

АПРОБАЦИЯ ЧИСЛЕННОЙ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДИНАМИЧЕСКОГО НДС ТРЕХМЕРНОЙ СИСТЕМЫ «ОСНОВАНИЕ – СООРУЖЕНИЕ НАПОРНОГО ФРОНТА ГТС – ВОДОХРАНИЛИЩЕ» НА ПРИМЕРЕ ШЛЮЗА-РЕГУЛЯТОРА КУБАНСКИХ ГЭС

Д.С. Дмитриев

Научно-исследовательский центр СтаДиО, г. Москва, РОССИЯ

Аннотация: В настоящей статье представлены результаты апробации разработанной методики уточненного численного моделирования динамического НДС трехмерной системы «грунтовое основание – водохранилище – сооружение напорного фронта ГТС» при сейсмических воздействиях, на реальном гидроэнергетическом объекте. Проведено сопоставление двух различных способов моделирования жидкости, взаимодействующего с сооружением и основанием гидроузла. Затронуты вопросы выбора размеров блока основания и учета инерционной нагрузки от него, а также способа задания исходного сейсмического воздействия.

Ключевые слова: математическое моделирование, численные методы, метод конечных элементов, связанные системы «сооружение – жидкость», сейсмостойкость, собственные частоты и формы колебаний, динамическое напряженно-деформированное состояние

APPROBATION OF THE NUMERICAL METHOD OF CALCULATING THE DYNAMIC STRESS-STRAIN STATE OF THE THREE-DIMENSIONAL SYSTEM “FOUNDATION – FACILITY OF THE PRESSURE FRONT HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE – WATER RESERVOIR” ON THE EXAMPLE OF THE CLUSTER-REGULATOR OF THE KUBAN HYDROELECTRIC POWER STATIONS

Dmitry S. Dmitriev

Scientific Research Center “StaDyO”, Moscow, RUSSIA

Abstract: In the article, the results of approbation of the developed technique of the refined numerical simulation of the dynamic stress-strain state of the three-dimensional system “ground base (earth foundation) – reservoir – construction of the pressure head of the hydraulic system” under seismic influences. A comparison is made between two different ways of modeling the fluid interacting with the structure and the base of the hydroelectric power station. The issues of choosing the dimensions of the base unit and taking into account the inertial load from it, as well as the method of determining the initial seismic action, are touched upon.

Keywords: mathematical modeling, numerical methods, finite element method, connected systems “structure – fluid”, seismic stability, natural frequencies and vibration modes, dynamic stress-strain state

1. ВВЕДЕНИЕ

Апробация разработанной численной методики расчета динамического НДС трехмер-

ной системы «грунтовое основание – водохранилище – сооружение напорного фронта ГТС» при сейсмических воздействиях [1,2,3] выполнена на реальном гидротехническом

сооружении при действии постоянных, статических и сейсмических нагрузок с использованием расчетного программного комплекса ANSYS Mechanical.

В качестве объекта для апробации разработанной численной методики выбран шлюз-регулятор №1 (ШР-1) Кубанских ГЭС. Это низконапорное гидротехническое сооружение относящиеся ко II классу опасности (из-за своего назначения и условий эксплуатации). Для гидротехнических сооружений высокой опасности (II класс), согласно [4] необходимо проводить расчеты на сейсмические воздействия с использованием методов динамической теории (ДТ) сейсмостойкости. В расчетах данного типа имеется целый ряд условностей и неопределенностей, в том числе касающихся учета водного массива, взаимодействующего с сооружением [13]. В разработанной численной методике расчета динамического НДС гидросооружений именно вопросу учета жидкости уделено особое внимание. В данной статье приведены результаты апробации данной методики.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Перед данными расчетными исследованиями были поставлены следующие задачи:

1. разработать подробную, пространственную, конечноэлементную модель системы «грунтовое основание - сооружение шлюза-регулятора №1 – водный массив»;
2. провести комплекс вариантных расчетов системы по разработанной и верифицированной численной методике, в соответствии с положениями, заложенными в действующих нормах;
3. провести сопоставительный анализ результатов, полученных при двух различных способах моделирования жидкости;
4. проанализировать трехмерное НДС гидросооружения и основания при сейсмических воздействиях.

3. ОПИСАНИЕ СООРУЖЕНИЯ

Шлюз-регулятор №1 предназначен для деления потока воды между ГАЭС, находящейся в составе Каскада Кубанских ГЭС и Большим Ставропольским каналом в республике Карачаево-Черкесия. В весенне-летний период излишки воды забираются из Большого Ставропольского канала и через гидроагрегаты ГАЭС и холостой водосброс наполняют Кубанское водохранилище. В осенне-зимний период гидроагрегаты ГАЭС работают в насосном режиме и подают воду из водохранилища в Большой Ставропольский канал. Данное гидротехническое сооружение представляет собой трехпролетный водослив с широким порогом, выполненный из монолитного железобетона. Ширина каждого пролета 6 м, высота 2.3 м. Отметка порога на входе и выходе равна 639.3 м. Напор на пороге при НПУ составляет 5.95 м. Расчетная пропускная способность ШР-1 составляет 150 м³/с. Плановые размеры подводной части здания раны 18.4×10.0 м, высота здания - 8.0 м.

