

2. Егоров В. Н., Коровин Д. И. Статистические проблемы моделирования надежности производственных систем // Вестник ИГУ. – 2000. – Вып. 4. – С.67–72.

3. Косте Ж., Сангера Г. Механика грунтов: практический курс; перевод с франц. В.А. Барвашова/ Под ред. Б.И. Кулачкина. – М.: Стройиздат, 1981. – 455 с.

4. Крамер Г. Математические методы статистики. – М.: Мир, 1975. – 648 с.

5. Севастьянов Б. А. Курс теории вероятностей и математической статистики. – М.: Наука, 1982. – С. 236–239.

6. Хан Г., Шапиро Г. Статистические модели в инженерных задачах. – М.: Мир, 1969. – 395 с.

7. Harter H. L. New Tables of the Incomplete Gamma-Function Ratio and of Percentage Points of the Chi-square and Beta Distributions: Aerospace Research Laboratories. – U.S.Air Force, 1964. – 245 p.

Материал поступил в редакцию 15.03.12.

Жарницкий Валерий Яковлевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Экспертиза и управление недвижимостью»

Тел. 8-905-720-30-72

E-mail: Zharnitskiy@msuee.ru

Силкин Александр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Основания и фундаменты»

Тел. 8-916-510-43-64

УДК 502/504:627.8

О. Д. РУБИН, С. П. НОВИКОВ

Открытое акционерное общество

«Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», Москва

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПЛАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ ДЛЯ СЕВЕРНОЙ ПРИЛИВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Приведены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния и прочности железобетонных наплавных блоков приливных электростанций методом конечных элементов, в том числе с учетом сейсмических воздействий. Обосновано предложение по установке наплавных блоков на подводное основание без его предварительной подготовки.

Приливные электростанции, железобетонные наплавные блоки, установка без предварительной подготовки на основание, метод конечных элементов, задачи теории упругости, напряженно-деформированное состояние, обоснование проектных решений.

There are given estimation results of the mode of deformation and strength of reinforced float-on blocks of tidal power stations by the finite-element method including taking seismic impacts into consideration. The proposal is substantiated on installation of float-on blocks on the submerged base without a preliminary preparation.

Tidal power stations, reinforced concrete float-on blocks, installation without a preliminary preparation on the base, finite-element method, tasks of theory of elasticity, mode of deformation, substantiation of design decisions.

Наплавной блок, разработанный в проекте Северной приливной электростанции, представляет собой доковую конструкцию. Внешняя стенка блока имеет толщину 50 см, внутренняя – 30 см, пере-

борки толщиной 30 см располагаются с шагом 5 м. В верхней части конструкции предусмотрены поперечные ригели высотой сечения 5 м и шириной 30 см, располагаемые также с шагом 5 м. Верх

блока перекрыт монолитной плитой толщиной 22 см, а шахты – плитами размером 5×5 м по периметру блока. Железобетонные ригели и перекрытие обеспечивают жесткость конструкции, а также проезд строительной техники и автомобильного транспорта при балластировке блока. В эксплуатационный период проезд используется для обслуживания стационарного хозяйства.

Внутри блока предусмотрена ячеистая конструкция размером 5 × 5 м, достигающая отметки 12 м, толщина ее стенок 10 см. Данная конструкция предназначена для посадки блока в створе, чтобы во время заполнения внутренней части исключить скатывание воды на одну из сторон блока и обеспечить возможность регулировать равномерность посадки на основание. Имеется также килевая переборка по оси блока между внешним и внутренним контуром, служащая тем же целям. Объем воды, поступивший в центральную часть блока при его посадке, в дальнейшем не откачивается и служит балластом в эксплуатационный период. Для предотвращения формирования стационарного ледового покрытия на внутреннем бассейне блока предусмотрено отверстие в каркасе блока диаметром 1 м, расположенное на отметке 3 м в средней части каждого из блоков.

Железобетонная конструкция наплавных блоков глухой части плотины выполняется из гидротехнического бетона класса В40 с начальным модулем деформации $E = 36\,000$ МПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,20$.

Нижняя днищевая плита по форме вписывается в усредненный макрорельеф дна в виде обратного сглаженного отображения этого рельефа в месте установки блока. Верхняя днищевая плита вдоль потока имеет горизонтальную поверхность (поперек потока изменяется согласно батиметрии дна).

