

**Акционерное общество
«Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»
(АО «НИИЭС»)**

ISSN 2413-8770

БЕЗОПАСНОСТЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

**ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ СБОРНИК**

Выпуск 1 (21)

**Москва
2016**

УДК 621.311, 624.9, 550.8

Председатель редакционного совета к. т. н. Ю.Б. Шполянский
Научный редактор к. т. н. И.В. Семенов

Безопасность энергетических сооружений // Периодический научно-технический и производственный сборник. №1 (21).
М.: АО «НИИЭС», 2016. 112 с. (цв. вкл. — 8 с.)

Учредитель и издатель:

АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений»

Сборник зарегистрирован

в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации:

ПИ № ФС77-63268 от 6 октября 2015 г.

Председатель редакционного совета — *к. т. н. Ю.Б. Шполянский*

Научный редактор — *к. т. н. И.В. Семенов*

Выпускающий редактор — *А.Г. Мелихова*

Графический редактор — *В.И. Лукьянов*

Корректор — *Е.Б. Полякова*

Компьютерная верстка и дизайн: *Мелихова А.Г.*

Адрес редакции:

125362, Москва, а/я 393, Строительный проезд, д. 7а

Телефон: (499)497-21-51, (499) 493-51-32,

Факс: (499) 363 56 51

E-mail: press@niies.ru

Подписано в печать 25.03.2016 г.

Формат 60x90 1/16

Бумага офс. №1. Печать офсетная.

Объем 7 п.л. Тираж 500 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Галея Принт»

г. Москва 5-я кабельная ул., 2-б

© АО «Научно-исследовательский институт энергетических сооружений», 2015

«СТОИМОСТЬ ЖИЗНИ» И БЕЗОПАСНОСТЬ ПЛОТИН

*Иващенко И.Н., докт. техн. наук (АО «НИИЭС»),
Иващенко К.И., канд. техн. наук
(ЗАО «НТЦ Гидротехбезопасность»)*

Рассмотрены современные методы оценок экономического эквивалента «стоимости человеческой жизни». На основе анализа зарубежных и отечественных публикаций сформулированы конкретные предложения по оценкам «стоимости жизни» и их применению при экономическом обосновании проектов плотин и мероприятий по обеспечению их безопасности.

Ключевые слова: безопасность плотин, риск аварии, ущерб от аварии, «стоимость жизни», методы оценки.

Modern methods of evaluating an economical equivalent of «value of statistical life» (VSL) have been considered.

Based on analysis of foreign and domestic publications distinct proposals for estimating of VSL and there use is providing the feasibility study for events ensuring the dam safety have been made.

Keywords: dam safety, risk of the failure, damage from the failure, «value of life», methods of evaluation

Конечная цель данной работы — определение экономического эквивалента «стоимости человеческой жизни». Экономический эквивалент «стоимости человеческой жизни» необходим для определения суммы затрат, выделяемой для уменьшения риска гибели людей до уровня, приемлемого в конкретных социально-экономических условиях. Именно в этом смысле необходимо понимать такие термины, как «стоимость жизни» или «цена жизни» — в зарубежных публикациях наиболее часто встречается термин «value of a statistical life» (VSL).

Предотвращение гибели людей является основной целью мероприятий по обеспечению безопасности плотин [1, 2]. Однако нулевая вероятность аварии плотин практически недостижима, и по существу решается задача минимизации риска большого числа жертв. При разработке проекта строительства или реконструкции плотины регулирование риска осуществляется на основе сопоставления затрат на строи-

тельство и эксплуатацию, а также ущерба от возможной аварии плотины с выгодами от снижения риска аварии. Экономический эквивалент «стоимости жизни» необходим для оценки как вероятного реального, так и предотвращённого социального ущерба от возможной аварии плотины. «Стоимость жизни», наряду с другими составляющими ущерба, должна использоваться при экономическом обосновании и сопоставлении проектных вариантов плотин и мероприятий по обеспечению их безопасности.

Действующий нормативный документ «РД 03-521-02. Порядок определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения» (утверждён Приказом МЧС РФ, Минэнерго РФ, МПР РФ, Минтранса РФ и Госгортехнадзора РФ от 18 мая 2002 г., № 243/150/270/68/89), а также «Правила определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения», указывает, что все составляющие вероятного вреда определяются в денежном выражении. Это указание относится и к «определению размера вреда, который может быть причинен жизни и здоровью физических лиц». Действующим нормативным документом «Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений» (утверждена приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007 № 528/143), регламентирована оценка «социального ущерба, в основном характеризующегося количеством пострадавших и степенью вреда их здоровью, а в стоимостной форме — компенсационными затратами». Аналогичный подход принят в Федеральном законе ФЗ-225 [2], который регламентирует суммы обязательной страховой компенсации в связи с гибелью, вредом для здоровья или нарушением условий жизнедеятельности человека.

Однако, как подчёркивается в данной статье, экономический эквивалент «стоимости человеческой жизни» не сводит-

ся к компенсационным выплатам по случаю гибели человека. В то же время, указанные суммы компенсации, как правило, незначительны по сравнению со стоимостью материальных потерь при аварии и практически не учитываются при экономическом обосновании проектов плотин и мероприятий по обеспечению их безопасности. Поэтому мероприятия по снижению риска гибели людей, в том числе по организации раннего предупреждения и эвакуации, трудно обосновать экономически. И это обстоятельство серьезно препятствует внедрению в практику методов оценки и регулирования рисков аварий плотин. Реальная «стоимость жизни» во многих случаях сопоставима с другими составляющими ущерба, и её роль может оказаться определяющей при разработке мероприятий по обеспечению безопасности плотины. Методы оценки «стоимости жизни», применяемые в мировой практике, представлены на схеме рис.1.

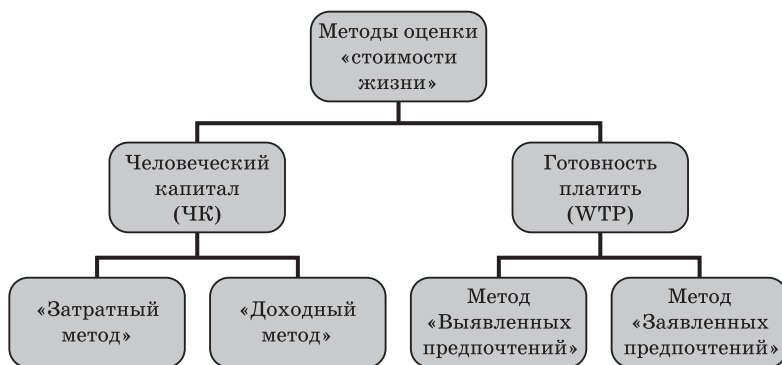


Рис. 1

Теория «человеческого капитала» (human capital-ЧК) выдвинута Нобелевским лауреатом Т.Шульцем, а её базовая модель, ставшая классической, сформулирована Нобелевским лауреатом Г. Беккером [3]. Данная теория оценивает «полезность» человека для общества в зависимости от объёма материальных и нематериальных ресурсов, которые человек может создать. Для стоимостной оценки человеческого капитала применяются, в основном, два способа: «затратный» и «доходный».

В соответствии с «затратным» способом оцениваются комплексные (предыдущие) затраты на формирование человеческого капитала: расходы на воспитание человека до достижения им трудоспособного возраста, на образование, повышение трудовой квалификации, интеллектуального и творческого потенциала, здравоохранение и безопасность. Эти инвестиции ставят своей целью повышение результативности и увеличение соответствующих доходов в будущем. Одной из наиболее известных работ этого направления является исследование [4, 5], выполненное Дж. Кендриком.

Альтернативный «затратному» «доходный» метод оценки человеческого капитала определяет суммарную величину доходов на протяжении всего периода экономической активности человека. Исследования, выполняемые в рамках «доходного» метода, базируются, в основном, на методике Джоргенсона – Фраумени [6]. Методика оценивает запасы человеческого капитала, учитывая, в том числе, рыночные ставки заработной платы. Возможность учёта рыночных факторов, т.е. влияния спроса и предложения на величину человеческого капитала, является важным доводом в пользу данной методики. В 2009 г. по решению OECD на основе методики, аналогичной методологии Джоргенсона – Фраумени, выполнены оценки запасов человеческого капитала для 15 стран [7]. Расчёты охватывали период с 1997 по 2007 гг., а в качестве центрального был выбран 2006 г. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Оценки «человеческого капитала», представленные в табл. 1, составляют сотни тыс. долл. США (2006). Как видно из графика рис. 2, построенного на основании данных табл. 1, зависимость между «человеческим капиталом» и валовым внутренним продуктом (ВВП) стран может быть с хорошим приближением описана линейной зависимостью.

Методология, использованная в упомянутом проекте OECD [7] для стоимостной оценки человеческого капитала, в настоящее время является общепризнанной. Весьма детальные оценки человеческого капитала России выполнены Капелюшниковым Р.И. [9] на основе аналогичной методологии. Исследования осуществлены для 2002 и 2010 гг. (т.е. дат последних

Таблица 1

**Человеческий капитал (ЧК) на душу населения
(2006 г., тыс. USD)**

Страна	ЧК ²	ВВП ¹	ЧК/ВВП
Румыния	78,65	6,09	12,91
Польша	191,32	15,09	12,68
Израиль	436,68	23,85	18,31
Корея	382,33	24,29	15,74
Новая Зеландия	456,97	27,25	16,77
Италия	343,43	30,43	11,29
Испания	389,73	30,43	12,81
Франция	413,06	31,45	13,13
Великобритания	485,34	35,58	13,64
Дания	438,91	36,08	12,16
Канада	528,1	36,93	14,30
Австралия	465,57	37,04	12,57
Нидерланды	464,84	38,12	12,19
США	642,69	46,38	13,86
Норвегия	546,02	53,89	10,13

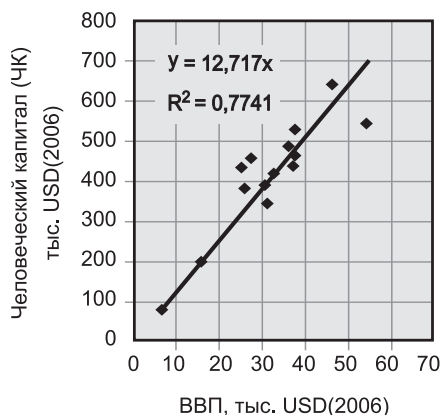


Рис. 2. Зависимость «человеческого капитала» (ЧК) от валового внутреннего продукта (ВВП)

Примечания

¹ В табл. 1 и далее по тексту ВВП — валовой внутренний продукт на душу населения, пересчитанный в долл. США) по паритету покупательной способности (ППС) конкретной страны;

² St. Gallen. The OECD Human Capital Project: Progress Report. Paper Prepared for the 31st General Conference of The International Association for Research in Income and Wealth., Switzerland, August 22 – 28, 2010

переписей населения). Объем накопленного человеческого капитала в данном исследовании рассматривался как функция от нескольких базовых переменных: общей численности населения; его гендерного состава; ожидаемых вероятностей дожития; образовательной структуры; коэффициентов зачисления в учебные заведения разного типа; уровней занятости; структуры относительных заработков; среднего уровня реальной заработной платы. В итоге оценка человеческого капитала России в 2010 г., составила 6,1 млн. руб. или 200 тыс. долл. США (2010). Отметим, что согласно докладу [10], представленному в 2015 году на Всемирном экономическом форуме, Россия поднялась с 55-го на 26-е место (из 124 стран) в мировом рейтинге человеческого капитала*.

Подводя итог рассмотрению и анализу оценок «стоимости жизни» на основе теории «человеческого капитала», следует отметить ограниченность этой теории, как в «затратном», так и в «доходном» её варианте. Оба эти варианта оценивают «стоимость жизни» человека с точки зрения его полезности для общества. Применительно к оценке состояния и потенциала экономики страны, перспектив и прогнозов её развития, такой подход безусловно полезен. Однако человек оценивает свою жизнь не только с позиции своей пользы для общества.

Методы, основанные на оценке «готовности платить» (willingness to pay — WTP)

Применительно к проблеме оценки и регулирования безопасности плотин при оценке «стоимости жизни» целью является определение суммы, которая эквивалентна стоимости мероприятий, необходимых для предотвращения (уменьшения) риска для жизни. Однако выделение материальных и финансовых ресурсов для обеспечения безопасности и уменьшения риска аварии неизбежно связано с ограничением затрат на какие-то другие потребности общества. Готов-

Примечание. Оценки человеческого капитала, представленные в работе [9], считаются некоторыми исследователями сильно завышенными. Так, в докладе [11], приведены иные, крайне низкие, оценки: «Стоимость накопленного национального ЧК на душу населения России к 2011 году составила 14,5 тыс. долларов». Автор работы [11] утверждает, что оценки [9] характеризуют как бы потенциальный запас человеческого капитала, а не его вклад в экономику страны на современном этапе её развития.

ность общества (и отдельных его членов) к выделению указанных ресурсов, т.е. «готовность платить» и определяет, в конечном счёте, «стоимость человеческой жизни». Методы, основанные на определении экономического эквивалента «готовности платить» (см. рис. 1), в настоящее время преобладают.

Как показали многочисленные социальные и экономические исследования, небольшие изменения в риске для жизни оцениваются людьми примерно так же, как величина компенсации отдельному человеку за готовность взять на себя тот или иной, но весьма малый риск. Указанная готовность часто выражена неявно, но чётко проявляется в поведении и принятии различных решений. Метод, ставший стандартом для расчета «стоимости статистической жизни», был сформулирован Jacques Drize [12]. Автор рассматривал «готовность платить» человека в связи с его потребностью в обеспечении безопасности. Метод популяризирован Jones-Lee (1974), Schelling (1968), Hammitt et. (2012 – 2014 гг.) и многими другими авторами. Большое внимание данной методике уделено в работах W. Kip Viscusi [13, 14]. Модель, основанная на «готовности платить», исходит из того, что каждый человек, принимая то или иное решение, формулирует (явно или неявно) свои предпочтения. При этом выбор решения определяется стремлением достичь максимальной полезности $MAX(EU)$. Функция полезности (EU) имеет вид:

$$EU = (1 - p) \cdot U(w(p)) + p \cdot V(w(p)) , \quad (1)$$

где p — обозначает риск смерти в течение рассматриваемого периода, w — богатство человека, $U(w)$ — полезность для человека, если он жив в данный период, а $V(w)$ — полезность, если он умрет (обычно это последнее слагаемое связано с вопросами наследования, и им, ввиду относительной малости, часто пренебрегают). Взяв производную $d(EU)/dp$ и приравняв её нулю, получают известное соотношение, которое приводится во многих исследованиях данного направления:

$$dw/dp = (U(w) - V(w)) / ((1 - p)U'(w) + pV'(w)) . \quad (2)$$

Основная идея методики «готовности платить» часто поясняется такого рода условным примером: «Пусть экономико-социологические исследования показали (в ходе непосред-

ственного опроса или каким-либо косвенным образом), что люди готовы заплатить (в среднем) $Dw = 300$ руб./год на человека за снижение вероятности смерти от базового уровня в $3 \cdot 10^{-5}$ до $1 \cdot 10^{-5}$, т.е. за ежегодное сокращение вероятности смерти $Dp = 2 \cdot 10^{-5}$. В таком случае: $Dw/Dp = (Dw \text{ — численность населения})/(\text{предотвращённое количество смертей в год}) = (300)/(2 \cdot 10^{-5}) = 1,5 \cdot 10^7$ рублей. Таким образом, затраты, необходимые на предотвращение одной смерти и эквивалентные «стоимости жизни», в данном примере равны 15 млн. руб.».

Практическое определение сумм, эквивалентных «готовности платить», определяется в большинстве случаев методами «заявленных предпочтений» (Stated Preference – SP) и «выявленных предпочтений» (Revealed preference – RP) (см. рис. 1). Оба этих метода широко используются также в экономике, экологических исследованиях, здравоохранении, на транспорте. Метод SP реализуется различными способами: а) — непосредственным опросом респондентов о готовности платить за уменьшение риска смерти (преимущественно «лицом к лицу», а также путём анкетирования, сбора информации по интернету, телефону или по почте); б) — на основе моделирования предпочтений респондентов. Метод RP основан на косвенном изучении индивидуального поведения людей на рынке, где цены отражают готовность принять тот или иной уровень риска. Так, в частности, на рынке труда уровень заработной платы может существенно зависеть от риска заболевания или смерти на тех или иных предприятиях. На рынке сбыта продукции решения людей также могут зависеть от уровня безопасности, обеспечиваемого тем или иным предлагаемым товаром. В последние годы большей популярностью пользуется SP-метод, который даёт меньший разброс полученных оценок «готовности платить» за снижение риска смерти.

Детальные исследования «стоимости жизни» выполнены при финансовой поддержке Европейского Союза в рамках «ОЕСД Проекта 2008 – 2011» [15, 16]. В состав исходной базы данных вошли 856 значений средней «цены жизни» взрослого населения, которые были собраны в 38 странах мира. Исходные данные по этим странам весьма существенно отличались

по финансовому положению, этническому составу и социальному статусу населения, а также по ряду других, как количественных, так и качественных показателей. Наибольший объём данных получен в США ($n = 122$), Франции ($n = 75$) и в Канаде ($n = 71$). Оценки «готовности платить» за незначительное уменьшение риска смерти получены в трёх основных «категориях риска»: охраны окружающей среды (207), здравоохранения (390) и транспорта (259). Основной объём исследований в европейских странах, а также в Канаде и Австралии, выполнен SP-методом (главным образом, путём непосредственного опроса респондентов). RP-метод традиционно применяется в США (в основном, по данным обследования рынка труда). Результаты этого исследования представлены в табл. 2.

Табл. 2 демонстрирует весьма значительный разброс оценок VSL как в пределах каждой страны, так и между странами. Минимальная оценка в 4,5 тыс. долл. США (2005) установлена в Бангладеш (ВВП на душу населения — 0,42 тыс. долл. США). Экстремальная оценка в 206 млн. долл. США получена в Новой Зеландии. Несмотря на более высокий по сравнению с Бангладеш уровень благосостояния (ВВП на душу населения — 27,5 тыс. долл. США), такую оценку для Новой Зеландии трудно обосновать. Ведь даже для США (ВВП на душу населения — 44,3 тыс. долл. США) представлена более низкая оценка VSL (около 138 млн. долл. США). Причина столь высокой неоднородности и разброса результатов состоит, главным образом, в образе жизни и менталитете народов разных стран. Несмотря на это, на основе результатов исследования, представленных как в количественной, так и в качественной форме), построена эконометрическая модель множественной регрессии (применён популярный метод мета-анализа). Однако, в силу отмеченного разброса исходных оценок VSL, построенная в данном исследовании модель вряд ли может использоваться для конкретных стран, или, тем более, объектов.

По итогам выполнения проекта OECD [15, 16] для взрослого населения среднего возраста предложены для практического использования следующие оценки VSL: в странах

Таблица 2
Оценки VSL (стоимости жизни среднестатистического человека) для различных стран [16]
(оценки представлены в тысячах долл. США 2005)

Страна	Оценки VSL для различных категорий риска											
	Окружающая среда				Здравоохранение				Транспорт			
	¹ n	Min	Max	Средняя оценка	¹ n	Min	Max	Средняя оценка	¹ n	Min	Max	Средняя оценка
Австрия	34	2128	15003	6664					8	2101	40857	12510
Бангладеш					4	4,5	7	5				
Бразилия					32	2821	35717	15760				
Канада	46	6493	20601	13399	23	796	9430	2865	2	2116	3786	2951
Чили					14	178	2295	1024	16	265	2130	663
Клгтай	1	24	24	24	124	17	1716	535				
Тайвань	8	924	3883	2126	48	5255	22147	11672				
Чехия					12	731	5447	2735				
Дания									6	8998	17540	13649
Франция	20	768	3027	1803	43	188	9787	2272	12	268	26494	8576
Индия									18	21	98	46
Италия	25	1432	6341	3885	25	502	12642	3887				
Япония					31	505	4091	1380				
Корея	1	5726	5726	5726					1	3511	3511	3511
Малайзия									4	700	1705	1194
Нидерланды									29	1492	6426	3419
Н. Зеландия									96	682	206474	31222
Норвегия	6	1491	10480	7288	9	690	8502	4623	6	2680	12188	6095
Польша					3	190	1710	785				
Швеция					14	2783	5530	4510	21	1567	10259	4289
Швейцария									1	13257	13257	13257
Таиланд	2	1380	1699	1539	2	582	629	605	2	1295	1847	1571
Англия	2	143241	196962	170100	11	652	63268	12705	34	652	112035	20802
США	73	88	137775	8304	24	37	15543	4808	25	4731	65809	17465

¹n — количество оценок VSL

ОЭСР — диапазон 1,5 – 4,5 млн. долл. США (2005), с базовым значением — 3 млн. долл. США (2005), а для 27 стран ЕС — диапазон 1,8 – 5,4 млн. долл. США (2005), с базовым значением 3,6 млн. долл. США (2005). Дальнейшие уточнения оценок VSL целесообразно выполнять для более узких и однородных групп респондентов. Так, в частности, регламентация «стоимости жизни» в США проводится независимо для разных сфер деятельности. Принципиальные подходы к оценке VSL и их применению в экономических расчётах («cost – benefit» analysis – анализ «затраты – выгода») сформулированы на федеральном уровне [17, 18, 19]. При этом для центральных значений VSL указан примерный диапазон их оценок — от 5,0 до 8,0 млн. долл. США (2009). Конкретные значения VSL в отдельных сферах жизнедеятельности регламентируются на уровне министерств США. Так, например, при проведении экономических расчётов для обоснования мер безопасности на транспорте США [20] рекомендовано значение VSL — 9,2 млн. долл. США (2013). Рекомендации нормативных документов различных стран, представленные в табл. 3, более осторожны, хотя представленные в них значения VSL составляют несколько млн. долл. США.

Оценки «стоимости жизни» ряда стран с развитой экономикой, представленные в табл. 3, составляют несколько млн. долл. США. Регламентированные оценки VSL на порядок выше уровней «человеческого капитала» (см. табл. 1). Высокий уровень полученных оценок нельзя не учитывать применительно к оценкам «стоимости жизни» в нашей стране.

Уточнение оценок VSL для более узких и однородных групп респондентов удачно реализовано в докладе «SafetyNet (2009) Cost-benefit analysis». Работа финансировалась и опубликована Генеральным директоратом по транспорту и энергетике Европейской Комиссии. Конечная цель работы — экономическая оценка мер безопасности дорожного движения на основе метода «Cost-benefit analysis» (анализ «выгоды – затраты»). Доклад сравнивает оценки статистической жизни (табл. 4) в различных странах применительно к движению на дорогах. Наряду с этим в табл. 4 и на рис. 3 представлены данные о смертности на дорогах указанных стран.

Таблица 3
Оценки VSL, регламентированные в различных странах

Страна, союз стран	Австралия ¹	Великобритания ²	Канада	Норвегия ⁴	Швеция ⁵	США	Евросоюз [15, 16]	Япония ⁷
VSL, валюта страны	4,2 млн. AUD (2014)	1,65 млн. GBP (2010)	5,8 млн. CAD (2002) ³ 6,5 млн. CAD (2007) ⁶	30 млн. NOK (2012)	22 млн. SEK (2012)	6,0 млн. долл. США (2009) [17–18,], 9,1 млн. долл. США (2012) [19,20]	3,6 млн. долл. США (2005)	206–505 млн. иен (2007)
VSL, млн. долл. США	3,78 (2014)	2,54 (2010)	3,69. (2002)	5,15 (2012)	3,24 (2012)	6,0(2009), 9,1(2012)	3,6 (2005)	1,75 – 4,29 (2007)
ВВП, долл. США [8]	44612	35924	30632 (2002) 39226 (2007)	66358	43869	46930 (2009), 51435 (2012)	27708	33319

Примечания. ¹Australian Government. Department of the Prime Minister. Best Practice Regulation Guidance Note. Value of statistical life.2014; ²U.K. Department for Transport (DfT). Transport Analysis Guidance (TAG). The Accidents Sub-Objective. TAG Unit 3.4.1. London, January 2014; ³Canadian Cost-Benefit Analysis Guide: Regulatory Proposals. Treasury Board of Canada Secretariat. 2007; ⁴Norwegian Ministry of Finance. Cost-Benefit Analysis. NOU 2012; ⁵ASEK (Arbetsgruppen samhällsekonomiska kalkyler). The Swedish Transport Administration, Borlänge. 2012; ⁶Government of Canada. PRI Project, Regulatory Strategy. Chestnut, L. G., & De Civita, P.. Economic valuation of mortality risk reduction: Review and recommendations for policy and regulatory analysis. 2009; ⁷Naomi Miyazato. Estimating the Value of a Statistical Life Using Labor Market Data. The Japanese Economy, vol. 38, no. 4, Winter 2011–12, pp. 65–108 – дана ссылка на Cabinet Office (2007)

Как следует из анализа графиков рис. 3, зависимость VSL как от ВВП, так и от смертности на дорогах, удовлетворительно описывается экспонентой. Можно предположить, что и для других исходных выборок VSL действует аналогичная закономерность.

В настоящее время в России нет официальной регламентации методов и оценок «стоимости жизни». Известны от-

Таблица 4

Страна	ВВП [8], USD (2002)	VSL ¹ , Euro 2002)	Смертность на дорогах ² (2000)	Население ³ , 100000 чел (2002)	Смертность на 100000 чел
Португалия	19332	55812	2053	103,68	19,80131
Испания	24664	150253	5776	413,14	13,98073
Япония	27251	181920	10403	1274,45	8,16273
Греция	22386	206087	2037	109,88	18,53841
Польша	11592	221392	6294	382,30	16,46351
Чехия	18311	316334	1486	102,05	14,56149
Бельгия	30720	462117	1470	103,33	14,22627
Франция	28523	589177	8079	618,03	13,07218
Дания	31597	679737	498	53,76	9,26339
Италия	27890	791748	7061	571,57	12,35369
Австрия	31261	899014	976	80,82	12,07622
Ирландия	34247	1170695	415	39,32	10,55443
Австралия	30603	1193378	1817	196,51	9,24634
Германия	28399	1266000	7503	824,88	9,09586
Финляндия	28421	1273372	396	52,01	7,61392
Канада	30634	1408630	2903	313,62	9,25642
Нидерланды	33954	1741000	1082	161,49	6,70010
Швеция	30790	1954000	591	89,25	6,62184
Швейцария	36134	2010000	592	72,85	8,12628
Великобритания	29983	2107000	3580	593,26	6,03445
Норвегия	37726	2707000	341	45,38	7,51432
США	38122	3189000	41945	2876,25	14,58322

Примечания. ¹ SafetyNet (2009) Cost-benefit analysis. European Commission, Directorate-General Transport and Energy.; ² IRTAD Database, October 2014 — Long-term trends ; ³ The World Bank. Population, total

дельные публикации по данной теме [21 – 23]. В работах [21, 22] оценка VSL принята равной отношению среднедушевого располагаемого денежного годового дохода к средней вероятности смерти в течение года. Таким образом, по форме использовано выражение (2) метода «готовности платить». Од-

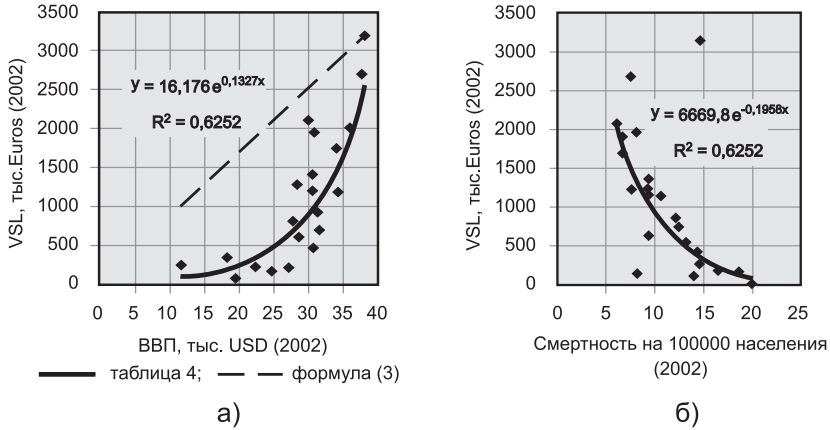


Рис. 3. Зависимость «стоимости жизни среднестатистического человека» (VSL) от ВВП на душу населения (а) и от смертности (б)

нако «полезность для человека», используемая в выражении (2), может быть совсем не адекватна доходу. По существу в работах [21, 22] применён подход, аналогичный «доходному» методу. Как уже отмечалось, данный подход может давать сильно заниженные оценки, т.к. далеко не в полной мере способен учесть реальные социально-экономические условия жизни и унастроения конкретных людей.