В пролетах предусмотрены 3 пары пазов для аварийно-ремонтных, рабочих и ремонтных затворов. Рабочий - плоский, колесный, глубинный со стороны НБ. Аварийно-ремонтный – плоский, скользящий, двухсекционный, поверхностный со стороны НБ. Ремонтный – плоский, скользящий, поверхностный со стороны ВБ. Маневрирование рабочими затворами производится за счет стационарных подъемных механизмов, суммарный вес которых составляет 12.3 т. Ремонтные и аварийно-ремонтные затворы опускаются с помощью катушек лебедки весом 13.3 т.

Надводная часть шлюза представляет собой одноэтажное каркасное здание со следующими размерами: в плане 23.45×5.4 м, высотой 7.5 м. Колонны и подкрановые балки выполнены из сборного железобетона, стены (ограждающие конструкции) и перегородки кирпичные. Несущими конструкциями кровли являются железобетонные плиты. Пло-

щадь производственных помещений составляет 120 м². Над пролетами водослива устроен мостовой переезд. Балки, на которых лежат плиты автодороги шарнирно опираются на бычки монолитной части.

Подводящий и отводящий каналы имеют крепление откосов каменной наброской и в месте сопряжения с сооружением крепление выполнено железобетонными плитами.

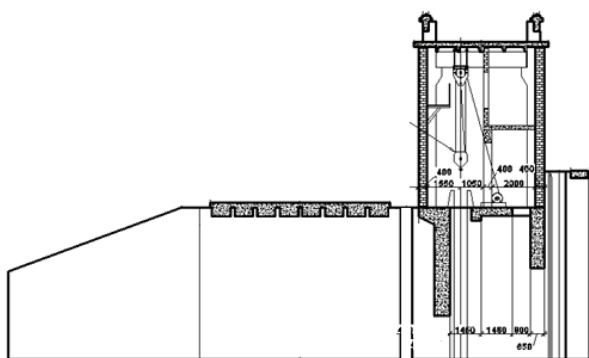


Рисунок 1. Поперечный разрез ШР-1.

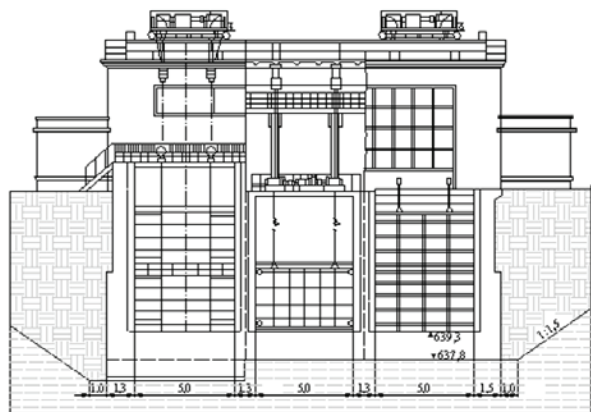


Рисунок 2. продольный разрез ШР-1.

4. ОПИСАНИЕ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

Расчетная модель шлюза-регулятора №1 создавались в препроцессоре программного комплекса ANSYS Mechanical с использованием специально разработанных параметризованных макросов, написанных на внутреннем языке программирования APDL. Для моделирования подводной железобетонной части сооружения (плиты основания, бычков и боковых устоев) использовались

восьми узловые конечные элементы SOLID45. Массив грунта, включая подводящий и отводящий каналы, так же моделировался объемными элементами SOLID45. Для моделирования стен, плит мостового переезда и кровли использовались четырехугольные и треугольные в плане конечные элементы оболочки Кирхгофа-Лява типа SHELL43. Балки, колонны и пешеходный мостик моделировались пространственными стержневыми конечными элементами типа BEAM44. Нагрузки от механического оборудования задавались, как присоединенные массы, с помощью конечных элементов типа MASS21.

В рамках исследований, посвященных выбору оптимального метода моделирования жидкости, водный массив моделировался двумя методами:

1. с использованием объемных акустических элементов типа FLUID30;
2. с использованием объемных элементов гидродинамической среды типа FLUID80.

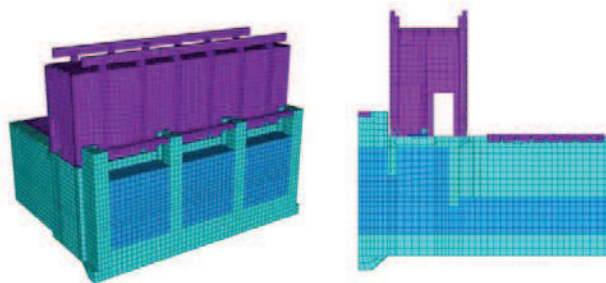


Рисунок 3. Общий вид КЭ-модели ШР-1 без грунтового массива.

