



ИГЭС

Институт
гидротехнического
и энергетического
строительства

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Сборник тезисов докладов
VI Всероссийского научно-практического семинара

(г. Москва, 24 мая 2023 г.)

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

ISBN 978-5-7264-3253-3

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2023

УДК 62+378

ББК 38

С56

- С56 **Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства** [Электронный ресурс] : сборник тезисов докладов VI Всероссийского научно-практического семинара (г. Москва, 24 мая 2023 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт гидротехнического и энергетического строительства. — Электрон. дан. и прогр. (3,5 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. – URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> — Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-7264-3253-3

В сборнике содержатся тезисы докладов участников VI Всероссийского научно-практического семинара, посвященного 120-летию со дня рождения Андрея Васильевича Михайлова, который проходил в НИУ МГСУ 24 мая 2023 г.

Для научных работников данной отрасли, аспирантов, магистрантов и обучающихся строительных вузов.

Научное электронное издание

*Тезисы докладов публикуются в авторской редакции.
Авторы опубликованных тезисов докладов несут ответственность
за достоверность приведенных в них сведений.*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2023

Ответственная за выпуск *Т.В. Зоммер*

Макет подготовлен оргкомитетом конференции.

Институт гидротехнического и энергетического строительства
(ИГЭС НИУ МГСУ).

Тел. +7 (499) 183 43 83

E-mail: gs@mgsu.ru

Сайт www.mgsu.ru

<http://iges.mgsu.ru/universityabout/Struktura/Instituti/IGES/>

Для создания электронного издания использовано:

Microsoft Word 2013, ПО Adobe Acrobat

Подписано к использованию 20.06.2023. Объем данных 3,5 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет».

129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел: + 7 (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.

E-mail: rio@mgsu.ru, ric@mgsu.ru

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ I. ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

<i>Козлов Д.В.</i> Вступительное слово о VI Всероссийском научно-практического семинаре, посвященном 120-летию со дня рождения Андрея Васильевича Михайлова	10
<i>Лушников О.Г.</i> Развитие гидроэнергетики. Мировой и российский опыт. О проблемах строительства и финансирования ГЭС и ГАЭС и путях их решений	12
<i>Анискин Н.А., Ступищев А.В.</i> Изменение параметров фильтрационного потока грунтовой плотины при сработке водохранилища	14
<i>Марков А.О., Галимов И.М., Омельчук Д.Д.</i> Проблемы цифровизации процессов проектирования и управления жизненным циклом объектов инфраструктуры водного транспорта	16
<i>Алсадек Елиас Садек, Гурьев А.П., Ханов Н.В., Козлов Д.В.</i> Предложения по исправлению недостатков конструкции водобойного колодца гидроузла Тишрин в Сирийской Арабской республике	18
<i>Еремеев А.В., Гурьев А.П., Ханов Н.В.</i> Анализ состояния геомата, заполненного щебнем с битум-полимерным вяжущим, спустя несколько лет после изготовления	20
<i>Колосов М.А., Чинаков П.П.</i> О прорыве грунтовой плотины Белопорожского гидроузла	22
<i>Колосов М.А., Моргунов К.П., Чинаков П.П.</i> Обрушение откосов водохранилищ в результате подтопления сухих берегов	24
<i>Моргунов К.П., Колосов М.А., Козлов Д.В.</i> Городецкий гидроузел – проблема глубин на нижнем пороге шлюзов	26
<i>Рубин О.Д., Беллендир Е.Н., Юрьев С.В., Баклыков И.В., Лисичкин С.Е.</i> Расчетные исследования напряженно-деформированного состояния сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС	29
<i>Рубин О.Д., Антонов А.С., Бритвин С.О., Юрченко А.Н.</i> Результаты инструментального обследования проточного тракта гидроагрегата средненапорной деривационной ГЭС	31
<i>Рубин О.Д., Лисичкин С.Е., Котицына С.С.</i> Расчетные исследования напряженного состояния водоприемника ГАЭС	33
<i>Бирюкбаев Э.К., Макаров К.Н., Юрченко Е.Е.</i> Волновое давление на боковую поверхность свай в сквозных волногасящих стенах в зависимости от сквозности	35
<i>Вялый Е.А.</i> Физическое моделирование островных сооружений	37
<i>Макаров К.Н.</i> Распространение волн и деформации дна в прибрежной зоне моря в рамках нелинейно-дисперсионной теории мелкой воды	39
<i>Шуныко Н.В., Зув Н.Д., Шуныко А.А.</i> Физическое моделирование волнового воздействия на сооружения объекта «строительство пешеходной набережной вдоль улицы Морская в г. Саки (Республика Крым)»	41
<i>Ляпичев Ю.П.</i> Достоверность и применимость численных расчетов грунтовых плотин	44
<i>Платонов С.А., Козлов Д.В.</i> Методы моделирования литодинамических процессов, учитывающие взаимодействие наносов с гидротехническими сооружениями	46
<i>Галимов И.М., Сергеев С.А.</i> Ключевые аспекты научно-технического сопровождения проектирования воднотранспортных гидротехнических сооружений	48
<i>Галимов Илья Мидхатович, Черешнев В.П., Филиппов В.В., Марков А.О.</i>	51

Современные методы обследования причальных сооружений (на примере объектов Балаклавской бухты)	
<i>Филиппов В.В., Левачев С.Н., Галимов И.М.</i> Использование композитных материалов в конструкциях набережных с грунтовым анкером парусного типа	53
<i>Гусаров Р.Н., Кантаржи И.Г.</i> Экспериментальные и аналитические исследования волн цунами, вызванных землетрясениями и оползнями	55
<i>Долгушев Т.В., Кантаржи И.Г.</i> Изменение волновой нагрузки на вертикальную стенку при климатическом повышении уровня моря	57
<i>Куприн А.В., Кантаржи И.Г.</i> Мониторинг динамики берега у портов с помощью космических снимков	59
<i>Афонюшкин М.С., Кантаржи И.Г.</i> Математические модели взаимодействия льда с волнами и сооружениями	61
<i>Руденко О.Е., Кантаржи И.Г.</i> Коэффициент отражения волн от портовых гидротехнических сооружений	63
<i>Аргал Э.С.</i> Борьба с фильтрацией в основании западной дамбы хвостохранилища Удоканского ГМК	65
<i>Тарек С.С., Толстиков В.В.</i> Оценка несущей способности плотины из особо тощего укатанного бетона (CSG) при изменении заложения граней плотины	67
<i>Юссеф Я., Толстиков В.В.</i> Применение статистических методов для оценки влияния качества цементации межстолбчатого шва на НДС и устойчивость плотины Бурейской ГЭС	69
<i>Давлатшоев С.К.</i> Метод определения коэффициента фильтрации по изменению теплового состояния основания плотины	71
<i>Давлатшоев С.К.</i> Влияние гидростатического давления на изменение степени минерализации подземных вод	73
<i>Михайлов М.Е., Крюков И.А.</i> Опыт применения гидроструктурной смолы на акрилатной основе в противофильтрационных устройствах	75
<i>Саинов М.П., Зузов А.А.</i> Временная плотина Фёдоровского гидроузла	77
<i>Бестужева А.С.</i> Вычислительная программа «откос_22» для расчета устойчивости откосов и склонов при сейсмических воздействиях	79
<i>Абдулоев А.Б., Бестужева А.С.</i> Влияние анизотропных свойств гравийно-галечникового грунта на устойчивость откосов при сейсмических нагрузках	81
<i>Бестужева А.С., Рыбаков В.В.</i> Проектирование намывной дамбы наливного хвостохранилища из материала складирования	83
<i>Гоциридзе Г.П., Бестужева А.С.</i> Гидродинамическое давление воды при землетрясениях на напорные грани грунтовых плотин	85
<i>Тарасов А.А.</i> Методики расчета диафрагмы в каменных плотинах	87
<i>Складнев М.К., Орехов Г.В.</i> Эффекты контрвихревых течений и их использование для сброса холостых расходов гидроузлов	88
<i>Чан Мань Кыонг, Орехов Г.В.</i> Особенности работы трубчатых водосбросов грунтовых однородных плотин малых напоров	90
<i>Виноградов Р.А., Андреев О.М., Морозова О.А.</i> Учет изменений ледово-гидрологических условий при гидротехническом строительстве из-за активизации хозяйственной деятельности (на примере Обской губы)	92
<i>Александров А.В.</i> Повышение уровня безопасности бетонных сооружений на мягких грунтах за счет изменения свойств основания	94
<i>Доронин Ф.Л.</i> Проведение натурных исследований бетонной плотины от слабых динамических воздействий	96
<i>Пиляев С.И.</i> Воздействие морских волн на нефтяные платформы маятникового типа	98
<i>Антонов А.С., Юрченко А.Н.</i> Оценка техногенных динамических воздействий от оборудования при реконструкции гидротехнических сооружений	100

<i>Анахаев К.Н., Анахаева Х.К.</i> Моделирование высачивания фильтрационного потока через наклонный грунтовый склон	102
<i>Анахаев К.К.</i> Расчет объемов завальных плотин различного очертания	104
<i>Ерхов А.А.</i> Инженерная гидравлика в проектах приливных электростанций плотинного типа	106
<i>Анишаков А.С.</i> Композитное моделирование волновых условий вблизи подходного канала	108
<i>Захарян Р.А., Седракян А.М., Маргарян В.Г.</i> К вопросу повышения эффективности систем бурения скважин на основе электронно-механических вакуумных приборов	110
<i>Буренкова В.В., Буренков П.М.</i> Оценка фильтрационной прочности глинистых грунтов основания и тела плотины	112
<i>Зоммер В.Л., Зоммер Т.В., Симонян В.В., Чернышев С.Н.</i> Опасные процессы, связанные с фильтрацией в скальных основаниях гидроузлов и водохранилищах	114
<i>Бестужева А.С., Батманов Я.А., Дьячков Д.Г., Старков А.Е.</i> Изучение фильтрационных свойств камнебетона	117

