с проектными данными существующего объекта.

**Практическая ценность** проводимых исследований состоит в том, что:

1. Сформирована база данных, разработанных с использованием сквозной параметризации взаимосвязанных унифицированных моделей компонентов оборудования и сооружений зданий ГАЭС.
2. Созданы связанные с типовыми моделями прикладные программы для ПВМ, позволяющие определять основные параметры оборудования и сооружений здания ГАЭС.
3. Разработаны практические рекомендации по созданию трехмерных параметрических моделей оборудования и сооружений зданий ГАЭС и их использованию для автоматизации процесса проектирования и создания проектной графической документации.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Методика сквозной параметризации моделей оборудования и сооружений зданий ГАЭС.
2. Методика трехмерного параметрического моделирования, направленная на автоматизацию процесса проектирования зданий ГАЭС.

**Область применения результатов.** Результаты данного исследования могут использоваться проектными организациями гидроэнергетического профиля при проведении проектных и научно-исследовательских работ, для обоснования проектных решений, проведения прочностных, гидроэнергетических, сметных и прочих расчетов, моделирования аварийных и чрезвычайных ситуаций, получения проектной документации и составления презентационных материалов.

**Апробация и внедрение результатов.** Основные положения диссертации доложены на семинарах кафедры «Возобновляющиеся источники энергии и гидроэнергетика» СПбГПУ, на всероссийском форуме студентов, аспирантов и молодых ученых (2008 г.), на неделях науки СПбГПУ (2008-2011 г.), на международной научно-практической конференции «Экономические механизмы инновационной экономики» (2009 г.), на конференции во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева «Гидроэнергетика. Новые разработки и технологии» (2010 г.). Результаты работы отмечены диплом I степени конкурса студенческих и аспирантских проектов «Энергия развития - 2009», проводимым ОАО «РусГидро». Получена справка о внедрении результатов диссертационных исследований в разрабатываемую систему авторизованного проектирования гидроэлектрических станций от ОАО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева».

Результаты работы отражены в 13 научных публикациях. Работы по теме диссертации проводились в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» ГК 02.740.11.0750.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка литературы, приложений. Она содержит 133 страниц машинного текста, 58 рисунков, 15 таблиц и список используемой литературы из 96 наименований.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи работы, приведены положения, выносимые на

защиту, дана оценка новизны и практической значимости полученных результатов, кратко изложено содержание работы.

**В первой главе** обобщены работы по вопросам обоснования параметров оборудования и сооружений зданий ГАЭС и автоматизации проектирования гидроэнергетических объектов, представленных в трудах Ю.С. Васильева, Д.С. Щавелева, Г.А. Претро, Л.И. Кубышкина, Л.П. Михайлова, Н.Н. Арефьева, В.И. Виссарионова, В.В. Елистратова, В.А. Орлова, В.И. Обрезкова, Е.В. Обухова, О.С. Морозова и др. Работы по внедрению трехмерного геометрического моделирования в процесс проектирования и эксплуатации гидроэнергетических объектов проводятся специалистами таких организаций, как ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», ОАО «Ленгидропроект», ОАО «Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт «Гидропроект» имени С. Я. Жука», ОАО «Силовые машины», ОАО «Тяжмаш», Hydro-Quebec (Канада), научно-исследовательский институт Ченджу CHIDI (Китай).

Приведен обзор запатентованных изобретений, касающихся методов геометрического трехмерного моделирования, использующихся отечественными и зарубежными организациями различного профиля для автоматизации процесса проектирования, создания проектных и презентационных материалов, проведения гидравлических, прочностных, аэродинамических и прочих расчетов.

На основе обобщения проведенных исследований сделан вывод о необходимости разработки методики трехмерного параметрического моделирования с целью автоматизации и интеграции решения частных задач проектирования объектов гидроэнергетики. Для повышения эффективности методики предложено использование разработанной автором базы данных связанных сквозной параметризацией моделей.

**Во второй главе** на примере здания ГАЭС изложена предлагаемая методика автоматизированной технологии проектирования гидроэнергетических объектов. Предлагаемая технология проектирования

предполагает использование трехмерной параметрической модели на различных этапах проектирования (рис. 1).

Автоматизация построения трехмерной модели станции достигается за счет использования базы данных, включающей: параметрические модели оборудования и сооружений ГАЭС; сборки элементов здания ГАЭС; прикладное программное обеспечение (ПО) для расчета параметров станции.