Для монолитных железобетонных конструкций материал принят, соответствующий бетону класса В25, со следующими параметрами: Плотность: $\rho=2.2 \text{ т/м}^3$, модуль упругости: $E=2.7 \times 10^4 \text{ кН/м}^2$, коэффициент Пуассона $\mu=0.2$. Так как моделирование сложного, нелинейного поведения железобетона не входило в задачи данного исследования, материал был принят упругим и изотропным. При моделировании массива грунта основания были приняты некоторые упрощения. Геологическое строение массива было реду-

цированно до двух инженерно-геологических слоев с ровной горизонтальной границей по основанию сооружения. Подводящий и отводящий каналы приняты трапецеидальной формы, а береговые примыкания имеют более упрощенные очертания.

Четких рекомендаций по назначению размеров грунтового массива не существует, что приводит к некоторому произволу в выборе габаритных размеров основания. Многоитерационные расчеты с поиском несжимаемой толщи позволяют определить оптимальный размер основания для конкретной задачи, но чаще всего они вписываются в рамки от $2H$ до $4H$, где H – высота гидросооружения [5]. Итоговые размеры массива грунта имеют следующие параметры: глубина – 36 м, длина (вдоль потока) – 90 м, ширина поперек потока – 72 м.

В практике расчетов гидросооружений на сейсмостойкость получил распространение учет основания, обладающего лишь упругими (но не инерционными) свойствами [5,6,14,15]. Эта условная схема позволяет добиться внутренней сходимости частот и форм колебаний для рассматриваемой системы плотина-основание, при расчете по линейно-спектральной теории (ЛСТ). Расчет шлюза-регулятора по ЛТС также проводился в рамках этой работы, но результаты этих исследований не отражены в данной статье. Для расчетов сооружения прямым динамическим методом с использованием трехкомпонентных синтезированных акселерограмм, грунтовому массиву задавалась плотность, тем самым учитывалась инерционная нагрузка.

В качестве граничных условий узлам на внешних поверхностях грунтового массива были ограничены линейные перемещения в направлении перпендикулярном плоскости массива, а также наложены условия не отражения волн. Контакт сооружения с грунтом принимался абсолютно жестким (элементы сооружения и основания имеют общие узлы на контакте).

Материалы массива грунта принимались упругими, со следующими физическими свойствами:

1. Насыпные и погребные почвы (верхний слой) – плотность $\rho=1.86 \text{ т/м}^3$, модуль упругости $E=15 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\mu=0.3$ (деформационные характеристики приняты по [7]);
2. Коренные грунты – плотность $\rho=1.98 \text{ т/м}^3$, модуль упругости $E=15 \text{ МПа}$, коэффициент Пуассона $\mu=0.3$.

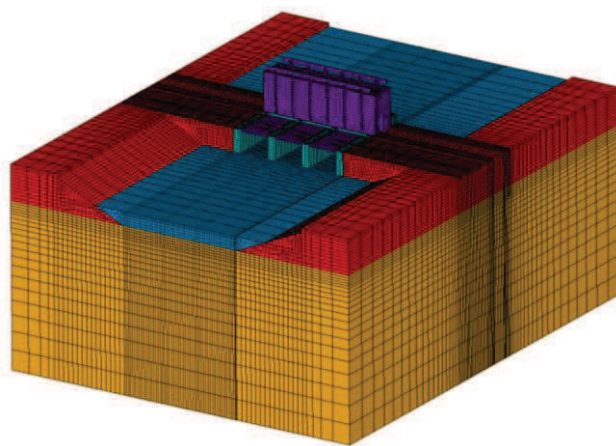


Рисунок 4. Общий вид КЭ-модели ШР-1 с грунтовым и водным массивами.

Вычислительная размерность расчетной модели ШР-1 – 245 528 конечных элементов и 265 422 узлов. Из них 37 648 элементов являются конечными элементами водного массива. Характерный размер конечных элементов изменяется в диапазоне от 0.5 м до 4 м.

5. ПАРАМЕТРЫ РАСЧЕТА

Исходное сейсмическое воздействие. При проведении расчетов ШР-1 на сейсмостойкость прямым динамическим методом были использованы исходные акселерограммы, рекомендованные для сейсмических расчетов рассматриваемого района. В отчете по сейсмическому микрорайонированию участка расположения сооружения представлен набор акселерограмм. Из этого набора была выбрана одна трехкомпонентная акселеро-

грамма рис.5. Критериями выбора были максимальное пиковое значение ускорений и наибольший спектр ускорений. При сопоставительном анализе результатов с разным способом учета жидкости, использовалась одна компонента X (вдоль потока) исходной акселерограммы продолжительностью 10 секунд с максимальным ускорением -9.813 м/с^2 рис. 6.