Секция II. ГИДРАВЛИКА, ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Гурьев А.П., Ханов Н.В., А.Д., Козлов Д.В.</i> Теоретическое обоснование работы вакуумного шахтного гасителя энергии потока воды	120
<i>Беликов В.В., Колесников Ю.М.</i> Комплексные исследования пропускной способности водосбросной плотины Рублевского гидроузла	122
<i>Глотко А.В., Беликов В.В., Борисова Н.М., Крыленко И.Н., Головлев П.П.</i> Численное моделирование деформаций в зоне ППМГ через Хаптагайскую протоку с учетом ледовых явлений	124
<i>Васильева Е.С., Беликов В.В.</i> Численное моделирование каскадной гидродинамической аварии на Верхнеуральской и Магнитогорской плотинах	126
<i>Слейман А., Козлов Д.В.</i> Верификация модели MIKE 11-NAM с использованием методов ANN, FIS и ARIMA для моделирования стока в малоизученном речном бассейне	128
<i>Гармакова М.Е.</i> Численные исследования обтекания цилиндра турбулентным потоком жидкости в ПК ANSYS FLUENT	130
<i>Черных О.Н., Суэтина Т.А., Бурлаченко А.В.</i> История создания, экспериментальные исследования и состояние малопролётного водосброса в Подмоскowie	132
<i>Беднарук С.Е., Мاستрюкова А.В., Чуканов В.В., Чернобровкин Н.Н.</i> Основные положения алгоритма расчета движения воды по развитой системе пойменных водоемов и водотоков волго-ахтубинской поймы	134
<i>Жуков И.А., Айбулатов Д.Н.</i> Использование логгеров в инженерной гидрологии на примере исследования малых рек бассейна Волги	136
<i>Дебольская Е.И., Грицук И.И., Дошина М.Е.</i> Оценка термоэрозионного размыва речных берегов на основе лабораторного и численного моделирования	138
<i>Февралев А.В.</i> Использование фрактальности для определения длины рек	140
<i>Остякова А.В.</i> Моделирование механизма обрушения грунтовых склонов в криолитозоне при образовании таликов	142
<i>Бондаренко В.Л., Волосухин В.А., Продоус О.А., Сергеев Б.И.</i> О гибких водоводах в горных и предгорных условиях Северного Кавказа	144
<i>Мусаев В.К.</i> Математическое моделирование взрывных и сейсмических воздействий на подземное сооружение	146

<i>Мусаев В.К.</i> Моделирование вертикального сосредоточенного волнового воздействия (дельта функция) на полуплоскость в виде двухслойного основания	148
<i>Мусаев В.К.</i> Компьютерное моделирование плоской продольной волны (дельта функция) на полуплоскость в виде двухслойного основания	150
<i>Масликова О.Я., Грицук И.И., Ионов Д.Н.</i> Изменение русла реки при меандрировании в случае изменения уклона земной коры вследствие катастрофических явлений типа землетрясений	152
<i>Волосухин В.А., Моргунов В.Н., Васильев Д.А.</i> Продление жизненного цикла металлического джукера на Право-Егорлыкской оросительно-обводнительной системе	154
<i>Волосухин В.А., Мельников В.В.</i> Международный транспортный коридор «Север-Юг»: от идеи к итогам реализации (2000-2023)	156
<i>Муалла Манхаль, Раткович Л.Д.</i> Оценка водообеспеченности в речном бассейне на основе обобщенных критериев покрытия водопотребления	158
<i>Хадж Кхамис Рафа, Козлов Д.В.</i> Статистический анализ и прогнозирование климатических характеристик на равнине Аккар в Сирийской Арабской республике	160
<i>Исмайылова И.Г., Раткович Л.Д.</i> Формирование временных рядов гидрометеорологической информации для оценки изменчивости элементов водного баланса	162
<i>Цхай А.А.</i> Прогнозирование качества вод в проектируемом водохранилище: как повысить эффективность взаимодействия проектировщиков и экспертов	164
<i>Агафонова С.А., Банщикова Л.С., Устинов Н.Б., Казанцев В.С.</i> Условия образования пропарин в Гиллюйском заливе Зейского водохранилища	166
<i>Баев О.А.</i> Исследования в области создания противofильтрационных покрытий на оросительных каналах	168
<i>Перевозников Б.Ф., Дегтярев С.Д., Пальмов В.Г.</i> Применение теории бокового водослива для проектирования водоотвода с проезжей части автомобильных дорог и мостов	170
<i>Мохамед Мостафа Еззелдин Абделрахим, Синиченко Е.К.</i> Гидрологическое обоснование повышения эффективности и контроля водопользования района Вади-Ватир	172
<i>Алали Х., Перминов А.В.</i> Использование современных ГИС-технологий при анализе гидрологических данных для реки Ал-Кабир Ал-Шамали в Сирии	174
<i>Кобозев Д.Д., Снежко В.Л.</i> Учет гидравлических потерь при определении пропускной способности инжекционных регуляторов расхода	176
<i>Шерстнев Д.Ю., Брянская Ю.В.</i> Исследование влияния гидродинамических сил на неравномерно заглубленный трубопровод в проницаемом дне	178
<i>Брянская Ю.В., Волнушкина К.А.</i> Гидравлическое сопротивление трубопроводов, восстановленных с помощью полимерных рукавов	180
<i>Игнатенко Е.В., Брянская Ю.В.</i> Анализ параметров логарифмического профиля скорости в зависимости от положения створа измерений для гладких и шероховатых каналов	182
<i>Ходзинская А.Г., Кузичкина Д.А., Полторак А.Г.</i> Потери воды на испарение из оросительных каналов и поливных борозд и способы их уменьшения	184
<i>Абдуламир Л.С., Зуйков А.Л., Джумагулова Н.Т.</i> Сравнение методов расчета гидравлических характеристик потока в безнапорных трубопроводах	186
<i>Волгина Л.В., Волгин Г.В., Айтян С.А.</i> Совершенствование метода расчета заиления в городской коллекторной системе	187
<i>Романова А.А., Волгина Л.В.</i> Учет уклона дна быстротока при построении свободной поверхности	189

<i>Фан Хань Хань, Маркова И.М.</i> Исследование наводнения в нижнем течении реки Сай Гон – Донг Най	191
<i>Маркова И.М., Лю Пен.</i> Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений в КНР	193
<i>Маркова И.М., Чжан Синжунь.</i> Основные проблемы и меры по поддержанию безопасности водохранилищ и плотин	194
<i>Комаров А.А.</i> Особенности диффузионных процессов при аварийных утечках бытового газа в жилых помещениях	195
<i>Зоммер Т.В., Симонян В.В.</i> Возможность использования техногенных подземных, сточных и снеговых вод в инновационной угольно-водугольной технологии	197
<i>Королева Е.А., Зоммер Т.В.</i> Реабилитация водных рекреационных объектов Москвы и Подмосковья	199
<i>Беляков А.А.</i> Дефицит техногенных воздействий на воды и земли как причина вредных экологических процессов	201

Секция 1.

**ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ И
ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
СТРОИТЕЛЬСТВО**

МИХАЙЛОВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ: ГИДРОТЕХНИК, УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ И ГРАЖДАНИН

Козлов Д.В.,

д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Представлена биография известного гидротехника, ученого, педагога и гражданина Михайлова Андрея Васильевича, 120-летию со дня рождения которого посвящен VI Всероссийский научно-практический семинар «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства», организованный кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства Института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ.*

Ключевые слова: *гидротехника, научно-практический семинар, Михайлов Андрей Васильевич, НИУ МГСУ, Институт гидротехнического и энергетического строительства, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства.*

Работа VI Всероссийского научно-практического семинара «Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства», состоявшегося 24 мая 2023 года в НИУ МГСУ, была посвящена 120-летию со дня рождения Андрея Васильевича Михайлова.

Михайлов Андрей Васильевич (1904 – 1996) - профессор, доктор технических наук, ученый, известный гидростроитель, Герой Социалистического труда (1961 г.), кавалер двух Орденов Ленина (1952, 1961 гг.), лауреат Государственной премии СССР (1950 г.), Заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Родился 31.01.1904 г. в Санкт-Петербурге (Российская империя) в дворянской семье, отец работал инспектором судоходства.

В 1921 г. Андрей Михайлов поступил на инженерно-строительный факультет Петроградского политехнического института (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого), который успешно окончил в 1926 г. По распределению был направлен на строительство гидротехнических ирригационных сооружений в долине реки Зеравшан (Узбекистан), где участвовал в изысканиях и проектировании сооружений, а затем работал в Управлении водных путей и Камско-Печорском проектно-изыскательском управлении в Ленинграде.

В период с 1932 по 1935 гг. А.В. Михайлов по совместительству работал ассистентом на кафедре плотин и водных путей гидротехнического факультета Ленинградского политехнического института имени М.И. Калинина; участвовал в проектировании и строительстве Иваньковского и Куйбышевского гидроузлов.

В годы Великой Отечественной войны участвовал в сооружении Широковской ГЭС на Урале и в восстановлении Беломорско-Балтийского канала. В послевоенные годы занимался проектированием Цимлянского гидроузла и канала Волга — Дон (занимал должности главного инженера проекта, заместителя главного инженера дирекции строительства ВДСК). Работа А.В. Михайлова была отмечена в 1950 году Сталинской премией II степени за выдающиеся изобретения и коренные усовершенствования методов производственной работы. В дальнейшем производственная деятельность Андрея

Васильевича была связана со строительством Сталинградской (ныне – Волжской) ГЭС, на которой он работал заместителем начальника и начальником отдела, главным инженером проекта. При проектировании Сталинградской ГЭС он широко использовал опыт проектирования и строительства Куйбышевской ГЭС, так как многие элементы сооружений и оборудования обеих станций идентичны или конструктивно близки. Внёс много усовершенствований в конструкции гидротехнических и судоходных сооружений.