В работе [23] справедливо указывается: «В соответствии с теорией потребительской стоимости, метод «готовности платить» является основным при оценке стоимости единицы (цены) риска для жизни (здоровья)». Однако при анализе метода «готовности платить» неточно указывается, что оценка «стоимости жизни» всегда базируется на «методе прямого опроса населения». Приведенное нами ранее описание метода свидетельствует о том, что так происходит далеко не всегда. При этом в качестве примера в работе [23] приводится опрос ЦСИ Росгосстраха, «как наиболее адекватный способ получения необходимых оценок. Согласно последнему исследованию 2011 г., справедливая цена жизни составляет 4,5 млн. руб. (150 тыс. долл.)». Однако сумма страхования жизни (а именно эта сумма подразумевается в опросе ЦСИ Росгосстраха) человека может совершенно не соответствовать «стоимости жизни» применительно к рассматриваемому контексту обеспечения

его безопасности – например, применительно к обеспечению безопасности населения в нижнем бьефе плотины. Именно поэтому вторым слагаемым выражения (2) обычно пренебрегают. Ведь «полезность для человека, если он жив», интересует его несоизмеримо больше, чем «полезность, если он умрёт». По этой же причине несостоятелен и «актуарный» подход, применяемый при определении размера компенсационных страховых платежей.

В целом, оценки «стоимости жизни», представленные в работах [21 – 23], не превышают 15 млн. руб. Высказанные критические соображения позволяют предполагать, что применительно к проблеме обеспечения безопасности плотин такая оценка может оказаться существенно заниженной.

Хорошо известны также работы А.Быкова [24 – 27] и, особенно, подготовленная при его научном обосновании [25, 26] и под эгидой Российского общества анализа риска «Декларация об экономической оценке жизни среднестатистического человека» [25]. В Декларации приведены следующие указания: «...Рекомендуемый Обществом диапазон значений стоимости среднестатистической жизни человека для современных условий России составляет: 30 – 40 млн.рублей ...». В более поздней работе А. Быкова [27], опубликованной под редакцией члена-корреспондента РАН Порфирьева Б.Е. в 2014 году, рекомендованы уточнённые оценки «стоимости жизни»: «... — от 10 до примерно 150 млн. рублей для трудоспособного возраста, около 40 млн. руб. для возраста среднестатистического человека и — почти 80 млн. руб. в среднем для населения Российской Федерации в 2012 году. Поэтому можно рекомендовать следующий диапазон для установления нормативного значения этого показателя: 40 – 80 млн. руб. Рекомендуемым точечным значением может служить середина данного диапазона: 60 млн. руб.»

К сожалению, весьма актуальная «Декларация» до сих пор не имеет статуса нормативного документа. В то же время, целесообразно уже сейчас активно использовать указанные рекомендации хотя бы для ориентировочных оценок при экономическом обосновании проектов плотин (в особенности, применительно к мероприятиям по обеспечению безопасности лю-

дей в процессе эксплуатации). При этом следует учитывать, что указанные оценки могут быть завышены, т.к. получены по формуле (3), в соответствии с которой «стоимость жизни» в той или иной стране принимается пропорциональной соотношению валовых внутренних продуктов страны и США:

$$VSL_{\text{страны}} = VSL_{\text{США}} \cdot (\text{ВВП}_{\text{страны}} / \text{ВВП}_{\text{США}}). \quad (3)$$

Для иллюстрации этого критического утверждения на графике рис.3, а представлены данные по VSL нескольких стран (см. табл. 4), пересчитанные по аналогии с уравнением (3). Соответствующий линейный график проходит выше данных табл. 4 по VSL для любой из представленных в таблице 4 стран.

Метод «choice experiment»- «выбор вариантов»

В последнее время пристальное внимание уделяется группе SP – методов, в которых готовность респондентов платить за снижение риска гибели или материальных потерь выявляется на основе моделирования их предпочтений (метод «choice experiment» или «choice modelling» — «выбор вариантов»). Данный метод получил серьёзное теоретическое обоснование, в том числе в работах нобелевского лауреата Daniel L. McFadden [28].

Согласно методологии данного метода, респонденты определяют свою оценку и осуществляют выбор из некоторого числа гипотетических (но реальных и чётко определённых) вариантов тех или иных организационно-управленческих и технических решений по обеспечению безопасности и регулированию риска. Указанные варианты касаются, естественно, и финансовой стороны соответствующих мер. Это позволяет производить оценку многомерных изменений в параметрах (атрибутах) решений и связанных с ними вариантов стратегии обеспечения безопасности.

Респонденты предварительно знакомятся с общей информацией о природе возможного риска, а также о текущем среднем уровне риска. В ходе исследования (эксперимента), каждый респондент получает на руки несколько карт, на которых представлены альтернативные варианты решений и их атрибуты. Предварительный выбор ва-

риантов, уровни и диапазоны количественных или качественных вариаций атрибутов (в сравнении с текущими значениями) определяются, а затем уточняются группами экспертов. Каждая карта содержит несколько атрибутов решения (таких, как риск гибели или травм людей, разрушения домов, утраты сельхозпродукции, а также налога или денежной оплаты за реализацию мер по обеспечению безопасности, в том числе эвакуации из опасной зоны), а каждый атрибут — несколько возможных уровней его реального изменения. Выполняемый затем статистический анализ результатов таких оценок служит для определения «готовности платить» и «стоимости жизни».

Метод «choice experiment» применён в ряде практических исследований для оценки «готовности платить» за снижение риска людских и материальных потерь от наводнений. В Нидерландах [29] наводнение может быть вызвано прорывом защитных дамб, отгораживающих значительную часть территории страны от моря, а во Вьетнаме [30] — океанским ураганом. В Нидерландах исследование проводилось с помощью анкетирования по интернету среди около 530 респондентов, проживающих в четырех регионах страны (октябрь – ноябрь 2008 года). Исследование во Вьетнаме осуществлено путем опроса (интервью «лицом к лицу») среди сельских жителей (выборка из 30 домохозяйств) двух прибрежных районов провинции Нгеан (июнь – декабрь 2011 г.).

Полученная в результате исследования по методу «choice experiment» информация анализировалась в итоге путём построения эконометрической модели множественной регрессии. Модель определяет отношения между WTP и различными атрибутами анализируемых управленческих и технических решений по обеспечению безопасности и регулированию риска. Расчёты по этой модели позволили вычислить «готовность платить» (WTP) за снижение риска наводнений. Предельное значение «готовности платить» WTP за снижение смертности интерпретировано как оценка статистической жизни (VSL) и примерно равно: для Нидерландов — 6,8 млн. Euro (2008) и для Вьетнама — 212 тыс. Euro (2011).

О практическом использовании приведенных оценок «стоимости жизни»

Оценки экономического эквивалента «стоимости жизни» используются для:

расчётов вероятного социального ущерба, связанного с гибелью людей в результате того или иного сценария аварии плотины;

расчетов предотвращенного вероятного ущерба – предотвращение ущерба достигается как в результате предусмотренных в проекте мер по предупреждению аварии и спасению людей, так и вследствие защиты от катастрофических паводков и наводнений, благодаря регулирующей емкости водохранилища;

оценок «риска аварии», который «определяется как мера вероятности и тяжести негативных последствий аварии и оценивается математическим ожиданием последствий неблагоприятных событий» и при расчётах которого должна учитываться, наряду с другими составляющими ущербов от аварии, также и социальный ущерб в форме денежных оценок «стоимости жизни» [31].

Практический учёт «стоимости жизни» должен выполняться в ходе выполнения следующих видов работ:

1. Разработка экономического обоснования эффективности строительства или реконструкции проектируемого гидротехнического сооружения, выполняемая в соответствии с Постановлением Правительства от 16 февраля 2008 года № 87 [32].

Раздел экономического анализа необходимо представить в составе проектной документации при прохождении экспертизы проекта. Традиционным средством обоснования решений и выбора вариантов проекта является сравнительный анализ затрат и результатов. Указанные оценки «стоимости жизни» являются наиболее существенной составляющей социального ущерба и, наряду с другими видами возможных ущербов от аварии, должны быть использованы при проведении экономических расчётов. Указанный предотвращенный ущерб учитывается в доходной части от строительства или реконструкции водоподпорных сооружений, а возможный реальный ущерб, связанный с гибелью людей, — в рас-

ходной части. Кроме того, при оценке сравнительной эффективности различных вариантов проекта, должна быть представлена не только коммерческая, но также и общественная (социально-экономическая) эффективность проекта. При этом должны быть учтены как непосредственные результаты и затраты проектных вариантов, так и «внешние» затраты и результаты, в том числе социальные эффекты в смежных секторах экономики. Действующие нормативные документы рекомендуют учитывать «внешние» эффекты в количественной форме. Последнее, естественно, целесообразно выполнять в денежном эквиваленте с применением оценок «стоимости жизни».

Суммы социального ущерба («стоимости жизни»), как и суммы остальных составляющих ущерба, следует включать в состав возможных расходов и доходов с учётом вероятности аварии водоподпорного сооружения.

2. Разработка и оценка эффективности противоаварийных мероприятий и организации служб раннего предупреждения о возможной аварии, а также служб спасения, эвакуации людей из зон затопления, жизнеобеспечения людей в местах эвакуации.

Именно эффективная работа указанных служб позволяет резко сократить реальный социальный ущерб (гибель людей и ущерб их здоровью). Специфика данного раздела экономического обоснования состоит в том, что при расчёте доходной части от работы указанных служб, т.е. предотвращённого социального ущерба (главным образом, «стоимость жизни» спасённых от гибели людей) следует учесть вероятность не только аварии плотины, но и вероятность эффективной работы служб. В то же время указанная вероятность связана с объёмом учитываемых в экономических расчётах капитальных и эксплуатационных затрат на организацию и обеспечение работы служб. Следует также учитывать, что эти затраты, в принципе, зависят от изменяющегося в ходе длительной эксплуатации состояния плотины и, как следствие, вероятности её аварии. Населённость территории нижнего бьефа в зоне возможного воздействия волны прорыва и в зоне затопления и, следовательно, объёмы ущербов, также изме-

няются. Поэтому следует в разделе непредвиденных расходов предусмотреть соответствующую корректировку затрат в процессе эксплуатации.

3. Разработка декларации безопасности, как составной части проекта строительства или реконструкции плотины с приложением к декларации расчета вероятного вреда и документов, необходимых для обоснования величины финансового обеспечения ответственности владельцев сооружения за вероятный вред жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате возможной аварии [33].

Размер экономического эквивалента «стоимости жизни» конкретизирован в данной работе, исходя из следующих соображений. В табл. 5 представлена выборка оценок VSL, полученных для США (в основном RP-метод), а также расчётных оценок $VSL_{\text{расчёт}}$ для нашей страны. Оценки $VSL_{\text{расчёт}}$ для России рассчитаны по формуле (3) — путем умножения исходных значений $VSL_{\text{США}}$ на соотношение ВВП_{России} и ВВП_{США} (по аналогии с приёмом, использованным в работах А.А. Быкова [25, 27]).

Таблица 5

США				Россия			
ВВП, долл. США [8]		VSL, млн. долл. США		ВВП, долл. США [8]		VSL _{расчёт} , млн. долл. США	
2009 г.	2013 г.	2009 г.	2013 г.	2009 г.	2013 г.	2009 г.	2013 г.
46930	52985	5 – 8 [17, 18]	9,2 [20]	19387	25366	2,07 – 3,30	4,4

Диапазон итоговых оценок $VSL_{\text{расчёт}}$ для нашей страны составил от 60 до 140 млн. руб. Этот диапазон, хотя и чрезвычайно широк, но близок к оценкам, представленным в работах А.А. Быкова [25, 27]. По такой же методике выполнены поверочные расчёты с использованием исходных данных по VSL для Нидерландов и Вьетнама, полученных методом «choice experiment». Диапазон оценок составил 40 – 145 млн руб.

При практическом использовании приведенных оценок следует учитывать следующие обстоятельства. Как следует из рассмотрения данных о «стоимости жизни» на транс-

порте, приведенных в табл. 4 и на рис. 3а, оценки VSL находятся в экспоненциальной зависимости от ВВП. Поэтому данные таблицы 5 для России, полученные на основе отношения ВВП нашей страны к значительно более высоким ВВП США и Нидерландов, по-видимому, могут быть завышены. Учёт влияния смертности (см. рис. 3, б) может также понизить оценки VSL для России. В частности, смертность на дорогах нашей страны в 2013 году оказалась очень высокой и составила почти 19 человек на 100 тыс. населения [34].

Размер экономического эквивалента «стоимости жизни» и выводы по его практическому применению конкретизированы также с учётом рекомендаций, приведенных в книге нашего известного экономиста С.М.Гуриева [35]: «...Надежность этих оценок (оценок «стоимости среднестатистической жизни» — *примечание авторов статьи*) настолько высока, что правительство США использует методологию определения стоимости жизни при принятии решений об инвестиционных проектах в важных сферах — охране окружающей среды, здравоохранении, безопасности на транспорте.... Можно, конечно, возразить, что Россия — не США, и экстраполяция американских данных не вполне правомерна. Тогда попробуем сопоставить полученные оценки с исследованиями, касающимися менее развитых стран? По понятным причинам вычислить стоимость среднестатистической жизни для развивающихся стран очень трудно. Заслуживающие доверие оценки получены только для Индии. Самая нижняя оценка стоимости жизни индийца составляет 1 млн. долл. США. Если учесть, что Индия отстает от России по ВВП на душу населения в четыре раза, то экстраполяция индийских данных позволяет оценить жизнь россиянина на уровне 2 млн. долл. США и выше. Эта цифра, как мы видим, укладывается в полученный нами ранее диапазон 1,3 – 3 млн. долл. США».

С учётом приведенных соображений для практических целей могут быть использованы оценки экономического эквивалента «стоимости жизни» в диапазоне от 30 до 60 млн. руб.

О перспективах исследований экономического эквивалента «стоимости жизни»

Традиционные методы социолого-экономических исследований проводятся на больших и, как правило, весьма разнородных выборках респондентов. Результатом является значительная трудоёмкость и стоимость работ, а также чрезмерно широкий диапазон полученных в результате оценок «стоимости жизни». Например, в исследованиях 2010 – 2012 гг., выполненных под эгидой ОЕСD по 24 странам — от 4,5 тыс. до 206 млн. долл. США.

Повышение оперативности и точности оценок «стоимости жизни» при проектном обосновании экономической эффективности ответственных объектов может быть достигнуто в следующих перспективных направлениях:

1. Локализация исследований на более компактных группах респондентов, узкоориентированных в своих предпочтениях. Такой подход позволит уменьшить разброс и повысить достоверность результатов работ. Перспективно применение для этих целей метода «choice experiment». Целесообразно провести работы, применительно к условиям жизни людей в нижнем бьефе проектируемого или эксплуатируемого отечественного гидроузла. Указанная работа позволит уточнить приведенные рекомендации по количественной оценке «стоимости жизни».

2. Широкое использование современных, бурно развивающихся информационных технологий. В настоящее время, например, активно применяются и развиваются методы Big Data. Они не новы: многое взято из статистики, искусственного интеллекта, регрессионного анализа и др. Интерес к этим методам со стороны крупных структур, как коммерческих (банки, медиа, страхование, ритейл, энергетика и т. д), так и государственных (безопасность, экономика, здравоохранение, ЖКХ и т.д.) привел к быстрому развитию методов, взрывному росту финансирования, появлению открытых стандартов, инструментария коммерческого уровня от крупнейших ИТ-компаний мира (таких, как Dell, Facebook, Google, HP, IBM, Microsoft, Oracle, SAP, Teradata и т.д.). Отметим также, что рекомен-

дуемая методика «choice experiment» близка по своей идеологии к хорошо разработанным методам «извлечения знаний», активно применяемым, в частности, при разработке современных интеллектуальных систем.

Применение указанных технологий позволит резко сократить время работ — в том числе, за счет анализа давно собранной, структурированной и успешно используемой информации: в социальных сетях, поисковых системах, базах данных страховых, банковских, государственных структур. Кроме того, повысится достоверность и обоснованность используемых методов определения «стоимости жизни» (в том числе, за счёт привлечения, в случае необходимости, более широкого круга респондентов), а также снижены затраты на обследования. Собственно по этому пути идут и современные социологические исследования.

Реализация высказанных перспективных предложений может оказаться полезной применительно к оценке не только социального, но и других составляющих ущерба от аварии.

Анализ мировой практики исследований «стоимости жизни» позволяет сделать следующие выводы:

1. Выполненный анализ показывает, что экономический эквивалент «стоимости жизни» может составить десятки миллионов рублей. Оценки VSL активно применяются в современном экономическом методе «анализа затрат и выгод» (cost benefit analysis — CBA). Указанный метод служит важным инструментом при проведении экономических расчётов в обоснование и для выбора проектных вариантов водоподпорных сооружений, выполняемых в соответствии с Постановлением Правительства от 16 февраля 2008 года № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с изменениями на 28 июля 2015 г.).

2. В настоящее время в России нет официальной регламентации методов и оценок «стоимости жизни». Принципиальная возможность оценок «стоимости человеческой жизни», предусмотренная ФЗ-225 [2], безусловно, очень полезна. Однако регламентированные Федеральным законом № ФЗ-225 суммы обязательной страховой компенсации в связи с гибелью, вредом для здоровья или нарушением условий жизне-

деятельности человека не превышают 4,5 млн. рублей и несопоставимы как с мировой практикой, так и со стоимостными оценками других составляющих вероятного вреда от аварии плотины.

3. Метод оценки «стоимости жизни» на основе теории «человеческого капитала» полезен при оценке состояния и потенциала экономики страны, перспектив и прогнозов её развития. Оценки, выполненные этим методом для России и равные 6,1 млн. рублей, свидетельствуют о наличии неплохого потенциала для экономического развития. Однако этот метод совершенно недостаточно учитывает влияние социально-экономических условий жизни и менталитет людей. В результате оценки «человеческого капитала» на порядок ниже оценок «стоимости жизни», полученных методами, основанными на «готовности платить» и не могут быть рекомендованы для применения при экономическом обосновании мероприятий по обеспечению безопасности плотин.

4. Наиболее перспективны методы оценки «стоимости жизни», основанные на анализе готовности общества (и отдельных его членов) к выделению ресурсов, необходимых для обеспечения безопасности плотин, т.е. основанные на «готовности платить» (SP-методы и RP-методы). Безусловным достоинством этих методов является возможность учёта конкретных условий жизни и мнения реальных людей.

5. В последнее время пристальное внимание уделяется группе SP-методов, в которых готовность респондентов платить за снижение риска гибели или материальных потерь выявляется на основе моделирования их предпочтений (метод «choice experiment» или «choice modelling» — «выбор вариантов»). Проведенные методом «choice experiment» исследования показали, что на его основе можно резко уменьшить трудоёмкость и повысить экономическую эффективность исследований. Так, оценки «стоимости жизни», выполненные в Нидерландах в связи с инженерно-экономическим обоснованием мероприятий по защите от наводнений при прорыве плотин, удалось выполнить всего за два месяца. С другой стороны, за счёт проведения исследований на более

компактных, узкоориентированных в своих предпочтениях группах респондентов, удаётся, по-видимому, уменьшить разброс и повысить достоверность результатов работ.

6. Рекомендуемый для использования при экономическом обосновании мероприятий по обеспечению безопасности плотин (в том числе по предупреждению и эвакуации людей, а также ликвидации последствий возможных аварий) диапазон оценок «стоимости жизни» составляет 30 – 60 млн. руб. Этот диапазон может быть уточнён и значительно сужен при дальнейших исследованиях. Указанные оценки основаны, в значительной мере, на зарубежных данных. Для уточнения оценок необходимо провести аналогичные работы применительно к условиям жизни в нашей стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. **ФЗ** от. 21.07. 1997 № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» [Электронный ресурс].
2. **ФЗ** от 27.07.2010 N 225-ФЗ (ред. от 04.11.2014) «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [Электронный ресурс].
3. **Becker, Gary S.** Human Capital: theoretical and empirical analysis, with special reference to education. N.Y.: Columbia University Press, 1964.
4. **Kendrick, John W.** The Formation and Stocks of Total Capital. General Series, no. 100. Columbia University Press for National Bureau of Economic Research. New York, 1976.
5. **Кендрик Дж.** Совокупный капитал США и его формирование. – М.: Прогресс, 1978.
6. **Jorgenson, D.W. and B.M. Fraumeni** (1989), The Accumulation of Human and Non-Human Capital, 1948 – 1984, in R.E. Lipsey and H.S. Tice (eds.), The Measurement of Savings, Investment, and Wealth, The University of Chicago Press, Chicago.
7. **Liu. G.** 2011. Measuring the Stock of Human Capital for Comparative Analysis: An Application of the Lifetime Income Approach to Selected OECD Countries. Paris. Statistics Directorate, Organization for Economic Co-operation and Development. Statistics Working Paper no. 6.
8. **OECD Library.** Gross domestic product.
9. **Капелюшников Р.И.** Сколько стоит человеческий капитал России? Препринт WP3/2012/06 [Текст] / Р.И. Капелюшников. Нац.

исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: Изд. Дом Высшей школы экономики, 2012.

10. **The World Economic Forum. Human Capital Report. 2015.**

11. **Корчагин Ю.А.** Человеческий капитал как фактор развития. Доклад на научном семинаре «Человеческий капитал как междисциплинарная область исследований». Высшая школа экономики. Москва – Воронеж, 2011.

12. **Drize, Jacques.** «L'utilité sociale d'une vie humaine,» *Revue franzaise de recherch опйrationnelle.* »L'utilité sociale d'une vie humaine», *Revue Francaise de Recherche Опйrationnelle*, 23, 1962.

13. **W. Kip Viscusi.** The heterogeneity of the value of statistical life: Introduction and overview. *Journal of Risk and Uncertainty.* 2010, vol. 40(1).

14. **W. Kip and Joseph E. Aldy.** The Value of a Statistical Life: A Critical Review of Market Estimates Throughout the World. *Journal of Risk and Uncertainty.* 2003. 27(1).

15. **OECD.** «Valuing Mortality Risk Reductions in Regulatory Analysis of Environmental, Health and Transport Policies: Policy Implications», OECD, Paris. (2011).

16. **OECD.** Mortality Risk Valuation in Environment, Health and Transport Policies, OECD Publishing, Paris, 2012.

17. «**U.S. Office of Management and Budget Circular A-4.** To the Heads of executive agencies and establishments», September 17, 2003.

18. **Copeland, Curtis W.** How Agencies Monetize «Statistical Lives» Expected to Be Saved By Regulations, CRS Report for Congress, Congressional Research Service, March 24, 2010.

19. **Draft Report to Congress on the benefits and costs of federal regulations and agency compliance with the unfunded mandates reform act,** 2013.

20. **Guidance on Treatment of the Economic Value of a Statistical Life in U.S. Department of Transportation Analyses,** (2012, 2013).

21. **Трунов И.Л., Айвар Л.К., Харисов Г.Х.** Эквивалент стоимости человеческой жизни. Представительная власть. Законодательство, комментарии, проблемы, 2006. – Вып. 69.

22. **Востоков В.Ю., Минаева Я.В., Чясновичус Ю.К.** К вопросу определения экономического эквивалента стоимости жизни средне-статистического человека. *Вестник Санкт-Петербургского Университета ГПС МЧС России*. – №1, 2011.

23. **Нифантова Р.В., Шипицына С.Е.** Современные методические подходы в оценке стоимости человеческой жизни. *Экономика региона,* 2012, № 3.

24. **Быков А.А., Порфирьев Б.Н.** Об анализе риска, концепциях и классификациях рисков. Проблемы анализа риска. – Т. 3. – №4, 2006.
25. **Быков А.А.** Об экономической оценке жизни среднестатистического человека. Декларация Российского научного общества анализа риска // Проблемы анализа риска. – Т. 4. – № 2, 2007.
26. **Быков А.А.** О методологии экономической оценки жизни среднестатистического человека // Проблемы анализа риска. – Т. 4. – № 2, 2007.
27. **Быков А.А.** Цена риска как экономический регулятор уровня безопасности: актуарные модели оценки стоимости статистической жизни / Под ред. члена-корреспондента РАН Б.Н. Порфирьева. – М.: Анкил, 2014.
28. **Daniel L. McFadden.** The new science of pleasure. Working Paper 18687. NBER working paper series. National Bureau of economic research. Cambridge, MA 02138.
29. **Воикарjова, М., Rietveld, P., Verhoef, E.T.** Composite Valuation of Immaterial Damage in Flooding: Value of Statistical Life, Value of Statistical Evacuation and Value of Statistical Injury Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 12-047/3. Tinbergen Institute, Amsterdam and Rotterdam. 2012.
30. **Reynaud A., Nguyen M-H., Nguyen T.D.** Valuing Flood Risk Reduction: Results From a Choice Experiment in Vietnam. Preliminary version. June 15, 2012.
31. **Иващенко И.Н., Иващенко К.И.** Оценка и регулирование риска аварий плотин//Гидротехническое строительство. – № 3, 2013.
32. **Постановление** Правительства от 16 февраля 2008 года № 87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию» (с изменениями на 28 июля 2015 года).
33. **Правила** определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 876.
34. http://www.gazeta.ru/auto/2014/02/21_a_5920689.shtml.
35. **Гуриев С.М.** Мифы экономики: заблуждения и стереотипы, которые распространяют СМИ и политики. – М.: ООО «Юнайтед Пресс», 2010, 2011.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕР ВОЛНОВОЙ НАГРУЗКИ И ДИНАМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ ВОЛНОЗАЩИТНОГО БЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

Комельков Л.В., ведущий научный сотрудник АО «НИИЭС»

Данные о пространственной корреляции волновой нагрузки получены при обработке фазы удара от нулевого давления до его спада перед навалом волны. Показано, что использование значений ударной нагрузки в квазистатическом варианте приводит к ее неоправданно большим значениям.

Ключевые слова: волнозащитные крепления верховых откосов грунтовых плотин, волновая нагрузка, фазы удара и навала, корреляции волновой нагрузки вдоль и поперек уреза воды.

The data of spatial correlation of wave load have been obtained while processing impact phase from zero pressure to its decay before wave setup. It is shown that using of values of impact load in quasistatic variant leads to its unreasonable high values.