Принятые исходные данные проекта вносятся в прикладные расчетные программы, где производится вычисление основных параметров станции и основных размеров моделей.

Преобразование геометрии моделей, связанных с расчетным ПО, производится автоматически. Одновременно происходит переопределение зависимостей, определяющих местоположение отдельных компонентов сборки в соответствии с новыми размерами моделей, входящих в ее состав. Полученный набор моделей и их сборок, соответствующих заданным исходным данным, образует базу данных проекта.

Создание общей модели станции осуществляется объединением ее отдельных элементов. Объединение осуществляется путем наложения зависимостей (ограничений), определяющих местоположение конструктивных компонентов станции. Полученная модель может быть легко преобразована путем изменения состава и типов конструктивных компонентов оборудования и сооружений, редактированием исходных данных и параметров моделей. На ранних стадиях проектирования для проведения технико-экономического обоснования основных проектных решений достаточно создания укрупненной модели станции, позволяющей с необходимой степенью точности определить объемы основных строительно-монтажных работ, рассчитать капиталовложения в гидроузел для сравнения вариантов и на основании полученных данных принять окончательное решение о составе и компоновке гидроузла.



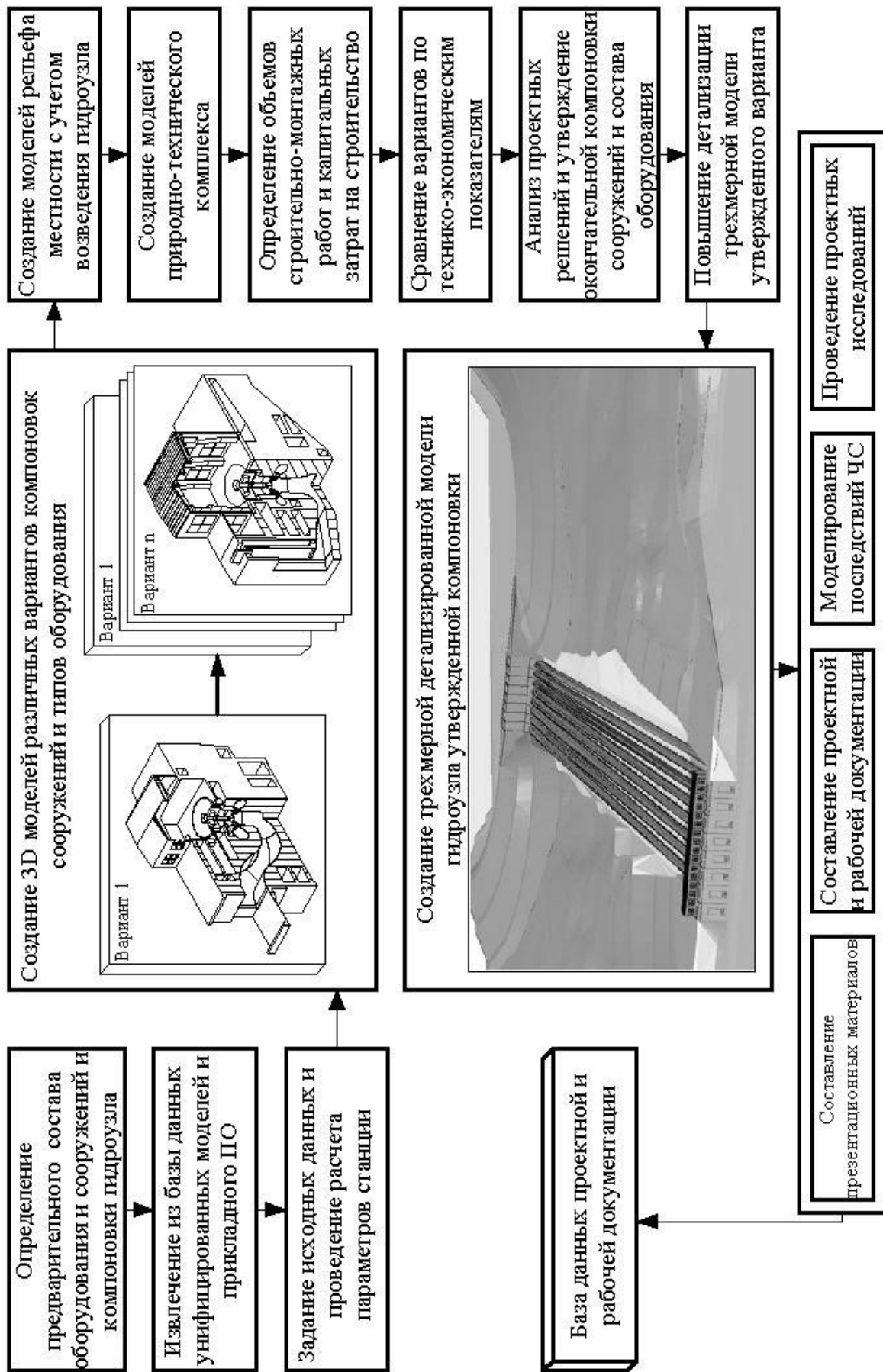


Рис. 1. Блок-схема проектирования с использованием базы данных трехмерных унифицированных моделей

На следующем этапе возможно повышение детализации трехмерной модели станции. Детализированная модель используется для проведения прочностных расчетов, гидравлических исследований и т.д., составления документации и презентационных материалов. В процессе проведения проектных исследований параллельно с совершенствованием запроектированных сооружений проводится редактирование модели и автоматическое обновление созданных на ее основе документов.

Для реализации предлагаемой методики необходимо создание базы данных унифицированных моделей. Удобство использования и автоматизация преобразования таких моделей достигается за счет совместного использования базовых параметров и сквозной параметризации моделей. Под базовыми параметрами понимаются физические, энергетические или геометрические характеристики, в зависимости от которых заданы размеры модели. Сквозная параметризация подразумевает задание зависимостей между размерами отдельных моделей. Использование сквозной параметризации позволяет упростить редактирование модели и избежать ошибок, обусловленных неверным заданием параметров одной из моделей, входящих в состав сборки.