Сталинградская ГЭС стала настоящим экспериментальным полигоном для инженерной мысли и школой гидростроителей. По инициативе А.В. Михайлова впервые на Волжском каскаде была принята однобережная компоновка гидроузла. Здание ГЭС, водосливная плотина, судоходные сооружения строились за одной общей левобережной перемычкой. Водосливы плотины, вместо обычных массивных, выполнены пустотелыми из сборно-монолитного железобетона. На судоходных шлюзах после тщательных исследований на моделях была принята усовершенствованная система конструкции предварительно напряжённых днищ. Широко применялся сборный железобетон при сооружении перекрытий водосбросов, спиральных камер, водоводов и других гидротехнических конструкций.

В 1958 году А.В. Михайлов защитил докторскую диссертацию.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 9 сентября 1961 года за выдающиеся успехи, достигнутые в сооружении Сталинградской гидроэлектростанции, большой вклад, внесённый в разработку и внедрение новых технических решений и прогрессивных методов труда в строительство гидросооружений, линий передачи и монтаж оборудования, Михайлову Андрею Васильевичу было присвоено звание Героя Социалистического Труда с вручением ордена Ленина и золотой медали «Серп и Молот».

С 1962 года А.В. Михайлов работал заместителем главного инженера и начальником отдела волнозащитных сооружений Института «Гидропроект» в г. Москве. В 1964 году получил звание Заслуженного деятеля науки и техники РСФСР и звание профессора.

В период с 1967 г. по 1982 г. заведовал кафедрой Водного хозяйства и морских портов в Московском инженерно-строительном институте имени В.В. Куйбышева. По общественной линии участвовал в работе Государственной комиссии Госплана СССР, научно-технических советов Министерства энергетики и электрификации СССР и ряда других ведомств. Проводил экспертизу проектов различных водохозяйственных систем и гидроузлов комплексного назначения. Неоднократно участвовал в международных конгрессах МАГИ. Многие годы являлся председателем специализированного (диссертационного) совета при МИСИ им. В.В. Куйбышева по гидротехническому направлению. В состав совета входили признанные специалисты в области гидротехники, работавшие на факультете Гидротехнического строительства МИСИ: профессора Губин Ф.Ф., Гришин М.М., Кривченко Г.И., Слисский С.М., Смирнов Г.Н., Эристов В.С., Юфин А.П. и др.

Михайлов А.В. - автор более 80 научных работ; им написана монография «Судоходные шлюзы», учебники «Водные пути и порты» и «Внутренние водные пути», другие учебные пособия и рекомендации, по которым и в настоящее время ведется подготовка инженеров-гидротехников на кафедре гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ.

РАЗВИТИЕ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ. МИРОВОЙ И РОССИЙСКИЙ ОПЫТ. О ПРОБЛЕМАХ СТРОИТЕЛЬСТВА И ФИНАНСИРОВАНИЯ ГЭС И ГАЭС И ПУТЯХ ИХ РЕШЕНИЙ

Лушников О.Г.,

к.т.н., доцент кафедры ГВИЭ НИУ МЭИ, исполнительный директор Ассоциации «Гидроэнергетика России», Москва

Аннотация. *Представлен обзор мирового и российского опыта в области развития гидроэнергетики. Рассмотрены проблемы строительства и финансирования ГЭС И ГАЭС и пути их решений.*

Ключевые слова: *гидротехника, развитие гидроэнергетики, проблемы строительства и финансирования ГЭС И ГАЭС.*

Последнее десятилетие стало самым успешным для мировой гидроэнергетики за всю ее историю – ее мощность увеличилась на 33%, а выработка на четверть, отрасль обеспечила около 15% мирового прироста производства электроэнергии.

Установленная мощность ГЭС и ГАЭС в мире составляет 1360 ГВт, а годовая выработка гидроэлектростанций превышает 4370 ТВт*ч.

Активное строительство объектов гидроэнергетики обусловлено тем, что помимо прочих эффектов от них, ГЭС и ГАЭС позволяют в течение длительного времени обеспечивать регулирование энергосистем в объеме нескольких ГВт.

Кроме того, ГЭС имеют наименьшую долгосрочную нормированную стоимость электрической энергии (LCOE) по сравнению с другими видами электростанций, а также являются самыми низкоуглеродными источниками генерации.

По объему установленной мощности на ГЭС Россия продолжает сохранять ведущие мировые позиции, то по вводу новых гидроэлектростанций – существенно отстает.

За последнее десятилетие в нашей стране было введено в эксплуатацию 12 больших и малых ГЭС общей мощностью 6,8 ГВт, большая часть которых – «недострой» советского периода.

Данные по объектам зарубежного строительства ГЭС отражают значительную поддержку государства в их софинансировании и обеспечении гарантий возврата инвестиций.

Поддержка государства значима и при получении разрешений и координации деятельности федеральных и региональным органов власти с бизнесом в части учета большого количества регуляторных и нормативных требований.

Примером этому в нашей стране являются нереализованные с 2017 года мероприятия, направленные на совершенствование законодательства РФ, регулирующего деятельность по проектированию, строительству и вводу в эксплуатацию водохранилищ, что существенно препятствует развитию отечественной гидроэнергетической отрасли.

ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ СРАБОТКЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

Анискин Н.А.¹, Ступивцев А.В.²

¹ *д.т.н., профессор, директор Института гидротехнического и энергетического строительства НИУ МГСУ, Москва,*

² *аспирант кафедры гидравлики и гидротехнического строительства, НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация. *Проанализировано влияние некоторых факторов на параметры фильтрационного потока грунтовой однородной плотины при сработке уровня верхнего бьефа с использованием численного метода конечных элементов.. В качестве факторов рассмотрены скорость сработки, водопроницаемость грунта плотины, заложение откоса; качестве параметров фильтрационного потока – положение депрессионной кривой и градиент напора. Расчеты задач неустановившейся фильтрации выполнены в программном комплексе «Plaxis». На основе полученных результатов построены картины изменения депрессионной поверхности и графики изменения максимальных градиентов напора в зависимости от значений факторов и времени. Дана оценка возможности возникновения суффозии. Сделаны выводы и рекомендации.*

Ключевые слова: сработка водохранилища, фильтрация, депрессионная кривая, градиент напора, коэффициент фильтрации, суффозия.

Введение. В период эксплуатации грунтовых плотин или дамб достаточно часто происходит понижение уровня воды, или сработка водохранилища. Она может быть вызвана технологической схемой работы гидротехнического объекта или необходимостью снижения действующего напора воды при возникновении предаварийной или аварийной ситуации водного объекта или гидросооружения. Такое снижение уровня воды, происходящее иногда с достаточно большой скоростью, вызывает изменение фильтрационного режима грунтовой плотины: изменяются положение депрессионной поверхности, направления и величины скоростей и градиентов фильтрации. Эти изменения могут повлечь негативные последствия: возникновение фильтрационных деформаций, снижение устойчивости и обрушение откосов вследствие действия возникающих гидродинамических фильтрационных нагрузок.

Материалы и методы. Исследование проведено с использованием численного метода конечных элементов. Расчеты задач неустановившейся фильтрации выполнены в программном комплексе «Plaxis», в котором заложено использование гидрофизической модели грунтов Ван Генухтена. Проведено сравнение решения тестовой задачи, полученное

с помощью ПК «Plaxis» и программы расчета «Filtr», созданной в НИУ МГСУ. Оно показало хорошую сходимость полученных результатов.

Результаты. В данной работе анализируется влияние некоторых факторов на параметры фильтрационного потока грунтовой однородной плотины при сработке уровня верхнего бьефа.

В качестве факторов рассмотрены скорость сработки, водопроницаемость грунта плотины, заложение откоса.

В качестве параметров фильтрационного потока – положение депрессионной кривой и градиент напора.

Выводы и рекомендации. На основе полученных результатов построены картины изменения депрессионной поверхности и графики изменения максимальных градиентов напора в зависимости от значений факторов и времени. Дана оценка возможности возникновения суффозии. Сделаны выводы и рекомендации.

ПРОБЛЕМЫ ЦИФРОВИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Марков А.О.¹, Галимов И.М.², Омельчук Д.Д.³

¹ генеральный директор ООО НПИ «Гидротехника», Москва;

² к.т.н., доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва;

³ инженер I категории отдела комплексного проектирования ООО НПИ «Гидротехника», Москва

Аннотация. *С развитием информационных технологий и автоматизации возрастают возможности по обеспечению информационной связности процессов концептуализации, проектирования, эксплуатации и утилизации объектов инфраструктуры водного транспорта. Возрастающие возможности привели к созданию концепции управления жизненным циклом объекта, предполагающей создание его информационной модели (ВІМ).*

Ключевые слова: *ВІМ, ТІМ, управление жизненным циклом объекта, цифровизация, гидротехнические сооружения.*

Введение. Первоначально по плану Минстроя обязательный переход на ВІМ был намечен на 2019 год, о чем было принято решение еще осенью 2016 года. Однако с тех пор срок неоднократно переносился, и на дату публикации доклада намечен на 2024 год. Прогнозируется и дальнейший перенос сроков полноценного ВІМ-перехода, поскольку отрасли необходимо решить ряд проблем, носящих системный характер.

Материалы и методы. Материалом исследований являются сведения, полученные на основе опыта практической деятельности компании ООО НПИ «Гидротехника» в сфере цифровизации процессов проектирования и управления жизненным циклом портовых гидротехнических сооружений. Данные материалы использовались для теоретического анализа и обобщения, что в конечном итоге послужило основанием для разработки предложений в целях решения возникшей проблемы.

Результаты. Обеспечение полноценной цифровизации процессов проектирования и управления жизненным циклом объектов инфраструктуры водного транспорта, как и любых других объектов требует анализа проблем и длительной последовательной подготовки.