Keywords: wave protective defences of upstream side of earth dams, wave load, impact and wave setup phases, correlation of wave load through the length and breadth of bank line

Как известно, оценка волновой нагрузки в фазе удара определяется как значение импульсной нагрузки, распределенной по площади плиты размером $L_1 \times L_2$.

$$J = \int_0^T \int_{-\frac{L_2}{2}}^{+\frac{L_2}{2}} \int_{-\frac{L_1}{2}}^{+\frac{L_1}{2}} p(x, y, t) dx \cdot dy \cdot dt ,$$

где $p(x, y, t)$ — значения волнового давления в точках прибойной зоны.

Проведение подобных оценок требует обширных данных по штормовой нагрузке различной обеспеченности. Предварительные оценки могут быть сделаны и на основе обработка единичного эксперимента. Для анализа взята цифровая запись волнового давления шторма средней силы на плиту волнозащитного крепления грунтовой плотины Волгоградской ГЭС*.

* Записи волнового давления выполнены на волноисследовательской станции Волгоградского гидроузла сотрудником Волгоградского филиала АО «НИИЭС» Диком Г.А.

Расстановка датчиков вдоль откоса и вдоль уреза воды позволяла охватить почти всю площадь ударного давления. Пять датчиков располагались вдоль уреза с интервалом 2 м и пять датчиков — с интервалом в 1 м вдоль откоса. Размеры плит крепления — 9 x 9 x 0,5 м, заложение верхнего откоса — $m = 4$, глубина воды на подходе к измерительному створу — 2 м. Для обработки были выбраны 20 записей волнового воздействия в системе волн с $h_b = 0,8 \div 1,2$ м с характерными формами удара — с резким подъемом пика давления и отчетливым разделением фаз удара и навала.

Данные пространственной корреляции волновой нагрузки получены при обработке фазы удара от нулевого давления до его спада перед навалом волны (рис. 1). Коэффициент

корреляции $r_{xy} = \frac{R_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$ падает вдоль уреза воды до значения

0,6 на расстоянии 2,0 м от исходного датчика и до 0,2 на расстоянии 8,0 м.

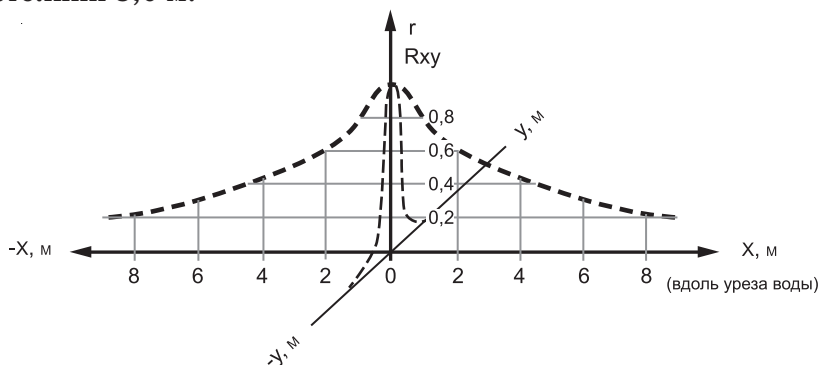


Рис. 1. Пространственная корреляция волновой нагрузки в фазе удара для системы волн $ch_i = 0,8 \div 1,2$ м

Выполненная в той же системе волн обработка для самой высокой одиночной волны высотой $h_b = 1,5$ м дала значения r_{xy} , переходящие через 0 в 5,3 м от исходного датчика (рис. 2). Можно предполагать, что с уменьшением обеспеченности штормов для волн высотой 2,5 – 3,0 м, коррелированность ударной нагрузки будет снижаться.

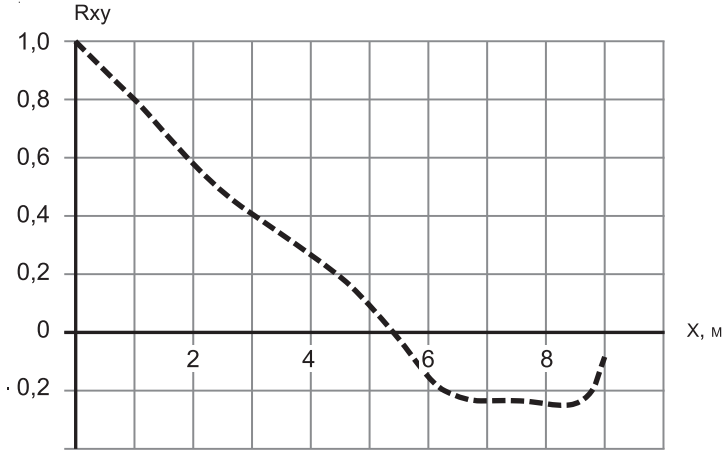


Рис. 2. Корреляция волновой нагрузки в фазе удара для волны $h_1 = 1.5$ м

Корреляция волновой нагрузки в фазе удара вдоль откоса падает значительно быстрее. Здесь значения r_{xy} переходят через 0 на расстоянии в 0,7 м от исходного датчика (см. рис. 1).

Относительные среднеквадратичные значения ударной нагрузки вдоль уреза воды $\frac{\sigma}{A}$ варьируют в пределах $0,2 \frac{\sigma}{A} \div 0,4 \frac{\sigma}{A}$, где A , т/м² — максимальное волновое давление.

В результате использование значений ударной нагрузки в квазистатическом варианте по СНиП 2.06.04-82*[1] приводит к ее неоправданно большим значениям.

Обработка фазы навала установила высокие значения коэффициента корреляции r_{xy} вдоль уреза воды (не ниже 0,91).

Влияние динамического характера загрузки на перемещения плиты определяется отношением времени нарастания пика давления (t_1) к периоду свободных колебаний системы «плита – грунтовое основание» — T . При $t_1 < 0,37T$ максимальным перемещением будет амплитуда свободных колебаний; при $t_1 > 0,37T$ наибольшее перемещение достигается во время действия нагрузки. Эти соотношения верны для внезапно возникшей и медленно спадающей нагрузки, что характерно для фазы удара. Время достижения пика на-

грузки в обработанных записях не менее 0,1 с, а коррелированность фазы удара на временном участке роста нагрузки от 0 т/м^2 до $A_{\max} \text{ т/м}^2$ падает до 0 на расстоянии 2 м вдоль уреза воды. По данным [2], время t_1 изменяется от 0,01 с до 0,1 с для штормов 95 и 50% -ой обеспеченности для водохранилищ с высотой волны 2,2 м. Время t_1 , равное 0,015 с, характерно для штормов обеспеченности $\sim 94\%$.

Таким образом, учитывая малую коррелированность волновой ударной нагрузки по площади крепления, максимальные перемещения будут происходить в фазе навала.

Представленная информация свидетельствует о наличии существенных резервов надежности волнозащитного крепления, связанных с учетом пространственно-временной изменчивости волновых нагрузок, а также особенностей динамической работы плит (в отличие от квазистатического расчета, положенного в основу расчетов по СНиП [1]).

ЛИТЕРАТУРА

1. СНиП 2.06.04-82* Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов).
2. Шайган В.С. О продолжительности действия волновой нагрузки на откосы с бетонным покрытием //Труды ВНИИ Водгео. – М., 1984.

ОПЫТ ОЦЕНКИ РЕАКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ НА СЕЙСМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Комельков Л.В., ведущий научный сотрудник (АО «НИИЭС»)

До создания на обследуемом гидроузле инженерно-сейсмометрической службы для оперативной оценки реакции конструкций гидроузла на сейсмическое воздействие и контроля изменения во времени динамических характеристик системы «сооружение – основание» предлагается использовать расчетные оценки реакций конструкций ГЭС на сейсмическое воздействие, полученные с использованием передаточных функций вибрации сооружения при эксплуатационных и «аварийном» режимах работы ГЭС.

Ключевые слова: динамическая система «секция ГЭС – основание», передаточные функции вибрации секции ГЭС при эксплуа-

тационных режимах, реакция конструкций ГЭС и механического оборудования на действие расчетной сейсмограммы

Before creation of engineering seismometric services for operational evaluation of response of hydraulic structures to seismic load and for control of change with time of dynamic characteristics of system "structure-foundation" at the hydropower installation it is proposed to use calculated evaluations of response of HPP hydraulic structures to seismic load, obtained with use of transfer functions of structure vibration under operation and emergency conditions of HPP operation

Keywords: dynamic system «HPP section-foundation», transfer functions of HPP section vibration under operation conditions, response of HPP structures and mechanical equipment to effect of calculated seismogram

В 1993 году была утверждена программа модернизации и реконструкции Иркутской ГЭС, большая часть которой к настоящему времени (2015 г.) выполнена. Расчеты реакции конструкций ГЭС на сейсмическое воздействие выполнялись по заданию главного инженера проекта реконструкции Иркутской ГЭС.

Согласно прогнозным расчетам, выполненным в Институте Земной Коры в 2002 г., сейсмические воздействия на сооружения Иркутской ГЭС не превысят 8 баллов по шкале MSK-64 и 7 баллов по региональной шкале сейсмической интенсивности для Прибайкалья (расчет сейсмостойкости сооружений ИГЭС при проектировании выполнен на 9 баллов).

Здание Иркутской ГЭС руслового типа вместе с грунтовой плотиной составляют водонапорный фронт общей протяженностью 2744,2 м. Длина здания ГЭС (по обрезу фундаментной плиты) — 240,80 м; высота — 55,75 м; ширина — 77,0 м. Температурно-деформационными швами здание ГЭС разделено на 4 двухагрегатные секции, длиной по 48,0 м каждая. Левобережная секция совмещена с блоком МП. Правобережная секция совмещена с блоком устоя.

В фундаментной плите расположено 4 продольных потерны: водоприемная, цементационная, дренажная и насосная.

Секции здания ГЭС представляют собой жесткие неразрезные конструкции, состоящие из массивных бычков, мощных

продольных стен и горизонтальных плит. Кровельное перекрытие здания ГЭС выполнено в виде массивных железобетонных плит (24 x 24 x 2,0 м³). Противофильтрационные элементы состоят из:

- цементационной завесы на глубину 30 м;
- глубинного дренажа (за цемзавесой) на глубину до 13 м;
- железобетонного понура.

Основанием для машинного здания Иркутской ГЭС является верхний пласт трещиноватых песчаников.

Сооружения напорного фронта Иркутской ГЭС испытывают динамические воздействия от источников разных типов:

- от работающих гидроагрегатов;
- при пропуске паводков;
- от сейсмических грунтовых волн различной интенсивности.

Разнообразное расположение источников вибрации создает сложное волновое поле, воздействующее как на фундамент здания ГЭС и основание плотины, так и на вышерасположенные конструктивные элементы.

При неблагоприятном сочетании динамических нагрузок и характеристик сооружения реакция последнего может повлиять на устойчивость и прочность конструкций и самого сооружения.

При интенсивных динамических воздействиях возможно снижение прочности контактного слоя основания с сооружением (или повреждение цемзавесы), а при длительном воздействии вибрации — усталостное нарушение сцепления между ними.

Реакция конструкций здания ГЭС на сейсмическое воздействие выполнена с использованием передаточных функций, полученных на основе натурных измерений вибрации.

При оценках реакции сооружения движения фундамента здания ГЭС полагались равными соответствующим компонентам сейсмограммы на основании результатов вычисления модуля передаточной функции динамической системы «секция ГЭС – основание» с использованием работ [1, 2, 3]. Полученные значения позволили судить о влиянии сооружения на искажение сейсмического воздействия.

Расчет характеристики динамической системы «секция ГЭС – основание»

Внешние динамические силы и моменты, действующие на секцию ГЭС, представляемую как жесткий штамп в фундаментной части, формируются из технологических, гидродинамических и сейсмических воздействий и реактивного отпора грунта. Система уравнений массива (секции) под действием этих нагрузок, действующих в плоскости, нормальной к напорному фронту плотины в проекциях на оси X и Z , имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} m \frac{du_j}{dt^2} &= \sum R_j \\ J \frac{d^2 y}{dt^2} &= \sum M \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где m , J — соответственно масса сдвигаемого массива и его момент инерции; uj ($j = x, z, y$) — соответственно смещение и угол поворота центра тяжести массива, отсчитываемые от начальных значений, соответствующих статическому нагружению; $\sum R_j$, $\sum M$ — соответственно внешние динамические силы и моменты от динамических воздействий и реактивного выпора грунта.

В [1] было представлено для практического использования следующее выражение результирующей реакции грунта при движении прямоугольного штампа по отношению к вертикальной Z и горизонтальной X осям координат, направленных соответственно вверх и вдоль поверхностей основания:

$$R_{ci} = -A_i \frac{du_{ci}(t)}{dt} - B_i u_{ci}(t) - D_i u_{ci} \cdot (t - \alpha) \eta(t - \alpha), \quad (2)$$

где u_{ci} — смещение центра тяжести подошвы штампа при $i = X$ в направлении X ; при $i = Z$ — в направлении оси Z ; η —

функция Хевисайда; $\alpha = \frac{2L_1}{3C_1}$; A_i, B_i, D_i ($i = x, z$) — размерные коэффициенты, определяемые выражениями:

$$\left. \begin{aligned} A_x &= \rho \cdot C_2 \Omega, \quad B_x = \rho \cdot C_2^2 L \cdot A_1, \quad D_x = \rho \cdot C_1^2 L \cdot (d_1 - A_2 \frac{C_2^2}{C_1^2}) \end{aligned} \right\}, (3)$$

$$A_z = \rho \cdot C_1 \Omega, \quad B_z = \rho \cdot C_1^2 L \cdot A_1, \quad D_z = \rho \cdot C_1^2 L \cdot (d_1 - A_1)$$

где $\Omega = L_1 \cdot L_2$ — площадь подошвы секции со сторонами L_1 и L_2 ($L_1 > L_2$); ρ — плотность основания; C_1 и C_2 — скорости распространения продольных и поперечных волн в основании.

$$d = \frac{C_2^2}{C_1^2} (1 - \frac{C_2^2}{C_1^2}) D_1. \quad (4)$$

Величины A_1, A_2, D_1 — безразмерные константы, заданные таблично [2, 5], зависят от C_1/C_2 , а D_1 ещё и от формы фундамента массива.

Для расчёта передаточной функции определялось движение штампа при внешнем воздействии в форме импульса, получая при этом функцию Грина $G(t)$ исследуемой системы (или импульсную переходную функцию).

Передаточная функция и функция Грина связаны соотношением:

$$H(w) = \int_0^{\infty} G(\tau) [\exp(-iw\tau)] dt. \quad (5)$$

На рис. 1 представлены передаточные функции вертикальных и горизонтальных перемещений секции в размерности м/т.

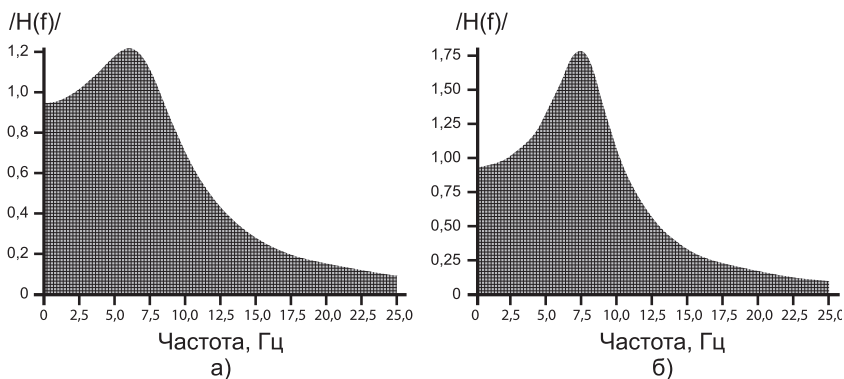


Рис. 1. Модули передаточных функций вибрации секции ГЭС при воздействии импульса 1тс: а) — вертикальные перемещения; б) — горизонтальные перемещения

За исходные данные были приняты следующие величины: m — масса секции равна $23522 \text{ т} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^2$; C_1 — скорость продольной волны в грунте приложенного слоя, $C_1 = 2835 \text{ м/с}$; C_2 — скорость поперечной волны, $C_2 = 1480 \text{ м/с}$; ρ — плотность грунта, $\rho = 0,23 \text{ т} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-2}$; μ — коэффициент Пуассона, $\mu = 0,31$; μ_b — коэффициент присоединенной массы воды — $0,24$.

Коэффициенты $A_1 = 0,167$; $A_2 = 0,80$; $D_1 = 1,16$.

Собственные частоты вертикальных и горизонтальных колебаний, соответственно, — $5,95 \text{ Гц}$ и $7,8 \text{ Гц}$.

По измерениям вибрации на секции №2 в спектре вертикальных колебаний присутствует частота $5,92 \text{ Гц}$, как вторая по значимости после оборотной или лопастной частоты.

В соответствии с системой уравнений (1) движение массива при сейсмическом воздействии описывается уравнением:

$$m \frac{d^2 u}{dt^2} = R_{0j} + R_{rj} + R_{bj} \quad (j = x, z), \quad (6)$$

где R_{rj} , R_{bj} , R_{0j} — силы R от реакции воды, грунта и сейсмических нагрузок

На основании исследований в отношении назначения действующих на массив динамических нагрузок [2, 3] принято, что реактивные нагрузки от грунта R_{rj} — заданы линейным оператором (2) от движения центра тяжести подошвы массива; а сейсмическая нагрузка R_{0j} — линейным оператором от осредненных движений поверхности основания сооружения до его возведения:

$$R_{0j} = A_j \frac{du_{0j}}{dt} + B_j \cdot u_{0j} + D_j \cdot (t - \alpha) \eta(t - \alpha) \cdot u_{0j}, \quad j = x, z; \quad (7)$$

где u_{0j} — среднее смещение свободной поверхности полупространства на участке «будущего» контакта со штампом (массивом секции).

Выражение для гидродинамических нагрузок принято согласно указаниям [3]:

$$R_{bj} = \mu_j \cdot m \frac{d^2 u_j}{dt^2}, \quad (8)$$

где μ_j — коэффициент «присоединений» массы воды.

С введением сейсмической нагрузки в форме (7) искажающее влияние сооружения на исходные параметры сейсмического движения основания учитывается автоматически.

Выполненные в [5] преобразования позволяют представить передаточные функции массива в удобном для вычисления виде:

$$\bar{u}_j = \Pi_j^* \cdot u_{0j}^* \quad (j = x, z).$$

Здесь Π_j^* — образ по Фурье-колебаниям поверхности грунта при наличии штампа; u_{0j}^* — то же, но в его отсутствие.

$\Pi_j = c\Pi_j + s\Pi_j$ — передаточная функция, связывающая поступательные движения основания без штампа и при наличии штампа массой m .

$$c\Pi_j = \frac{(\bar{B}_j - \bar{D}_j \cos \bar{w}\alpha)(-\bar{w}^2 \bar{B}_j + \bar{D}_j \cos \bar{w}\alpha) + (\bar{A}_j \bar{w} - \bar{D}_j \sin \bar{w}\alpha)^2}{(-\bar{w}^2 \bar{B}_j + \bar{D}_j \cos \bar{w}\alpha)(\bar{A}_j \bar{w} - \bar{D}_j \sin \bar{w}\alpha)}$$

$$s\Pi_j = \frac{\bar{w}^2 (\bar{A}_j \bar{w} - \bar{D}_j \sin \bar{w}\alpha)}{(-\bar{w}^2 + \bar{B}_j + \bar{D}_j \cos \bar{w}\alpha) + (\bar{A}_j \bar{w} - \bar{D}_j \sin \bar{w}\alpha)}$$

где $\bar{A}, \bar{B}, \bar{D}, \bar{\alpha}$ — безразмерные коэффициенты;

$$\bar{w} = \frac{L_1 \sqrt{m}}{c_j} \bar{w} \quad \text{— безразмерная частота; } \bar{m} = \frac{m}{\rho L_1^2} \quad \text{— безраз-$$

мерная масса массива.

Полученные значения модуля передаточной функции Π_j позволили судить о влиянии сооружения на искажение сейсмического воздействия (см. рис. 1).

Спектр частот перемещений сейсмического воздействия очень узок и лежит в диапазоне $0,25 \div 1$ Гц, что составляет значение безразмерной частоты $\bar{w} \leq 0,016$ $\bar{w} = 0,1$ Гц. Модуль передаточной функции в этом диапазоне частот практически равен 1,0 (при $\bar{m} = 0,36$ и $C2/C1 = 0,52$).

Следовательно, при оценках сейсмостойкости сооружения можно полагать движения фундамента равными соответствующим компонентам сейсмограммы.

В предположении, что секция ГЭС с фундаментной частью и коробкой машзала, включая перекрытие, представляет собой линейную систему, для оценки амплитудно-частотной и фазовой связи между ее элементами и прогноза отклика на особые нагрузки определялись передаточные функции — $H(f)$. Вычисления $H(f)$ проводились по полученным реализациям процесса вибрации (в исследованных эксплуатационных режимах, включая «аварийный») по известному соотношению:

$$\left. \begin{aligned} Y^*(f) &= H(f) \cdot X^*(f) \\ H(f) &= -\frac{Y^*(f)}{X^*(f)} = \Pi_c^* + \Pi_s^* \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где: $Y^*(f)$ и $X^*(f)$ — прямое преобразование Фурье — воздействия и отклика на воздействие:

$$\left. \begin{aligned} Y^*(f) &= \int_0^{\infty} y(t) \exp(-i\omega t) dt = Y_c^* + iY_3^0 \\ X^*(f) &= \int_0^{\infty} x(t) \exp(-i\omega t) dt = X_c^* + iX_3^0 \end{aligned} \right\}, (11)$$

Модуль передаточной функции $|H(f)|$, является безразмерной величиной и определяется по формуле:

$$|H(f)| = \sqrt{(\Pi_c^*)^2 + (\Pi_3^*)^2}. \quad (12)$$

По полученной передаточной функции отклик конструкций $Y(t)$ на воздействие $X(t)$ — ускорение или перемещение — определяется интегралом свертки:

$$Y(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^T X^*(f) * H(f) * \exp(ift) df, \quad (13)$$

где $X^*(f)$ — Фурье-образ от $X(t)$, вычисленный по формуле (11).

Анализ реакции сооружений напорного фронта Иркутской ГЭС на технологические нагрузки выполнен по результатам комплекса натуральных измерений вибрации в эксплуатационных режимах, а также при быстром сбросе нагрузки («аварийный» режим). Полученные в экспериментах характеристики динамических свойств конструкции применены при расчетной оценке их сейсмической реакции.

Эксплуатационные режимы

Точки измерения вибрации располагались на пяти уровнях — в дренажной потерне (т. 1), в шахте возле крышки турбины (т. 2 в и 2 н), на полу машзала (т. 3), на кран-балке (т. 4) и на перекрытии машзала (т. 5) (рис. 2).

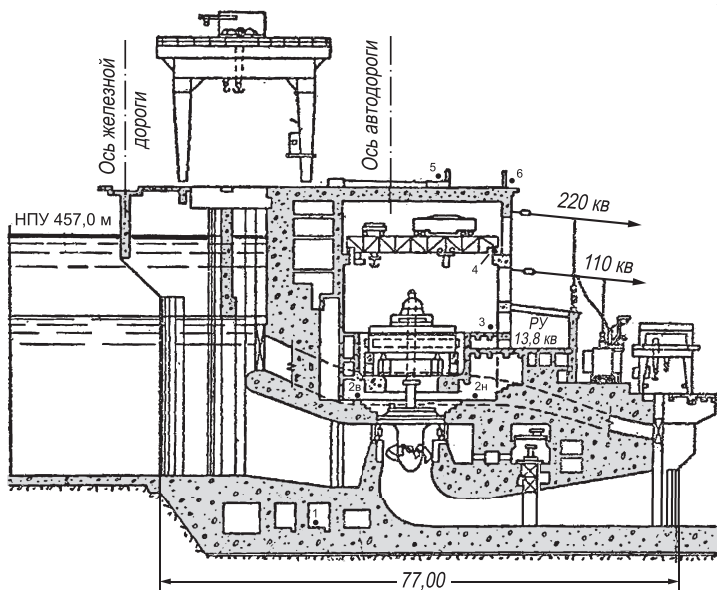


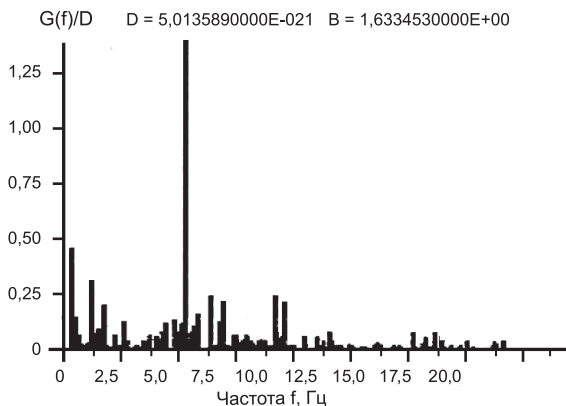
Рис. 2. Разрез здания Иркутской ГЭС.
Расположение точек измерения вибрации

Эксплуатационные динамические нагрузки, действующие на здание ГЭС, связаны с работой гидроэнергетического оборудования и пульсациями гидродинамического давления в спиральной камере, отсасывающей трубе и на прилегающих плитах водобоя. Измерения вибрации здания ГЭС проводились при двух эксплуатационных режимах (табл. 1).

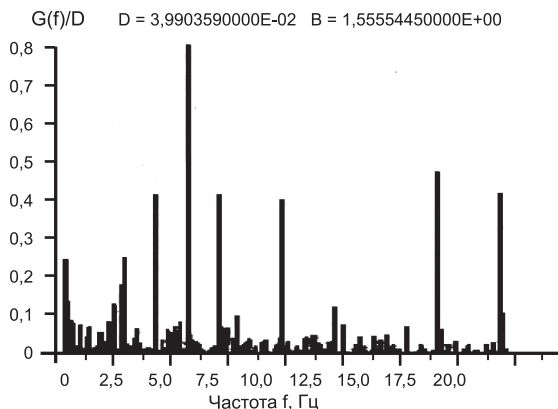
Основными ведущими частотами в амплитудных спектрах вертикальных вибраций эксплуатационных режимов 1 и 2 отчетливо прослеживаются оборотная ($f_{об}$) и лопастная частоты агрегата ($f_{лоп} = 7 \cdot f_{об}$), равные 1,4 и 9,8 Гц, соответственно (рис. 3). На всех секциях наблюдаются вертикальные колебания с частотами $5,4 \div 5,9$ Гц, являющимися собственными частотами секций.

Нагрузка на агрегаты, МВт

№ режима	№ агрегатов								Суммарная мощность	УВБ, м	УНБ, м
	1	2	3	4	5	6	7	8			
I	55	55	61	52	55	–	62	60	390	456,49	426,20
II	82	82	83	83	83	83	82	83	660	456,25	427,55



а)



б)

Рис. 3. Секция 3. Спектральные плотности вертикальных перемещений в т.1: в режиме №1 — а); в режиме №2 — б).

Примечания: D — дисперсия процесса; B — коэффициент широкополосности процесса по Болотину В.В.

Вес спектра горизонтальных колебаний секций сдвинут в сторону низких частот, вследствие влияния гидродинамических пульсаций в турбинных трактах на частотах $0,98 \div 2,7$ Гц (рис. 4).