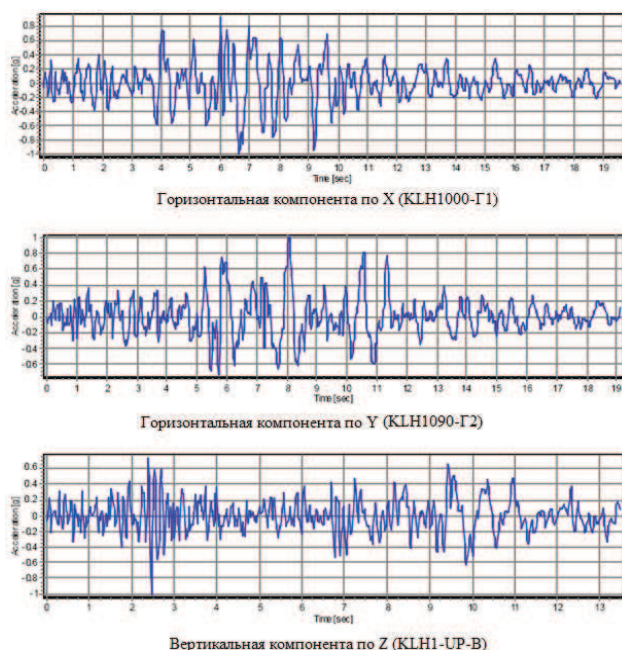


Рисунок 5. Исходная трехкомпонентная акселерограмма. Ускорение в долях от g .



Рисунок 6. Акселерограмма по X. Для сопоставительного анализа. Ускорение в м/с^2 .

Исходное сейсмическое воздействие в виде ускорения прикладывалось в качестве инерционной нагрузки. Данный подход доста-

точно широко применяется в практике расчетов гидросооружений на сейсмостойкость.

Метод и шаг интегрирования. При решении задачи использовался метод интегрирования Ньюмарка. Параметры интегрирования Ньюмарка α , δ по умолчанию приняты равными $\alpha=0.2525$ и $\delta=0.505$. После выбора типа интегрирования, задавался шаг интегрирования по времени. Шаг интегрирования принят кратным шагу исходной акселерограммы, для исключения возможности пропуска пикового значения и равным $1/6$ от минимального периода собственных колебаний конструкции. Значение шага интегрирования принято равным 0.005 с .

Демпфирование. Для железобетонных конструкций сооружения задавалось 5% демпфирование Релея, константы демпфирования принимали следующие значения ($\alpha=4.44$ и $\beta=0.000379$). Для массива грунта коэффициент ξ задавался равным 15% от критического [8], при этом константы демпфирования равны ($\alpha=7.754817$ и $\beta=0.00126$).

Моделирование водной среды. Как отмечалось ранее, в рамках данного исследования моделирование водного массива проводилось с использованием двух разных типов конечных элементов, каждый из которых имеет свои особенности.

При использовании акустических элементов типа FLUID30 для них применялись различные внутренние настройки. Внешний слой элементов, который контактировал с грунтом и сооружением, задавался элементами, у которых в качестве узловых степеней свободы выступают линейные перемещения и давление. У остальных элементов в узлах только одна степень свободы - давление. Всем узлам, находящимся на контакте воды с ограничивающими поверхностями, задавались условия контакта Fluid-structure interaction (FSI). В качестве граничных условий, помимо ограничения перемещений на внешней границе водного массива, на свободной поверхности жидкости задавалось нулевое давление.

При моделировании водного массива элементами FLUID80 на контактной поверхности жидкость и сооружение/основание не имели общих узлов, в отличие от случая с акустическими элементами. У совпадающих узлов объединялись перемещения в направлении перпендикулярном контактной поверхности. В качестве граничных условий задавались только ограничения перемещений по нормали на внешней границе водного массива. Следует отметить, что для возможности использования элементов FLUID80 расчетная модель была упрощена (фактически изменена). Часть водного массива, контактирующая с наклонными стенками отводящего и подводящего каналов, была исключена из расчетной модели рис.7. Это вынужденное упрощение связано с особенностью элементов гидродинамической среды типа FLUID80. В работах [9,11] подробно описаны особенности данного типа конечных элементов, которые усложняют, а в некоторых случаях делают невозможным проведение динамических расчетов.

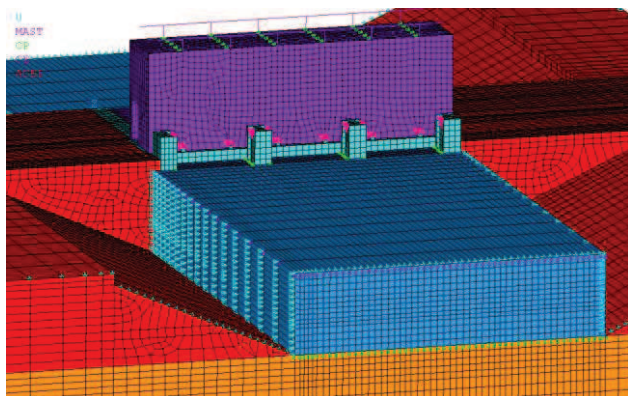


Рисунок 7. Упрощенная расчетная модели с элементами жидкости – FLUID80.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

На первых этапах были приведены важные для понимания объекта расчеты собственных частот и форм колебаний и сейсмических реакций по линейно-спектральной теории, но в рамках данной статьи эти результаты не представлены.