В результате анализа были выявлены проблемы ВІМ-перехода:

- у всех сторон процесса отсутствует понимание целей и задач принудительного перехода на BIM, а также выгод от этого для конечного пользователя;

- ошибочно принята стратегия на работу с международным общеобменным форматом IFC, перегруженным атрибутами и сложным в освоении;

- отсутствует совместимость с существующей практикой, идеологическая база и чёткие и обоснованные требования по глубине проработки моделей;

- участники процесса технологически не готовы к эксплуатации цифровых двойников (не имеют специалистов, не готовы приобретать ПО, не имеют компьютерных мощностей для работы с визуализаторами).

Выводы и рекомендации. По результатам изучения проблемы цифровизации процессов проектирования и управления жизненным циклом объектов инфраструктуры водного транспорта сформированы выводы и предложения.

Для цифровизации отрасли предлагается использовать стратегию малых шагов, сделав из BIM-сервиса удобный элемент эксплуатационно-технического документооборота:

- определить закрытый обязательный перечень (классификатор) типов элементов, отображаемых в BIM-модели и обязательных атрибутов таких элементов, исходя из минимально возможного, обеспечивающего совместимость с государственным кадастром недвижимости и федеральным классификатором строительных ресурсов, без требований к геометрическим данным;

- установить обязательную привязку электронных образов предусмотренной законодательством эксплуатационно-технической документации к библиотекам BIM-модели;

- создать бесплатный упрощённый государственный формат обмена данными BIM-модели, совместимый с общеобменным форматом IFC и с действующей системой электронных цифровых подписей;

- создать бесплатное и общедоступное ПО и облачный сервис для работы с государственным форматом обмена данными BIM-модели, с возможностями двухстороннего конвертирования в формат IFC;

- анонсировать, и с периодичностью в 2-3 года последовательно увеличивать обязательный перечень типов элементов и атрибутов;

- обеспечить поэтапное введение единых требований к обменным форматам данных инженерных изысканий и геометрических данных, с введением их в состав модели.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИСПРАВЛЕНИЮ НЕДОСТАТКОВ КОНСТРУКЦИИ ВОДОБОЙНОГО КОЛОДЦА ГИДРОУЗЛА ТИШРИН В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Алсадек Е.С.¹, Гурьев А.П.², Ханов Н.В.³, Козлов Д.В.⁴

¹*аспирант, кафедра гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва;*

²*д.т.н., профессор, кафедра инженерных конструкций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва;*

³*д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва;*

⁴*д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация. *Изучение недостатков запроектированных сооружений гидроузла Тишрин (Северный Кебир), анализ их работы и разработка теоретического и расчётного обоснования оптимальных параметров сооружений, позволяющих предупредить появление аналогичных ошибок при проектировании аналогичных гидроузлов в Сирийской Арабской республике.*

Ключевые слова: *конструкция водобойного колодца, гидроузел Тишрин, Сирийская Арабская республика, предложения по исправлению недостатков.*

В 1987 году закончилось строительство гидроузла Тишрин на реке Северный Кебир в Сирийской Арабской республике. В процессе строительства и последующей эксплуатации сооружений гидроузла были обнаружены недостатки проектирования, которые привели к удорожанию сметной стоимости и изменениям проекта в процессе строительства и к дополнительным затратам на ликвидацию недостатков, обнаружившихся после начала эксплуатации.

Ввиду недостаточности геологических изысканий оказалось, что водобойный колодец правобережного водосброса был размещён на оползневом участке правобережного склона в результате принятия слишком малого уклона быстротока. В процессе строительства пришлось увеличить уклон нижней половины быстротока до величины $i=0,707$. Это привело к необходимости усиления водобойного колодца, поскольку он стал гасить падающую струю как в яме размыва при гашении энергии отбросом струи в нижний бьеф.

Кроме того, при проектировании сооружений гидроузла не было учтено понижение отметок дна русла, связанное с интенсивным отбором гравелистого материала из русловых отложений. В результате при пропуске строительных расходов $1984 \text{ м}^3/\text{с}$ через трубопровод шахтного водосброса были полностью разрушены водобой и рисберма шахтного водосброса.

При проектировании шахтного водосброса не были определены его оптимальные параметры, что обеспечило бы снижение стоимости гидроузла и улучшило условия его эксплуатации.

Водоснабжение западного участка орошения было запроектировано с подачей воды через туннель. Геология и топография трассы туннеля были недостаточно благоприятны для производства туннельных работ, в результате чего не были выдержаны проектные уклоны туннеля.

Кроме того, строителями был оставлен в туннеле 800-метровый участок рельсовой дороги для вывоза грунта. В результате пропускная способность туннеля снизилась с расчётной величины $Q_{\text{расч.}}=4.3 \text{ м}^3/\text{с}$ до $Q=3.2 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом в проекте не был рассмотрен альтернативный вариант с насосной подачей воды.

Также не была учтена интенсивная деформация русла в нижнем бьефе, в результате чего за водобойными колодцами возникли режимы с отгоном гидравлического прыжка с разрушением водобоя.

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ГЕОМАТА, ЗАПОЛНЕННОГО ЩЕБНЕМ С БИТУМ-ПОЛИМЕРНЫМ ВЯЖУЩИМ, СПУСТЯ НЕСКОЛЬКО ЛЕТ ПОСЛЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Еремеев А.В.¹, Гурьев А.П.², Ханов Н.В.³

¹к.т.н., старший преподаватель кафедры гидротехнических сооружений Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева;

²д.т.н., профессор, кафедра инженерных конструкций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва;

³д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Аннотация. Проанализировано состояние покрытий из геомата с заполнителем из щебня с битум-полимерным и битумным и вяжущим по истечении нескольких лет после их изготовления. Представлены фотографии покрытий и исписаны их свойства. Представлено описание экспериментальной установки для определения гидравлических характеристик потока.

Ключевые слова: анализ состояния геомата, битум-полимерное вяжущие.

Введение. В данной работе описано сравнение образцов противоэрозионных покрытий выполненных из геомата заполненного щебнем с битумным и битум-полимерным вяжущим. Сравнение выполнялось по истечении нескольких лет после изготовления исследуемых покрытий.

Материалы и методы. Представлено описание экспериментальной установки для определения гидравлических характеристик потока, которая находится в лаборатории кафедры гидротехнических сооружений института мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Результаты. Выполнено исследование коэффициента шероховатости противоэрозионного защитного покрытия выполненного из геомата, заполненного щебнем и битум-полимерным вяжущим.

Проанализировано состояние покрытий из геомата с заполнителем из щебня с битум-полимерным и битумным и вяжущим по истечении нескольких лет после их изготовления. Представлены фотографии покрытий и исписаны их свойства.

Выводы и рекомендации. В результате данного исследования сделан вывод о том, что покрытие выполненное из геомата заполненного щебнем с битум-полимерным вяжущим

оказалось более износостойкое и долговечно по сравнению с геоматом с битумным вяжущим.

При длительной эксплуатации данных покрытий коэффициент шероховатости может измениться, за счет износа полотна. Это особенно актуально для покрытия с битумным вяжущим.

В случае нарушения структуры материала, необходимо произвести определение фактического коэффициента шероховатости.

О ПРОРЫВЕ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ БЕЛОПОРОЖСКОГО ГИДРОУЗЛА

Колосов М.А.¹, Чинаков П.П.²

¹ д.т.н., профессор, профессор кафедры гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

² аспирант кафедры Гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Аннотация. Рассмотрены причины прорыва напорного фронта грунтовой плотины Белопорожской ГЭС. Установлено, что причиной прорыва является разжижение мелкофракционных песчаных грунтов. Прорыв происходит в зоне пьезометрического уровня. В результате замачивания тела плотины после разжижения наблюдается кольматация грунта с последующим повышением фильтрационных прочностных характеристик. Натурные наблюдения подтверждаются опытом.

Ключевые слова: гидроэлектростанции, тело плотины, водохранилище, прорыв напорного фронта, консолидация.

Введение. Белопорожский гидроэнергетический узел входит в каскад Кемских ГЭС. Гидроэлектростанции располагаются на реке Кемь, вытекающей из озера Нижнего Куйто и впадающей в Кемскую губу Белого моря. В Каскад входят: Юшкозерская ГЭС, Кривопорожская ГЭС, Подужемской ГЭС, Белопорожской ГЭС, Путкинской ГЭС.

Грунтовая плотина Белопорожской ГЭС выполнена из моренных грунтов, опирается на скальное основание. Откосы плотины, как верховой, так и низовой сопряжены с основанием посредством каменных призм с переходным слоем из гравийных грунтов.

Результаты. Причины прорывов специалисты рассматривают в наличии «облегчённых» путей фильтрации в зоне сопряжения грунтового тела с основанием, которое имеет уступы и неровности [1]. Рассматривается возможность нарушение суффозии грунта тела плотины и контактный размыв плотины у грунта основания [2]. Однако эксперты не рассматривали явления и изменения физико-механических характеристик грунта тела плотины в результате воздействия воды.

В результате воздействия фильтрующей воды моренные грунты подвергаются консолидации, что приводит к повышению плотности и к снижению коэффициента фильтрации [3]. Пьезометрические наблюдения [4] показали, что депрессионная кривая занимает в теле плотины горизонтальное положение в соответствии с уровнем верхнего бьефа (рисунок 1). Расчётной кривой депрессии, поступающей в дренаж не обнаружено.