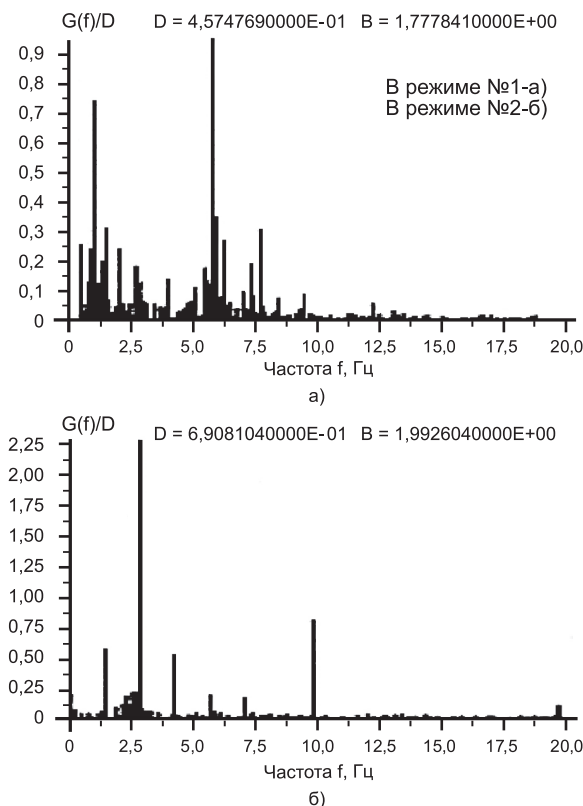


Рис. 4. Секция № 3. Спектральные плотности горизонтальных перемещений в т. 1 (вдоль потока)

Анализ одномоментных соотношений амплитуд вибрации пола машзала на подкрановой балке, а также на карнизе кровли машзала, позволяет предполагать, что стена машзала и перекрытие совершают изгибные колебания, т.е. коробка машзала деформируется как рама.

Аварийный режим работы агрегатов

Условия проведения опыта: время закрытия направляющего аппарата при сбросе мощности с введенным регулято-

ром скорости — $24 \div 26$ сек; разгон турбины не более 145% от номинальной частоты вращения. Рабочая мощность генераторов, выводимых из-под нагрузки — 82 МВт.

Регистрация вибрации секции ГЭС при аварийном закрытии направляющего аппарата проводилась на секции I (генератор Г-1) и секции 3 (генератор Г-6). Точки измерения: фундаментный блок (т. 2), подкрановая балка (т. 4), пол машзала (т. 3).

Таблица 2

Максимальные размахи колебания секции ГЭС при аварийном сбросе нагрузки (2А, $\mu\text{к}$)

Точки измерения		2В		2Н		3		4		5
Компоненты вибрации		I	II	I	II	I	II	I	II	II
№ агрегатов	Г-1	—	—	17,7	—	—	—	—	—	—
	Г-2	7,2	7,2	8,0	8,3	—	—	17,0	92,0	31,0*
	Г-5	—	—	12,0	6,8	—	—	—	—	—
	Г-6	9,0	7,3	16,0	11,0	—	8,5	20,0	72,0	34,0*

После сброса нагрузки, как правило, резко увеличивается интенсивность вибрации сооружения вследствие разгона турбины, роста амплитуд пульсаций осевой силы, передаваемой на подпятник генератора, и гидродинамического давления в спиральной камере.

После снятия нагрузки интенсивные вибрации секций ГЭС начинаются через $5 \div 6$ сек и продолжаются не более 13 сек. Уровень вибрации фундаментного блока обеих секций возрастал в $4 \div 5$ раз, до $7 \div 18 \mu\text{к}$. Наибольшие вертикальные амплитуды зарегистрированы в шахте останавливаемого агрегата (Г-1, Г-6), где 2А достигала 17,7 $\mu\text{к}$.

Основная частота вертикальных и горизонтальных колебаний секции № 3 вызвана разгоном турбины до 138% от номинальных оборотов и составляет 1,95 Гц по данным спектра амплитуд (рис. 5).

Основные перемещения секция № I совершает на более высокой частоте 5,98 Гц (см. рис. 3). Та же частота, близкая ей, наблюдалась, как одна из ведущих, при эксплуатационном режиме № I на всех секциях ГЭС.

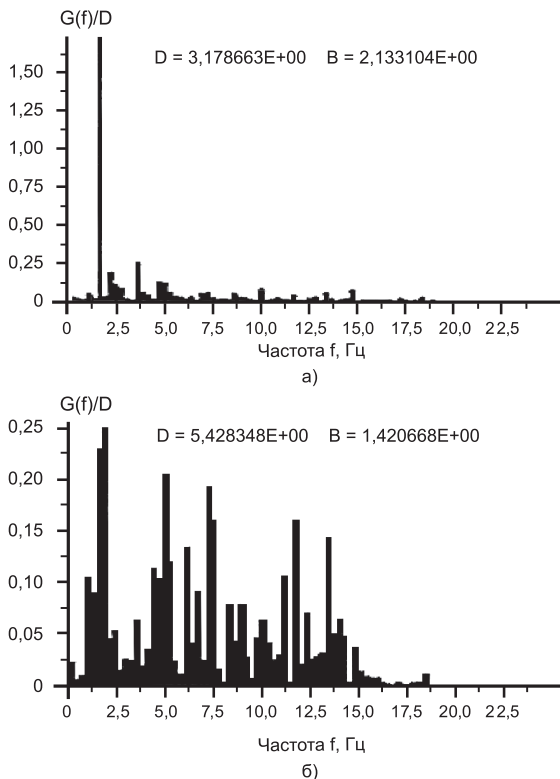


Рис. 5. Секция №3. «Аварийный режим».

Спектральные плотности вибрационных перемещений:
горизонтальные — а), вертикальные — б)

Максимальный размах изгибных колебаний стены машзала зарегистрирован на секции № 3 — 72 мк ($f = 6,25 \text{ Гц}$). На секции № I ведущая частота колебаний — $7,2$ и $8,1 \text{ Гц}$.

Из-за требований технической безопасности синхронная запись вибрации плит перекрытия в «аварийном» режиме не проводилась. Приведенные в табл. 2 размахи колебаний перекрытия в «аварийном» режиме получены по расчетной реализации колебаний перекрытия с использованием передаточной функции, связывающей перемещения в т. 2 фундаментного блока и перекрытия в т. 5 в эксплуатационном режиме №2. Размах колебаний составил 34 мк для плиты №3. Оценка носит приближенный характер.

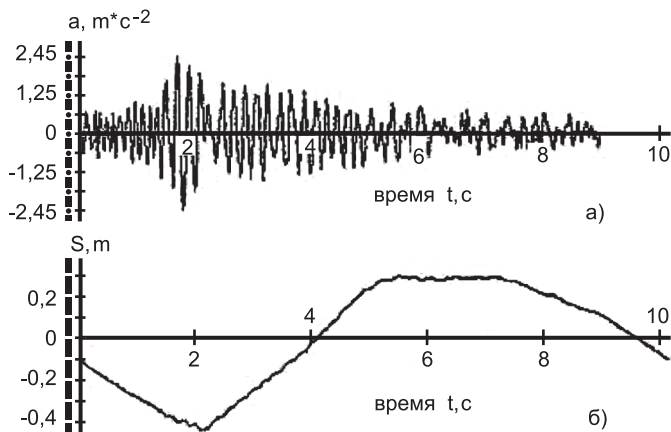


Рис. 6. Расчетная синтезированная акселерограмма MG-LiN04 — а), сейсмограмма — б)

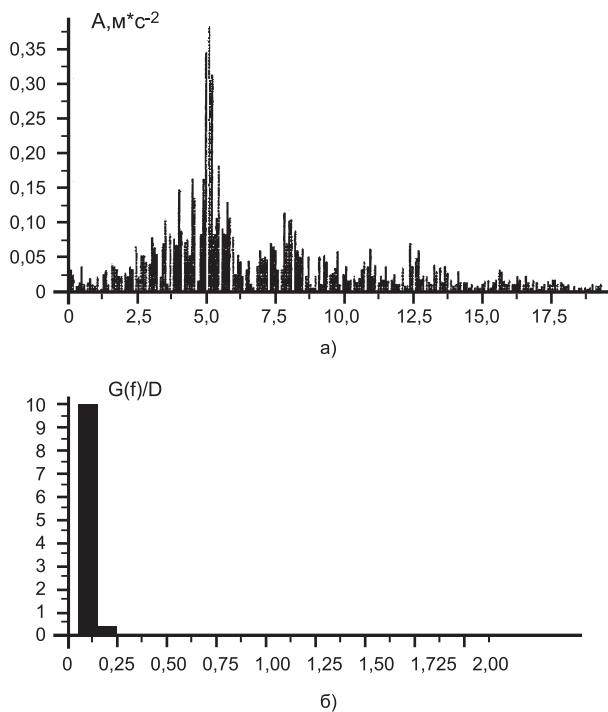


Рис. 7. Амплитудный спектр акселерограммы — а); спектральная плотность сейсмограммы — б)

Оценка реакции конструкций и оборудования Иркутской ГЭС на сейсмические воздействия

При расчетах реакции сооружения на сейсмическое воздействие использована акселерограмма MG-LIN[№]04.Этой акселерограммой заданы как вертикальное, так и горизонтальное воздействия. Пиковое горизонтальное ускорение равно 2,45 м/с, вертикальное — 0,73 м/с. Принятое соотношение вертикальных и горизонтальных составляющих (0,3) выполняется ввиду удаленности очагов землетрясения (до 120 – 170 км от гидроузла). Параметры этого воздействия (ускорения и перемещений, а также его спектральный состав представлены на рис. 6 и 7. Основные колебания ускорений совершаются в узком диапазоне частот вблизи 5 Гц, а спектральный состав сейсмограммы свидетельствует об отсутствии значимых частот выше 2,0 Гц (ведущие гармоники перемещений принадлежат частотам 0,098 и 0,197 Гц).

Максимальные мгновенные значения амплитуд перемещений и ускорений конструкций Иркутской ГЭС на сейсмическое воздействие определялись с помощью передаточных функций, связывающих движения фундаментного блока и исследуемых точек надстройки по уравнениям (1) (табл.3, рис. 9, 11).

Таблица 3
Максимальные амплитуды реакции сооружения на сейсмическое воздействие

Объект	Фундамент секции		Подкрановая балка машзала		Плита перекрытия машзала	Крановый путь (ВБ) Секция 4		
	II	I	II	I		I	II	?
Компоненты реакции								
Перемещения, см	39,2	11,8	44,3	14,0	12,42	–	–	–
Ускорения, м/с ²	2,45	0,74	4,5	0,31	1,49	0,75	2,70	5,36
Ускорения, м/с ² , [4]	–		4,0	0,35	–	0,2	2,1	–

Примечания: I, II — вертикальное и горизонтальные (по потоку и поперек потока) составляющие реакции сооружения; * — изгибные перемещения; ** — смещения гребня относительно основания

Передаточные функции вычислены по экспериментальным данным, полученным при измерениях вибрации в «аварийном» и эксплуатационных режимах (рис. 8, 10).

Каждая передаточная функция, показанная на этих рисунках, имеет два индекса. Первый индекс определяет направление воздействия, а второй — направление реакции, которая использовалась при вычислении этой передаточной функции.

Расчеты выполнены:

для низовой стены машзала (отм. 454,0 м) — т. 4 (см. рис. 8)

для плиты перекрытия №3 секции I здания ГЭС (отм. 463,75 м) — т. 5 (рис.10);

для подкрановых путей ВВ на устое секции №4;

для гребня секции №1 левобережной подпорной стенки (отм. 459,5 м).

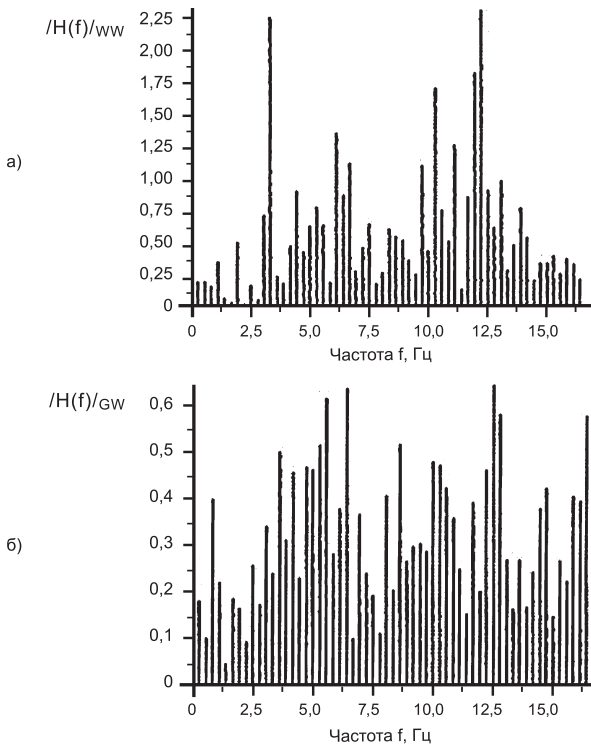


Рис. 8. Модули передаточных функций вертикальных перемещений низовой стены машзала на отм. 454,0 м от вертикальной нагрузки — а); от горизонтальной нагрузки — б)

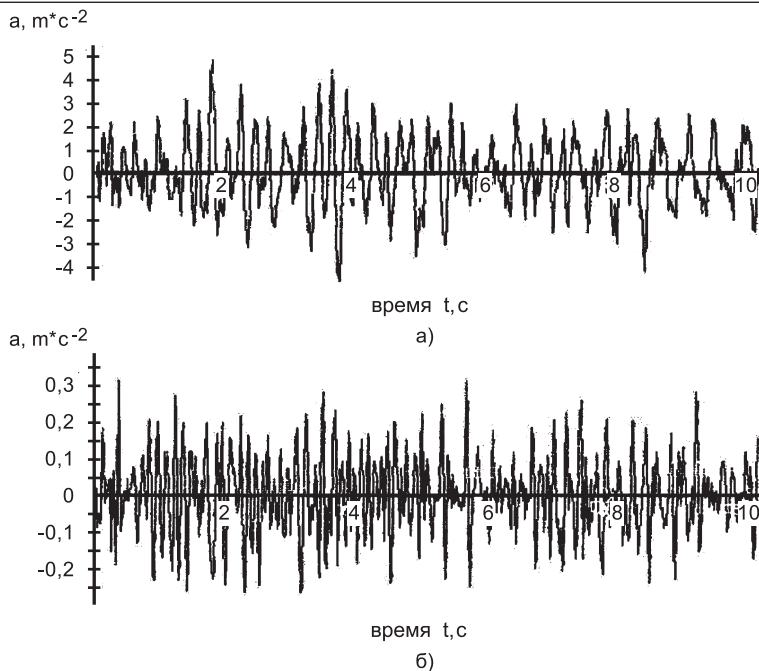


Рис. 9. Ускорения низовой стены машзала на отм. 454,0 м при воздействии и расчетном сейсмическом воздействии: горизонтальные — а); вертикальные — б)

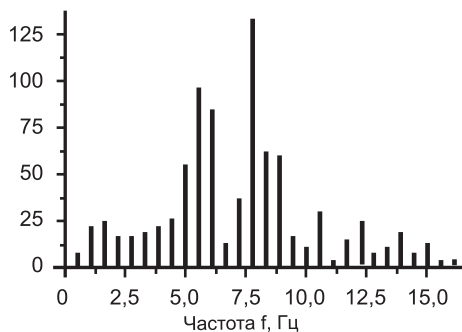


Рис. 10. Модуль передаточной функции вертикальных перемещений плиты перекрытия машзала №6 (секция №3) при воздействии вертикального импульса в 0,116 т*с

При быстрых сбросах нагрузок на генераторах Г-1 и Г-6 размахи перемещений конструкций здания ГЭС увеличиваются в ~3 раза (горизонтальные изгибные перемещения стены

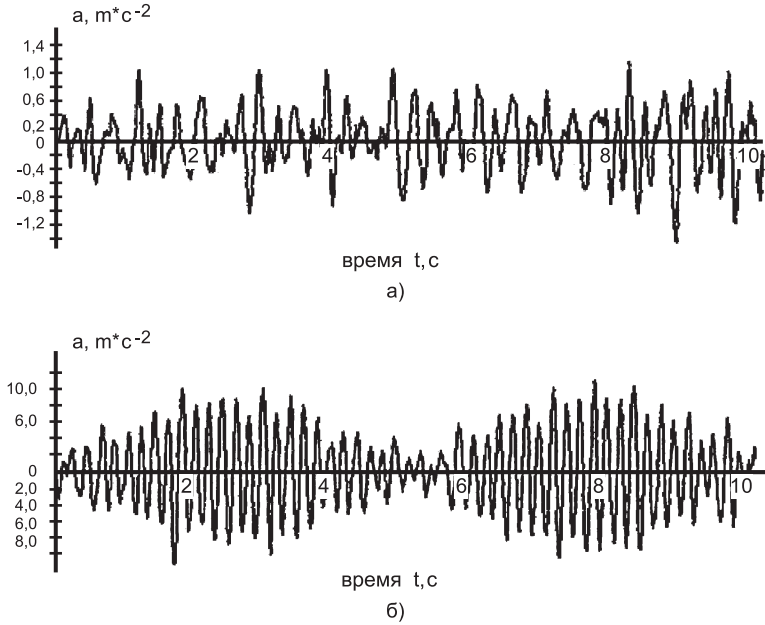


Рис. 11. Вертикальные ускорения плиты перекрытия №3 машзала здания ГЭС при расчетном сейсмическом воздействии — а); горизонтальные ускорения секции №1 левобережной подпорной стены — б)

машзала достигают 72 мк). Однако значения прогиба по отношению к пролету конструкции незначительны и не требуют учета при расчетах на прочность и долговечность.

Коробка машзала при вибрационных нагрузках деформируется как рама и совершает симметричные колебания на частоте, значения которой близки для всех секций и находятся в диапазоне $5,6 \div 6,3 \text{ Гц}$.

Максимальные изгибные перемещения низовой стены машзала при действии сейсмической нагрузки составили $5,12 \text{ см}$, а плит перекрытия — $0,68 \text{ см}$.

Анализ амплитудного и частотного состава вибрации первых секций левобережной и правобережной подпорных стенок в эксплуатационном режиме работы агрегатов показал, что размахи и дисперсии их перемещений близки, но частотный состав основных гармоник левобережной стенки более широк и смещен в сторону низких частот, что может свиде-

тельствовать о некотором снижении жесткости конструкции. С другой стороны, левобережная стенка совершает вращательные колебания относительно низовой грани как монолитное жесткое сооружение с незначительной амплитудой изгибных перемещений.

В работе [4] приводятся реализации ускорений в т.4 (кранбалка стены машзала), полученные расчетом методом волновой динамики. Сравнительные оценки можно произвести для перемещений от горизонтальных нагрузок. Условия нагружения были одинаковы в наших оценках и в [4]. Ускорения в т.4 составили $4,65 \text{ м/с}^2$ и $4,3 \text{ м/с}^2$ [4] для горизонтальных составляющих и $0,31 \text{ м/с}^2$ и $0,35 \text{ м/с}^2$ [4] для вертикальных составляющих, соответственно.

Собственные частоты горизонтальных колебаний стены машзала по данным наших натурных измерений — $3,4 \div 6,6$ Гц, а в работе [4] — $4,3 \div 7,0$ Гц.

Выводы

1. При определенных исходных данных динамической системы «секция ГЭС – основание» можно полагать движения фундамента равными соответствующим компонентам сейсмограммы.

2. Выполненные в составе исследований расчетные оценки реакций конструкций ГЭС на сейсмическое воздействие с использованием передаточных функций, полученных в ходе натурального эксперимента, и расчетные оценки, полученные методом волновой динамики, практически однозначны.

3. На основании полученных результатов можно рекомендовать для оперативной оценки реакции конструкций гидроузла на сейсмическое воздействие и контроля изменения во времени динамических характеристик системы «сооружение-основание» (до создания на обследуемом гидроузле инженерно-сейсмометрической службы) использовать данные собственных колебаний секции здания ГЭС, полученные в «аварийном» режиме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобысев В.Л., Сайгина В., Яковлев Ю.С. К решению динамической задачи о круглом штампе на границе с упругим полупрост-

ранством //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Вып. 2. – М.,1972.

2. Лятхер В.М. Яковлев ,Ю.С. Динамика сплошных сред в расчетах гидротехнических сооружений. – М., 1976.

3. Лятхер В.М., Халтурина Н.В.,Комельков Л.В. Рекомендации по расчету надежности креплений нижнего бьефа гидротехнических сооружений при гидродинамических нагрузках. Отчет НИСа Гидропроекта, 1989.

4. Исследовать сейсмостойкость сооружений и сейсмические нагрузки на основное оборудование гидротехнических объектов.Определить сейсмические нагрузки на основное оборудование зданий-ГЭС для Иркутской и Красноярской ГЭС. Отчет НИИЭС. – М., 1992.

5. Борзенко И.И. Исследования колебаний и устойчивости массивных бетонных гидросооружений при динамических воздействиях. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М., 1976.

СОВРЕМЕННЫЙ ОПЫТ РЕКОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТА ЗОН ПЕРЕМЕННОГО УРОВНЯ ВОДЫ ГЭС НА ПРИМЕРЕ САРАТОВСКОЙ ГЭС

Затворницкая Т.А., кандидат техн. наук, Кузнецов С.Ю., Хрипакова Ю.В. (АО «НИИЭС»)

Настоящая статья посвящена актуальной проблеме ремонта протяжённых участков зоны переменного уровня воды гидротехнических сооружений. Представлены результаты научно-технического сопровождения работ по ремонту зоны переменного уровня воды нижнего бьефа Саратовской ГЭС. На основании научно-технического сопровождения работ, приняты рекомендации по технологии и ремонтным материалам.

Ключевые слова: Саратовская ГЭС, зона переменного уровня, условия эксплуатации сооружения, дефекты, ремонтные материалы.

The present article deals with actual problem of repair of the extended areas of zone of varying water level of the hydraulic structures. The article presents the results of scientific and technical support of repair works of zone of varying water level downstream of the Saratovskaya HPP. On the basis of the scientific and technical support of worksthe recommendations on technology and repair materials were adopted.

Keywords: Saratovskaya HPP, zone of varying water level, conditions of structure operation, defects, repair materials.

Обеспечение длительной и надёжной эксплуатации действующих гидротехнических сооружений, бесперебойной выработки электроэнергии, решение задач водопользования, а также обеспечение безопасности сооружений, является одной из основных задач настоящего этапа функционирования гидроэнергетики России. Большинство гидротехнических сооружений РФ энергетического, транспортного и водохозяйственного назначения построено 30 – 50 и более лет назад и имеют различные виды повреждений и дефектов (рис. 1 на цветной вкладке).

Условия эксплуатации железобетонных конструкций гидротехнических сооружений основной части РФ предельно суровы и характеризуются резкими знакопеременными температурными перепадами при постоянном или циклическом водонасыщении, усугублёнными воздействием солнечной инсоляции и миграции влаги. В совокупности это приводит к интенсификации процессов морозной деструкции в зоне колебаний переменного горизонта воды.

Основной причиной разрушения бетона под воздействием попеременного замораживания и оттаивания является давление на стенки пор и микротрещин в бетоне, создаваемое увеличением объёма воды более чем на 9% при ее замерзании.

Для железобетонных конструкций гидротехнических сооружений с относительно высоким процентом армирования разрушение бетона от переменного замораживания и оттаивания представляет следующую опасность:

1. В результате разрушения бетона в глубину конструкции снижается ее расчётное сечение, что сказывается на снижении несущей способности.
2. Снижается прочность бетона, подверженного попеременному замораживанию и оттаиванию.
3. В результате разрушения защитного слоя имеет место коррозия арматуры, приводящая к снижению рабочего сечения арматуры и снижению несущей способности конструкции или ее элементов.

Схема термовлажностного режима бетона гидротехнических сооружений в зоне переменного уровня воды при отри-

цательной температуре наружного воздуха показана на рис. 2 (размеры в см.) [1].

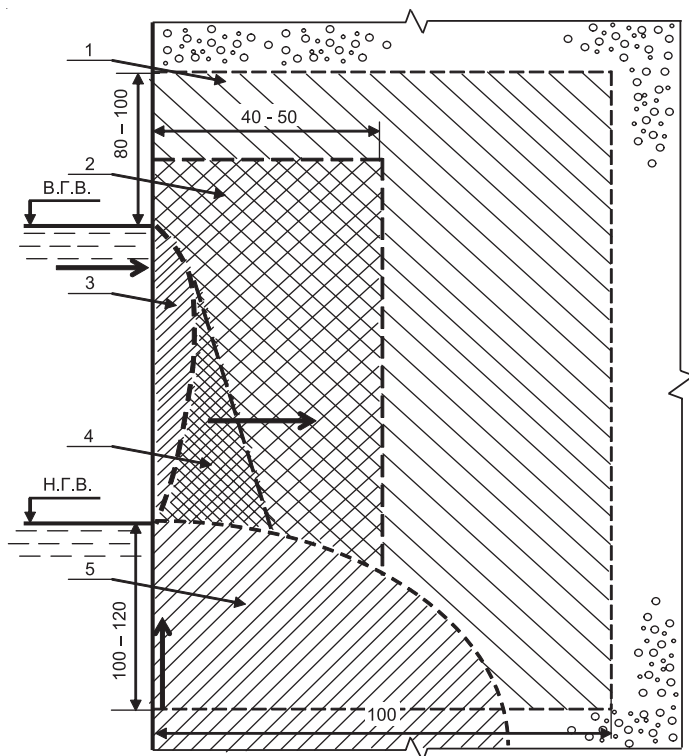


Рис. 2. Схема термовлажностного режима бетона гидротехнических сооружений в зоне переменного уровня воды при отрицательной температуре наружного воздуха: — направление миграции воды; 1 — зона замороженного бетона; 2 — участок зоны замороженного бетона с наиболее интенсивными по величине колебаниями отрицательных температур; 3 — поверхностный слой зоны попеременного замораживания и оттаивания бетона; 4 — внутренний слой этой зоны; 5 — зона талого бетона

Данная схема показывает, что глубина промерзания и количество циклов в гидросооружении усугубляется подсосом и миграцией влаги, что сегодня не учитывается нормами при назначении проектных требований.

Глубина промерзания бетона в зоне переменного уровня (ЗПУ) достигает 0,5 м, при значительной её высоте и про-

тяжёлности. Поэтому зону ремонта нельзя рассматривать как «поверхностное шелушение», это начало разрушения конструкции (рис. 3 на цветной вкладке).

Актуальность разработки новых и усовершенствования существующих технических решений по ремонту переменного уровня вытекает из того, что имеющиеся дефекты в виде раковин, трещин, протечек воды, коррозии бетона и арматуры на ряде гидротехнических сооружений, особенно находящихся в эксплуатации более 40 лет, достигли значительных размеров и препятствуют нормальной эксплуатации сооружения. Критическое состояние некоторых дефектов требует в ряде случаев незамедлительного проведения ремонтных работ.

Наряду с основными требованиями, регламентированными ТУ и другими нормативными документами, к строительным материалам, предназначенным для ремонта переменного уровня, должны предъявляться ряд дополнительных требований, связанных с условиями эксплуатации гидротехнических сооружений, условиями производства ремонтных работ, техническими возможностями ремонтной базы.

На сегодняшний день, за исключением недавно выпущенного СТО РусГидро [4], отсутствует нормативный документ на оценку состояния и ремонт ЗПУ гидротехнических сооружений (ГТС). Ремонт бетонных и железобетонных конструкций ГТС проводится зачастую с применением мало эффективных материалов и несовершенных технологий с низким качеством и долговечностью.