Для вывода результатов в модели были выбраны точки, которые являются характерными для данного сооружения. При сопоставлении результатов с использованием двух разных методов моделирования жидкости оценивались перемещения рельса катучей лебедки по X (вдоль потока) и эквивалентные напряжения по Мизесу в элементе на напорной грани. Горизонтальные перемещения имеют идентичный характер для обоих вариантов моделирования жидкости и отличаются в пределах 3%. Горизонтальные перемещения без учета жидкости также хорошо соотносятся, что говорит о малом влиянии массива жидкости для конкретного сооружения и конкретного исходного воздействия рис.9. Сопоставление результатов по изменению эквивалентных напряжений в элементе на напорной грани показало ожидаемую картину рис.10.

По результатам сопоставительного анализа сделан вывод о возможности использования для данной задачи только элементов типа FLUID30, для элементов FLUID80 необходимо значительно упростить расчетную схему. Необходимо отметить, что даже при упрощении модели продолжительность расчета при использовании элементов FLUID80 больше в 2.3 раза по сравнению с элементами FLUID30. Что делает более предпочтительным использование именно акустических элементов.

Расчет на полную акселерограмму проводился только с акустическими элементами. В качестве результатов выводились и анализировались следующие данные: линейные перемещения, ускорения, эквивалентные напряжения. Для получения истинного ускорения в рассматриваемых точках сооружения из ответной акселерограммы вычиталась исходная. Эти преобразования касались только ускорений. Помимо результатов по выбранным точкам, анализировалось и общее НДС всего сооружения в целом.

7. ВЫВОДЫ

В результате расчетных исследований, выполненных в рамках апробации численной методики, можно сформулировать следующие выводы:

1. разработана адекватная пространственная динамическая конечноэлементная модель системы «грунтовое основание - сооружение шлюза-регулятора №1 – водный массив», комбинирующая объемные элементы жидкости и твердого тела и оболочечно-стержневые элементы сооружения;
2. на базе выполненных разработок и исследований можно сделать вывод о достоверности полученных расчетами критерияльных параметров системы «основание - водная среда - сооружение», определяющих прочность, устойчивость и динамику несущих железобетонных и металлических конструкций шлюза-регулятора №1;
3. сопоставительный анализ результатов расчета с использованием объемных элементов жидкости типа FLUID30 и FLUID80 позволил сделать вывод о возможности использовать оба варианта на простых по форме сооружениях (с вертикальными стенками). Для гидросооружений более сложной формы применение элементов FLUID80 невозможно;
4. применение описанных подходов к моделированию жидкости в расчетах на сейсмостойкость гидросооружений возможно не только для низконапорных гидроузлов. Аналогичный подход использован при расчете арочной плотины Нам Чиен во Вьетнаме, высотой 132.5 м [10];
5. следует рекомендовать численную методику, изложенную в [1,2,3] и примененную в настоящем исследовании, к использованию в практике динамических расчетов гидротехнических сооружений [12].

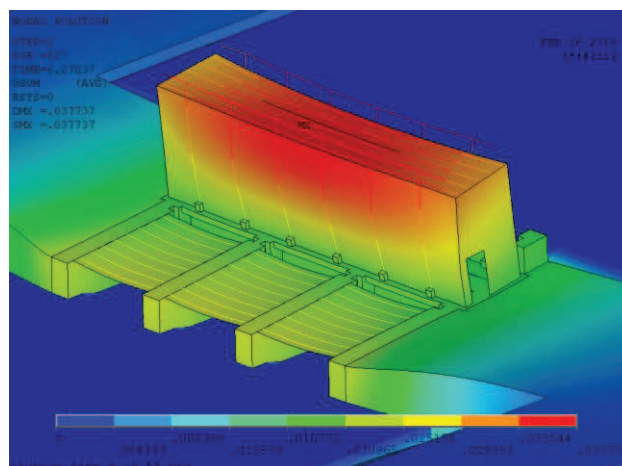


Рисунок 8. Горизонтальные перемещения по X. Время – 6.27 с. Элементы жидкости – FLUID30.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С. Сравнение методов динамического расчета гидротехнических сооружений по заданным акселерограммам (с использованием программного комплекса ANSYS) // Природообустройство, 2013, №5, с. 43-46.
2. Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С., Нгуен Тай Нанг Лыонг. Методика численного моделирования напряженно-деформированного состояния системы «основание – плотина – водохранилище» при сейсмических воздействиях. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering (Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций), Volume 12, Issue 4, 2016, pp. 80-86.
3. Белостоцкий А.М., Дмитриев Д.С., Нгуен Тай Нанг Лыонг. Верификация методики численного моделирования динамического напряженно-деформированного состояния трехмерных систем «сооружение – жидкость». // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering (Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций), Volume 11, Issue 4, 2015, pp. 124-132.