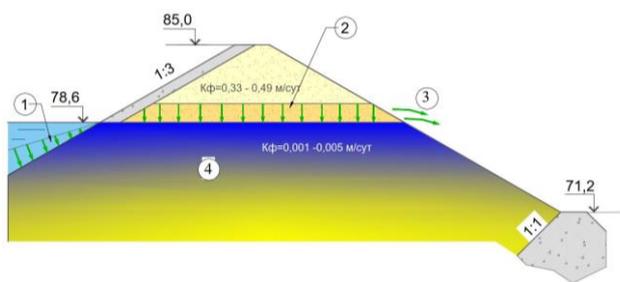


Рисунок 1 Положение грунтовых вод в теле плотины в ходе наполнения водохранилища: 1 – Эпюра гидростатического давления со стороны верхнего бьефа; 2 – давления сухого грунта; 3 – направление выноса грунта; 4 – зона консолидированного грунта.



Рисунок 2 Фото перелива через проран плотины

Этот уровень держится постоянным и меняет своё положение по мере заполнения водохранилища, поднимаясь вверх. На границе уровня грунтовых вод происходит разжижение грунта с последующей консолидацией.

Прорыв грунтовой плотины происходит при уровне подтопления со стороны верхнего бьефа, когда слой разжиженного грунта достигает низового откоса. Данное явление подтверждено опытами, которые производил автор в лаборатории, для опытов использовался моренный грунт, слагающий тело Белопорожской плотины.

Поток воды, поступающий в формирующую горизонтальную щель, выносит грунт в нижний бьеф, при этом происходит перелив с последующим обрушением вышележащего сухого грунта (рисунок 2).

Выводы и рекомендации. В результате анализа установлено, что причиной прорыва является разжижение мелкофракционных песчаных грунтов.

Прорыв напорного фронта происходит не в зоне контакта грунтов с основанием, а в теле плотины и только после подъёма уровня воды.

Консолидация грунтов в теле плотины приведёт к формированию плотного массива, поэтому нет необходимости в устройстве дополнительной противифльтрационной завесы [4].

Список литературы

1. Экспертное заключение о результатах строительно-технического исследования №2600/2021/63-01/3. Выявление причин возникновения аварийной ситуации (прорана) напорного фронта грунтовой плотины МГЭС «Белопорожской ГЭС-1» прошедшего 24 октября 2020 года. М.: АНО «Союзэкспертиза», 2021, 80 с.
2. Экспертная оценка напряжённо-деформированного состояния объекта «МГЭС» Белопорожская ГЭС-1, Республика Карелия, Кемский район, 850 НИР. СПб: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2021, 59 с.
3. Технический отчет выполнения инженерно-геологических изысканий на объекте МГЭС «Белопорожская ГЭС-1». Шифр 15-20, СПб: ООО «Пента», 2020, 30с.
4. Разработка и обоснование технических решений по усилению грунтовых сооружений напорного фронта МГЭС «Белопорожская ГЭС-1». Книги 1–2. СПб: АО «ВНИИГ имени Б.Е. Веденеева», 2021.

ОБРУШЕНИЕ ОТКОСОВ ВОДОХРАНИЛИЩ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОДТОПЛЕНИЯ СУХИХ БЕРЕГОВ

Колосов М.А.¹, Моргунов К.П.², Чинаков П.П.³

¹ д.т.н., профессор, профессор кафедры гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»;

² к.т.н, доцент, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»;

³ аспирант кафедры гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»

Аннотация. В статье рассматриваются причины и последствия обрушения сухих откосов при их первом подтоплении. Дается оценка воздействия заполнения котлована на устойчивость основания Загорской ГАЭС. Изложены причины обрушения откосов.

Ключевые слова: подтопление откосов, сила трения, силы взвешивания, грунты, берега.

Введение. Обрушение берегов водохранилищ происходит в виде оползней. Причины формирования оползней известно достаточно много. Прежде всего, это размывы в основании, поступление воды на склоны и разжижение грунтов, а также перегрузка откосов при производстве строительных работ.

Особое внимание, на наш взгляд, должно быть уделено оплыванию откосов, подверженных подтоплению. Последствия подтопления откосов наблюдаются в водохранилищах, которые расположены в берегах, сложенных из песчаных, глинистых и скальных грунтов.

Результаты. Рассмотрим события происшествия в России при затоплении водохранилища Нижне-Бурейской ГАЭС. Это событие привело к оплыванию берегового откоса и перекрытия водохранилища. Заполнение водохранилища было приостановлено, также прекратилась подача воды к гидростанции. Для подачи воды к гидростанции на завале выполнены взрывные работы, в результате которых был сформирован проран.

Причина оползня - потеря несущей способности в основании откоса, где в результате воздействия архимедовых сил взвешивания в береговых грунтах исчезает сила трения.

Аналогичная авария произошла на Загорской ГАЭС-2, где в результате подтопления и воздействия сил взвешивания пропала несущая способность грунтового массива и произошла просадка здания, в котором было смонтировано оборудование [2, 3].

Просадке в основании способствовала высокая пористость ($n=0,35$), отсутствие в порах воды и полное отсутствие сил сцепления. Формула несущей способности основания Кулона представлена в следующем виде:

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + C,$$

где: τ - касательные напряжения в грунтовом массиве, обеспечивающие несущую способность при сдвиге; σ - нормальные напряжения, обеспечивающие трения в грунтах; $\operatorname{tg} \varphi$ - коэффициент трения, где φ - угол внутреннего трения; C - сцепление при наличии глины.

Выводы и рекомендации. В основании Загорской ГАЭС-2 залегают пористые аллювиальные грунты, несущая способность которых обеспечивалась трением ($\operatorname{tg} \varphi=0.5$).

При подтоплении основания снижаются нормальные напряжения (σ) в массиве грунтов, что приводит к потере трения и просадке сооружения, как показано на инженерно-геологическом разрезе на рисунке 1.

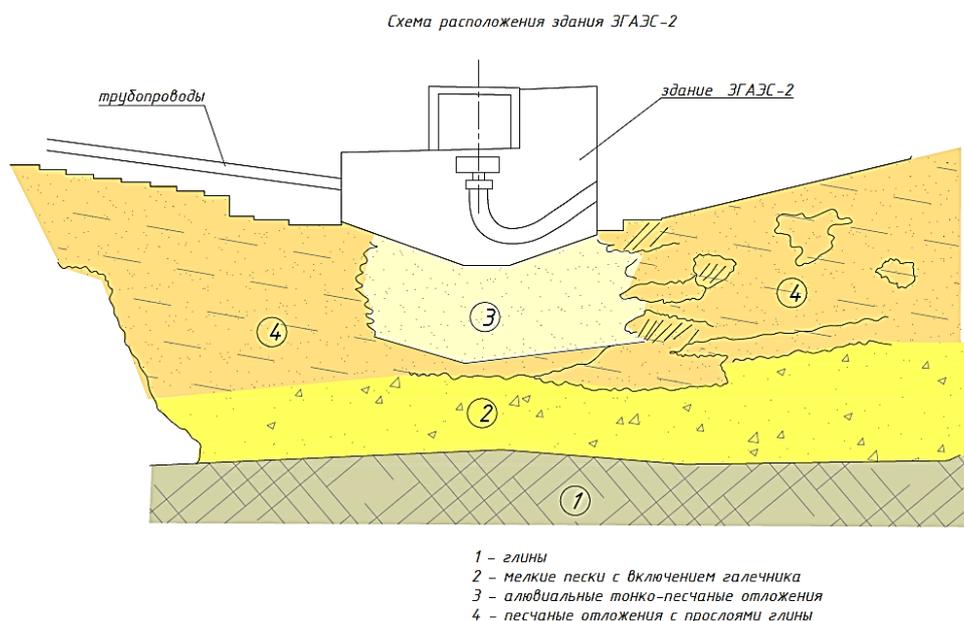


Рисунок 1. Инженерно-геологический разрез ЗГАЭС-2

Список литературы

1. *Симонов Е.* Крутые берега - об оползне Бурейской ГЭС 15.01.2019. CRL:<https://www.svoboda.org/a/29708921.htm>
2. *Колосов М.А., Моргунов К.П., Чинаков П.П.* О причинах просадки основания строящейся Загорской ГАЭС-2 // *Фундаменты.* 2022. №1(7). С. 38-39.
3. *Первый пусковой комплекс Загорской ГАЭС-2* // *Гидротехника XXI век.* 2012. №5. С. 56-58.

ГОРОДЕЦКИЙ ГИДРОУЗЕЛ – ПРОБЛЕМА ГЛУБИН НА НИЖНЕМ ПОРОГЕ ШЛЮЗОВ

Моргунов К.П.¹, Колосов М.А.², Козлов Д.В.³

¹ к.т.н., доцент, заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»;

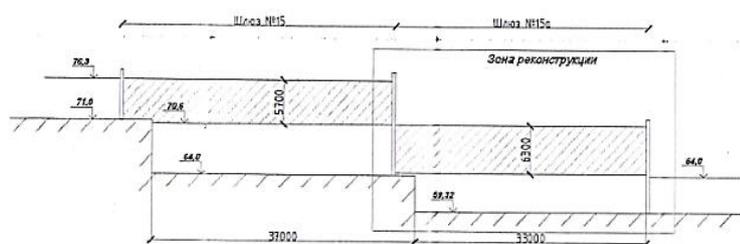
² д.т.н., профессор, профессор кафедры гидротехнических сооружений, конструкций и гидравлики, ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»;

³ д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Проведен анализ проекта реконструкции гидротехнических сооружений Городецкого судоходного гидроузла посредством строительства дополнительной камеры шлюза Городецкого гидроузла. Высказано предположение, что в случае реализации проекта существует опасность перекрытия судоходства на Волге. Установлено, что причиной опасности является проблема глубин на нижнем пороге шлюзов.

Ключевые слова: реконструкция Городецкого гидроузла, опасность перекрытия судоходства на Волге, проблема глубин на нижнем пороге шлюзов.