Уже сегодня стало ясно, что необходимо повысить требования к ремонтным материалам и технологиям, используемым и применяемым в ЗПУ ГТС. Эти требования должны предъявляться не только при ремонте (реконструкции), но и при проектировании ГТС.

В АО «НИИЭС» за последние годы разработаны технические требования к материалам для ремонта и технические решения по ликвидации дефектов с применением наиболее эффективно зарекомендовавших себя технологий в гидротехническом строительстве. Разработанные технические требования рекомендуется учитывать при проектировании объектов

строительства, реконструкции и при разработке задания на производство ремонтных работ в переменном горизонте.

При проведении ремонта (реконструкции) ЗПУ ГТС необходимы следующие требования:

1. Разработке проекта ремонтных работ должно предшествовать специальное (целевое) обследование конструкции, в результате которого должны быть обязательно установлены причины появления повреждений (разрушений) и определены объёмы и методы ремонтных работ. В комиссии для целевых обследований, как правило, следует привлекать специалистов (экспертов) высокой квалификации.

2. При выполнении крупнозатратных ремонтов и реконструкций гидротехнических сооружений технические решения и проекты ремонта и реконструкции должны подвергаться экспертизе отраслевыми институтами и организациями. Проекты ремонтных работ должны быть разработаны, как правило, проектной организацией, разработавшей в своё время проект обследуемого сооружения (конструкции), или согласован ею.

3. Ремонтный бетон зоны переменного уровня должен соответствовать не только конструктивным решениям, представленным в утверждённой проектной документации и отвечать требованиям нормативных источников и государственных стандартов, но и учитывать реальность его производства из местных материалов на местной производственной базе.

4. Используемые для ремонта зоны переменного уровня исходные материалы помимо соответствия требованиям стандартов или технических условий на эти материалы, должны соответствовать специфическим требованиям, предъявляемым к ЗПУ ГТС.

5. При контроле качества составов ремонтного бетона в процессе производства работ необходимо проводить коррекцию состава, т.к. отсутствие современных технологий (технологических цепочек) на бетонных заводах усложняет возможность применения современных добавок. Любое отклонение качества сырья (влажность, грансостав, температура и др.) значительно сказывается на свойствах бетонной смеси и бетона.

В настоящей статье, на примере ремонта ЗПУ нижнего бьефа Саратовской ГЭС, рассмотрены виды работ и сложности их реализации в реальных условиях эксплуатирующегося сооружения (рис.4 на цветной вкладке).

Первоначально, для проведения ремонтных работ в нижнем бьефе ремонтная организация использовала проект, в котором были рекомендованы готовые сухие растворные смеси «UBРЕМ», затворяемые водой на месте и подаваемые бетононасосом в ремонтную зону распорной балки (габариты блока: $l = 12\text{м.}$, $h = 5\text{м.}$, $d = 0,3 \div 0,5\text{м.}$) через $5 \div 6$ отверстий свободным сбросом послойно.

После выполнения заливки в 2009 г. трех распорных блоков сухими смесями «UBРЕМ» и «ЕМАСО» был подключён АО «НИИЭС» для анализа качества бетонирования.

АО «НИИЭС» провёл испытания исходных сухих смесей, которые показали низкую морозостойкость (F300 вместо F600), наличие усадки и пониженную прочность даже по сравнению с заявленными характеристиками.

АО «НИИЭС» произвёл визуальный и инструментальный анализ бетона блоков: картография трещин, склерометрические испытания прочности, выбуривание кернов (в т.ч. в зоне трещин) с определением прочности, плотности и морозостойкости бетона.

Исследования показали:

наличие сплошной сетки сквозных трещин, которые распространялись на всю глубину, пересекая рабочую арматуру. В глубине части трещин наблюдались участки рыжего цвета, что свидетельствовало о коррозии арматуры уже через 1 год эксплуатации. При проведении замеров летом толщина раскрытия трещин составляла $0,2 \div 0,5\text{мм}$, однако такие трещины имеют тенденцию сезонного раскрытия в зимнее время года до $1,2 \div 1,5\text{мм}$;

поверхностная прочность – в пределах В35;

прочность и морозостойкость бетона выбуренных кернов В40, F200 при заявленной В70 и F600;

на ряде участков (распорные балки ГА №9 и №12) старый бетон был разработан недостаточно глубоко и некачествен-

но, о чем свидетельствует сеть поперечных трещин на коренном бетоне;

на основании исследований, проведённых АО «НИИЭС» в переменном горизонте на левобережной подпорной стенке, установлено, что бетон в зоне ремонта должен разрабатываться на глубину $40 \div 50$ см, где морозостойкость материкового бетона $F \geq 200$, а не до «визуально здорового бетона», как предусмотрено проектом.

В целом установлено, что применявшиеся мелкозернистые готовые ремонтные (по сути «штукатурные») смеси не пригодны для ремонта конструкций в зоне переменного уровня — необходимо введение дополнительного армирования, решение вопроса о разрезке на блоки бетонирования, укрепление опалубки (имели место срывы) и т.д. В пересмотре нуждаются технология укладки, требования к бетонной смеси и бетону в части нерасслаиваемости, наличия крупного заполнителя и специальных добавок, безусадочности.

В 2010 г. АО «НИИЭС» приступил к разработке составов бетона требуемых параметров, обеспечивающих качественный ремонт конструкций переменного уровня на основе самоуплотняющегося среднезернистого бетона, выпускаемого местным бетонным заводом при использовании местных материалов и эффективных добавок.

При этом предусматривался выпуск нормативного документа СТО, где бы регламентировались принципы проектирования бетона и технологии с учётом сезонности и коротких сроков проведения работ, в т.ч. в зимнее и летнее время.

Следует отметить, что такой нормативный документ разработан впервые и вызвал большой интерес и одобрение гидротехников (АО «ВНИИГ», АО «Институт Гидропроект»), в т.ч. из-за проблемы получения самоуплотняющегося литого бетона с маркой по морозостойкости F600. Получение литого бетона с морозостойкостью F500, с учётом безусадочности, представляет собой весьма сложную задачу. Разработка такого бетона производилась в Москве в аттестованной лаборатории АО «НИИЭС» на доставленных из г. Балаково материалах и цементах. Отработанный в лаборатории

и откорректированный на бетонном заводе состав был уложен АО «НИИЭС» на опытном участке левобережной стенки, где было выполнено армирование и разрезка на блоки по рекомендации АО «НИИЭС».

Разработан метод назначения проектной марки бетона по морозостойкости на основе фактических данных колебаний температуры и уровня воды.

Для разработанного состава бетона определялись критерии, позволяющие судить о возможности или невозможности его применения. Например, одним из критериев являлась температура бетонной смеси с учётом дальности транспортировки (времени в пути) и температуры окружающего воздуха.

Технологические пробы I (рис. 5).

При температуре воздуха 37°C;

Температура бетонной смеси 42°C;

РК 42 – 43 см;

ОК — 25 см;

РК через 1 час после затворения — 30 см;

ОК через 1 час после затворения 18 – 17 см.

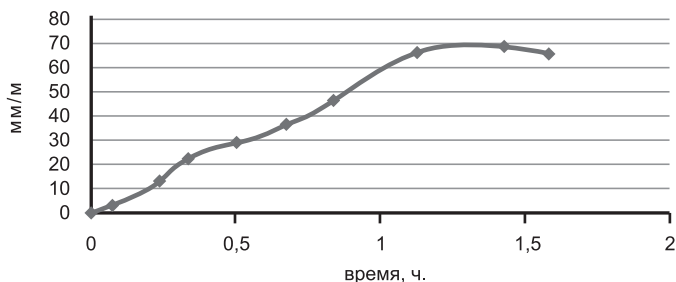


Рис. 5. Линейное расширение технической пробы (I)

Вывод

Полученная в данных условиях бетонная смесь не пригодна для проведения бетонирования распорной балки. В связи с повышенной температурой воздуха (37°C) и полученной бетонной смеси (42°C), уже через час после затворения смесь становится не пригодной для безвибрационной укладки. Процесс расширения проходит чрезмерно интенсивно и заканчивается через 1,5 часа после затворения.

Технологические пробы II (рис. 6).

При температуре воздуха — 30°C

Температура бетонной смеси — 24°C

РК — 65 см;

ОК — 27 – 28 см;

РК через 1 час после затворения — 53 см;

ОК через 1 час после затворения — 24 – 25 см.

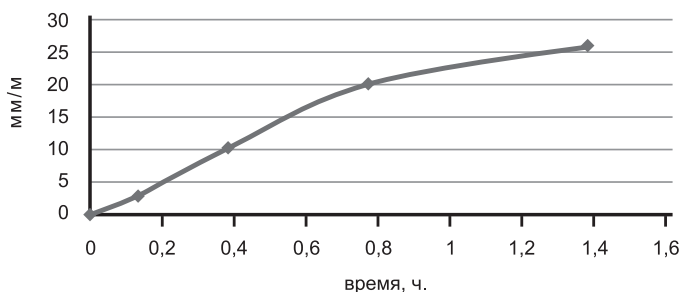


Рис. 6. Линейное расширение технической пробы (II)

Вывод

Полученная в данных условиях бетонная смесь пригодна для проведения бетонирования.

При изготовлении ремонтного бетона чрезвычайно важен выбор завода-изготовителя. При выборе поставщика необходимо учитывать не только удалённость его производственной базы от ремонтируемого объекта, но и наличие оборудования, позволяющего производить ремонтный бетон стабильного качества, наличие квалифицированного персонала и заводской лаборатории, оснащённой приборной базой, позволяющей оценить качество выпускаемой продукции и поступающего на завод сырья.

Наиболее важным является комплексный подход в проведении работ по реконструкции ЗПУ ГТС. Для качественного производства работ необходимо их научно-техническое сопровождение с момента проектирования до контроля качества проведённого ремонта конструкций. Научно-техническое сопровождение должно проводиться поэтапно и одной и той же организацией (рис. 7 на цветной вкладке).

При разработке технологии производства работ учитываются данные предремонтного(целевого) обследования: состояние ремонтируемых конструкций (состояние бетона, арматуры, стыков и швов и т.д.); требования проекта; условия эксплуатации сооружения и конструкций (климат, зону переменного уровня воды, её габариты, агрессивность среды и т.д.); напряжённо-деформированное состояние ж/б конструкций и др. На основании анализа данных разрабатывается ремонтная бетонная смесь и технология её укладки.

Начиная с июня 2011 г., бетонирование распорных балок (12 x 5 x 0,5 м) Саратовской ГЭС проводится составами, разработанными в АО «НИИЭС»: балки ГА №12 и 16 — в жаркое время (+30°C); балки ГА №13 и 14 — в зимнее время (до -10°C).

В данных «экстремальных» условиях АО «НИИЭС» разрабатывал предложения по охлаждению летом и разогреву в зимнее время бетонной смеси. Было принято дополнительное армирование и оптимальная глубина разборки дефектного бетона. Следует отметить, что из-за сложности условий производства работ разрезка на блоки не производилась.

Укладываемая бетонная смесь обеспечила высокую подвижность П5, безусловность и максимальную марку бетона по контрольным образцам и выбуренным кернам В60, F600, W16.

Однако обследование показало, что балки, забетонированные в летнее время (+30°C), имеют волосные трещины ($d \div 0,2\text{мм}$), в зимнее время (до -10°C) — трещины практически отсутствуют.

Проведён поиск данных по ремонту бетонных поверхностей подобных габаритов (12 x 5 x 0,5м) с применением литых бетонов. Информации подобного рода мы не обнаружили.

Для проведения бетонирования предлагалось изменить конструкцию опалубки с возможностью проведения напорного бетонирования с одновременной разрезкой на отдельные блоки ремонтируемых участков. Данная технология позволяла бы избавиться от горизонтальных швов в местах перекрытия слоёв бетона и уменьшить габариты ремонтных зон. К сожалению, затраты на новую опалубку не представились возможными (рис.8 на цветной вкладке).

Неоднократно опалубку срывало, были даны рекомендации по её креплению в связи с особенностями материкового бетона (низкопрочный крупный заполнитель, известняковый щебень Берёзовского месторождения).

Было показано, что бетонируемый блок должен рассматриваться, как протяжённая (высокомодульная) конструкция, в связи с чем необходима установка конструкционного армирования. Даны рекомендации по изменению схемы армирования.

Как указано выше, был разработан состав бетона, который, помимо всех необходимых по проекту требований (прочность на сжатие, морозостойкость, безусадочность, водонепроницаемость, высокая адгезия к ремонтируемой поверхности), является расширяющимся, умеренно термичным, но с ранним набором прочности. Безусадочный бетон с небольшим расширением препятствует образованию трещин, компенсируя контракционное сжатие.

Расширение разработанной бетонной смеси при твердении (после схватывания) составило 2,7 мм/м. Образование трещин происходит ориентировочно: при усадке бетона ≥ 1 мм/м; при расширении бетона — более 2 см/м.

В разработанном составе бетона, притом, что ускорен процесс твердения (набор прочности), нет резкого подъёма температуры, что позволяет избежать трещин, связанных с термической процессом.

Выравнивание температуры по всей длине балки достигнуто к третьим суткам, что обеспечивает отсутствие термических трещин, связанных с наличием градиента температур. Максимальная разница температур между температурой воздуха и температурой внутри блока составила 14 °С. Разница температур внутри блока не превысила 5 °С (известно, что допустим перепад во избежание термического трещинообразования, не более 20 °С).

Таким образом, было установлено, что причиной образования трещин не могут являться усадка или ускоренный набор прочности. Следовательно, одной из причин образования трещин является применяемая технология бетонирования (гравитационный способ, а не напорное бетонирование). При такой технологии укладки избежать мест стыков при послой-

ной укладке сложно. Эти «холодные швы» являются источником возникновения вертикальных трещин. Также из-за специфики применяемой опалубки (частое расположение анкеров), такими источниками трещинообразования являются отверстия под анкера (рис. 9).

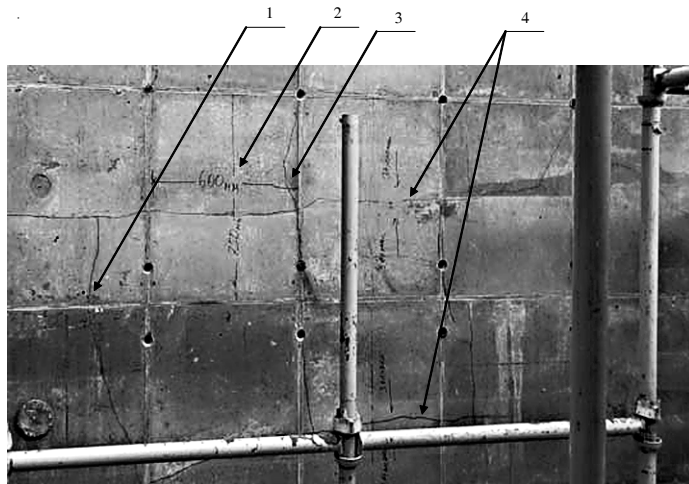


Рис. 9. Участок отремонтированной (15 – 16 августа 2011г.) поверхности распорной балки 16-го ГА с размеченными трещинами (ширина раскрытия трещин $0,1 \div 0,2$ мм. Это первый применённый состав бетона: 1 — вертикальная трещина «от заливки до заливки»; 2 — размер секции опалубки 600х750мм; 3 — вертикальная трещина «от анкера до анкера»; 4 — горизонтальные «трещины» (стыки) в зоне контакта слоёв заливки бетона

Вибрирование литого бетона запрещено [3] из-за неизбежного расслоения, проводилось кратковременное наружное вибрирование (через опалубку). Применение вибрируемых ремонтных бетонов при толщине слоя 0,5 м и густом армировании технологически неприемлемо.

Вторым важным источником образования трещин являются не заделанные трещины бетонного основания плотины, на который ведётся укладка ремонтного бетона. Эти «дышащие» трещины воспроизводятся на поверхности. Проявление «дышащих» трещин видно на рис. 10, описания выбуренных кернов — на рис. 11.

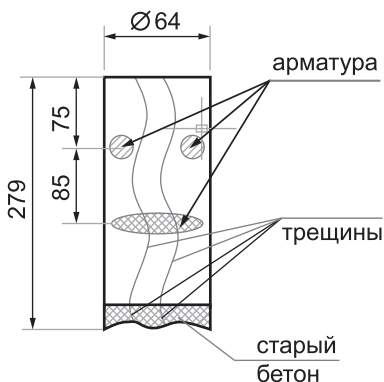


Рис. 10. Схема выбуренного керна № I



Рис. 11. Керны, выбуренные из отремонтированной ЗПУ Саратовской ГЭС

Для решения проблемы межслойного контакта и изолирования трещин в материковом бетоне от ремонтного бетона разработан новый состав. Применение данного состава 23.03.2012 г. на второй секции распорной балки 16 ГА при бетонировании привело к положительным результатам и при распалубке, трещин на ремонтном бетоне не обнаружено (рис. 12 на цветной вкладке).

Разработанный состав бетона и технология производства работ были применены при проведении зимнего бетонирования. Данный состав позволил модернизировать технологию

зимнего бетонирования, в частности, ускорить процесс снятия шатра за счёт раннего набора прочности и низкого В/Ц. Распływ нормального конуса (в течение 1 часа после замеса) 44 – 45 см, осадка конуса — 24 – 25 см (в течение часа после замеса) при пониженном содержании воды (В/Ц – 0,33. В/Вяз. – 0,23), что обеспечивает транспортабельность смеси и возможность подачи её бетононасосом в холодное время года (рис. 13 на цветной вкладке)

Работы по совершенствованию технологии ремонта переменного уровня продолжаютсЯ.

При этом потребуетсЯ:

1. Скорректировать технологию и состав для летнего бетонирования (в настоящее время есть проблема сохранности подвижности бетонной смеси при повышенной температуре 25°С).

2. Скорректировать составы «холодного» литого высокоморозостойкого бетона для зимнего безобогревного бетонирования.

3. Исследовать низкотермичный гидротехнический цемент ПЦГ Красноярского завода (разработан совместно с АО «НИИЭС») взамен высокомарочного ПЦ 500 Вольского завода для условий летнего бетонирования.

4. Исследовать технологию термической обработки для ускорения набора проектной морозостойкости и водонепроницаемости в зимнее время.

5. Изучить эффективность нанесения покрытий:

адгезионного покрытия;

финишного гидро- и теплогидроизоляционного покрытия в зоне ремонтируемых конструкций;

антиобледенительного покрытия (либо системы обогрева).

6. Внедрить разработанный в АО «НИИЭС» экспресс-метод контроля морозостойкости бетона.

Особой задачей для эксплуатирующихся ГЭС является поиск ближайшего завода-поставщика, дооснащение его необходимым оборудованием, обучение персонала.

Помимо этого, в г. Балаково постоянно с июня 2010 г. находится сотрудник АО «НИИЭС». Он контролирует качество выпускаемого бетона, для работ на Саратовской ГЭС. Также производит наблюдение (фотофиксация, справки, отчё-

ты и др.) за работами, проводимыми АО «Гидроремонт-ВКК», связанными с договорными обязательствами АО «НИИЭС». Образцы укладываемого ремонтного бетона и керны, отобранные из отремонтированных конструкций, регулярно приходят в АО «НИИЭС» для их испытаний на соответствие проектным требованиям. Такое постоянное научно-техническое представительство в подобных работах, как показал опыт, весьма эффективно.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Сахаров В.И.** Пенoэпоксидная теплогидроизоляция сооружений в районах с суровым климатом. – Л.: Стройиздат, 1980.
2. **Горчаков Г.И., Капкин М.М., Скрамтаев Б.Г.** Повышение морозостойкости бетона в конструкциях промышленных и гидротехнических сооружений. – М.: Стройиздат, 1965.
3. **Инструкция** по применению литых бетонов в энергетическом строительстве ВСН 27-81/Минэнерго СССР. – Москва, 1989.
4. **Гидротехнические** сооружения гидроэлектростанций. Методические рекомендации по выполнению многофакторных исследований. СТО РусГидро 02.03.119-2015.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ АЭС С МОДИФИЦИРОВАННЫМИ ПЕТЛЕВЫМИ СТЫКАМИ НА КРУПНОМАСШТАБНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ МОДЕЛЯХ БАЛОЧНОГО ТИПА

*Николаев В.Б., доктор техн. наук, Горбов В.А., Белов А.А.,
Климов Е.А., инженеры (АО «НИИЭС»), Лисичкин С.Е., доктор
техн. наук (ООО «ИЦ СКТЭ»)*

В работе приведены результаты экспериментальных исследований железобетонных конструкций с модифицированными петлевыми стыками рабочей арматуры, принятые в типовом проекте ВВЭР-ТОИ АЭС. Экспериментальные исследования проводились на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа. Испытания железобетонных моделей выполнялись на специальных стендах на статическую нагрузку по схеме «чистого»

изгиба, на действие поперечной силы с изгибающим моментом, на температурные воздействия и динамическое нагружение, моделирующее сейсмическое воздействие.

Результаты исследований показали, что модифицированные петлевые стыки рабочей арматуры обладают достаточной прочностью и являются прогрессивным конструктивным решением при индустриальном методе возведения АЭС.

Ключевые слова: железобетонная конструкция, петлевой стык рабочей арматуры, железобетонная модель, испытательный стенд

This article presents the results of experimental studies of reinforced concrete structures with modified loop joints of principal reinforcement, accepted in WWER-TOI (typical optimized-and-informatization) project of the NPP. The experimental studies were conducted on the large scale reinforced concrete models of beam type. The tests of reinforced concrete models were performed on the special stands and included: statistic load test according to the scheme of "pure" bending, test for transverse force with bending moment, thermal test and test for dynamic loading simulating seismic load.

The test results showed that modified loop joints of principal reinforcement possess adequate strength and are progressive design solution for NPP industrialized construction.

Keywords: reinforced concrete structure, loopjoint of principal reinforcement, reinforcedconcrete model, test stand.

В отделе строительных конструкций и материалов, отделения строящихся и реконструируемых объектов АО «НИИЭС» по заданию АО «Атомэнергопроект» был проведен комплекс экспериментальных и расчётных исследований модифицированных петлевых стыков рабочей арматуры конструкций типового проекта ВВЭР – ТОИ.

Разрабатываемый институтом АО «Атомэнергопроект» технический проект ВВЭР – ТОИ является типовым оптимизированным и информатизированным проектом двухблочной АЭС с реактором ВВЭР-1300 (вода-водяной энергетический реактор), выполняемый в современной информационной среде и в соответствии с требованиями технической ядерной и радиационной безопасности.

Заложенные в проекте конструктивные решения стыков с петлевым перепуском отличаются от разработанных и ис-

пользуемых, в основном, в мостостроении и гидротехническом строительстве петлевых стыков арматуры, впервые предложенных академиком Г.П. Передерием:

отсутствием армирования ядра стыка и плотно прилегающих шпилек;

отсутствием требования плотного прилегания встречных петель друг к другу;

возможностью расположения петель «вразбежку» — между шагом арматуры;

возможностью применения петлевых выпусков различного напряженного состояния по знаку усилия — одна петля растянута, другая — сжата.

Перечисленные особенности позволяют исключить трудоёмкую ручную сборку стыка с обеспечением требований соосности, при этом каркасы могут быть сдвинуты вплоть до попарного соединения.

Кроме того, петлевой стык имеет явные преимущества перед другими традиционными видами соединений стержневой арматуры, а именно:

отсутствие ручных работ и технологичность монтажа;

отсутствие жёстких требований по соосности арматуры;

высокая усталостная прочность;

повышенная анкерующая способность в связи с замкнутостью ветвей растянутой и сжатой арматуры по сравнению с прямыми перепусками;

отсутствие концентраторов напряжений, а следовательно высокая динамическую прочность;

отсутствие сварочных напряжений.

Кроме того, петлевой стык может в равной степени использоваться как в пролёте, так и в угловых соединениях перекрытий со стеновыми конструкциями.

В типовом проекте ВВЭР-ТОИ приняты четыре вида основных конструктивных решений с использованием петлевых стыков, относящихся к стенам и перекрытиям помещений АЭС.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны два вида петлевых соединений с бетонными ядрами круговой и прямоугольной (со скошенными углами) формы.

При этом железобетонные модели отражали конструкцию стен и перекрытий АЭС толщиной от 300 до 1200 мм.

Следует отметить, что при выполнении данной работы был проанализирован и учтён положительный опыт применения бессварных петлевых стыков в железобетонных конструкциях гидротехнических сооружений.

При разработке крупномасштабных моделей с петлевыми стыками принято геометрическое подобие между натурной конструкцией и моделью в масштабах $M_1 : 1$ и $M_1 : 2$. Железобетонные модели были изготовлены из бетона с классом прочности на сжатие В30 и арматурой класса А600С.

Перечень моделей петлевых стыков, а также их основные технические характеристики приведены в табл. 1, где СУ — железобетонная модель углового типа; СЛ — линейная железобетонная модель, испытываемая на статическую нагрузку; БМ — железобетонная монолитная модель балочного типа с продольной стержневой рабочей арматурой.

При разработке методики экспериментальных исследований рассматривались:

- схемы моделей на весь комплекс нагрузок и воздействий; расчетные и контрольные нагрузки на модели, а также расчетные значения прогибов;

- схемы силовых стендов, включая их оснащение траверсами, а также схемы размещения моделей и оборудования на испытательных стендах;

- схемы размещения КИА.

Статические испытания железобетонных моделей проводились на действие изгибающего момента по схеме «чистого» изгиба, а также на действие поперечной силы.

Схема испытательного стенда для проведения испытаний железобетонных балок «углового» типа приведены на рис. 1 и 2 на цветной вкладке. Нагружение моделей проводилось на действие изгибающих моментов различной направленности — на «закрытие» угла (сжатие в угловой зоне) и на «открытие» угла (растяжение в угловой зоне).

Статическое нагружение железобетонной модели выполнялось ступенями по 10% от расчетной разрушающей нагруз-

Таблица 1

Перечень моделей петлевых стыков

№ п/п	Марка модели	Число моделей	Вид испытания	Диаметр арматуры	Размеры модели				Масса модели, т	Бетон В, W, ρ
					Высота, мм	Ширина, мм	Длина, мм	Общая высота, мм		
1	СУ-1.1.1	2	Изгибающий момент	25А600С	400	600	3600	1633	2.75	В30 W 6 $\gamma = 2350$ кг/м ³
2	СУ 1.2	4	Изгибающий момент	20А600С	350	350	3600	1598	1.23	
3	СЛ-2.1.1	2	Изгибающий момент	25А600С	400	600	2800	–	1.58	
4	СЛ-2.2.1	2	Изгибающий момент	20А600С	350	350	2800	–	0.81	
5	СЛ-2.2.2	4	Изгибающий момент, температурное воздействие	20А600С	350	350	2800	–	0.81	
6	СЛ-2.2.3	2	Поперечная сила	20А600С	350	350	2800	–	0.81	
	СЛ-2.2.4	2	Изгибающий момент	20А600С	350	350	2800	–	0.81	
7	БМ-1	1	Изгибающий момент	20А600С	350	350	2800	–	0.81	
8	БМ-1.1	2	Динамическое воздействие	12А600С	210	210	3000		0,31	
9	СЛ-2.2.2.1	2	Динамическое воздействие	12А600С	210	210	3000		0,31	

ки с доведением модели до разрушения и получения величины фактической разрушающей нагрузки.