В целях обоснования предлагаемого решения были выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния и прочности железобетонных конструкций наплавных блоков, предназначенных для перекрытия створов без предварительной подготовки основания. Объектом расчетных исследований стала железобетонная

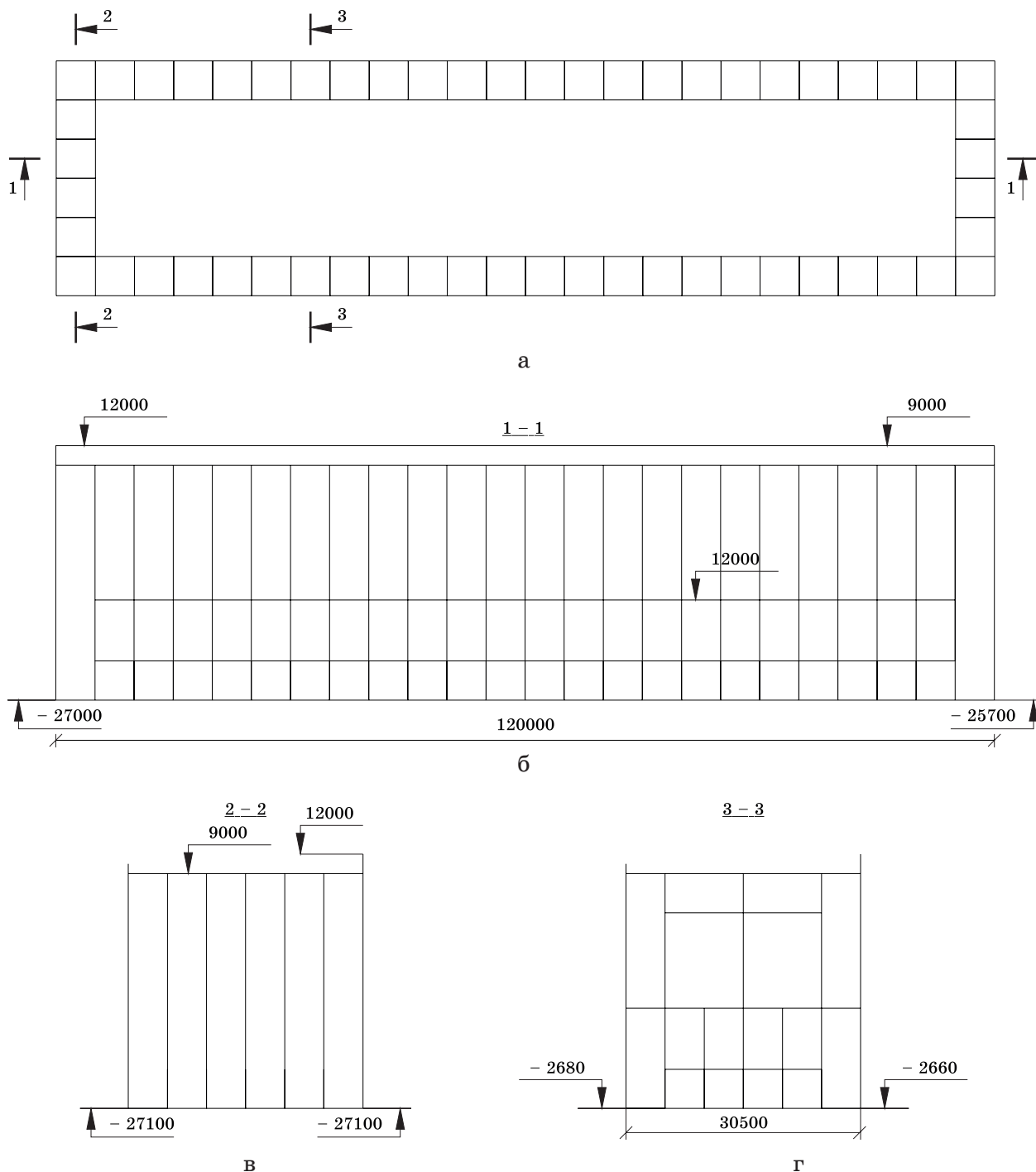
конструкция блока (секции) глухой части плотины, совмещенной с основанием (рисунком).

Напряженно-деформированное состояние железобетонной конструкции наплавного блока при действии статических нагрузок и сейсмических воздействий определялось методом конечных элементов с использованием линейно-деформируемой модели конструкции и грунтового основания в рамках лицензионной версии вычислительного комплекса «ADINA».

В состав конечно-элементных моделей включалась непосредственно железобетонная конструкция, а также материал балластировки пазух блока (в виде песчано-гравийной смеси и «тощего» бетона) и фрагмент основания наплавного блока.

В исследованиях использовалась методика определения активной сжимаемой толщи грунтов, регламентированная нормативными документами [1, 2]. Физико-механические характеристики инженерно-геологических элементов основания отличаются незначительно. Поэтому при построении геомеханической модели использовалась квазиоднородная модель с приведенными физико-механическими характеристиками: модуль деформации $E = 42$ МПа и коэффициент Пуассона $\nu = 0,24$.