Введение. Река Волга – важнейшая транспортная магистраль России, на которую рассчитывают политики, давая обещание решить транспортную проблему передачи нефтегрузов из Каспийского региона на европейские и азиатские рынки. Однако в настоящее время существует опасность перекрытия судоходства на Волге в случае реализации проекта реконструкции гидротехнических сооружений Городецкого судоходного гидроузла посредством строительства дополнительной камеры шлюза 15а (рисунок 1).



Время шлюзования судов составляет 67-72 мин.

Рисунок 1. Схема перестройки однокамерных судоходных шлюзов № 15 и № 16 в двухкамерные

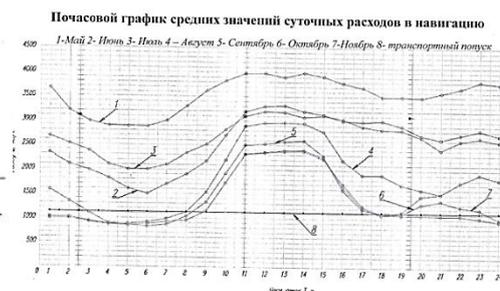


Рисунок 2. График попусковых расходов, проходящих через нижнюю голову шлюзов №15, №16

Результаты. По расчётам проектной организации – АО «Ленгипроречтранс» – строительство потребует перекрытия действующего шлюза №15 не менее чем на 3 года, так как для сооружения новой камеры 15а потребуется выполнить подводную выемку глубиной до 7,0 метров площадью свыше 20000 м² под защитой перемычек, а также уложить монолитный бетон, объёмом более 600 тыс. м³.

Наряду с проектом устройства шлюза с железобетонной камерой, рассмотрен вариант камеры из трубчатого шпунта. Такой вариант более технологичен при строительстве на открытой акватории, однако, при этом оказываются необходимыми стальные шпунты

объёмом 26,9 тыс. т, что существенно увеличивает объёмы и сроки строительства. Кроме того, при такой технологии на период строительства практически закрывается судоходство через шлюз № 16.

Как следует из схемы, представленной на рисунке 1, вместо однокамерного шлюза реконструкция предусматривает строительство двухкамерного, чтобы приводит к увеличению времени судопропуска в два раза. Для магистральных и сверхмагистральных водных путей согласно СП 101.13330.2012 создание дополнительных камер является нежелательным, так как данное решение приводит к дополнительным затратам по флоту. Зарубежная практика реконструкций (Средне-Германский канал, Панамский канал) предусматривает противоположное решение, а именно, многокамерные шлюзы перестраиваются в однокамерные.

Кроме того, авторами проекта не проводился анализ уровенного режима в нижнем бьефе Городецкого гидроузла. Такой анализ выполнен в работе Волжского ФГБОУ ВО ВГУВТ, который показал (рисунок 2), что в течение первой половины навигации колебания уровня воды в нижнем бьефе практически отсутствуют, существующие шлюзы №15 и 16 не испытывают проблем с глубинами на нижнем пороге. Проблемы с глубинами начинаются только в августе и продолжаются до конца навигации.

Для прохождения грузового флота через порог нижней головы Городецкого шлюза возможно рассмотреть два подхода: опустить отметку порога нижней головы шлюза на глубину, обеспечивающую прохождение судна; поднять отметку уровня в нижнем подходном канале, чтобы обеспечить необходимую глубину на пороге.

Решение, соответствующее первому подходу, разработано АО «Ленгипроречтранс» в предложенном проекте. Схема предполагает разделить общий перепад уровней на две ступени (рисунок 1). Каждая ступень представляет собой камеру шлюза, то есть однокамерный шлюз превращается в двухкамерный. Продолжительность циклов шлюзования, увеличивается почти в два раза, что снижает пропускную способность водного пути. Согласно нормам проектирования, многокамерный тип шлюзов не рекомендуется для магистральных и сверхмагистральных водных путей (СП 101.13330.2012). Принимая во внимание то обстоятельство, что в навигацию шлюзы пропускают до 9000 судов, общие потери времени на судопропуск после реконструкции составят до 4,5 тыс. судочасов. При этом каждое шлюзование задерживает судно дополнительно на 0,5 часа. Потери времени получает не только грузовой флот, но и пассажирские суда, технический и военный флот.

Кроме того, заявляемый в проекте объём работ не позволяет быстро выполнить перестройку шлюза. По расчётам АО «Ленгипроречтранс» на перестройку шлюза 15а может потребоваться до 6 лет. Столько же потребуется на перестройку 16 шлюза, при этом в период строительства шлюза 15а сокращается пропускная способность шлюза №16 практически в два раза из-за увеличения затрат времени на вход и выход судов.

Учитывая высокую стоимость реконструкции и значительные сроки, предлагаем рассмотреть другой подход к решению проблемы – временный подъём уровней для прохождения судов через порог нижней головы одновременно на шлюзах №15 и №16. Это

предложение является принципиальным для действующих гидроузлов. Для реализации такой схемы предлагается в нижнем подходном канале устроить судоходную плотину, формирующую временный компенсационный бассейн (рисунок 3).

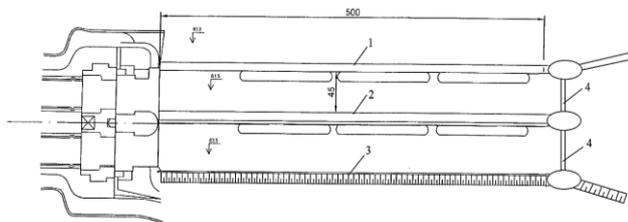
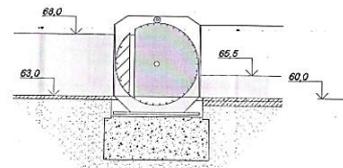


Рисунок 3. План бассейна-компенсатора в нижнем подходном канале: 1 – существующая причальная стенка; 2 – разделительная причальная стенка; 3 – береговой откос дамбы; 4 – полноповоротные сегментные затворы



Клапанный затвор



Полноповоротный сегментный затвор

Рисунок 4. Варианты перекрытия судоходных отверстий в плотине компенсационного бассейна

Плотина представляет собой грунтовую насыпь с двумя судопропускными отверстиями, в которых устанавливаются сегментные затворы. Когда уровни в нижнем бьефе достаточны для прохождения через порог нижней головы шлюзов №15 и 16, судопропускные отверстия открыты, и суда беспрепятственно проходят через них. Для регулирования уровней воды в компенсационном бассейне в отверстиях возможна установка сегментных полноповоротных затворов, допускается применение затворов клапанного типа (рисунок 4).

При понижении уровней воды в нижнем подходном канале затворы закрывают отверстие, и компенсационный бассейн заполняется водой, поступающей при опорожнении камер шлюза №15 или 16. При заполнении бассейна уровни воды в нем повышаются, подтапливая пороги нижней головы шлюзов №15 и 16. Суда выходят из камер, проходя через порог в компенсационный бассейн. Далее через водопропускные сооружения в плотине происходит выпуск воды из бассейна в основной подходной канал нижнего бьефа гидроузла. Когда уровень в бассейне выравнивается с уровнем воды в канале, открываются судопропускные затворы, и суда через открытые отверстия выходят в нижний подходной канал. Переход судов из канала в камеру шлюзов происходит в обратном порядке.

Строительные работы по реконструкции схемы пропуска судов посредством компенсационного бассейна могут быть выполнены без остановки судоходства в шлюзах №15 и 16. Для этого необходимо организовать двухкотлованную схему строительства и выполнить основной объём работы в межнавигационный период.

Выводы и рекомендации.

1. Принятая АО «Ленгипроречтранс» двухкамерная схема реконструкции шлюзов №15 и 16 при реализации сокращает пропускную способность Городецкого гидроузла примерно в два раза из-за увеличения продолжительности судопропуска, что вызывает простои грузового флота, пассажирского и технического флота.

2. Предлагаемая схема реконструкции посредством устройства компенсационного бассейна позволяет исключить дополнительные затраты времени на судопропуск основного флота, а затраты времени на пропуск большегрузных судов сократить в два раза.

3. Проект АО «Ленгипроречтранс» вызывает остановку судопропуска через шлюзы № 15 и 16 на срок до 4–5 лет. При этом строительные работы по устройству компенсационного бассейна выполняются в межнавигационный период и не требуют остановки судопропуска.

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕНИЯ БЕТОННОЙ И КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИН БОГУЧАНСКОЙ ГЭС

Рубин О.Д.¹, Беллендир Е.Н.², Юрьев С.В.³, Баклыков И.В.⁴, Лисичкин С.Е.⁵

¹*доктор технических наук, доцент, филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;*

²*доктор технических наук, профессор, филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;*

³*инженер, АО «Институт Гидропроект», Москва;*

⁴*инженер, филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;*

⁵*доктор технических наук, филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва*

Аннотация. *Проведены расчетные исследования напряженно-деформированного состояния наиболее ответственным участком напорного фронта - сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС. На основе пространственной конечно-элементной модели сопряжения бетонной плотины с каменно-набросной плотиной выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния. Установлено, что максимальные эквивалентные напряжения в латунных шпонках сопряжения асфальтобетонной диафрагмы с секцией №34 бетонной плотины на 20% превышают расчетное сопротивление латуни, что может привести к выходу шпонок из строя и к нарушению водонепроницаемости напорного фронта плотины. Обоснована необходимость мероприятий по предотвращению дальнейшего роста осадок и смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы участка примыкания каменно-набросной плотины.*

Ключевые слова: *реконструкция Городецкого гидроузла, опасность перекрытия судоходства на Волге, проблема глубин на нижнем пороге шлюзов.*

Введение. Сопряжение бетонной плотины с каменно-набросной плотиной (КНП) является наиболее ответственным участком напорного фронта Богучанской ГЭС. Следует упомянуть, что важнейшей особенностью Богучанской ГЭС является наличие противофильтрационного элемента - асфальтобетонной диафрагмы (АБД), которая выполняется по специальной технологии из литой гидротехнической асфальтобетонной смеси, укладываемой в разогретом состоянии и эксплуатируемой в суровых климатических условиях.

