

вания ГЭС. – М.: ОАО «НИИЭС», 2009. – 32 с.

4. Типовая программа энергетических обследований ГЭС: РД153-34.2-09.165-00. – М.: ОАО «РусГидро», 2000. – 8 с.

5. Гидроэлектростанции. Энергоэффективность и энергосбережение. Основные требования: Стандарт организации СТО РусГидро 04.02.75-2011. – М.: Стандарты организаций, 2011. – 63 с.

6. Программа в области энергосбережения и повышения энергетической эффек-

тивности ОАО «РусГидро» на 2010–2015 годы. – М.: ОАО «РусГидро», 2010. – 19 с.

Материал поступил в редакцию 10.02.14.

Грицан Виталий Викторович, ведущий инженер аналитического центра ОАО «РусГидро», отделение энергоаудита
Тел. 8-967-049-10-39

E-mail: gricanvv@niies.ru

Козлов Дмитрий Вячеславович, доктор технических наук, профессор

Тел. 8 (499) 976-29-62

E-mail: kozlovdv@mail.ru

УДК 502/504:627.8

О. Д. РУБИН, С. П. НОВИКОВ, Ю. Б. ШПОЛЯНСКИЙ

ОАО «НИИЭС» («Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»)

С. Е. ЛИСИЧКИН

ООО «ИЦ СКТЭ» («Инженерный центр сооружений, конструкций и технологий в энергетике»)

ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СЕВЕРНОЙ ПРИЛИВНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ НАПЛАВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ

В проекте Северной приливной электростанции применены новые технические решения, наиболее значимые из которых заключаются в разработке нового типа ортогональной турбины, новой конструкции наплавных железобетонных блоков с наклонной днищевой плитой, способа посадки блоков на естественное подводное основание без его предварительной подготовки, способа баллаستировки наплавных блоков и др. Выполнено расчетное обоснование новых технических решений, в том числе на основе разработанных пространственных конечно-элементных моделей.

Наплавные железобетонные блоки, новые технические решения, ортогональная турбина, посадка на естественное основание, наклонная днищевая плита блока, способ балластировки, остойчивость при транспортировке, устойчивость при посадке на основание и эксплуатации, напряженно-деформированное состояние, трехмерные конечно-элементные модели.

In the design of the Northern tidal power station new engineering solutions are used, the most important of them is the development of a new type of the orthogonal turbine, new design of floating reinforced concrete units with an inclined bottom plate, method of units seating on the natural underwater base without its preliminary preparation, ballasting method of floating units etc. The rated substantiation of new engineering solutions is fulfilled including on the basis of the developed spatial finite-element models.

Floating reinforced concrete units, new engineering solutions, orthogonal turbine, seating on the natural base, inclined bottom unit plate, method of ballasting, stability under transportation, steadiness under seating on the base and operation, mode of deformation, three-dimensional finite-element models.

Разрабатываемая энергетическая стратегия России на период до 2030 года предусматривает производство электроэнергии за счет возобновляемых источников энергии на уровне 4,5 % от общего объема выработки. Среди них особо следует выделить планируемое сооружение приливной электростанции в Мезенском заливе Белого моря. Строительство приливных электростанций становится экономически обоснованным в результате использования новых эффективных технических и технологических решений, одним из которых является применение ортогональной турбины (новой реактивной поперечно-струйной турбины), разработанной в ОАО «НИИЭС». Разработанная конструкция ортогональной турбины с направляющим аппаратом более эффективна, чем турбины действующих приливных электростанций. Это достигается за счет двухсторонней работы турбины.

В настоящее время разработан проект Северной приливной электростанции, в

рамках которого реализован ряд новых технических решений. Применение наплавного способа строительства приливных электростанций позволяет избежать трудоемкого устройства отсекающих плотин (перемычек) в морском заливе с целью выгородить площадку строительства (пионерным способом отсыпаются грунтовые перемычки и между ними осушается котлован), что значительно сокращает сроки строительства. Одной из новых разработок ОАО «НИИЭС», внедренных в проекте Северной приливной электростанции, является способ посадки наплавного железобетонного блока на подводное естественное основание без предварительной подготовки его поверхности.

Для этой цели в ОАО «НИИЭС» была предложена новая конструкция наплавного блока, наклонная днищевая плита которого по форме вписывается в усредненный макрорельеф дна в виде обратного сглаженного отображения этого рельефа в месте планируемой установки блока (рис.1).