Апробация численной методики расчета динамического НДС трехмерной системы «основание – сооружение напорного фронта ГТС – водохранилище» на примере шлюза-регулятора Кубанских ГЭС

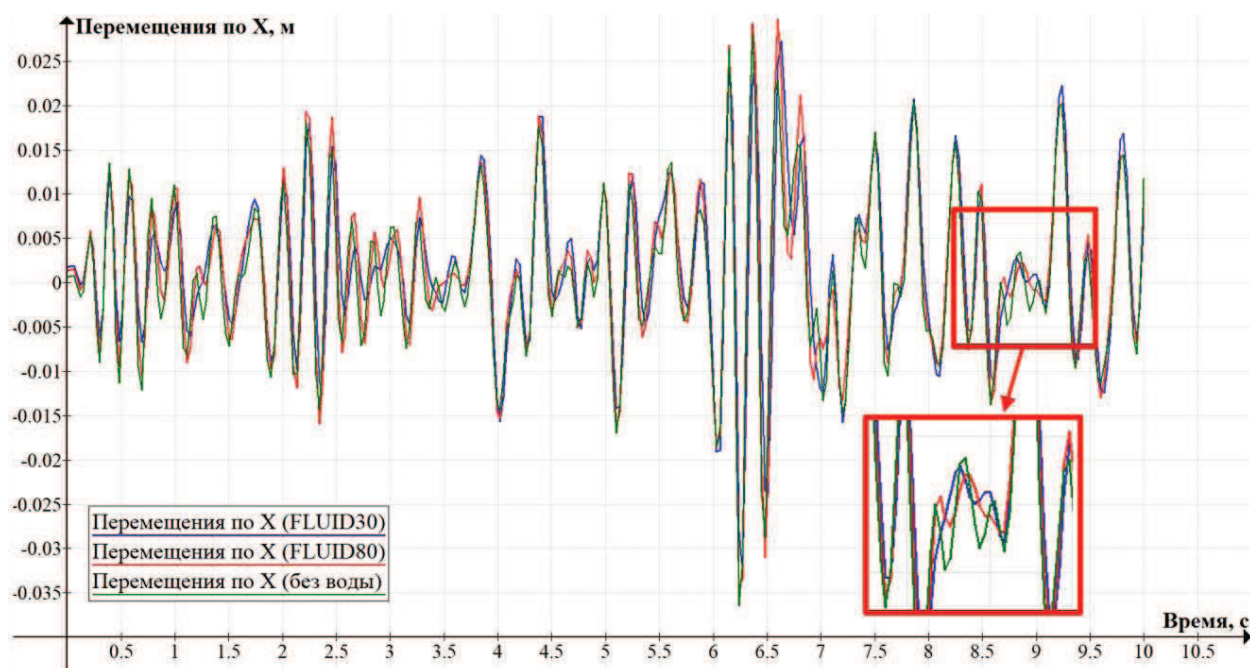


Рисунок 9. Горизонтальные перемещения (U_x) рельса катучей лебедки на кровле здания.