По всему контакту между АБД и секцией №34 бетонной плотины установлены шпонки из латуни, которые крепятся анкерами, а в асфальтобетон заводятся путем устройства шахты с последующим ее заполнением асфальтовой мастикой. При этом со стороны АБД выполняется шпоночный колодец из половины трубы диаметром 1020 мм, которая примыкает к бетонной секции и заполняется, как и шахта, асфальтовой мастикой. При деформациях в районе контакта АБД с бетонной секцией №34, в шпоночный колодец может доливаться асфальтовая мастика.

Наиболее ярким показателем состояния сопряжения бетонной плотины и КНП является состояние контактного шва между АБД и бетонной секцией №34. От состояния узла сопряжения асфальтобетонной диафрагмы с секцией №34 бетонной плотины (в том числе от состояния контактного шва между ними) зависит безопасность напорного фронта гидроузла.

После начала наполнения водохранилища в 2012 г. контактный шов начал интенсивно раскрываться. При достижении УВБ, равного пусковой отметке, рост ширины раскрытия контактного шва замедлился. В дальнейшем, начиная с 2014 года, когда уровень верхнего бьефа достиг НПУ, рост ширины раскрытия контактного шва продолжался, по всей видимости, в результате продолжающейся осадки АБД.

Основной вклад в раскрытие контактного шва между АБД и секцией №34 бетонной плотины вносит деформация низовой упорной призмы КНП, выражающаяся в виде роста осадок и горизонтальных смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы КНП. При этом ширина раскрытия контактного шва между АБД и секцией №34 бетонной плотины доходит до 146 мм. По глубине раскрытие контактного шва распространяется до 5 м. Водонепроницаемость контактного шва между АБД и секцией №34 бетонной плотины обеспечивается за счёт установленных латунных шпонок, проходящих по центру контактного шва «АБД – бетонная плотина» на всю высоту.

Результаты. На основе пространственной конечно-элементной модели сопряжения бетонной плотины с каменно-набросной плотиной были выполнены расчетные исследования напряженно-деформированного состояния наиболее ответственным участком напорного фронта - сопряжения бетонной и каменно-набросной плотин Богучанской ГЭС.

От состояния узла сопряжения асфальтобетонной диафрагмы с секцией №34 бетонной плотины (в том числе от состояния контактного шва между ними) зависит безопасность напорного фронта гидроузла. На основе пространственной конечно-элементной модели сопряжения бетонной плотины с каменно-набросной плотиной выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния.

При этом было получено, что максимальные эквивалентные напряжения в латунных шпонках сопряжения асфальтобетонной диафрагмы с секцией №34 бетонной плотины на 20% превышают расчетное сопротивление латуни, что может привести к выходу шпонок из строя и к нарушению водонепроницаемости напорного фронта плотины.

Выводы и рекомендации. При существующих в настоящее время величинах ширины раскрытия контактного шва между АБД и секцией №34 бетонной плотины и осадок АБД эквивалентные напряжения в латунных шпонках составляют величину 419 МПа (что на 20% выше расчётного сопротивления латуни), которые могут привести к непроектному состоянию шпонок, выходу их из строя и, тем самым, к нарушению водонепроницаемости напорного фронта плотины.

Обоснована необходимость проведения мероприятий по предотвращению роста осадок и смещений марок, установленных на бермах низовой упорной призмы участка КНП, примыкающего к бетонной плотине.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРОТОЧНОГО ТРАКТА ГИДРОАГРЕГАТА СРЕДНЕНАПОРНОЙ ДЕРИВАЦИОННОЙ ГЭС

Рубин О.Д.¹, Бритвин С.О.², Антонов А.С.³, Юрченко А.Н.⁴

¹д.т.н., доцент, филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;

²директор ООО «АИР»;

³к.т.н., филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;

⁴к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Изложены результаты проведения инструментального обследования проточного тракта гидроагрегата средненапорной деривационной ГЭС для получения исходных данных для организации холостых сбросов воды при аварийной остановке ГЭС. Проведен анализ проектно-технической документации, в ходе которого выяснялось наличие/отсутствие необходимой проектной документации, проводимых реконструкций и ремонтов, проводимых ранее обследований. Проведено обследование элементов и узлов проточной части и гидромеханического оборудования с присвоением оценки. Определены рекомендации для возможности безопасной эксплуатации обследуемых узлов.*

Ключевые слова: *средненапорная деривационная ГЭС, инструментальное обследование, проточный тракт гидроагрегата.*

Введение. В представленном докладе изложены результаты проведения инструментального обследования проточного тракта гидроагрегата средненапорной деривационной ГЭС для получения исходных данных для организации холостых сбросов воды при аварийной остановке ГЭС.

Целью настоящей работы была оценка технического состояния проточного тракта гидроагрегата деривационной ГЭС для получения исходных данных для организации холостых сбросов воды при аварийной остановке ГЭС.

Результаты. Обследование проводилось в августе 2022 г. и включало в себя контроль следующих основных узлов: быстропадающего щита с закладными частями; пазов ремонтного затвора; рабочего колеса турбины; вала турбины; направляющего аппарата; статора турбины и спиральной камеры; отсасывающей трубы, включая конус.

Объем работ по вышеуказанным узлам включает в себя визуальный осмотр, инструментальные исследования и замеры узлов для определения: качественного и количественного характера кавитационных, коррозионных, эрозионных, механических повреждений и износа; проверки зазоров, прогибов, люфтов; толщины металлических

облицовок; прочности бетонных конструкций, для проведения оценки их соответствия требованиям заводской документации и действующим НТД.

На начальном этапе работ был проведен анализ проектно-технической документации, в ходе которого выяснялось наличие/отсутствие необходимой проектной документации, проводимых реконструкций и ремонтов, проводимых ранее обследований. Далее проводилась обследование элементов и узлов проточной части и гидромеханического оборудования с присвоением оценки: работоспособное, частично-неработоспособное, неработоспособное состояние.

Выводы и рекомендации. После оценки состояния конструкций и оборудования были определены рекомендации для возможности безопасной эксплуатации обследуемых узлов, в том числе по необходимости выполнения дополнительных прочностных расчётов на фактические и увеличенные гидродинамические нагрузки для обеспечения надёжной и безопасной эксплуатации.

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОПРИЕМНИКА ГАЭС

Рубин О.Д.¹, Лисичкин С.Е.², Котицына С.С.³

¹*д.т.н., доцент, директор филиала АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;*

²*д.т.н., главный специалист филиала АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва;*

³*аспирант, старший инженер, филиал АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва*

Аннотация. *Актуализирована разработанная пространственная конечно-элементная модель водоприемника. Выполнены расчёты напряженно-деформированного состояния с учетом конструктивных особенностей железобетонной фундаментной плиты в составе сооружения водоприемника ГАЭС, современных данных инженерно-геологических изысканий грунтов основания водоприемника и натурных наблюдений. Проанализированы результаты расчетных исследований напряженного состояния железобетонной конструкции фундаментной плиты водоприемника. В результате анализа было установлено, что имеются зоны высоких напряжений в арматуре, направленной вдоль потока (превышающих предел текучести арматуры), в первую очередь в низовом межблочном шве. Полученные результаты расчетных исследований и натурных наблюдений позволили сделать вывод о необходимости проведения мероприятий по усилению низового участка фундаментной плиты водоприемника.*

Ключевые слова: *реверсивный водоприемник; фундаментная плита; вертикальные межблочные швы; пространственная конечно-элементная модель; напряженное состояние; зоны высоких напряжений в арматуре.*

Введение. Реверсивный водоприёмник ГАЭС непосредственно воспринимающий напор воды верхнего аккумулирующего бассейна, был запроектирован и построен на мягком грунтовом основании при сложных инженерно-геологических условиях строительной площадки.

Конструкция водоприёмника – неразрезная. Для уменьшения напряжений, возникающих при сезонном колебании температур, стены здания машинного зала вместе с контрфорсами, выше отметки пола машзала и его перекрытие, надрезаны двумя вилочковыми швами через 24 м.

Важным элементом водоприемника является его фундаментная плита. Общие размеры фундаментной плиты водоприёмника составляют: длина вдоль потока 69,83...70,37

м (без понура), ширина поперёк потока 102,70 м, включая устои (без подпорных стенок второго яруса).

На низовой половине фундаментной плиты водоприемника устроены три вертикальных межблочных шва (верховой, средний и низовой), которые играют важную роль в напряженном состоянии фундаментной плиты.

Армирование фундаментной плиты выполнено армопакетами, в которых преобладают арматурные стержни диаметром 25-36 мм класса А-III.

Обращает внимание то обстоятельство, что у верхней и нижней граней фундаментной плиты на участке между верховым и средним швами имеет место значительное уменьшение площади сечения арматуры (в 2,53 - 4,9 раза). В пересечении с низовым швом установлено невысокое количество арматуры (15,39 см²/м.п – у нижней грани и 10,00 см²/м.п – у верхней грани), что явилось причиной высоких напряжений в арматуре на низовом участке фундаментной плиты.

Результаты. Для целей расчетного определения напряженного состояния водоприемника была разработана пространственная конечно-элементная модель системы “водоприёмник – грунтовое основание”.

На основе разработанной и актуализированной пространственной конечно-элементной модели водоприемника были выполнены расчёты напряженно-деформированного состояния, с учетом конструктивных особенностей железобетонной фундаментной плиты в составе сооружения водоприемника ГАЭС; современных данных инженерно-геологических изысканий грунтов основания водоприемника (в том числе особенностей инженерно-геологической модели основания), натуральных наблюдений (включая данные о напряженном состоянии, в том числе о росте напряжений в арматуре и др.).