При проведении эксперимента определялись зависимости величины раскрытия трещин от нагрузки (рис. 3 на цветной вкладке), величины прогиба от нагрузки (рис. 4 на цветной вкладке), а также величины относительных деформаций в рабочей арматуре от нагрузки (рис. 5 на цветной вкладке). Для получения обоснованного результата выполнялись испытания двух «балок-близнецов» каждого типа.

Прочность железобетонных моделей с петлевыми стыками сопоставлялась с результатами испытаний эталонной монолитной балки со стержневой рабочей продольной арматурой по двум предельным состояниям: по несущей способности; по раскрытию трещин и деформативности.

Характер трещинообразования в виде картограммы трещин при действии разрушающей нагрузки показан на рис. 6.

По результатам проведения испытаний двух идентичных моделей на основании регистрации начала интенсивного роста трещин без значительного увеличения нагрузки, интенсивного развития прогиба центральной части модели, а также, основываясь на значениях относительных деформаций, измеренных тензодатчиками, установленными на арматуре, был сделан вывод, что разрушение моделей произошло в диапазоне нагрузки тс.

Также были проведены исследования прочности петлевого стыка на температурные воздействия, имитирующие проектные и запроектные аварии.

При проведении испытания на температурные воздействия модели нагружались поэтапно:

1. На первом этапе устанавливался стационарный температурный режим, обеспечивающий перепад температуры между нижней (нагреваемой) и верхней гранями модели, имитирующий проектную аварию – 70°С и запроектную аварию — 120°С. По достижении требуемого температурного режима выполнялась регистрация появления и раскрытия трещин, прогиба центральной части модели и относительных деформаций арматуры.

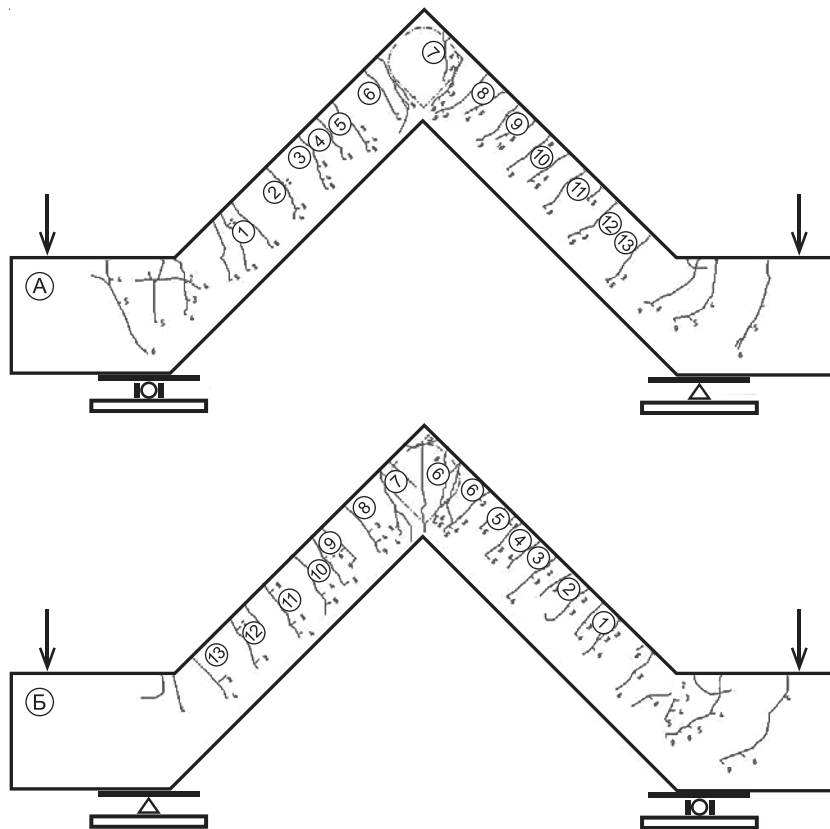


Рис. 6. Картограмма трещин модели СУ-1.2 (3) при разрушающей нагрузке

2. На втором этапе нагружения проводилась силовая компенсация, соответствующая полученному распределению температуры, имитирующая заземление конструкции. Усилие термокомпенсации определялось с уменьшением величины прогиба модели до нуля. При этой нагрузке осуществлялась регистрация раскрытия трещин, прогибов центральной части модели и относительных деформаций арматуры.

3. На третьем этапе испытаний проводилось дополнительное нагружение модели статической нагрузкой в условиях полученного температурного поля до разрушения модели с

регистрацией раскрытия трещин, прогибов центральной части модели и относительных деформаций арматуры.

Модель в стенде для испытания на температурное воздействие приведен на рис.7 на цветной вкладке.

Железобетонные модели с петлевыми стыками испытывались также на динамическую нагрузку для оценки прочности железобетонных конструкций с петлевыми стыками при динамическом воздействии. Исследования проводились на четырех опытных шарнирно-опёртых железобетонных балках-моделях, две из которых были изготовлены с петлевым стыком арматуры, а две — монолитными без стыка. Каждая из моделей была доведена до разрушения.

Динамическая нагрузка, моделирующая сейсмическое воздействие, задавалась на специальном испытательном стенде с переменными параметрами ускорения и частоты. Платформа совместно с закрепленной на ней моделью сбрасывалась на специальные амортизаторы, фиксирующие колебания опор. В средней части пролета балки были установлены акселерометры, на основе показаний которых по заданной функции определялась характеристика действующей нагрузки, соответствующей прогибу балки, и вычислялось напряженное состояние на каждой ступени испытания. Для обработки исходных данных и получения недостающих параметров напряжённо-деформированного состояния был применён расчётно-экспериментальный метод анализа.

При испытании железобетонных моделей на задаваемую поэтапно динамическую нагрузку был определён уровень нагрузки, при которой в арматуре возникают напряжения текучести.

Потеря несущей способности моделей с петлевыми стыками происходила в результате хрупкого разрушения по ядру стыка, монолитных моделей — в результате хрупкого разрушения сжатой зоны. Разрушение ядра происходило от действия крутящего момента, передаваемого от арматуры на бетонное ядро петлевого стыка. Результаты испытаний подтвердили требуемую прочность петлевого стыка при динамической нагрузке.

Таблица 2
 Результаты испытаний железобетонных моделей с петлевыми стыками

№ п/п	Индекс модели	Вид испытания	Конструкция стыка	Применная прочность бетона R_b , кг/см ²	Вычисленная нагрузка монолитной арматуры, R_m , тс	Опытная разрушающая нагрузка P_0 , тс	Прочностной коэффициент $k_f = P_0/R_m$	Опытная предельная нагрузка P_p , тс
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	БМ-1	На действие изгибающего момента		339,2	28,90	33,50	1,16	37,96
2	СЛ 2.1.1. (1)			360,8	10,96	11,60	1,06	13,60
3	СЛ 2.1.1. (2)			376,0	10,98	11,50	1,05	12,16

Продолжение таблицы 2

1	2	4	5	6	7	8	9
4	СЛ 2.2.1. (1)		375,2	28,98	23,25	0,80	24,05
5	СЛ 2.2.1. (2)		377,6	29,00	24,25	0,84	28,23
6	СЛ 2.2.2. (1)		357,6	28,95	24,50	0,85	26,14
7	СЛ 2.2.2. (2)		388,0	29,00	24,05	0,83	26,67
8	СЛ 2.2.4. (1)		367,3	28,97	24,05	0,83	26,93
9	СЛ 2.2.4. (2)		367,3	28,97	20,91	0,72	22,74

На действие изгибающего момента

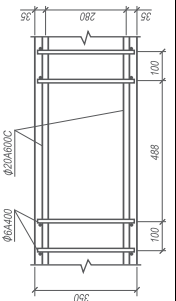
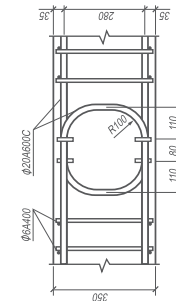
Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	СЛ 2.2.3. (1)	На действие поперечной силы		395,2	34,86	38,50	1,10	42,97
11	СЛ 2.2.3. (2)			443,2	37,34	40,00	1,07	47,50
12	СУ 1.1.1 (1)	На действие изгибающего момента		332,0	11,36	11,00	0,97	11,56
13	СУ 1.1.1 (2)			398,4	11,47	13,00	1,13	14,00
14	СУ 1.2 (1)			329,2	34,64	34,06	0,98	38,97
15	СУ 1.2 (3)			427,4	34,90	35,94	1,03	40,00

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	СУ 1.2 (2)	На действие изгибающего момента		370,1	34,77	37,97	1,09	40,00
17	СУ 1.2 (4)			377,3	34,78	40,00	1,15	44,38

Таблица 2 п
 Результаты испытаний железобетонных моделей с петлевыми стыками

№ п/п	Индекс модели	Вид испытания	Конструкция стыка	Примененная прочность бетона	Нагрузка, соответствующая температурному изгибающему моменту заданному температурному перепаду, тс		Опытная нагрузка в условиях воздействия заданного температурного перепада, тс
					Вычисленная	Опытная	
18	БМ-1	Темпера-турное воздействие		346,4	6,54 (проектная авария)	6,54	35,03
					327,2	13,64 (запроектная авария)	
20	СЛ 2.2.2 (4)	Темпера-турное воздействие		327,2	6,30 (проектная авария)	10,40	19,35
					327,2	6,30 (проектная авария)	

Монолитные модели без петлевого стыка являлись калибровочными и подтвердили корректность применённого расчетно-экспериментального метода обработки результатов испытаний, т.к. прочность монолитной конструкции определяется известными методами теории железобетона и сопротивления материалов.

В ходе проведения исследований железобетонных конструкций с петлевыми стыками была разработана методика расчета петлевых стыков по первой и второй группе предельных состояний[1].

Конструкции петлевого стыка, действующие усилия и напряженное состояние бетонного ядра в их различных сочетаниях обуславливают многообразие форм разрушения и наступления предельных состояний. На основе анализа совместной работы петлевого стыка арматуры и бетонного ядра был получен ряд зависимостей, позволяющих оценить прочность конструкций с петлевыми стыками и подготовлен нормативный документ [2].

Результаты экспериментов приведены в табл. 2 на стр. 74.

Выводы

Настоящие выводы сделаны на основании результатов полученных при проведении комплексных испытаний следующих моделей с петлевыми стыками-перепусками:

плит высотой сечения 400 мм, диаметров рабочей арматуры 25 мм, (1-ый тип стыка) при классе арматуры А600;

плит высотой сечения 700 мм, диаметров рабочей арматуры 40 мм, (2-ой тип стыка) при классе арматуры А600;

пролётных и угловых зон конструкции.

Испытания проводились на следующие воздействия:

изгибающего момента;

совместного действия изгибающего момента и поперечной силы;

на действие изгибающего момента разной направленности в угловых стыках;

на температурные воздействия, имитирующие проектную и запроектную аварии.

1. При испытаниях зафиксированы два вида разрушения моделей:

интенсивное проявление деформации текучести по прямолинейным сечениям по контакту с ядром или по круговым сечениям вокруг ядра петлевого стыка-перепуска;

по наклонным в плане сечениям петлевых стыков.

В моделях, испытанных на температурное воздействие совместно со статической нагрузкой, зафиксировано нарушение анкерующей способности петлевых выпусков в результате влияния термоусадочных трещин в сжатой зоне.

2. Испытание линейного стыка (тип 1 прототипа) с перепуском в $17d$ и прямой вставкой $5d$, показало, что несущая способность обеспечена с превышением на 17%.

3. Испытание линейного стыка (тип 2 прототипа) круглого очертания с перепуском $19d$ в т.ч. прямой вставкой $5d$ показало снижение прочности на 10%, а с полигональным («прямоугольным») ядром с перепуском в $15d$ — на 9%.

4. Испытания стыков с поперечной и вспомогательной арматурой показали, что несущая способность не изменяется. Это показывает, что анкерующая способность обеспечивается без поперечной арматуры.

5. Испытание стыков на совместное действие изгибающего момента и поперечной силы показало, что трещины «обходят» ядро стыка, и несущая способность конструкции со стыком в зоне поперечных сил превышает теоретическую разрушающую на 25%.

6. Испытания угловых стыков, в общем, показали более значительную прочность по сравнению с линейными стыками, даже при меньших перепусках — $10d$ и $14d$ их прочность обеспечивается.

При этом прочность угловых стыков на воздействие изгибающего момента, «раскрывающего» угол (СУ 1.2 (2) и СУ 1.2 (4)) выше, чем на воздействие изгибающего момента, «закрывающего» угол момент примерно на 10%.

7. Результаты испытаний на сейсмическую нагрузку подтвердили прогнозируемую несущую способность петлевых стыков.

В целом, запроектированные конструкции испытанных петлевых стыков отвечают требованиям по несущей способности.

ЛИТЕРАТУРА

1. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003.
2. Стандарт организации (окончательная редакция). Руководство по расчёту и конструированию бесшварных петлевых стыков железобетонных конструкций АЭС с учётом сейсмических воздействий. – М.: АО «НИИЭС», 2015.

ОБ ОЦЕНКЕ ВРЕДА ЛЕСАМ ОТ АВАРИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Воронков П.Т., кандидат эконом. наук (ФБУ ВНИИЛМ)

Аннотация. В статье излагается метод укрупненных показателей для оценки возможного размера ущерба, причиняемого третьим лицам, вследствие повреждения лесов при авариях на гидротехнических сооружениях. Предлагаемый автором подход ориентирован на использование при расчетах действующей в стране системы нормативных правовых документов и информации о состоянии и использовании лесов.

Ключевые слова: вред, повреждение и гибель лесных насаждений, корневой запас древесины, платное использование лесов, защитные леса.

Annotation. The article describes the method of aggregated indicators to assess possible damage caused to third parties due to damage to forests in crashes on shipping hydrotechnical facilities. The proposed approach is intended for use by the existing system of normative legal documents and information on the State and use of forests.

Key words: injury, damage and loss of forest plantations, the root stock of timber forest use, pay, protection forests.

По разным причинам в России, как и в других странах, создаются гидротехнические сооружения (ГТС). Эти сооружения, даже если они созданы в целях защиты населения и хозяйственных объектов от наводнений и других негативных явлений, в определенных условиях сами становятся источником повышенной опасности. Причиненный в результате

аварии на ГТС вред здоровью и имуществу третьих лиц может быть так велик, что у его собственника или эксплуатирующей организации не хватает средств для возмещения потерь этих лиц.

Одним из механизмов, смягчающих для всех заинтересованных лиц возможные негативные последствия таких аварий, является страхование гражданской ответственности владельцев или эксплуатирующих организаций. Принятие Федерального закона Российской Федерации «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [1] способствовало усилению практического интереса к оценке возможного вреда при авариях гидротехнических сооружений.

Успешность работы механизма страхования во многом определяется качеством методик оценки вероятного вреда. В настоящее время в России для определения размера вреда от аварий гидротехнических сооружений любого назначения действует «Методика определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений» [2].

Как отмечено в [3], эта методика не дает способа оценки ряда необходимых составляющих общего вреда, поскольку она использует не действующий в настоящее время документ «Минимальные ставки платы за древесину, отпускаемую на корню», утвержденный Постановлением Правительства РФ от 19.09.97 №1199 [4]. Но дело не только в названном документе. «Методика ...», хотя и была принята сравнительно недавно (февраль 2007 года), стала морально устаревшей уже в момент ее утверждения, поскольку именно в это время коренным образом изменилось лесное законодательство страны [5, 6], исчезли старые понятия и появились новые, полностью модифицирована статистическая отчетность, необходимая для проведения расчетов.

Кроме того, значительно была уточнена нормативная правовая база страхования гражданской ответственности

владельца опасного объекта. Это уже упомянутый Федеральный закон «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» [1] и Постановления Правительства Российской Федерации, принятые в его развитие [7, 8]. Эти нормативные правовые документы, наряду с ранее принятыми Правилами определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидротехнического сооружения [9] и Порядком определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения [10], составляют правовую основу для разработки уточненной методики определения вреда.

Задачу определения размера вреда в самом обобщенном виде можно представить в виде схемы, изображенной на рис. 1.

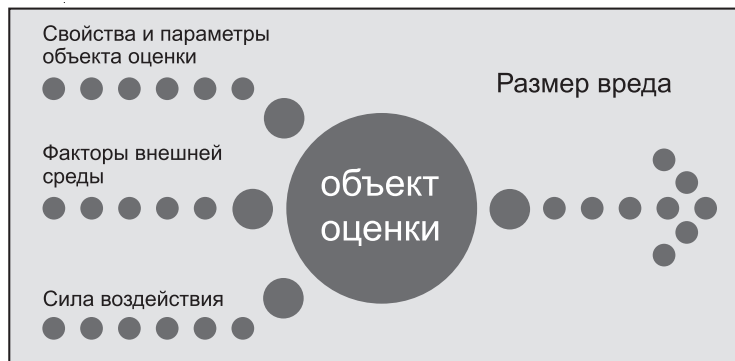


Рис. 1.

Как видно из схемы, размер вреда является функцией четырех групп переменных величин: вида объекта, свойств и параметров этого объекта, факторов внешней среды и силы воздействия аварии на объект. Исходя из этой схемы и особенностей возможности получения достоверной информации, можно предложить следующий подход к оценке величины вреда, наносимого аварией ГТС лесному хозяйству.

Во-первых, необходимо определить виды объекта оценки. Во-вторых, определить внутренние свойства и параметры этих свойств для объектов оценки. В третьих, учитывая, что лес — понятие географическое, определить важнейшие факторы внешней среды, которые могут повлиять на величину размера вреда при прочих равных условиях. В-четвертых, необходимо признать, что размер вреда зависит от силы разрушающих факторов, возникающих при аварии гидротехнических сооружений. Наконец, в-пятых, необходимо соблюдать разумный баланс между точностью оценки размера вреда и стоимостью оценочных работ. Рассмотрим эти положения более подробно.

Виды объекта оценки

В Методике [2] при расчете вреда лесному хозяйству выделяется два вида объекта оценки: а) — ущерб от повреждения и гибели лесных насаждений как источника древесного сырья для предприятий лесопромышленного комплекса и б) — ущерб окружающей природной среде, возникающий в результате повреждения лесов. Выделение этих объектов соответствовало действующему в ту пору Лесному кодексу [11], когда практически вся сумма лесного дохода состояла из платы от заготовки древесины, а вред рассчитывался исходя из повреждения корневого запаса насаждений.

В ныне действующем Лесном кодексе, принятом в декабре 2006 года [5], объектом платного использования признаются не только древостои, но чаще всего лесные участки — земельные участки, занятые или не занятые лесной растительностью, а число видов платного пользования ими превышает полтора десятка. Доход от заготовки древесины теперь составляет лишь две третьих от общего дохода платежей за использование лесов. Поэтому кроме ущерба от повреждения древостоев целесообразно ввести дополнительный вид объекта оценки вреда лесному хозяйству — ущерб, который может возникнуть при повреждении лесных участков как источника других видов платного использования лесных участков.

В соответствии с лесным законодательством России все ее леса разделяются по целевому назначению на три категории:

защитные, эксплуатационные и резервные леса. Хотя леса всех категорий выполняют средообразующие функции (производство кислорода, депонирование углекислого газа, водоохраные и другие экологические функции) только для защитных лесов эти функции признаются основными, ради которых и содержатся эти леса. Снижение по тем или иным причинам этих функций в защитных лесах недопустимо, поскольку влечет за собой многочисленные, хотя и не отражаемые статистикой, потери. Исходя из этого, предлагается ущерб окружающей природной среде от повреждения в результате аварий на ГТС учитывать только для защитных лесов.

Таким образом, вместо двух объектов оценки размера вреда предлагается расчеты проводить по трем модифицированным объектам.

Свойства объектов, факторы внешней среды

Отделить внутренние свойства объектов оценки от факторов внешней среды, используя данные официальной статистики, невозможно. Взаимодействие климата, почвенно-грунтовых условий, породного состава насаждений, режима хозяйствования в лесах дают синергетический эффект, который проявляется в объеме и качестве корневого запаса насаждений. В свою очередь, разница в экономических условиях влечет за собой очень большую дифференциацию рыночных цен на лесные ресурсы одного и того же качества. В связи с этим действующие ставки платы [6] только за древесину, отпускаемую на корню, содержат более 7 млн. позиций, отражающих многообразие внутренних и внешних факторов. Отражать в расчетах ущерба все это многообразие не имеет смысла, учитывая возможную точность определения других прогнозных показателей ущерба. Поэтому целесообразно использовать усредненные показатели либо субъектов Российской Федерации или по лесорастительным зонам в зависимости от объекта оценки, как это показано ниже.

Ущерб лесному хозяйству

1. Ущерб от повреждения и гибели лесных насаждений, как источника древесного сырья для предприятий лесопромышленного комплекса, рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{лх}_1} = \delta \cdot P_1 \cdot M \cdot S_{\text{лх}} , \quad (1)$$

где: $I_{\text{лх}_1}$ — ущерб от повреждения и гибели лесных насаждений, как источника сырья для предприятий лесопромышленного комплекса; δ — коэффициент, отражающий степень тяжести повреждения лесных насаждений, определяется по табл. 1 в зависимости от глубины затопления (H), продолжительности затопления (T) и скорости течения (V); P_1 — средний минимальный размер платы¹ за единицу корневого запаса ликвидной древесины в субъекте Российской Федерации в году, предшествующему году проведения расчетов ущерба, руб./м³. Сведения о среднем минимальном размере платы за единицу корневого запаса древесины содержатся в отчетах государственных органов лесного хозяйства субъекта Российской Федерации². При укрупненных расчетах допустимо использовать показатели среднего минимального размера платы за единицу корневого запаса древесины в субъекте Российской Федерации, приведенные в Приложении 1 (графа 2); M — средний корневой запас древесины на землях лесного фонда в субъекте Российской Федерации, м³/га³. При невозможности получить сведения о величине среднего корневого запаса древесины на землях лесного фонда в субъекте Российской Федерации при укрупненных расчетах допускается использовать показатели среднего запаса по лесорастительным зонам Российской Федерации (табл. 2); $S_{\text{лх}}$ — площадь земель, покрытых лесной растительностью, в зоне катастрофического затопления, га;

¹ В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации для расчета минимального размера платы по всем видам использования лесов, установленных законом, применяются «Ставки платы за единицу объема лесных ресурсов и ставки платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности», утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации 22 мая 2007 г. №310.

² Форма 16-ОИП «Сведения о доходах лесного хозяйства и их распределении по получателям», утверждена Приказом Минсельхоза России от 05.02.2010 № 27.

³ Площади лесов и запасы древесины в них определяется по данным государственного лесного реестра, предоставляемым уполномоченными органами государственной власти, осуществляющими функции по ведению государственного лесного реестра.

Таблица 1

*Шкала тяжести повреждений лесных насаждений, как источника
древесного сырья для деревообрабатывающей промышленности*

Значение δ	Тяжесть повреждения	H, м	T, час	V, м/сек
0,2	Сильная	4	250	2,5
0,1	Средняя	3	170	2
0,05	Слабая	2	50	1

Таблица 2

*Средний корневой запас древесины по лесорастительным
зонам Российской Федерации, м³/га*

Лесорастительные зоны	Средний корневой запас древесины
Зона притундровых лесов и редкостойной тайги	65
Таежная зона	151
Зона хвойно-широколиственных лесов	192
Степная зона	129
Зона полупустынь и пустынь	73
Зона горного Северного Кавказа	206

2. Ущерб от повреждения и гибели лесных насаждений, как объектов различных видов платного использования, кроме заготовки древесины, установленных лесным законодательством, рассчитывается по формуле:

$$I_{\text{лх}_2} = \alpha \cdot \frac{P_2}{S_{\text{л}}} \cdot S_{\text{лх}} \quad , \quad (2)$$

где: $I_{\text{лх}_2}$ — ущерб от повреждения лесов, как объекта различных видов платного использования лесов, кроме заготовки древесины, установленных лесным законодательством; α — коэффициент, отражающий степень тяжести повреждения лесных насаждений, определяется по табл. 3 в зависимости от глубины затопления (H), продолжительности затопления (T) и скорости течения (V); P_2 — сумма минимального размера платы за все виды использования лесов, кроме заготовки древесины, в субъекте Российской Федерации за год, предшествующий году проведения рас-

Таблица 3

**Шкала тяжести повреждений и гибели лесных насаждений
как источника иных видов (кроме заготовки древесины)
платного использования лесов**

Лесорастительная зона	Норматив затрат (β), тыс. руб./га
Зона тайга	3,5
Зона смешанных хвойно-широколиственных лесов	10
Зона лесостепи	38
Зона сухой степи, полупустыни и пустыни	64
Горные районы	29

чета ущерба, в рублях на 1 га площади покрытых лесной растительностью земель лесного фонда. Сведения о сумме минимального размера платы в субъекте Российской Федерации содержатся в отчетах государственных органов лесного хозяйства субъекта Российской Федерации (форма 16-ОИП); $S_{л}$ — площадь покрытых лесной растительностью земель лесного фонда в субъекте Российской Федерации, определяется по данным государственного лесного реестра. Учитывая, что площадь земель лесного фонда в целом по субъекту меняется медленно, допускается при расчетах ущерба использовать данные о площадях земель лесного фонда (на 01.01.2012), приведенные в Приложении 2; $S_{лх}$ — площадь покрытых лесной растительностью земель в зоне катастрофического затопления, га.

При укрупненных расчетах допускается в формуле 2 вместо дроби $\frac{P_2}{S_n}$ использовать показатели минимального размера платы за все виды использования лесов, кроме древесины, приведенные в Приложении 1 (графа 3).

3. Ущерб окружающей среде от затопления лесов рассчитывается по формуле:

$$I_{лх_3} = \delta \cdot \beta \cdot S_{лз}, \quad (3)$$

где: $I_{лх_3}$ — экологический ущерб от затопления лесов, руб.; d — доля утраченной в результате затопления площади покрытых лесной растительностью защитных лесов

Таблица 4

Удельные затраты на воспроизводство утраченных защитных лесов по лесорастительным зонам России⁴

Лесорастительная зона	Норматив затрат (β), тыс. руб./га
Зона тайга	3,5
Зона смешанных хвойно-широколиственных лесов	10
Зона лесостепи	38
Зона сухой степи, полупустыни и пустыни	64
Горные районы	29

зависит от глубины и продолжительности затопления, скорости водных потоков в зоне катастрофического затопления, определяется по табл. 1; b — удельные затраты, требующиеся на воспроизводство утраченных защитных лесов, руб./га, определяются по табл. 4 с учетом лесорастительной зоны, где расположен гидротехнический объект региона, для которого производится расчет размера вреда; $S_{\text{лз}}$ — площадь покрытых лесной растительностью земель защитных лесов в зоне катастрофического затопления, га.

4. Суммарный ущерб лесному хозяйству при гидродинамической аварии равен:

$$I_{\text{лх}} = I_{\text{лх}_1} + I_{\text{лх}_2} + I_{\text{лх}_3}, \quad (4)$$

где $I_{\text{лх}}$ — суммарный ущерб лесному хозяйству при гидродинамической аварии; $I_{\text{лх}_1}$ — ущерб от повреждения и гибели лесных насаждений, как источника сырья для предприятий лесопромышленного комплекса; $I_{\text{лх}_2}$ — ущерб от повреждения и гибели лесов, как объекта различных видов платного использования лесов, кроме заготовки древесины, установленных лесным законодательством; $I_{\text{лх}_3}$ — экологический ущерб от затопления лесов, руб.