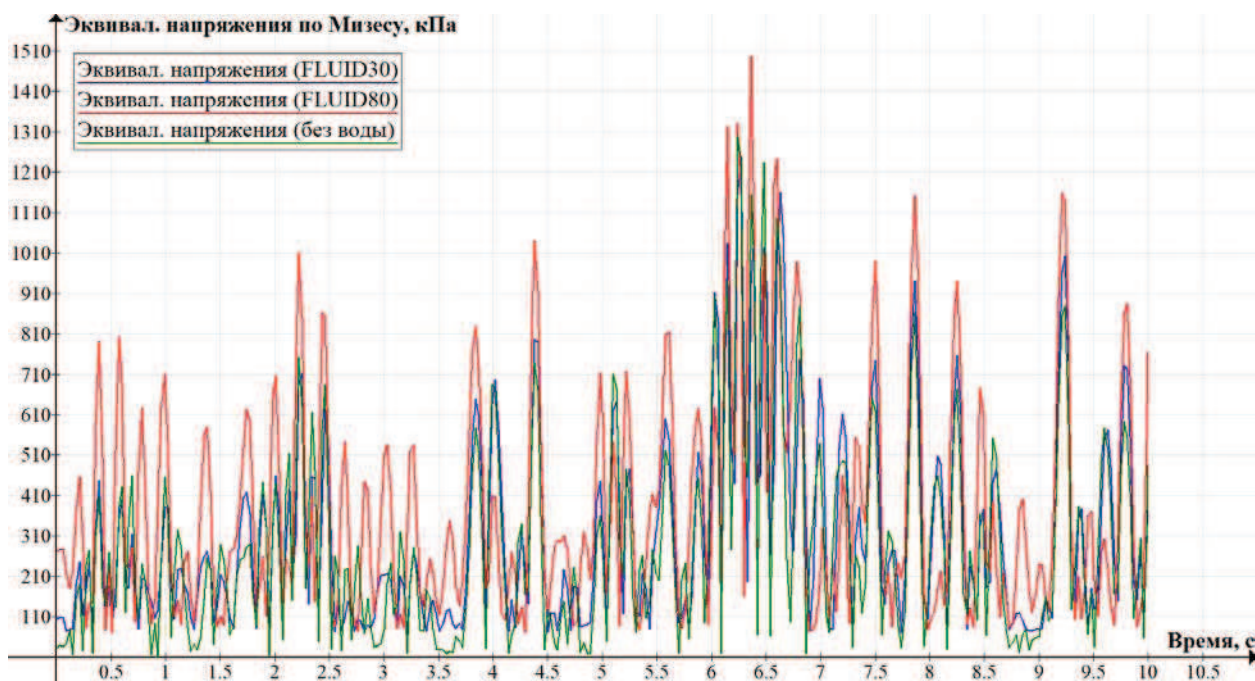


Рисунок 10. Эквивалентные напряжения по Мизесу в элементе на напорной грани сооружения, кПа.

4. СП 14.13330.2014 Строительство в сейсмических районах (Актуализированная редакция СНиП II-7-81).
5. Белостоцкий А.М. Численное моделирование статического динамического напряженно деформированного состоя-

ния пространственных систем «сооружение – основание – водохранилище» с учетом нелинейных эффектов открытия закрытия швов и макротрещин. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

- 05.23.07 – «Гидротехническое строительство». – М.: МГУП, 1998. – 367 с.
6. Учет сейсмических воздействий при проектировании гидротехнических сооружений (Пособие к разделу 5: Гидротехнические сооружения СНиП II-7-81).
 7. СП 23.13330.2011 Основания гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85.
 8. СП 23-105-2004 Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена.
 9. **Дмитриев Д.С.** Особенности использования конечных элементов с возможностью учета поверхностных гравитационных волн при динамическом расчете связанных систем «гидротехническое сооружение – жидкость». // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений, 2017, № 3, с. 50-58.
 10. **Нгуен Тай Нанг Лыонг.** Апробация методики численного моделирования статического и сейсмического напряженно-деформированного состояния на трехмерной системе «основание – плотина – водохранилище» ГЭС Нам Чиен (Вьетнам). // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering (Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций), Volume 12, Issue 4, 2016, pp. 127-136.
 11. **Zhu J., Lin Z., Liu Q., Zhang L.** Calculation of the Added Mass of a Liquid Tank's Bulkheads. // Journal of Marine Science and Application, March 2014, Volume 13, Issue 1, pp. 41-48.
 12. **Taylan D., Aydın T.** Analysis of Dynamic Behavior of Darideresi-II Dam by ANSYS. // Natural Hazards, 2018, Volume 90, Issue 3, pp 1223-1235.
 13. **Zhang C., Pan J., Wang J.** Influence of Seismic Input Mechanisms and Radiation Damping on Arch Dam Response. // Seismic Safety Evaluation of Concrete Dams, 2013, pp 241-262
 14. **Omidi O., Lotfi V.** A Symmetric Implementation of Pressure-Based Fluid – Structure Interaction for Nonlinear Dynamic Analysis of Arch Dams. // Journal of Fluids and Structures, Volume 69, 2017, pp 34-55.
 15. **Gong A.M., Huang H.Y., Zhang H.Y.** Dynamic Response Analysis of Tailings Dam under Seismic Action. // Applied Mechanics and Materials, Volume 799-800, 2015, pp. 746-750.

REFERENCES

1. **Belostotsky A.M., Dmitriyev D.S.** Sravneniye Metodov Dinamicheskogo Ras-cheta Gidrotekhnicheskikh Sooruzheniy po Zadannym Akselerogrammam (s Ispolzovaniyem Programmnoy Kompleksa ANSYS) [Comparison of Methods of Dynamic Analysis of Hydraulic Structures Based on Specified Accelerograms (Using ANSYS Software)]. // Prirodoobustroystvo, 2013, No. 5, pp. 43-46.
2. **Belostotsky A.M., Dmitriyev D.S., Nguyen Tay Nang Lyong.** Metodika Chislennogo Modelirovaniya Napryazhenno-Deformirovannogo Sostoyaniya Sistemy “Osnovaniye – Plotina – Vodokhranilishche” pri Seysmicheskikh Vozdeystviyakh [Numerical Method Modelling Strain-Stress State System “Foundation – Dam – Reservoir” at Seismic Impacts]. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 12, Issue 4, 2016, pp. 80-86.
3. **Belostotskiy A.M., Dmitriyev D.S., Nguyen Tay Nang Lyong.** Verifikatsiya Metodiki Chislennogo Modelirovaniya Dinamicheskogo Napryazhenno-Deformirovannogo Sostoyaniya Trekhmernykh Sistem “Sooruzheniye – Zhidkost” [Verification of Numerical Method of Stress-Strain Dynamic Analysis of Three-Dimensional System “Structure – Fluid”]. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 11, Issue 4, 2015, pp. 124-132.
4. СП 14.13330.2014 Stroitelstvo v Seysmicheskikh Rayonakh (Aktualizirovannaya Redaktsiya SNIIP II-7-81) [Construction