Расчеты на действие сейсмических нагрузок проводили методом конечных элементов с применением линейной спектральной теории решения динамических задач. Результирующие значения внутренних усилий, обусловленных сейсмическим воздействием, определяли путем суммирования усилий, полученных из статического расчета и из расчета по методике линейной спектральной теории: при суммировании значения внутренних усилий складываются по абсолютной величине, а знак их суммы соответствует знаку усилия, найденного из статического решения. Суммирование сил осуществляли по схеме метода квадратного корня [3]. Ввиду отсутствия данных об инструментальных записях возможного землетрясения (акселерограммы/сейсмограммы) параметры сейсмического воздействия в районе створа Северной приливной электростанции назначались по методике, приведенной в [3].



Блок глухой части плотины: а – план; б – разрез 1–1; в – разрез 2–2; г – разрез 3–3

Для определения динамических характеристик рассматриваемого сооружения предварительно были найдены 10 первых модальных значений. Из анализа расчетов следует, что колебания по оси Y реализуются на первой и третьей собственных частотах, а колебания по оси Z – на второй собственной частоте. При расчете на действие заданного спектра ускорений в расчетной схеме достаточно учитывать первые три модальных значения.

Результаты расчетов напряженно-деформированного состояния при действии

статических нагрузок для основного эксплуатационного расчетного случая показали следующее: вертикальные перемещения U_z и нормальные напряжения σ_z в основании сооружения составили 15,16 см и 0,256 МПа соответственно; максимальные растягивающие напряжения – 10,95 МПа на верхней днищевой плите в зоне сопряжения с внутренней стенкой и 12,36 МПа на нижней днищевой плите; главные напряжения σ_1 в верхней днищевой плите достигают своих максимальных значений при особом сочетании нагрузок 2 и

составляют 22,69 МПа.

Из рассмотренных значений внутренних усилий в конструкции днища блока, полученных расчетами при статических и сейсмических воздействиях, следует, что при действии сейсмической нагрузки происходит увеличение значений изгибающих моментов в 1,17–1,20 раза, продольных сил – в 1,15–1,36 раза и поперечных сил – в 1,18–1,22 раза по сравнению с результатами статического расчета.

Подбор площади продольной и поперечной арматуры осуществлялся с помощью модифицированной версии программы «КРЭЖ», разработанной под руководством доктора технических наук В. Б. Николаева, в соответствии с действующими санитарными нормами и правилами [4, 5].

На основе результатов расчетов напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов с помощью программы «КРЭЖ» было определено требуемое армирование железобетонных сечений конструкции блока и ширина раскрытия трещин.

Из анализа представленных результатов расчета следует:

наиболее напряженными элементами железобетонной конструкции наплавного блока являются контурные переборки (ребра жесткости), процент армирования которых в сжатой и растянутой зонах сечений имеет максимальные значения – 1,88 %;

наибольший расход арматуры на единицу объема бетона элемента конструкции отмечается в днище, контурных переборках и палубе наплавного блока – соответственно 118,49; 61,18 и 60,57;

максимальное значение ширины раскрытия трещин отмечается в конструкции внешних стен бортов и днища блока – соответственно 0,20 и 0,21 мм.

Анализ напряженно-деформированного состояния блока показал, что конструкция запроектирована оптимально.

В ней согласованы строительные и технологические процессы, минимизированы затраты материальных средств и при этом нет экстремальных зон напряженно-деформированного состояния. Вариант перекрытия створа доковыми конструкциями без предварительной подготовки основания показал высокую экономическую эффективность, в том числе с точки зрения работы конструкции при различных сочетаниях нагрузок.

В результате проведенных исследований выполнено расчетное обоснование прочности разработанной железобетонной конструкции наплавного блока с учетом сейсмических воздействий, в том числе в условиях его установки без предварительной подготовки основания.

1. Основания зданий и сооружений: СНиП 2.02.01–83*. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1995. – 50 с.

2. Основания гидротехнических сооружений: СНиП 2.02.02–85. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. – 48 с.

3. Строительство в сейсмических районах: СНиП II-7–81*. – М.: ГУП ЦПП, 2001. – 44 с.

4. Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений: СНиП 2.06.08–87. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1987. – 29 с.

5. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений (без предварительного напряжения) к СНиП 2.06.08–87 (П46-89/ВНИИГ). – Л.: ВНИИГ, 1991. – 276 с.

Материал поступил в редакцию 16.01.12.

Рубин Олег Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора

Тел. 8 (495) 967-73-25

Новиков Сергей Прокопьевич, инженер, старший научный сотрудник

Тел. 8 (495) 492-95-41

E-mail: NSP@niies.ru