⁴ Распределение административных районов страны по лесорастительным зонам определяется приказом Рослесхоза от 09.03.2011 N 61 «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» (Зарегистрировано в Минюсте РФ 28.04.2011 N 20617). «Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти», N 23, 06.06.2011

Приложение 1

Средний минимальный размер платы за 1м³ корневого запаса древесины и средний минимальный размер платы по всем видам использования лесов, кроме древесины на 1 га покрытых лесной растительностью земель лесного фонда

Наименование субъекта РФ	Средняя минимальная ставка платы за 1м ³ корневого запаса древесины, руб.	Средний минимальный размер платы по всем видам использования лесов, кроме древесины, руб./га
1	2	3
Всего по России	32,22	9,04
Центральный Федеральный округ	41,29	52,77
Белгородская область	26,05	11,84
Брянская область	55,07	7,43
Владимирская область	40,70	16,68
Воронежская область	65,48	73,46
Ивановская область	31,54	11,33
Калужская область	43,57	26,29
Костромская область	42,59	1,26
Курская область	32,10	13,19
Липецкая область	16,65	17,07
Московская область	43,56	502,86
Орловская область	44,20	9,27
Рязанская область	42,33	6,04
Смоленская область	32,84	2,48
Тамбовская область	31,04	2,53
Тверская область	48,40	13,81
Тульская область	72,90	45,95
Ярославская область	23,84	6,53
Северо-Западный Федеральный округ	41,26	16,61
Республика Карелия	59,94	8,46
Республика Коми	42,22	13,23
Архангельская область	37,47	3,76

Безопасность энергетических сооружений

1	2	3
Вологодская область	33,58	3,32
Калининградская область	67,45	42,30
Ленинградская область	42,70	173,27
Мурманская область	49,69	6,22
Новгородская область	37,56	2,28
Псковская область	52,28	0,91
Приволжский Федеральный округ	34,01	10,31
Республика Башкортостан	35,01	6,85
Республика Марий Эл	31,96	13,35
Республика Мордовия	46,40	11,52
Республика Татарстан	19,81	85,60
Удмуртская Республика	37,71	7,94
Чувашская Республика	23,30	14,83
Пермский край	31,03	5,51
Кировская область	31,92	0,49
Нижегородская область	35,71	10,46
Оренбургская область	21,79	11,50
Пензенская область	52,07	7,99
Самарская область	12,63	66,16
Саратовская область	17,20	24,79
Ульяновская область	58,20	31,89
Южный Федеральный округ	39,04	156,36
Республика Адыгея	55,74	64,26
Республика Калмыкия	7,00	21,06
Краснодарский край	56,96	253,63
Астраханская область	6,26	82,91
Волгоградская область	4,66	25,05
Ростовская область	23,74	34,33
Северо-Кавказский Федеральный округ	79,20	28,45
Республика Дагестан	23,67	27,52
Республика Ингушетия	243,62	0,03
Кабардино-Балкарская Республика	86,16	8,49
Карачаево-Черкесская Республика	81,06	64,12
Республика Северная Осетия - Алания	133,41	11,51
Чеченская Республика		3,46
Ставропольский край	10,00	54,78
Уральский Федеральный округ	46,78	21,80
Курганская область	35,89	3,41
Свердловская область	54,58	6,24
Тюменская область	26,99	28,80

1	2	3
Челябинская область	40,29	17,78
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	46,42	25,99
Ямало-Ненецкий автономный округ	104,68	26,18
Сибирский Федеральный округ	20,96	3,75
Республика Алтай	34,13	5,49
Республика Бурятия	20,89	2,13
Республика Тыва	24,26	1,99
Республика Хакасия	19,28	7,63
Алтайский край	30,65	2,51
Забайкальский край	24,47	2,79
Красноярский край	21,46	2,82
Иркутская область	18,40	3,29
Кемеровская область	25,81	19,28
Новосибирская область	22,47	5,86
Омская область	22,22	3,19
Томская область	23,67	8,98
Дальневосточный Федеральный округ	27,15	4,22
Республика Саха (Якутия)	26,21	3,02
Камчатский край	28,88	1,42
Приморский край	36,24	10,63
Хабаровский край	24,21	3,15
Амурская область	21,14	6,93
Магаданская область	21,02	6,76
Сахалинская область	45,27	13,52
Еврейская автономная область	33,79	22,08
Чукотский автономный округ	51,90	11,47

Приложение 2

Площадь покрытых лесной растительностью земель лесного фонда в субъектах Российской Федерации, тыс. га

Наименование субъекта РФ		Площадь, тыс. га
		733 150,0
02	Центральный Федеральный округ	14 710,0
027	Белгородская область	205,4
009	Брянская область	754,5
010	Владимирская область	979,0
028	Воронежская область	375,6
011	Ивановская область	734,2
013	Калужская область	703,1
014	Костромская область	3 437,9

Безопасность энергетических сооружений

1	2	3
029	Курская область	204,7
030	Липецкая область	179,0
016	Московская область	1 580,0
017	Орловская область	126,9
018	Рязанская область	783,1
019	Смоленская область	932,6
031	Тамбовская область	311,0
012	Тверская область	2 249,4
020	Тульская область	265,2
021	Ярославская область	888,4
01	Северо-Западный Федеральный округ	80 840,0
004	Республика Карелия	9 415,8
005	Республика Коми	29 979,7
001	Архангельская область	20 427,8
002	Вологодская область	7 233,7
073	Калининградская область	239,1
006	Ленинградская область	3 508,1
003	Мурманская область	5 297,4
007	Новгородская область	3 467,3
008	Псковская область	1 081,3
199	Ненецкий АО	189,8
03	Приволжский Федеральный округ	31 553,7
053	Республика Башкортостан	5 135,2
024	Республика Марий Эл	1 127,4
025	Республика Мордовия	578,1
039	Республика Татарстан	1 149,8
054	Удмуртская Республика	1 504,5
026	Чувашская Республика	548,5
050	Пермский край	9 550,9
023	Кировская область	5 890,6
022	Нижегородская область	2 917,5
048	Оренбургская область	454,2
035	Пензенская область	807,1
034	Самарская область	552,7
036	Саратовская область	452,8
037	Ульяновская область	884,4
04	Южный Федеральный округ	2 316,9
086	Республика Адыгея	238,3
038	Республика Калмыкия	14,7
040	Краснодарский край	1 366,9

1	2	3
032	Астраханская область	95,0
033	Волгоградская область	381,3
042	Ростовская область	220,7
08	Северо-Кавказский Федеральный округ	1 515,1
043	Республика Дагестан	363,9
094	Республика Ингушетия	77,4
044	Кабардино-Балкарская Республика	146,3
088	Карачаево-Черкесская Республика	403,6
045	Республика Северная Осетия - Алания	177,2
046	Чеченская Республика	261,4
041	Ставропольский край	85,3
05	Уральский Федеральный округ	65 182,6
047	Курганская область	1 225,6
051	Свердловская область	11 256,4
060	Тюменская область	5 501,9
052	Челябинская область	2 499,7
093	Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	28 437,4
095	Ямало-Ненецкий автономный округ	16 261,6
06	Сибирский Федеральный округ	258 134,2
084	Республика Алтай	3 972,0
064	Республика Бурятия	20 842,2
065	Республика Тыва	8 048,8
085	Республика Хакасия	2 912,9
055	Алтайский край	2 733,8
063	Забайкальский край	27 605,2
061	Красноярский край	103 508,6
062	Иркутская область	61 038,3
056	Кемеровская область	4 718,3
057	Новосибирская область	2 682,1
058	Омская область	2 612,4
059	Томская область	17 459,6
07	Дальневосточный Федеральный округ	278 897,5
072	Республика Саха (Якутия)	143 796,2
069	Камчатский край	19 483,0
066	Приморский край	11 871,8
067	Хабаровский край	52 036,2
068	Амурская область	22 786,3
070	Магаданская область	16 786,6
071	Сахалинская область	5 603,8
096	Еврейская автономная область	1 621,0
089	Чукотский автономный округ	4 912,6

ЛИТЕРАТУРА

1. **Федеральный закон** Российской Федерации от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте». Принят Государственной Думой 16 июля 2010 г.; одобрен Советом Федерации 19 июля 2010 г.
2. **Методика** определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии судоходных гидротехнических сооружений. Утверждена Приказом МЧС России и Минтранса России от 02.10.2007 г. № 528/143.
3. **Беликов В.В., Есиновский В.А., Мельник Г.В., Чернилова В.А., Школьников С.Я.** О необходимости пересмотра нормативных документов по расчету размера вреда от аварий судоходных гидротехнических сооружений // Гидротехника. – № 4, 2013.
4. **Постановление** Правительства РФ от 19.09.97 № 1199 «О минимальных ставках платы за древесину, отпускаемую на корню» //Собрание законодательства РФ, 06.10.97, N 40, ст. 4587.
5. **Лесной кодекс** Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ (ред. От 12.03.2014) //Собрание законодательства РФ, 11.12.2006, – №50.
6. **Постановление** Правительства РФ от 22.05.2007 №310 (ред. от 03.02.2014) «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности» //Собрание законодательства РФ 04.06.2007, – №23.
7. **Правила** обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте. Утверждены Постановлением Правительства РФ от 3 ноября 2011 г. № 916.
8. **Постановление** Правительства Российской Федерации от 21 мая 2007 г. №304 «О классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
9. **Правила** определения величины финансового обеспечения гражданской ответственности за вред, причиненный в результате аварии гидро-технического сооружения. Утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2001 г. № 876.
10. **Порядок** определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварии гидротехнического сооружения. Утвержден приказом МЧС РФ, МПР, Минтранса РФ и Госгорехнадзора РФ от 18.05.2002 г. № 243/15/270/

68/89. Зарегистрирован в Минюсте РФ 3 июня 2002 г. Регистрационный № 3493.

11. Лесной кодекс Российской Федерации от 29.01.1997 № 22-ФЗ (ред. от 24.07.2007) // Собрание законодательства РФ, 03.02.1997. – №5.

АНТИКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ

Усачёв И.Н., кандидат технич. наук (АО «НИИЭС»)

На побережье Баренцева моря в Арктике с 1968 г. работает пионерная в России приливная электростанция — Кислогубская ПЭС им. Л.Б. Бернштейна.

На ПЭС воздействуют особо суровые климатические условия приливного режима с океанической соленостью, лед, отрицательные температуры воздуха до -40 С.

Однако, наплавное железобетонное здание Кислогубской ПЭС после 50 лет эксплуатации при воздействии более 21000 циклов замораживания и оттаивания в зоне прилива не имеет никаких повреждений. Прочность бетона превышает проектную более чем в 1.7 раза. Проникновение воды через стенки толщиной всего 15 см отсутствует, что свидетельствует о сверхвысокой водонепроницаемости бетона.

Защита арматуры железобетона ПЭС от коррозии с помощью катодной системы обеспечила полную сохранность арматурных сеток конструкций с защитным слоем всего 2 см, в то время как естественная скорость коррозии незащищенного металла в районе ПЭС достигает 1 мм/год.

Защита водоводов ПЭС от обрастания обеспечена практически на 100% с помощью электролизной системы, отпугивающей обрастателей от оседания на поверхности водоводов, в то время как естественное обрастание в районе ПЭС достигает 230 кг/м².

Ключевые слова: Кислогубская ПЭС. Долговечный в Арктике бетон особо высокой морозостойкости. Катодная защита от электрохимической коррозии арматуры и оборудования. Электролизная защита от биологического обрастания турбинных водоводов.

The pilot in Russia tidal power plant – Kislogubskaya TPP, named after L.B. Bernshtein, has been operated at the coast of the Barents Sea in the Arctic Region since 1968.

The TPP is exposed to severe climatic conditions of the tidal sea with oceanic salinity, ice, negative air temperatures up to -40°C .

However, the floatable reinforced concrete powerhouse of the Kislogubskaya TPP has no damage after 50 years of operation, exposed to more than 2100 cycles of freezing and thawing in the tidal zone. The concrete strength exceeds the design one more than by 1.7 times. Water penetration through the walls of only 15 cm thick is absent that testifies about extra-high water tightness of concrete.

Protection of TPP concrete reinforcement against corrosion using cathode protection ensured complete protection of concrete fabrics with protective layer only 2 cm, while natural corrosion rate of unprotected metal in the region of the TPP reaches 1 mm/year.

Protection of TPP penstocks against biological growth is achieved practically 100% using electrolysis system deterring foulers from settling on the surface of the basins, while natural growth in the TPP region reaches 230 kg/m².

Keywords: Kislogubskaya TPP, concrete of extra-high frost resistance, durability and water tightness in the Arctic Region, cathode protection against electrochemical corrosion, reinforcements, electrolytic protection of turbine penstocks against biological growth.

Выбор бетона как основного конструкционного материала для здания Кислогубской ПЭС явился наиболее сложной задачей, так как существовало мнение о неизбежной коррозии (вплоть до разрушения) железобетона в условиях северных приливных морей. И это мнение было основано на примерах начала разрушения бетона в первый же зимний сезон на всех бетонных сооружениях, эксплуатируемых на Мурманском побережье России и Норвегии.

В связи с этим важнейший интерес для проектных научных и строительных организаций может представлять 50-летний (с 1963 г. — с начала строительства) опыт службы сооружений и железобетонных тонкостенных (15 – 20 см) конструкций здания Кислогубской приливной электростанции (ПЭС) в Арктике (рис. 1 на цветной вкладке).

На бетонные конструкции на арктическом побережье приливных морей оказывает деструктивное действие среда эксплуатации, в том числе увлажнение морской водой и высушивание, замораживание и оттаивание в водонасыщенном

состоянии, механическое воздействие ударов плавающих предметов, истирающее действие льда, навалы судов и др. Опыт диагностики состояния бетонных и железобетонных конструкций морских сооружений на Крайнем Севере показывает, что наибольшее повреждение бетона происходит вследствие его переменного замораживания и оттаивания. Коррозия стальной арматуры в бетоне в этих условиях лишь ускоряет разрушение. Долговечность морских сооружений на Севере должна обеспечиваться в первую очередь применением бетонов особо высокой морозостойкости, водонепроницаемости и прочности.

Кислогубская ПЭС сдана в эксплуатацию в 1968 г. ПЭС находится в Арктике на 70° северной широты. Район строительства ПЭС отличается особо суровыми климатическими условиями. Число циклов замораживания – оттаивания в районе ПЭС достигает 400 – 600 в год с отрицательными температурами до -40° С. При разработке бетона учитывалась тепловая инерция сооружения, уменьшающая морозное повреждение бетона до 30%. Содержание солей в морской воде — 34‰. Максимальный уровень воды в период прилива наблюдался на отметке 43,4 м, минимальный при отливе — на отметке 38,7 м (отметка условные). Днище станции находится на отметке 30,65 м (рис. 2 на цветной вкладке).

Для снижения морозного воздействия и связанных с ним внутренних напряжений на наружную поверхность стен нанесли теплоизоляционный слой из вспененной пластифицированной эпоксидной смолы толщиной 5 см и обклеили его стеклотканью. Без теплоизоляции был оставлен средний бычок со стороны бассейна, восточный бычок со стороны моря и подводная поверхность стенок в лестничной восточной шпации. Как показали последующие исследования, необходимости нанесения теплоизоляционного слоя на бетон в зоне прилива не было. К тому же в настоящее время в зоне прилива большая часть теплоизоляции повреждена из-за причаливания судов.

Бетон здания ПЭС

Бетон для железобетонных конструкций для строительства Кислогубской приливной электростанции разрабатывался под руководством д.т.н. Ф.М. Иванова и к.т.н. И.Н.

Усачева. Были заданы следующие проектные характеристики бетона: прочность при сжатии — 40 МПа, марка по морозостойкости — F1000. Бетон изготовили на сульфатостойком портландцементе Вольского цементного завода, щебне из гранитогнейсов и кварцевом песке с модулем крупности 2,3. Применяли пластифицирующую и воздухововлекающую добавки. Водоцементное отношение — 0,38. Подвижность бетонной смеси — 4 – 6 см осадки стандартного конуса. Содержание вовлечённого воздуха — 5 – 6% [1].

Прочность бетона в возрасте 90 суток достигала 45 МПа, через 2 года — 50 МПа, через 50 лет — выше 69 МПа, водопоглощение — 0,65 – 0,73%, марка по водонепроницаемости выше W12 [2] (табл. 1). Для удаления некоторого количества воды из наружного слоя уложенной бетонной смеси опалубку обшивали водопоглощающим картоном. Бетонную смесь уплотняли высокочастотными (12 тыс. колебаний в минуту) глубинными вибраторами. Воздействие циклов замораживания и оттаивания на бетон началось после 3 – 12 месяцев после изготовления бетона [3, 4].

Состояние бетона наплавного блока здания Кислогубской ПЭС

Последнее обследование бетона здания Кислогубской приливной электростанции было выполнено 10 – 12 сентября 2013 г. заведующим лабораторией коррозии бетона ОАО «НИИЖБ» им. А.А. Гвоздева, д.т.н. Н.К. Розенталем, начальником Кислогубской ПЭС А.В. Галашовым и представителем ОАО «НИИЭС», к.т.н. И.Н. Усачёвым. Предыдущее обследование выполнялось в сентябре 2006 г. [5].

Выполнен осмотр поверхностей стен и установлено, что они не имеют никаких повреждений и протечек. Осмотр конструкций показал, что после 50 лет эксплуатации в морской среде шелушение бетона на внешних поверхностях конструкций, как в зоне переменного горизонта, так и выше этой зоны, отсутствует. Внутри станции, в том числе в нижней зоне, где конструкции извне подвергаются 12 м-давлению морской воды, протечек через стенки нет. Пробы индикатором — раствором азотнокислого серебра, показали, что на внутренних поверхностях стен хлориды отсутствуют, что указывает на

отсутствие диффузии морских солей сквозь стенки сооружения. Полученные результаты указывают на особо высокую водонепроницаемость бетона.

Неразрушающими методами (метод определения прочности по упругому отскоку с применением прибора Шмидта и метод поверхностного прозвучивания — с применением ультразвукового прибора Шмидта УК 1401) определяли прочность бетона на внешних поверхностях в зоне прилива и выше, незащищенных теплоизоляцией. Измерения выполнялись по вертикальной линии от нижнего уровня воды в отлив до верхней отметки конструкции.

При измерении прочности бетона прибором Шмидта средняя прочность составила 52 МПа. Практика измерения прочности бетона в конструкциях с помощью прибора Шмидта показывает, что наличие на поверхности разрыхленного слоя, вследствие коррозии или морозной деструкции наружного слоя, дает пониженные значения. Показания прибора (упругий отскок) зависит от упругости (модуля упругости) наружного слоя. При измерении ультразвуковым прибором оцениваются более глубокие слои бетона (ультразвук проходит с большей скоростью по более плотному бетону). Во всех случаях прочность бетона превышает проектную прочность.

Результаты измерения прочности бетона на бычке со стороны моря (северная сторона) приведены в табл. 1. Измерения выполнялись на расстоянии 1 м от левого (восточного) ребра бычка через 0,5 м по высоте. Измерения начаты на высоте 0,5 м от отметки 40,5 м. Уровень воды в момент начала измерения — 39,58 м.

Средняя прочность бетона по данным ультразвуковых измерений превышает 69 МПа (предел тарировки прибора).

В целом можно сделать вывод, что прочность бетона в бычке со стороны моря превышает проектную прочность. Замерена прочность бетона в стенах толщиной 15 см внутри станции. Прочность бетона со стороны производственных помещений превышает проектную прочность. Измеренная в 2006 г. средняя скорость ультразвука в среднем бычке составила 5580 м/с, внутри станции — 5680 м/с, что превышало 69 МПа.

Таблица 1

Прочность бетона на бычке со стороны моря

№ точки	Отметка, м	Прочность, МПа по прибору Шмидга (средние значения из 5-ти замеров)	Скорость ультразвука, м/с (средние значения из 5-ти замеров)
1	41,00	50	5840
2	41,50	53	5890
3	42,00	48	5400
4	42,50	49	5570
5	43,00	54	5370
6	43,50	53	5420
7	44,00	55	5600
Средние значения		50	5540

Исследование состояние бетонного блока-противовеса для крана ПЭС (для сравнения с бетоном ПЭС)

Обследован бетонный блок противовеса для крана ПЭС. Бетон был изготовлен без добавок. Бетон рассечен большим количеством трещин шириной раскрытия 0,20 – 0,50 мм. Из части трещин наблюдается вынос извести (выщелачивание) в виде белых потёков. Потёки, возникшие вследствие воздействия дождей и талой воды, свидетельствуют о фильтрации воды с верхней грани блока через трещины с выносом на боковые грани. При простукивании слышен глухой звук (бухтение), свидетельствующее об отделении наружных слоёв бетона. Прочность бетонного блока (средняя) составила 35 МПа.

Состояние бетона в железобетонном опытном фрагменте конструкции здания ПЭС

После возведения станции на откосе плотины с западной стороны в зоне прилива была установлена опытная пространственная железобетонная конструкция. Испытания продолжались до 2007 г., когда при установке нового металлического энергоблока малой Мезенской ПЭС фрагмент был погружен полностью в море. Обследование 2007 г. показали, что бетон фрагмента после 39 лет испытаний не имел каких-либо повреждений. Шелушение бетона отсутствовало, сохранились следы деревянной опалубки. Прочность бетона была выше 69 МПа.

Состояние бетонных образцов на морском стенде в зоне прилива

Был произведен осмотр образцов на морском стенде в зоне прилива (у причала ПЭС) (рис. 3). Оценка состояния образцов выполнялась по шкале С.В. Шестопёрова [6] (табл. 2).



Рис. 3. Общий вид бетонной поверхности бычка здания ПЭС со стороны моря, в нижней части видны биообрастания баянусом

В случае, если противоположные грани образцов не были повреждены, выполнялось определение прочности бетона методом сквозного прозвучивания. Использовался ультразвуковой прибор БП-С. Определяли время прохождения ультразвука между неповреждёнными противоположными гранями, рассчитывали среднее время прохождения ультразвука, рассчитывали скорость ультразвука и давали оценку прочности бетона.

В период строительства ПЭС в 1963 – 1967 гг. были изготовлены контрольные образцы для длительных испытаний. При изготовлении бетона использовался сульфатостойкий портландцемент Вольского завода. Применялась пластифицирующая добавка ССБ в количестве 0,1% массы цемента и воздухововлекающая добавка СНВ в количестве 0,015 – 0,03%. Образцы сначала испытывались в бассейнах Мурманской испытательной станции ЦНИИС. Режим испытаний - обдув наружным холодным воздухом (при отрицательной температуре) с помощью вен-

Таблица 2

№ п.п.	Характеристика образца	Величина показателя
1	Характеристика образцов	Образцы 10×10×10 см из бетона для Кислогубской ПЭС с добавкой СДБ+СНВ. Проектная марка по морозостойкости F1000. Изготовлены в 1963 – 67 гг. (46 – 50 лет). Подверглись воздействию 20000 циклов замораживания и оттаивания на Мурманской испытательной станции ЦНИИС и на морском стенде в зоне прилива Кислогубской ПЭС
	Вид повреждения образцов	Округление рёбер
	Оценка состояния в баллах по шкале С.В. Шестопёрова	6 – 7
	Прочность бетона, МПа	Образцы уменьшились до размеров 7×7×7см, прочность сохранившейся части — 40,0 МПа
2	Характеристика образцов	Диаметр 15 см, высота 15 см. Шлакощелочной бетон изготовлен в 1974 г. (39 лет)
	Вид повреждения образцов	Шелушение растворной части на глубину до 5 мм
	Оценка состояния в баллах по шкале С.В. Шестопёрова	8
	Скорость ультразвука, м/с	4687
	Прочность бетона, МПа	Около 40
3	Образцы (бетон образцов включен в проекты Северной, Мезенской и Тугурской ПЭС)	10x10x10 см. Бетон с добавками микрокремнезема (МК) и ГКЖ-94. Поставлены на стенд в 1992 г. (31 год)
	Повреждение образцов	Отсутствует
	Оценка состояния в баллах по шкале С.В. Шестопёрова	10
	Скорость ультразвука, м/с	4902; 4902; 4854; 4854, среднее 4878
	Средняя прочность бетона, МПа	48

тилятора и оттаивание в морской воде. Затем образцы были перенесены на морской стенд ПЭС. По состоянию на сентябрь 1991 г. после 11000 циклов замораживания и оттаивания из 80 образцов 50 сохранились неповреждёнными, у 21 образца произошло округление рёбер, 9 образцов были утеряны при шторме. Прочность неповреждённых образцов в этот период составила 81 – 85 МПа. В процессе испытаний образцы периодически отбирали для определения прочности бетона. При обследовании в 2013 г. обнаружено 2 образца с округлением ребер.

Образцы, изготовленные с суперпластификатором, микрокремнезёмом и ГКЖ-94, практически не имеют повреждений. Состояние их оценивается высшими 10 баллами (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид образцов бетона с микрокремнезёмом после 43 лет испытаний (состояние — 10 баллов по 10-ти бальной шкале С.В. Шестоперова).

Микроскопические исследования образцов бетона ПЭС

Исследования показали наличие равномерно распределённых по бетону изолированных друг от друга сферических пор, образованных водородом, выделяющимся при введении в бетонную смесь добавки ГКЖ-94. Такие поры повышают морозостойкость бетона, поскольку при замораживании обеспечивают отток воды в заполненные воздухом объёмы. Обнаружены негидратированные клинкерные зёрна размерами 30 – 50 мкм. Негидратированные клинкерные зёрна обуславливают возможность самозалечивания микротрещин в бетоне вследствие гидратации в поздние сроки. Пористость бетона составляла 2,73%, средний размер пор — 40 – 60 мкм.

Термогравиметрическими исследованиями наличие в бетоне сульфата кальция и брусита $Mg(OH)_2$ не обнаружено. Это свидетельствует об отсутствии проникания в бетон сульфатов и магнезиальных солей из морской воды. Бетон обладает низкой диффузионной проницаемостью.

Образцы из бетона на портландцементных заводах Пикалёвский (C_3A 3 – 4%) и Пунана Кунда (C_3A 7 – 8%) при содержании щелочей в цементе 1 – 1,35%, поставленные на стенд в 1988 г. (25 лет), за время испытаний разрушились или потеряли до 50% массы. Бетон был изготовлен с добавками С-3 + СНВ, С-3 + КИ-1. Испытания показали, что указанные цементы не пригодны для бетонов особо высокой морозостойкости.

Коррозия бетона истиранием

Исследования стойкости бетона к истиранию льдом выполнялись в основном за рубежом. Установлено, что стойкость к истиранию возрастает с увеличением прочности бетона при сжатии. Лабораторные работы с применением установок, в которых трение создавали, используя вращающиеся блоки льда или во вращающемся барабане с кусками льда, позволили получить лишь сравнительные результаты. Наблюдалось обрастание льдом поверхности бетона. При этом в одних случаях более стойким был высокопрочный лёгкий бетон, в другом — тяжёлый бетон. Оценить стойкость бетона к истиранию льдом в натуральных условиях на основании лабораторных исследований не представилось возможным. Известны опытные работы, выполненные в Финляндии в ледовой обстановке Балтийского моря, когда бетонные блоки крепились на корпусе ледокола. В другом случае бетонные плиты крепили на стенке дока на острове Баффинова Земля в районе Гренландии. Однако результаты этих работ не известны.

Представляет интерес опыт эксплуатации американской железобетонной платформы для разведочного бурения. Платформа эксплуатировалась в море Бофорта (севернее Аляски) в течение 16 лет при тяжёлой ледовой обстановке. За это время платформа перемещалась один раз с изменением глубины моря. Соответственно изменялась зона истирания конструкций льдом. После эксплуатации глубина ис-

тирания бетона составила 8 мм. Платформа построена с применением высокопрочного бетона на лёгком заполнителе. Вид заполнителя не указан.