Геометрические размеры отдельных моделей должны определяться с учетом их взаимной работы в составе общей модели станции. Предлагаемая схема взаимодействия унифицированных моделей, входящих в состав укрупненной модели ГАЭС. Включаемые в базу данных модели конструктивных компонентов оборудования и сооружений ГАЭС можно подразделить на два типа: независимые и зависимые. К независимому типу относятся модели, размеры которых определяются заложенной в них математической моделью и не зависят от размеров других конструктивных компонентов. Под зависимыми моделями понимаются модели, размеры которых частично или полностью могут быть заданы через размеры других моделей, входящих в состав ГАЭС.

Взаимодействие моделей, связанных сквозной параметризацией, должно осуществляться в соответствии с адекватной математической моделью.

Вопросам технико-экономического обоснования параметров оборудования и сооружений ГАЭС посвящены работы таких ученых, как Н.Н. Аршеневский, Ю.С. Васильев, Ф.М. Губин, В.А. Орлов, Г.А. Претро, Д.С. Щавелев, а также специалистов ОАО «Ленинградский металлический завод».

В качестве базового параметра модели рабочего колеса может быть принят его диаметр, определяемый зависимостью:

$$D_1 = \frac{n'_{I_{H,OPT}} \cdot \sqrt{H_H}}{n},$$

где  $n'_{I_{H,OPT}}$  – приведенная частота вращения при максимальном КПД в насосном режиме,  $H_H$  – средний напор насоса-турбины, соответствующий оптимуму универсальной характеристики при работе турбины в насосном режиме,  $n$  – нормальная частота вращения.

Размеры модели спиральной камеры могут быть выражены следующим образом:

$$[A_{сеч\ CK}] = D_1 \cdot \begin{bmatrix} k_{R1} & k_{\rho 1} & k_{r1} & k_{h1} \\ k_{R2} & k_{\rho 2} & k_{r2} & k_{h2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{Rn} & k_{\rho n} & k_{rn} & k_{hn} \end{bmatrix}, \quad b_0 = D_1 \cdot (0,08 \div 0,12) \cdot 10^{-3} \cdot n_{ст}^{1,4},$$

где  $[A_{сеч\ CK}]$  – матрица, содержащая размеры поперечных сечений спиральной камеры,  $k_{Ri}, k_{\rho i}, k_{ri}, k_{hi}$  – коэффициенты, определяющие размеры  $i$ -го поперечного сечения спиральной камеры относительно  $D_1$ ,  $b_0$  – высота направляющего аппарата,  $n_{ст}$  – коэффициент быстроходности гидротурбины при ее работе в турбинном режиме,  $n_{ст} = \frac{1,167n\sqrt{N_T}}{H_T^{5/4}}$  – приведенный расход при максимальном КПД в турбинном режиме,  $N_T$  – мощность в турбинном режиме,  $H_T$  – средний напор насоса-турбины, соответствующий оптимуму универсальной характеристики при работе турбины в турбинном режиме.