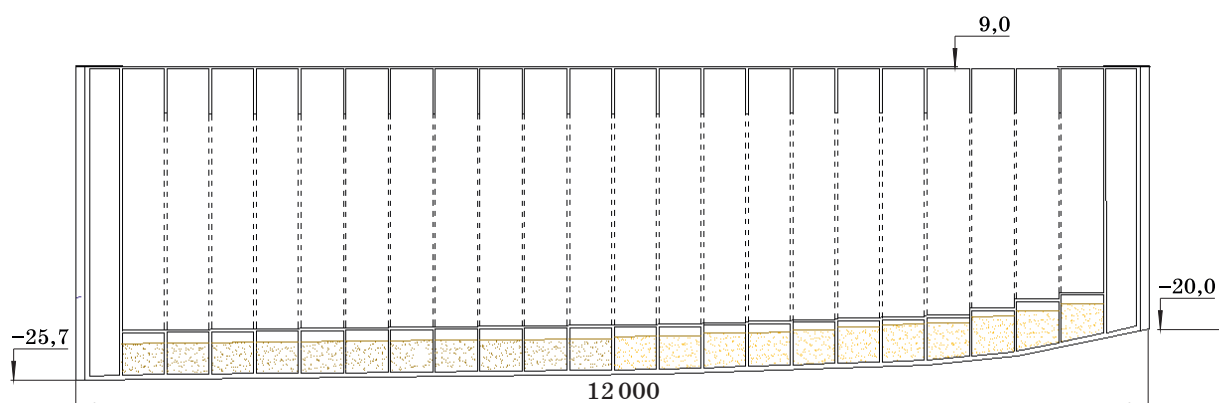


Рис. 1. Наклонная днищевая плита наплавного блока

Наплавные железобетонные блоки представляют собой особый тип гидротехнических сооружений. При значительных габаритах корпус наплавного блока должен обладать максимальной плавучестью (легкостью), позволяющей буксировать его по морю с наименьшей осадкой. В то же время он должен иметь достаточную прочность и устойчивость.

Напряженно-деформированное состояние наплавных железобетонных блоков определяли на основе трехмерных конечно-элементных моделей. В конечно-элементных моделях воспроизводили конструктивные особенности блоков, включая армирование, массив основания, грунтовую засыпку балластировки, окру-

жающую водную среду и др. Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния наплавных железобетонных блоков проводили на стадиях изготовления, балластировки, транспортировки, посадки на естественное основание и эксплуатации при действии нагрузок, соответствующих рассмотренным случаям, включая сейсмические воздействия. На основе результатов расчетов напряженно-деформированного состояния была проведена оценка прочности железобетонных конструкций наплавных блоков Северной приливной электростанции с обоснованием схемы армирования железобетонных элементов наплавных блоков.

Расчеты наплавных железобетонных

блоков при их транспортировке проводили в соответствии с положениями [1]. Характер действия нагрузок представлен на рис. 2.

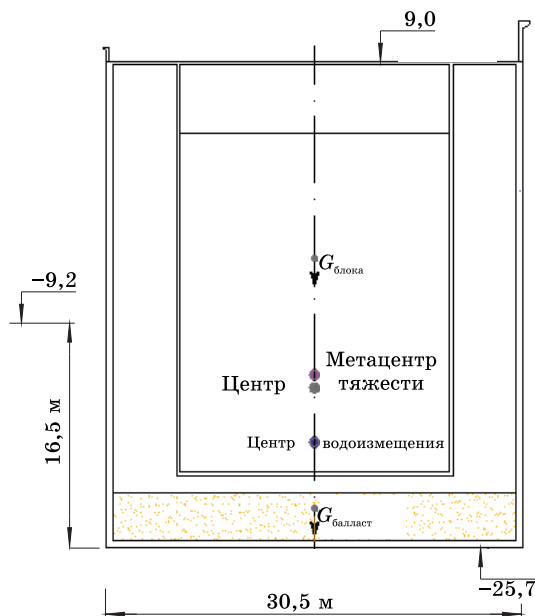


Рис. 2. Действие нагрузок на наплавные железобетонные блоки при транспортировке

При этом для обеспечения устойчивости сооружения, плавающего на свободной поверхности воды при малых углах крена ($\alpha < 15^\circ$), необходимо, чтобы расстояние δ между центром тяжести и центром водоизмещения было меньше метацентрического радиуса ρ , который определяется как произведение центрального момента инерции площади ватерлинии относительно ее продольной оси на объем водоизмещения плавающего сооружения [2].

В результате расчетов устойчивости наплавного блока без учета балласта и с учетом последнего в виде засыпки песчано-гравийной смесью были получены следующие результаты.

В расчетном случае без засыпки центр тяжести блока без балласта находится на высоте 16,15 м от подошвы, осадка в середине блока – 10,55 м, центр водоизмещения находится на высоте 5,275 м от подошвы. Величина ρ – 7,35 м. Проверка условия устойчивости показала, что расстояние $\delta = 16,15 - 5,275 = 10,875$ м превышает величину ρ , равную 7,35 м, т. е. условие устойчивости не выполняется.