- in seismic regions (updated version of SNiP II-7-81].
5. **Belostotsky A.M.** Chislennoye Modelirovaniye Staticheskogo i Dinamicheskogo Napryazhenno Deformirovannogo Sostoyaniya Prostranstvennykh Sistem “Sooruzheniye – Osnovaniye – Vodokhranilishche” s Uchetom Nelineynykh Effektov Otkrytiya Zakrytiya Shvov i Makrotreshchin [Numerical Simulation of the Static and Dynamic Stress-Strain State of the Spatial Systems “Construction – Foundation – Reservoir” with Allowance for Nonlinear Effects of Opening and Closure of Seams and Macrocracks]. Ph.D. Thesis. Moscow, MGUP, 1998, 367 pages.
 6. Uchet Seysmicheskikh Vozdeystviy pri Proyektirovanii Gidrotekhnicheskikh Sooruzheniy (Posobiye k Razdelu 5: Gidrotekhnicheskiye Sooruzheniya SNiP II-7-81) [Allowance for Seismic Impacts in Within Design of Hydraulic Engineering Structures (Manual to Section 5: Hydraulic Engineering Structures SNiP II-7-81).
 7. SP 23.13330.2011 Osnovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Aktualizirovan-naya redaktsiya SNiP 2.02.02-85 [SP 23.13330.2011 Foundations of hydrotechnical structures. Updated version of SNiP 2.02.02-85].
 8. SP 23-105-2004 Otsenka Vibratsii Pri Proyektirovanii, Stroitelstve i Ekspluatatsii Obyektov Metropolitena [SP 23-105-2004 Assessment of Vibration in the Design, Construction and Operation of Subway Facilities].
 9. **Dmitriyev D.S.** Osobennosti Ispolzo-vaniya Konechnykh Elementov s Vozmozhnostyu Ucheta Poverkhnostnykh Gravitatsionnykh Voln pri Dinamicheskom Raschete Svyazannykh Sistem “Gidrotekhnicheskoye Sooruzheniye – Zhidkost” [Features of the Use of Finite Elements with the Possibility of Allowance for Surface Gravity Waves in the Dynamic Analysis of Coupled Systems “Hydraulic Engineering Structure – Fluid”]. // Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruktsey i sooruzheniy, 2017, No. 3, pp. 50-58.
 10. **Nguyen Tay Nang Lyong.** Aprobatsiya Metodiki Chislenного Modelirovaniya Staticheskogo i Seysmicheskogo Napryazhenno-Deformirovannogo Sostoyaniya na Trekhmernoy Sisteme “Osnovaniye – Plotina – Vodokhranilishche” GES Nam Chiyen (Vietnam) [Approbation Method of Numerical Simulation of Stress-Strain Static and Dynamic Analysis of Three-Dimensional System “Foundation – Dam – Reservoir” on the Example of Nam Chien Hydro Power Plant (Vietnam)]. // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering, Volume 12, Issue 4, 2016, pp. 127-136.
 11. **Zhu J., Lin Z., Liu Q., Zhang L.** Calculation of the Added Mass of a Liquid Tank's Bulkheads. // Journal of Marine Science and Application, March 2014, Volume 13, Issue 1, pp. 41-48.
 12. **Taylan D., Aydın T.** Analysis of Dynamic Behavior of Darideresi-II Dam by ANSYS. // Natural Hazards, 2018, Volume 90, Issue 3, pp 1223-1235.
 13. **Zhang C., Pan J., Wang J.** Influence of Seismic Input Mechanisms and Radiation Damping on Arch Dam Response. // Seismic Safety Evaluation of Concrete Dams, 2013, pp 241-262
 14. **Omidi O., Lotfi V.** A Symmetric Implementation of Pressure-Based Fluid – Structure Interaction for Nonlinear Dynamic Analysis of Arch Dams. // Journal of Fluids and Structures, Volume 69, 2017, pp 34-55.
 15. **Gong A.M., Huang H.Y., Zhang H.Y.** Dynamic Response Analysis of Tailings Dam under Seismic Action. // Applied Mechanics and Materials, Volume 799-800, 2015, pp. 746-750.
-
- Дмитриев Дмитрий Сергеевич, ведущий инженер-расчетчик ЗАО «Научно-исследовательский центр СтаДиО», г. Москва ул. 3-я Ямского Поля, д.18, 8 этаж, офис 810, тел. +7 (495) 706-88-10, E-mail: stadyo@stadyo.ru
- Dmitry S. Dmitriev, StaDyO Research & Engineering Center; office 810, 8th floor, 18, 3-ya Ulitsa Tverskogo Polya, Moscow, 125040, Russia; tel. +7 (495) 706-88-10, e-mail: stadyo@stadyo.ru.