Размеры статора определяются зависимостями:

$$D_{ст} = D_1 \cdot (1,3 + 0,00067H_T), \quad (A_{ст}) = D_1 \cdot (k_L \ k_{r0} \ k_{r1} \ k_a \ k_b \ k_a)^T,$$

где  $D_{ст}$  – наружный диаметр статорных колонн,  $(A_{ст})$  – вектор-столбец, содержащий размеры поперечного сечения колонны статора,

$k_L, k_{r0}, k_{r1}, k_a, k_b, k_a$  – коэффициенты, определяющие размеры поперечного сечения относительно  $D_1$ .

Размеры направляющего аппарата:

$$(A_{НА}) = D_1 \cdot (k_{z0} \ k_L \ k_r \ k_m \ k_r \ k_k \ k_{fi})^T, \quad D_0 = (1,16 \div 1,2) \cdot D_1,$$

где  $(A_{НА})$  – вектор-столбец, содержащий размеры направляющих лопаток,  $k_{z0}, k_L, k_r, k_m, k_r, k_k, k_{fi}$  – коэффициенты, определяющие количество направляющих лопаток и размеры их поперечных сечений относительно  $D_1$ ,  $D_0$  – диаметр расположения осей направляющих лопаток.

Размеры отсасывающей трубы:

$$\left\{ \begin{array}{l} h_1 = D_2 \cdot \left(1,6 - \frac{0,0013}{n_{СТ}}\right), \quad h_2 = D_2 \cdot \left(0,71 + \frac{63}{n_{СТ}}\right), \quad h_3 = D_2 \cdot \left(0,83 + \frac{141}{n_{СТ}}\right), \\ D_k = D_2 + 2h_1 \cdot \operatorname{tg}\beta, \quad L_k = D_2 \cdot (1,5 + 0,0002 \cdot n_{СТ}), \quad L_5 = D_2 \cdot \left(\frac{n_{СТ}}{0,25n_{SH} - 9,28}\right), \\ h'_k = D_2 \cdot \left(0,58 + \frac{23}{n_{СТ}}\right), \quad b_6 = D_2 \cdot (0,51 - 0,001 \cdot n_{СТ}), \quad R = D_2 \cdot (1,37 - 0,0006 \cdot n_{СТ}), \\ b_4 = D_2 \cdot \left(2,63 + \frac{34}{n_{СТ}}\right), \quad b_5 = D_2 \cdot \left(2,2 + \frac{108}{n_{СТ}}\right), \end{array} \right.$$

где  $D_2$  – выходной диаметр рабочего колеса,  $D_2 = f(D_1)$ ,  $h$  – высота выходного диффузора отсасывающей трубы,  $h_2$  и  $h_3$  – высота конуса и колена отсасывающей трубы соответственно,  $D_k$  – диаметр входного сечения колена отсасывающей трубы,  $\beta$  – угол расширения конуса,  $L_k$  – длина колена,  $L_5$  – длина отсасывающей трубы,  $h'_k$  – высота выходного сечения колена отсасывающей трубы,  $b_6$  – толщина опорного бычка отсасывающей трубы,  $R$  – радиус кривизны колена отсасывающей трубы,  $b_4$  и  $b_5$  – ширина выходного сечения колена и выходного сечения отсасывающей трубы соответственно.

Размеры двигателя - генератора:

$$D_i = \frac{\tau^* \cdot 2p}{\pi}, \quad l_a = \frac{30C_a \cdot S_p}{\pi \cdot n_c \cdot D_i^2},$$

$$(A_{дг}) = (D_i \cdot k_{Dст} \ D_i \cdot k_{Da} \ D_i \cdot k_{hп} \ D_i \cdot k_{Dп} \ D_i \cdot k_k \ l_a \cdot k_{hст})^T,$$

Где  $(A_{дг})$  – вектор-столбец, содержащий размеры элементов двигателя-генератора,  $D_i$  – диаметр ротора двигателя-генератора,  $\tau^*$  – длина внешней дуги обода ротора, приходящаяся на один полюс,  $2p$  – число полюсов двигателя-генератора,  $C_a$  – коэффициент машины, зависящий от удельной нагрузки на

полюс,  $S_p$  – расчетная мощность двигателя-генератора,  $n_c$  – синхронная частота вращения,  $A_{дг}$  – совокупность габаритных размеров двигателя-генератора,  $k_{Дст}, k_{Da}, k_{hвк}, k_{hп}, k_{Дп}, k_{к}, k_{hст}$  – коэффициенты, определяющие размеры двигателя-генератора относительно  $D_i$  и  $l_a$ .