АО «НИИЭС» в течение 22 лет испытывал в губе Кислой бетонные плиты из бетона здания ПЭС, закреплённые в зоне переменного горизонта — зоне истирания льдом на ледовом стенде в бассейне ПЭС. Истирание бетона за этот период не отмечено.

Наблюдения за стенами водослива здания Кислогубской ПЭС в течение 45 лет не выявили повреждений бетона от трения льда (лед проходил через водослив при таянии в бассейне). Можно сделать вывод, что в условиях этой станции опасность истирания бетона льдом отсутствует. При строительстве в других районах воздействие льда может быть более интенсивным, но маловероятно, что оно будет опаснее, чем на американской платформе. Защита от истирания может быть обеспечена применением высокопрочного бетона прочностью до 80 МПа на тяжелом заполнителе (щебень из изверженных пород).

По зарубежным данным ледостойкий бетон должен иметь водоцементное отношение 0,30 – 0,35, прочность — не ниже 70 МПа, должен быть морозостойким; заполнитель должен быть не крупным и иметь хорошее сцепление с растворной частью бетона. Отдельные авторы указывают на положительные результаты при введении в бетон стальной фибры (при испытании на Кислогубской ПЭС образцы с фиброй разрушились вследствие недостаточной морозостойкости).

Защита арматуры железобетонных конструкций Кислогубской ПЭС от коррозии

Проблема защиты морских энергетических сооружений от электрохимической коррозии впервые была поставлена в 1960 г. в проекте и на Кислогубской ПЭС — первенце морской гидроэнергетики.

Защита арматуры бетона (и оборудования) ПЭС от электрохимической коррозии приобретает первостепенное значение, так как естественная коррозия металла в условиях ПЭС достигает 1 мм/год. При этом долговечность арматуры в тонкостенных железобетонных конструкциях при защитном слое всего 2 см могла бы ограничиться всего несколькими годами. Для

защиты Кислогубской ПЭС от коррозии был определен электрохимический способ, преимуществом которого является неограниченный срок службы. Катодная защита арматуры в железобетоне была осуществлена на Кислогубской ПЭС впервые в практике гидроэнергетического строительства с помощью сменяемых каждые 10 – 12 лет металлических жертвенных анодов из металлолома, устанавливаемых в шпациях конструкции и вне её. Для исключения возможности снижения адгезии арматуры с бетоном потенциал защиты был ограничен от $-0,85$ до $-1,0$ В по нейтральному хлорсеребряному электроду сравнения, а плотность поляризующего тока поддерживается равной $0,04$ А/м² [8] (рис. 5).

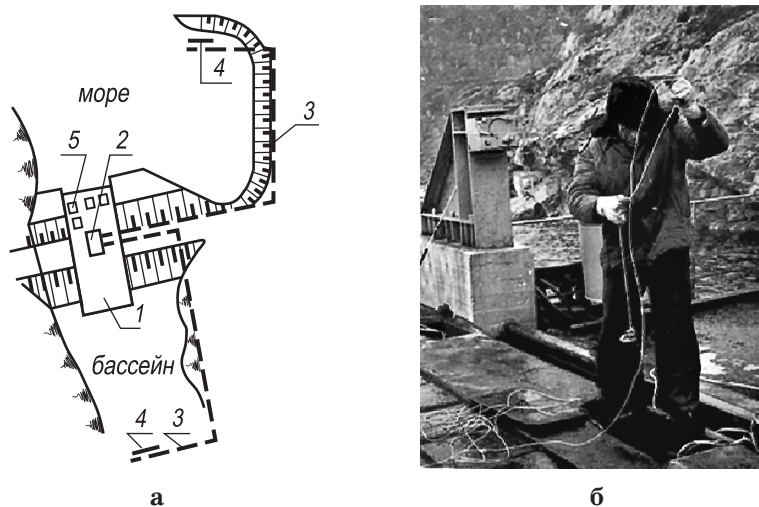


Рис. 5. а: 1 — здание ПЭС, 2 — катодная станция, 3 — кабель от катодной станции, 4 — анод, 5 — аноды защиты внутренней сетки арматуры; **б:** установка в шпацию здания ПЭС жертвенного анода (из металлолома) катодной защиты арматуры железобетонных конструкций

В течение 45 лет службы в море арматура в бетоне здания ПЭС полностью сохранена, каких-либо следов коррозии по данным исследований специалистов лаборатории коррозии бетонов ОАО «НИИЖБ» им. А.А Гвоздева не обнаружено. Система исключительно дешевая, т.к. для поддержания её службы используется бросовый металлолом.

Защита бетона Кислогубской ПЭС от биологического обрастания приобретает большое значение, так как биомасса обрастания в створах проектируемых ПЭС достигает 235 кг/м^2 , что приводит к зарастанию агрегатных водоводов и снижению выработки электроэнергии. Так, ПЭС Ранс во Франции ежегодно останавливают для очистки, с каждого из 24 агрегатов более 10 т обрастателей. Необрастающие покрытия в условиях Кислогубской ПЭС смогли обеспечить защиту конструкций ПЭС всего в течение 2 – 3 лет, после чего были разработаны специальные составы бетонов с биоцидными добавками, получившие название «необрастающих». По сравнению с лучшими традиционными составами необрастающих красок эти составы необрастающих бетонов не обрастают более 12 лет.

Однако, учитывая ограниченный срок действия необрастающих красок, была предложена система, обеспечивающая неограниченный срок защиты от обрастания поверхностей железобетонных водоводов и оборудования в них. Эта система состоит из получения из морской воды активного хлора и доставки его к поверхностям водовода для отпугивания личинок обрастателей. Система была реализована на Кислогубской ПЭС в установке, состоящей из насоса и электролизера с трубопроводами для забора морской воды и подачи реагентов хлора в водовод. Надежно защищая ПЭС от обрастания, практически на 100%, на весь срок эксплуатации, электролизная установка экономична, так как сырьем для неё является морская вода (рис. 6).

На Кислогубской ПЭС при входном диаметре водовода 7 м., при общей защищаемой от обрастания площади бетона конструкции и металла гидроагрегата в 2100 м^2 , концентрация выпускаемого в водовод токсина ($140 - 160 \text{ г/м}^3$) определена с таким расчетом, чтобы на выходе из водовода она падала до величины ниже ПДК и не оказывала вредного влияния на окружающую ПЭС внешнюю среду [9].

Выводы

1. Наплавное железобетонное здание Кислогубской ПЭС после 45 лет эксплуатации на арктическом побережье при испытании воздействия более 21000 циклов замораживания и оттаивания в зоне прилива не имеет никаких повреждений.

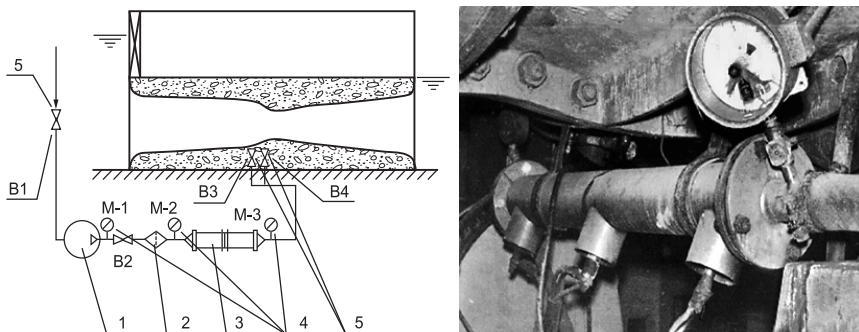


Рис. 6. Электролизер для защиты турбинного водовода Кислогубской ПЭС от биологического обрастания в морской воде (обрастание без защиты достигало биомассы 235кг/м^2):
 1 — насос; 2 — фильтр; 3 — электролизер;
 4 — манометр; 5 — вентиль (B-1 ... B-4)

Признаки коррозии стальной арматуры в виде образования трещин в двухсантиметровом защитном слое и потёков ржавчины — отсутствуют. Прочность бетона превышает проектную более чем в 1,7 раза. Проникновение воды через стенки толщиной 15 – 20 см при напоре морской воды до 12 м отсутствует. Проникания солей хлоридов из морской воды через стенки станции не обнаружено, что свидетельствует о сверхвысокой водонепроницаемости, низкой капиллярной и низкой диффузионной проницаемости бетона.

2. Контрольные образцы-кубики из бетона, применявшегося при строительстве станции, за 50 лет испытаний (с 1963г.) в морских бассейнах и на морских стендах ПЭС приобрели округление ребер, однако, прочность бетона в оставшейся части образцов не ниже проектной 40 МПа. Такое различие в состоянии бетона в образцах и в конструкциях ПЭС свидетельствует о том, что на долговечность конструкций большое влияние оказывает тепловая инерция сооружения и условия работы бетона в более массивных конструкциях, а испытание бетона в образцах на морском стенде в зоне прилива является более жёстким.

3. Образцы из бетона с добавкой микрокремнезёма и газообразующей добавкой ГКЖ-94 после 43 лет испытаний на

морском стенде в зоне прилива и воздействия не менее 16000 циклов замораживания и оттаивания не имеют повреждений, и состояние их по шкале С.В. Шестоперова оценивается высшими 10 баллами.

4. Хорошие результаты показывают образцы из полимербетона и бетона на шлакощелочном вяжущем. После 26 и 39 лет испытаний соответственно поверхность их подверглась неглубокому шелушению, другие повреждения отсутствуют. Прочность по данным испытаний сохранилась проектная — 40 МПа.

5. Защита арматуры железобетона ПЭС от коррозии с помощью катодной системы защиты с применением сменяемых жертвенных анодов из металлолома обеспечила полную защиту арматурных сеток железобетонных стенок с защитным слоем всего 2 см в течение всего 46-летнего срока службы ПЭС в океанической среде, где естественная скорость коррозии достигает 1 мм/год.

6. Защита бетонных водоводов ПЭС от биологического обрастания (достигает 235 кг/м² биомассы) была обеспечена практически на 100% в течение всего 35-летнего срока эксплуатации с помощью электролизера, вырабатывающего из морской воды токсины, отпугивающие личинки обрастателей от оседания на бетонные поверхности водоводов.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бетонная смесь** особо высокой прочности, водонепроницаемости и морозостойкости). Авторы: Ф.М. Иванов, И.Н. Усачев и др. А.С. СССР № 986892, БИ№31, 1983.
2. **Иванов Ф.М., Усачев И.Н.** Морозостойкий бетон для морских сооружений //Бетон и железобетон. – №3, 1983.
3. **Усачев И.Н.** Производство бетонных работ при строительстве тонкостенного наплавного блока Кислогубской ПЭС //Энергетическое строительство. – №4, 1967.
4. **Иванов Ф.М., Бернштейн Л.Б., Усачев И.Н.** Инструкция по изготовлению гидротехнических конструкций из бетона марки Мpsl000, ВР-1-75 ГлавНИИпроект Минэнерго СССР. – М., 1975.
5. **Усачев И.Н., Розенталь Н.К.** Строительные материалы для морских энергетических сооружений Крайнего Севера // Гидротехническое строительство. – №7, 2009.

6. **Шестоперов С.В.** Долговечность бетона транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1966.
7. **Обобщение** исследований эпоксидных композиций для защиты и омоноличивания бетона Кислогубской ПЭС. – М.: Гидропроект им. С.Я. Жука, 1971.
8. **Усачев И.Н., Стругова Ю.Н.** Защита от коррозии морских железобетонных водоводов большого диаметра //Информационный сборник. – Вып. 9, 1990.
9. **Передовой** производственный и научно-технический опыт в мелиорации и водном хозяйстве, рекомендуемый для внедрения. – М.: ЦБНТИ Минводхоз СССР, 1990.
9. **Усачев. И.Н. Якубенко. А.Р., Рубин. О.А.** Борьба с обрастанием на электростанциях //Гидротехническое строительство. – №7, 2002.
10. **Усачев. И.Н.** Значение Кислогубской ПЭС для российской гидроэнергетики (к 45-летию приливной электростанции) //Гидротехника. – №2, 2014.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Иващенко И.Н., Иващенко К.И.</i> «Стоимость жизни» и безопасность плотин	3
<i>Комельков Л.В.</i> Пространственно-временной характер волновой нагрузки и динамическая реакция волнозащитного бетонного покрытия	30
<i>Комельков Л.В.</i> Опыт оценки реакции гидротехнического сооружения на сейсмическое воздействие	33
<i>Затворницкая Т.А., Кузнецов С.Ю., Хрипакова Ю.В.</i> Современный опыт реконструкции и ремонта зон переменного уровня воды ГЭС на примере Саратовской ГЭС	52
<i>Николаев В.Б., Горбов В.А., Белов А.А.; Климов Е.А., Лисичкин С.Е.</i> Экспериментальные исследования железобетонных конструкций АЭС с модифицированными петлевыми стыками на крупномасштабных железобетонных моделях балочного типа	66
<i>Воронков П.Т.</i> Об оценке вреда лесам от аварий гидротехнических сооружений	81
<i>Усачев И.Н.</i> Антикоррозионная защита гидротехнических сооружений на Арктическом шельфе	96



Рис. 1. Распорные балки Саратовской ГЭС: вторая слева отремонтирована; третья слева — не отремонтирована

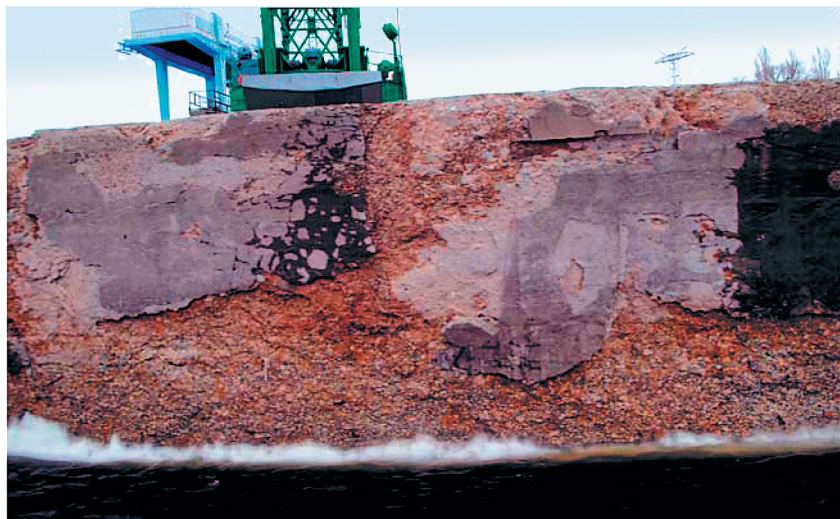


Рис. 3. Разрушение конструкции в зоне переменного уровня воды



Рис. 7. Пост контроля укладываемой смеси

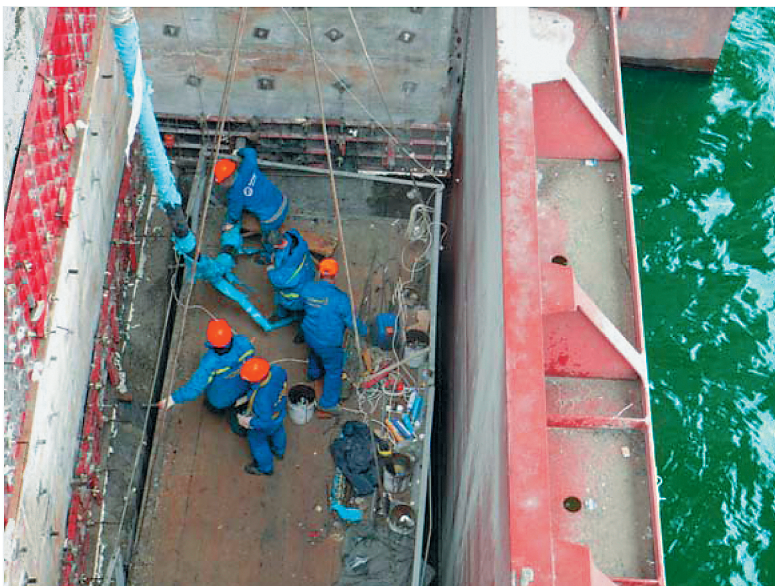


Рис. 8. Технология укладки бетона



Рис. 12. Распорная балка ГА №16, вторая секция.
Высота — 4,9 м, глубина — 0,3 – 0,4 м, длина — 12 м



Рис. 13. Замер подвижности бетонной смеси на месте укладки

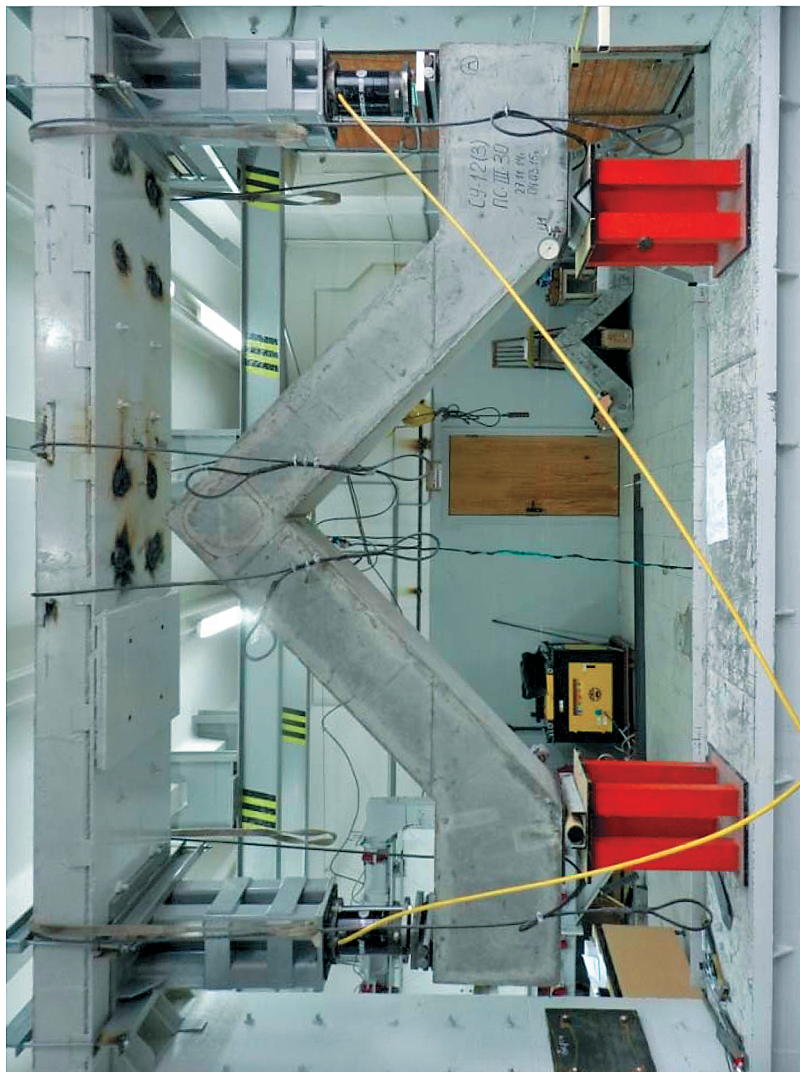


Рис. 1. Железобетонная модель углового типа СУ-1.2 (3) в испытательном стенде

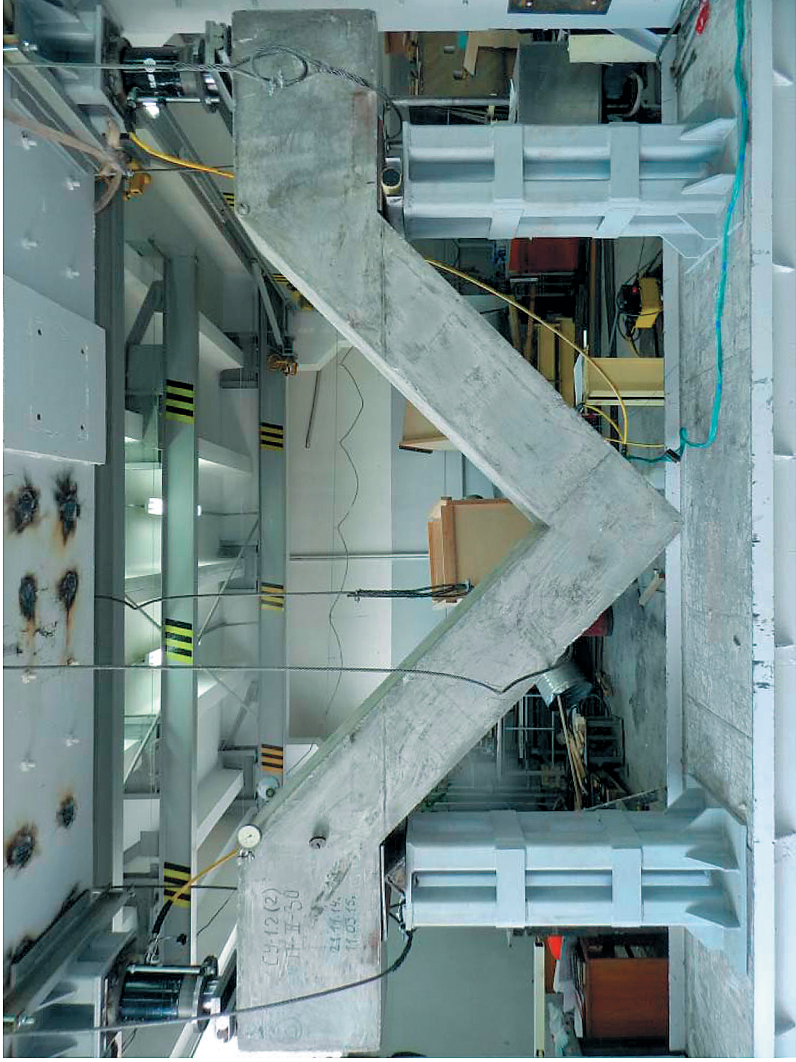


Рис. 2. Железобетонная модель углового типа СУ-1.2 (2) в испытательном стенде

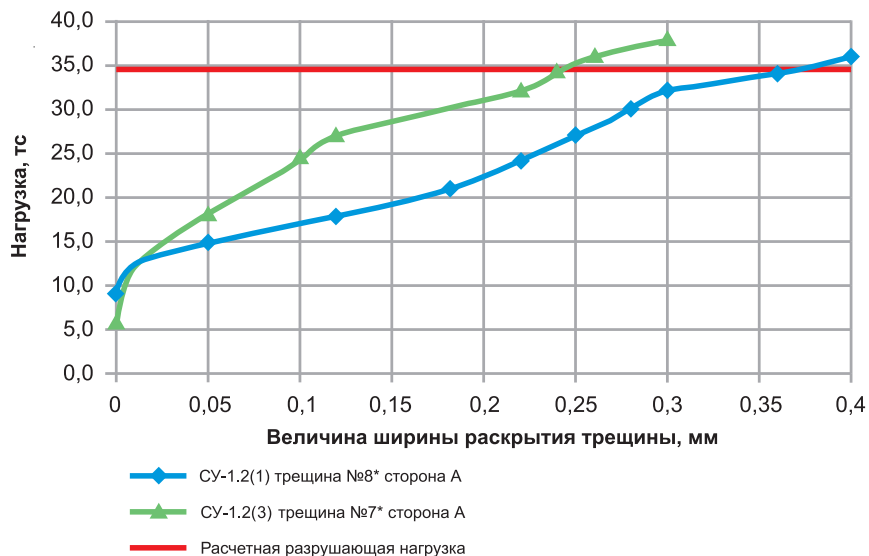


Рис. 3. График величины раскрытия наиболее интенсивно развивающейся трещины №8* (сторона А) модели СУ-1.2 (1) и трещины №7* (сторона А) модели СУ-1.2 (3)

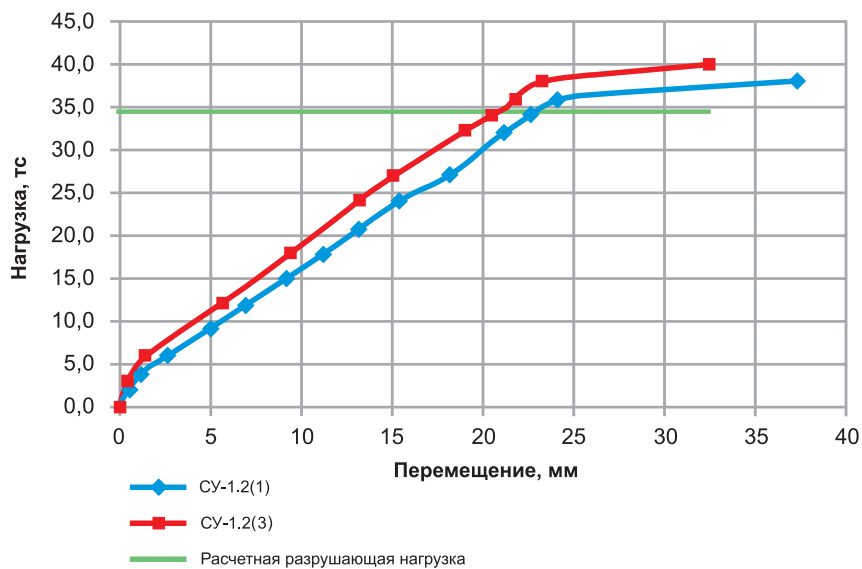


Рис. 4. График величины перемещения наклонных элементов модели при нагружении СУ-1.2 (1), СУ-1.2 (3)

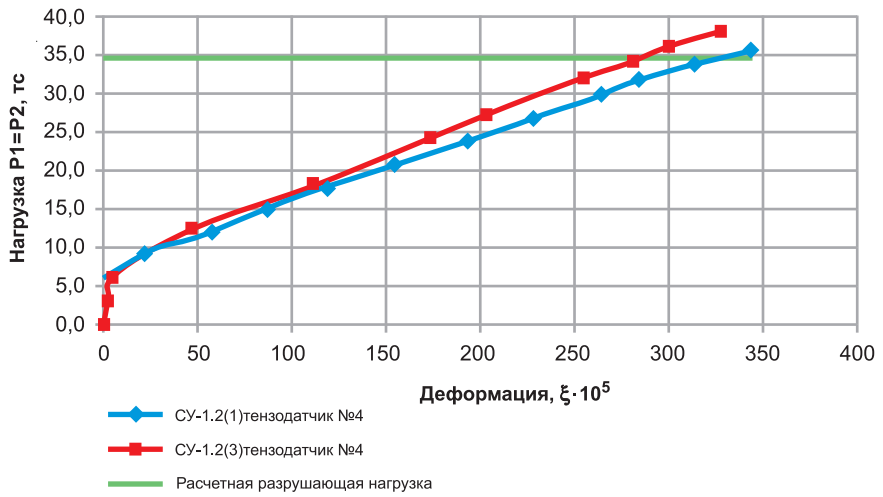


Рис. 5. График зависимости величины относительных линейных деформаций в арматуре петлевого стыка от нагрузки



Рис. 7. Железобетонная модель БМ-1 в стенде для испытания на температурное воздействие



Рис. 1. Сооружение наплавного железобетонного тонкостенного (15 – 20 см) блока здания ПЭС из высокопрочного необрастающего бетона особовысокой морозостойкости



Рис. 2. Наплавное здание Кислогубской приливной электростанции в губе Кислой Баренцева моря (зима 2013 — 14гг.)