Потребовался дополнительный балласт, который составил для правой части блока 9450 т, для левой – 7942 т, при осадке блока в центральной части 16,5 м. Проверка условия устойчивости в расчетном случае с учетом балласта показала, что при $\rho = 4,9$ м и $\delta = 3,95$ м (метацентр блока расположен выше центра тяжести) условие устойчивости выполняется.

Новое техническое решение балластировки наплавного блока при его посадке на естественное основание было предложено в ОАО «НИИЭС». Ранее весь объем балластной воды заменяли грунтом. В проекте Северной приливной электростанции предусмотрено следующее: объем воды, поступающий в центральную часть блока при его посадке на основание, в дальнейшем не откачивать, а использовать в качестве балласта в эксплуатационный период.

Поскольку в период эксплуатации наплавные железобетонные блоки фактически представляют собой секции низконапорной плотины, обеспечение их устойчивости имеет первостепенное значение. Уровень воды, действующей на блоки со стороны моря, определяется факторами окружающей среды – уровнями прилива, сгонно-нагонными явлениями и морскими ветровыми волнами.

Проверка устойчивости наплавных блоков Северной приливной электростанции на естественном основании выполняли с учетом положений [3]. При этом расчет сооружений на воздействие стоячих волн со стороны открытой акватории проводили в соответствии с [2]. Действующие усилия при расчете устойчивости представлены на рис. 3.

Учет сейсмических воздействий проводили в соответствии с методикой [4]. Были рассмотрены строительный и эксплуатационный периоды при действии основных и особых сочетаний нагрузок. Нормативное значение коэффициента запаса устойчивости составляет: для строительного периода – 1,2; для эксплуатационного при нагрузках основного сочетания – 1,14, особого сочетания – 1,08.

Результаты расчетов показали, что минимальное значение коэффициента запаса устойчивости во всех случаях составило 1,38, т. е. условие устойчивости наплавного железобетонного блока выполняется.