Согласно рекомендациям Д.С. Щавелева, М.Ф. Губина, В.Л. Купермана, М.П. Федорова диаметры трубопроводов для ГАЭС при одинаковом расходе превышают аналогичные диаметры для ГЭС приблизительно на 10%. Для предварительного определения параметров модели может использоваться функциональная зависимость:

$$D_{эк} = f(Q_p, T_p, S^э, \eta_a, \beta, R, \delta, c_{тр}, H)$$

где  $Q_p$  — расчетный среднекубический расход, м<sup>3</sup>/с;  $T_p$  — расчетное время работы трубопровода, ч;  $S^э$  — стоимость 1 кВт·ч заменяемой электроэнергии, руб./кВт·ч;  $\eta_a$  — средний КПД гидроагрегата,  $\beta$  — коэффициент, учитывающий потери энергии в период паводка из-за снижения напора и вследствие этого пропускной способности турбин,  $R$  — расчетное сопротивление материала трубопровода, кг/см<sup>2</sup>;  $\delta$  — толщина оболочки трубопровода, см;  $c_{тр}$  — стоимость 1 т материала трубопровода, его монтажа и окраски, руб.;  $H$  — напор на середине участка трубопровода, м.

Совместное решение приведенных уравнений обеспечивает сквозную параметризацию модели здания ГАЭС.


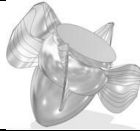

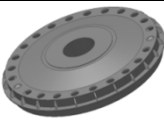
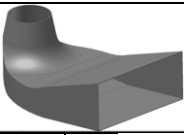
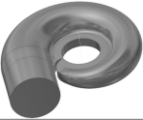




**В третьей главе** изложена практическая реализация предложенной методики: разработано прикладное программное обеспечение для расчета базовых параметров моделей, дана технология создания моделей конструктивных компонентов ГАЭС.

По предлагаемой методике моделирования были разработаны параметрические модели конструктивных компонентов оборудования и сооружений ГАЭС. Примеры разработанных моделей приведены в табл. 1.

Для проведения расчетов базовых параметров разработано прикладное программное обеспечение. Основным назначением такого программного

обеспечения является вычисление базовых параметров и зависимых от них размеров моделей, а также расчет параметров станции, определение которых устанавливается действующими стандартами и нормами проектирования.

Таблица 1

Модель		Наименование			Базовые параметры
Рабочие механизмы гидротурбины					
		Рабочее колесо			D <sub>1</sub>
		РО	ПЛ	Рабочие колеса обратимых машин	
Направляющий аппарат					
		Направляющие лопатки	Цапфы лопаток	Крышка гидротурбины	D <sub>1</sub>
Закладные части гидротурбины					
		Отсасывающая труба			D <sub>1</sub> , β, α
		Спиральная камера			D <sub>1</sub>
		металлическая	бетонная		
		Статор гидротурбины			D <sub>1</sub>
Двигатель-генератор					
		Двигатель-генератор			I <sub>a</sub> , D <sub>i</sub>
Сооружения					
		Трубопровод			D <sub>эк</sub> , δ

В качестве примера прикладного программного обеспечения были разработаны программы для расчета основных параметров обратимой гидромашин и характеристик стального трубопровода ГАЭС. Программы связаны с трехмерными геометрическими моделями участка трубопровода единичной длины и элементов гидротурбины в качестве внешних таблиц размеров моделей. При внесении или изменении исходных данных в указанные программы рассчитываются основные характеристики ГАЭС, производится

формирование таблиц размеров геометрических моделей и автоматически происходит преобразование соответствующих трехмерных моделей.

Исходными данными для автоматизированного расчета параметров обратимой гидротурбины были выбраны: тип, расчетный напор, расчетный расход насоса-турбины. При задании исходных данных в автоматическом режиме из таблицы данных, внесенной в программу, выбирается соответствующая заданному напору величина приведенной частоты вращения  $n_{\text{Ин.опт}}$  и приведенного расхода насоса-турбины при максимальном КПД  $Q'_{\text{Ин.опт}}$ . По полученным данным рассчитывается коэффициент быстроходности  $n_{\text{SH}}$  и частота вращения гидротурбины  $n$ :

$$n = \frac{n_{\text{SH}} \cdot H^{\frac{3}{4}}}{3.65 \cdot \sqrt{Q_{\text{H}}}}, \quad n_{\text{SH}} = 3.65 \cdot n'_{\text{Ин.опт}} \cdot \sqrt{Q'_{\text{Ин.опт}}}$$

Далее автоматически выбирается ближайшая синхронная частота вращения и рассчитывается диаметр рабочего колеса насоса-турбины  $D_1$ . Завершающим этапом автоматического расчета является формирование таблицы размеров геометрической модели. Таблица представляет собой массив связанных между собой кодов размеров, используемых при создании геометрической модели, и значений, вычисленных в соответствии с заданными коэффициентами.

Программа для расчета экономически наиболее выгодного диаметра трубопровода  $D_{\text{ЭК}}$  включает в себя два массива таблиц: приближенный расчет  $D_{\text{ЭК}}$  с учетом гидравлического удара, величина которого принята из условия максимально допустимого значения составляющего 30% от статического напора  $H_0$  и расчета величины гидравлического удара, осуществляемого с учетом полученных значений диаметров на каждом участке трубопровода.

При задании исходных данных в программе в зависимости от заданного напора на середине участка производится автоматическое вычисление экономически наиболее выгодного диаметра трубопровода  $D_{\text{ЭК}}$ , а также других значений, необходимых для проведения расчета. Далее вычисленные значения  $D_{\text{ЭК}}$  сравниваются с таблицей нормального ряда трубопроводов и принимаются:

наиболее близкий стандартный диаметр и соответствующее минимальное значение толщины оболочки  $\delta$ . Рассчитанный экономически наивыгоднейший диаметр может быть уточнен после вычисления величины гидравлического удара.

**В четвертой главе** проведена апробация методики на примере создания укрупненной модели Ленинградской ГАЭС. Разработаны и включены в базу данных параметрические модели основного оборудования и сооружений ГАЭС.

Извлеченные для данного проекта из базы данных унифицированные модели объединены в соответствующие сборки, в результате чего получена укрупненная модель основного оборудования и сооружений ГАЭС (рис. 2).

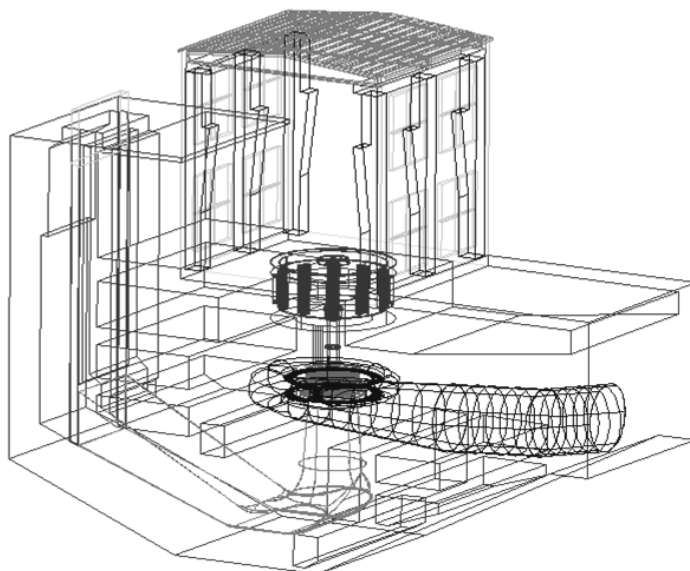


Рис. 2. Каркасное представление модели гидроагрегатного блок здания Ленинградской ГАЭС

Модель рельефа участка строительства ГАЭС создается как поверхность на основе нерегулярной триангуляционной сети. Поверхность включает в себя природный рельеф местности с размещенными на нем сооружениями. Построение поверхностей дамбы, расчистки дна и котлованов производилось с заданием высотных отметок и уклонов, что обеспечило возможность преобразования полученной модели. Общая трехмерная модель ГАЭС представлена на рис. 3.