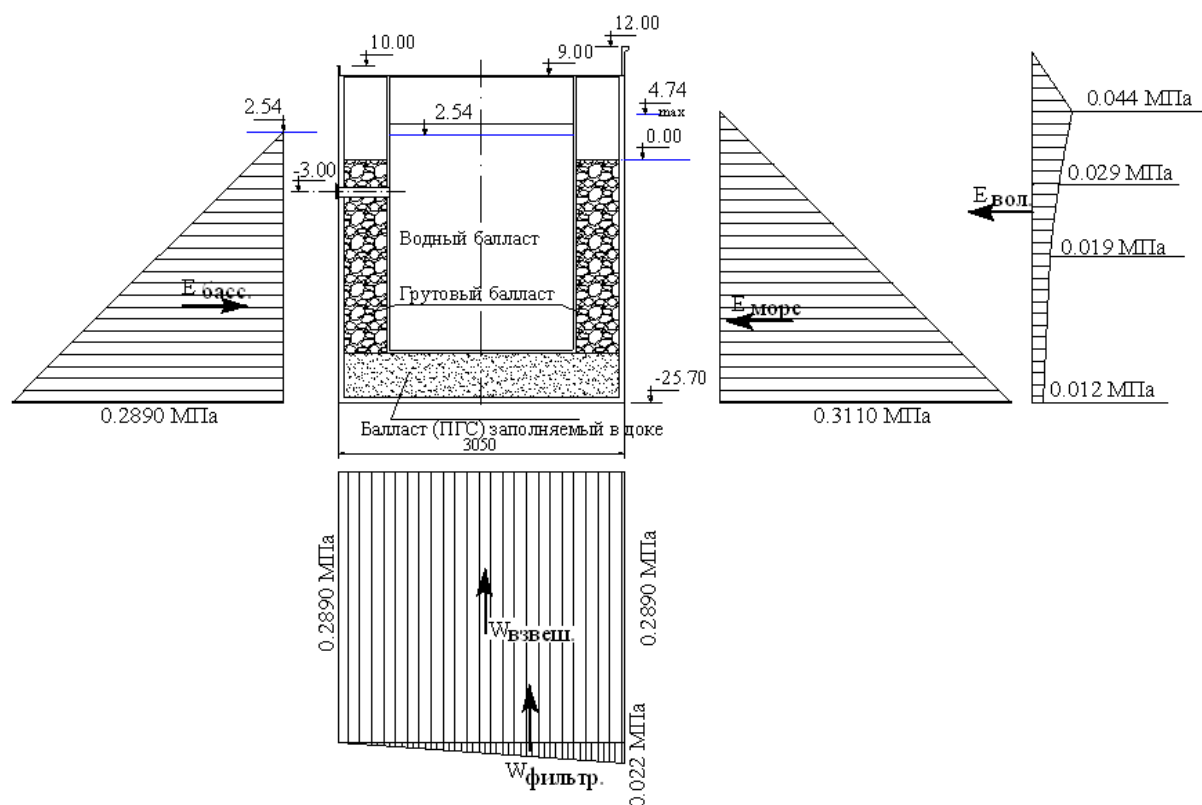


Рис. 3. Действующие усилия при расчете устойчивости

Выводы

В проекте Северной приливной электростанции реализованы новые технические и технологические решения. Разработана новая конструкция ортогональной турбины с направляющим аппаратом более эффективная, чем турбины действующих приливных электростанций. Это достигается за счет двухсторонней работы турбины. Предложена новая конструкция наплавных железобетонных блоков, имеющих наклонную днищевую плиту, соответствующую профилю подводного естественного основания в месте установки блока. Разработан способ посадки наплавных блоков на подводное естественное основание без его предварительной подготовки, а также новый способ балластировки наплавных блоков при их установке на основание.

Выполнены расчетные исследования напряженно-деформированного состояния и прочности наплавных железобетонных блоков на стадиях изготовления, балластировки, транспортировки, посадки на естественное основание и эксплуатации при действии основных и особых сочетаний нагрузок, в том числе включающих волновые и сейсмические воздействия. Результаты расчетов позволили обосно-

вать прочность и схемы армирования железобетонных элементов наплавных блоков.

Проведено расчетное обоснование устойчивости наплавных железобетонных блоков при их транспортировке и посадке на подводное основание.

Обоснована устойчивость наплавных железобетонных блоков на естественном подводном основании при эксплуатации.

1. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов): СНиП 2.06.04-82*. – М.: ГОССТРОЙ СССР, 1989.

2. Киселев П. Г. Справочник по гидравлическим расчетам. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.

3. Основания гидротехнических сооружений: СНиП 2.02.02-85. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998.

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

Материал поступил в редакцию 15.01.13.

Рубин Олег Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, первый заместитель генерального директора
Тел. 8 (495) 967-73-25
E-mail: info@niies.ru

Шполянский Юлий Борисович, кандидат технических наук, генеральный директор
Тел. 8 (499) 493-51-32
Новиков Сергей Прокопьевич, старший научный сотрудник
Тел. 8 (495) 492-95-41

E-mail: NSP@niies.ru
Лисичкин Сергей Евгеньевич, доктор технических наук, заместитель генерального директора ЗАО «ИЦ СКТЭ»
Тел. 8-926-015-19-59
E-mail: Lisichkin1989@rambler.ru

УДК 502/504:532.5:621.64

В. И. АЛТУНИН, А. В. БУРЛАЧЕНКО

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

О. Н. ЧЕРНЫХ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАСЧЕТНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ГОФРИРОВАННЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ ТРУБ

Приведены результаты экспериментальных гидравлических исследований моделей дорожной водопропускной трубы, выполненной из гофрированного металла с гладким лотком по дну. Дана оценка изменению пропускной способности водопропускной трубы при ее «зарядке», после которой на части длины она начинает работать полным сечением. Рассмотрена устойчивость работы труб в полупапорном и папорном режимах.

Металлические гофрированные трубы, гидравлические сопротивления, безнапорный, полупапорный и папорный режимы, гладкий лоток по дну, модельные исследования, коэффициент шероховатости, пропускная способность.

In this article there are described the results of experimental hydraulic researches of road culvert pipe models made of corrugated metal with a smooth tray on the bottom. The assessment of the capacity change of the culvert pipe is given under its «charging» after which the culvert begins to work on a part of its length with a full-cross section. There is investigated the stability of pipes operation in a half pressure and full pressure modes.

Metal corrugated pipes, hydraulic resistance, free-flow, half pressure and pressure modes, smooth tray on the bottom, model researches, roughness coefficient, capacity.

Примером инновационного конструктивного решения при организации систем поверхностного дорожного водоотвода в современных условиях является применение металлических гофрированных труб (МГТ). Грамотное их использование при проектировании дорог обеспечивает высокий уровень конструктивных решений, позволяет получить более экономичные (на 30...60 %) и разнообразные транспортные сооружения в сравнении с традиционными

сооружениями из бетонных труб, малыми мостами, путепроводами, что в конечном итоге увеличивает долговечность водопропускных труб при сохранении высоких потребительских свойств. Бесперебойное функционирование водоотводных каналов и малых водотоков с металлическими гофрированными трубами, простых в эксплуатации и обеспечивающих хорошее водоотведение, объясняет то, что в странах с развитой сетью автомобильных дорог такие трубы