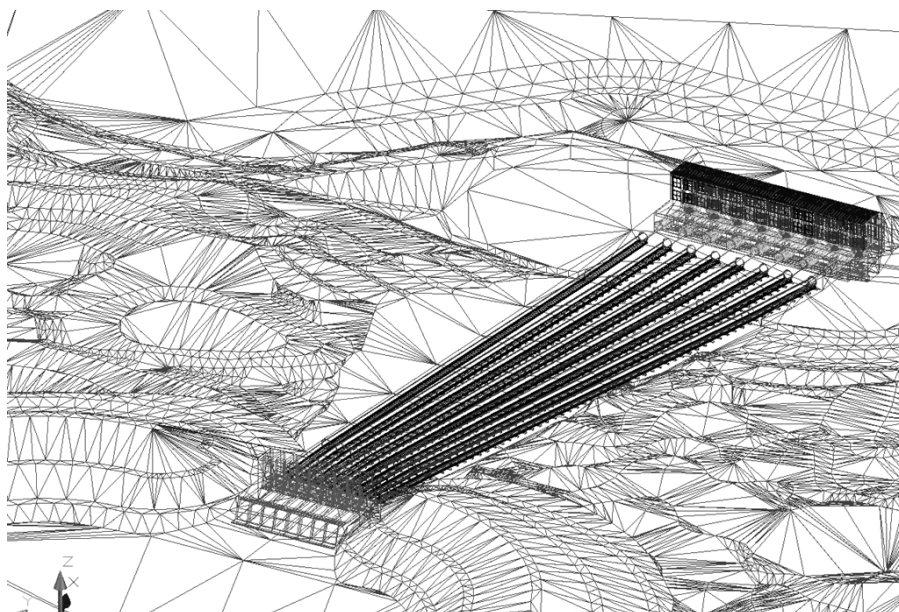


Рис. 3. Размещение укрупненной модели Ленинградской ГАЭС на местности

На примере построенной трехмерной модели проиллюстрирована эффективность ее использования для создания графической и расчетной проектной документации. На рис. 4 представлен пример чертежа, полученного на основе трехмерной модели.

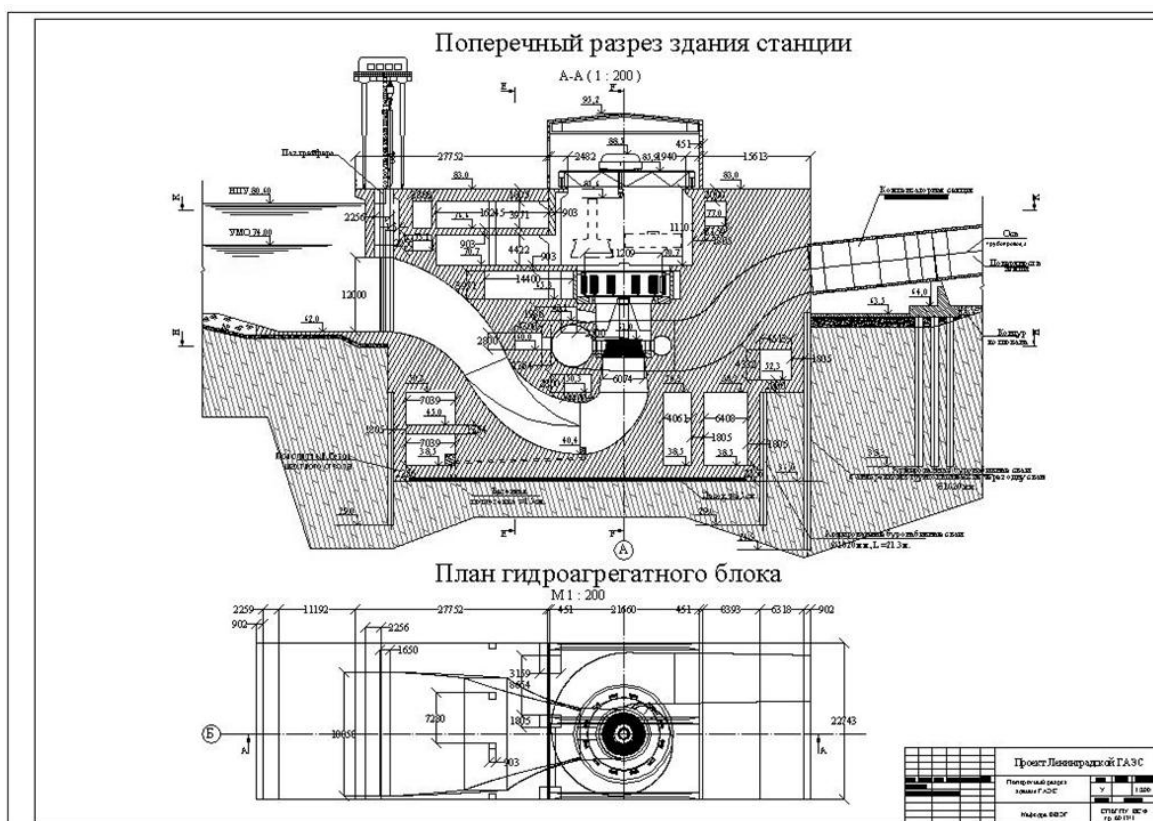


Рис. 4. Чертеж здания станции Ленинградской ГАЭС, созданный на основе трехмерной модели

Выполнение преобразований полученной модели при помощи изменения состава оборудования и сооружений, а также их параметров, показало эффективность использования параметрических моделей для сравнения различных вариантов проектных решений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты работы:

1. Разработана специализированная методика трехмерного параметрического моделирования, направленная на автоматизацию процесса проектирования гидроэнергетических установок. Предлагаемая методика позволяет повысить эффективность и качество проекта при сокращении сроков проектирования.
2. Разработана база данных параметрических моделей конструктивных компонентов и отдельных элементов энергетического оборудования ГАЭС, используемая в качестве информационного обеспечения технологии автоматизированного проектирования зданий ГАЭС.
3. Разработана методология сквозной параметризации моделей, повышающая эффективность использования унифицированных моделей элементов ГАЭС.
4. Разработаны элементы прикладного программного обеспечения автоматизации процесса проектирования, позволяющего определять параметры основного оборудования и сооружений зданий ГАЭС.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

1. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Методика параметрического моделирования гидроэнергетических объектов // Наука и инновации в технических университетах: Материалы Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – С. 130-132
2. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Параметрическое моделирование гидроэнергетических объектов // XXXVII неделя науки СПбГПУ: Материалы Всероссийской межвузовской научно-технической конференции студентов и аспирантов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – Ч.1. – С. 59-60
3. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Моделирование гидроэнергетических объектов // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Экономические механизмы инновационной экономики». – СПб.: Изд-во НОУ МИЭП, 2009. – Ч.3. – С. 32-41.

4. Svetozarskaya S., Kybishkin L. Parametric modeling of hydroelectric facilities // Conference proceedings. Energy efficiency and agricultural engineering. – Rouse, Bulgaria, 2009. – С. 180-189.
5. Светозарская С.В., Быконя Т.В., Кубышкин Л.И. Моделирование гидроэнергетических объектов // Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады 16-19 ноября 2009 г., научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых: сборник материалов. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2009. – С. 501-504.
6. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Создание библиотеки параметрических моделей гидроэнергетического оборудования // XXVIII неделя науки СПбГПУ: Материалы международной научно-практической конференции студентов и аспирантов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – Ч.1. – С. 57-59.
7. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Моделирование природно-технических комплексов возобновляемой энергетики // Вестник международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – СПб - Чита: Изд-во ЧитГУ, 2010. – Т. 15. – №4. – С. 42-50.
8. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Параметрическое моделирование ГЭО в среде AutoCAD-Inventor-Civil 3D // Всероссийская олимпиада студентов и аспирантов вузов «Компьютерное моделирование наноструктур и возобновляемых источников энергии»: сборник работ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – С. 29-35.
9. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Параметрическое моделирование объектов возобновляемой энергетики // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. - №4. – С. 42-50.
10. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Специальное программное обеспечение параметрического моделирования ГЭО // XXIX неделя науки СПбГПУ: Материалы международной научно-практической конференции студентов и аспирантов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – Ч.1. – С. 80-82.
11. Светозарская С.В. Трехмерное параметрическое моделирование гидроэнергетических природно-технических комплексов // Электротехнические комплексы и системы управления. - Воронеж: Издательский дом «Кварта», 2011. – №3. – С. 27-32.
12. Светозарская С.В., Кубышкин Л.И. Методика параметрического моделирования оборудования и сооружений при проектировании гидроэнергетических объектов // Всероссийская олимпиада студентов и аспирантов вузов «Компьютерное моделирование наноструктур и возобновляемых источников энергии»: сборник работ. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. - С. 47-54.
13. Светозарская С.В., Жакова Т.С. Математическое представление трехмерных моделей гидроэнергетического объекта и составляющих его элементов // Всероссийская олимпиада студентов и аспирантов вузов «Компьютерное моделирование наноструктур и возобновляемых источников энергии»: сборник работ. - СПб.: Изд-во политех. ун-та, 2011. - С. 110-113.