Выводы и рекомендации. Анализ результатов расчетных исследований напряженного состояния железобетонной конструкции фундаментной плиты водоприемника показал, что имеются зоны высоких напряжений в арматуре, направленной вдоль потока (превышающих предел текучести арматуры), в первую очередь, в низовом межблочном шве.

Следует отметить, что в верховом межблочном шве, а также в среднем межблочном шве действует практически центральное растяжение.

Полученные результаты расчетных исследований, а также результаты натуральных наблюдений свидетельствуют о необходимости проведения мероприятий по усилению низового участка фундаментной плиты водоприемника.

ВОЛНОВОЕ ДАВЛЕНИЕ НА БОКОВУЮ ПОВЕРХНОСТЬ СВАЙ В СКВОЗНЫХ ВОЛНОГАСЯЩИХ СТЕНАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКВОЗНОСТИ

Бирюкбаев Э.К.¹, Макаров К.Н.², Юрченко Е.Е.³

¹*аспирант кафедры строительства и сервиса СГУ, Сочи;*

²*д.т.н., профессор, профессор кафедры строительства и сервиса СГУ, Сочи;*

³*к.т.н., доцент кафедры строительства и сервиса СГУ, Сочи*

Аннотация. Численные гидродинамические эксперименты по 3D моделированию свайного ростверка, проведенные в SOLIDWORKS 3D CAD с подключением модуля Flow Simulation, позволили получить воздействия и реакции конструкций с учетом фактора времени в исследуемом пространстве. Конструкция ростверка оптимизирована по параметру равномерности распределения давления по боковой поверхности свай. Равномерность давления в рядах свай обеспечивается при сквозности свай 1 ряда 0,35 при неизменной сквозности свай 2 и 3 рядов 0,1 при волновом воздействии типа навал. Установлено, что при ударных воздействиях коротких, но высоких волн, увеличение сквозности 1 ряда свай существенно не изменит распределение давления между рядами, так как давление на сваи 1 ряда существенно превышает давление в последующих рядах.

Ключевые слова: волногасящая стена, сквозность свайного ростверка, давление по боковой поверхности свай.

Введение. Целью исследования является выбор эффективного значения сквозности свай сквозного оградительного гидротехнического сооружения при волновых воздействиях на основании численных экспериментов в программном комплексе SOLIDWORKS.

Были поставлены следующие задачи исследования:

разработать алгоритм численного эксперимента по определению давления по боковой поверхности свай сквозного свайного ростверка при волновом воздействии в программном комплексе SOLIDWORKS с модулем FlowSimulation;

в процессе численных экспериментов в двух вариантах задания волнового воздействия - удар и навал и четырех вариантах сквозности 1 ряда свайного ростверка при неизменных значениях сквозности 2 и 3 рядов определить влияние каждого из факторов на равномерность распределения давления по рядам свай;

по параметру равномерности распределения давления выбрать наиболее рациональную конструкцию в пределах вариантов сквозности свай 1 ряда от 0,2 до 0,35.

Результаты исследования.

1. Численные гидродинамические эксперименты по 3D моделированию свайного ростверка, проведенные в SOLIDWORKS 3D CAD с подключением модуля FlowSimulation, позволяют получать воздействия и реакции конструкций с учетом фактора времени в любой точке исследуемого пространства, что отличает его от статической постановки задачи и локальных расчетов эпюры давления нескольких точках.

2. Варьирование сквозности свай 1 ряда в диапазоне $0,2 \div 0,35$ при неизменной сквозности свай 2 и 3 рядов, равной 0,1 по параметру равномерности распределения давления по боковой поверхности свай показало, что это обеспечивается при сквозности 1 ряда, равной 0,35.

3. При ударных воздействиях коротких, но высоких волн, увеличение сквозности 1 ряда свай существенно не меняет распределение давления между рядами, при любой сквозности в исследуемых пределах $0,2 \div 0,35$. Давление на сваи 1 ряда существенно превышает давление в последующих рядах.

Выводы и рекомендации. Полученные результаты позволяют считать наиболее оптимальной сквозность свай 1 ряда ростверка, равной 0,35.

Такая сквозность обеспечивает равномерное распределение давления по боковой поверхности свай.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСТРОВНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Вялый Е.А.,

СГУ, ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега», Сочи

Аннотация. *Рассмотрена роль гидравлического моделирования при решении задач проектирования островных гидротехнических сооружений. Проанализированы научно-исследовательские работы, решение задач которых требует выполнения специальных научных исследований на двух- и трехмерных моделях.*

Ключевые слова: *волновой режим, волновые нагрузки, гидравлическое моделирование, гидротехническое сооружение, искусственный остров, коэффициент волногашения, физическая модель.*

Введение. Проектирование и строительство искусственных островов на сегодняшний день производится по всему миру. Искусственные островные сооружения позволяют решать ряд важных задач. Согласно действующей нормативной базе, искусственные островные сооружения в зависимости от глубины в месте их размещения, относятся к I или ко II классу, при этом нагрузки и воздействия волн на сооружения I класса, а также на сооружения других классов при высоте расчетных волн более 5 метров необходимо уточнять на основе лабораторных исследований. При этом порядок, состав и методика таких исследований на сегодняшний день не регламентированы. Не существует единого подхода к выбору конструкций гидротехнических сооружений (далее – ГТС) искусственного острова и выполнению специальных исследований в качестве научного обоснования и сопровождения их (ГТС) проектирования. Важно отметить, что при проектировании ГТС искусственного острова плохо применим метод сравнения аналогов, поскольку каждое островное сооружение является уникальным и большинство искусственных островов построено в резко отличающихся природных условиях. Данные наблюдений за такими сооружениями, как правило, неприменимы, что еще раз говорит о необходимости проведения лабораторных исследований с использованием методов физического моделирования.

Материалы и методы. Исходными данными для выполнения работы являются отчеты о выполненных ранее НИР и НИОКР с применением методов физического гидравлического моделирования волновых воздействий на двух- и трехмерных моделях гидротехнических сооружений. Кроме того, использованы результаты выполненных автором в 2022÷2023 гг. экспериментов на физических моделях для выбора и оптимизации конструкции ГТС искусственного острова для конкретных природных условий Черноморского побережья г. Сочи. При написании работы применялись экспериментально-аналитические методы, методы физического моделирования взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями, методы анализа, синтеза, аналогии, наблюдения, прямого и косвенного измерений.

Результаты. В рамках работы приведен краткий обзор некоторых из выполненных ранее экспериментальных исследований ГТС искусственных островов на физических гидравлических моделях. Подчеркнута высокая значимость таких исследований в процессе проектирования островных сооружений и обозначены условия, когда такие исследования являются необходимыми. На примерах выполненных ранее экспериментальных исследований показаны результаты, которые могут быть получены благодаря применению двух- и трехмерных физических моделей проектируемых ГТС. Описаны результаты выполненных автором в 2022–2023 гг. экспериментов на физических моделях для выбора и оптимизации конструкции ГТС искусственного острова для конкретных природных условий Черноморского побережья г. Сочи. Таким образом, описан процесс оптимизации конструктивных решений ГТС искусственного острова для конкретных природных условий с применением методов физического моделирования: по результатам исследований был выбран оптимальный для данных природных условий тип конструкции (серия опытов №1); оценено влияние параметров волн (период, крутизна/пологость волн) на эффективность работы сооружения (серия опытов №2); для выбранной конструкции определена оптимальная сквозность (серия опытов №3); для той же конструкции с оптимальной сквозностью подбирался оптимальный объем волновой камеры (серия опытов №4).

Выводы и рекомендации. Гидравлическое моделирование на физических моделях выполняется, как правило, на этапе проектирования или предпроектных проработок для оптимизации параметров конструкции и обеспечения ее безопасной эксплуатации. Такие модели помогают в процессе принятия ответственных конструктивных решений и позволяют визуализировать процесс взаимодействия ГТС с волнами до выбора подходящей конструкции.

В европейских странах на сегодняшний день развитие технологий и методов физического моделирования при проектировании ГТС связано с устоявшейся необходимостью в обновлении познаний о схемах и способах защиты берегов (в особенности в трехмерном пространстве при взаимодействии волн и течений), а также с возрастающей потребностью в освоении возобновляемых источников энергии (в данном случае – энергии волн и приливов).

Физические модели – инструменты, которые используются для улучшения понимания физики прибрежных процессов, проверки и оптимизации проектных решений, предоставления наборов данных для улучшения используемых численных моделей.

Чаще всего экспериментальные исследования ГТС искусственных островов на физических гидравлических моделях рекомендованы к выполнению, а в ряде случаев проведение таких исследований является обязательным. Результаты работы показывают, какие задачи, возникающие на этапе проектирования островных ГТС, могут быть решены с помощью физических гидравлических моделей островных ГТС, в каком порядке и какими методами должны выполняться такие исследования, каков порядок оптимизации конструктивных решений с применением таких моделей.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ВОЛН И ДЕФОРМАЦИИ ДНА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ МОРЯ В РАМКАХ НЕЛИНЕЙНО-ДИСПЕРСИОННОЙ ТЕОРИИ МЕЛКОЙ ВОДЫ

Макаров К.Н.,

д.т.н., профессор, профессор кафедры строительства и сервиса СГУ, Сочи

Аннотация. В рамках нелинейно-дисперсионной теории мелкой воды разработаны методика и компьютерная программа для моделирования распространения волн в прибрежной зоне моря с учетом их обрушения при наличии неоднородного рельефа дна и проницаемых для волн гидротехнических сооружений. Приведены примеры расчетов.

Ключевые слова: теория мелкой воды, трансформация и обрушение волн, подводный вал, подводная траншея, проницаемые гидротехнические сооружения.

Введение. Одной из основных задач проектирования морских гидротехнических сооружений (берегозащитных, портовых, нефтегазодобывающих, рекреационных и др.) является моделирование трансформации волн в прибрежной зоне моря, в том числе при неоднородном рельефе дна и наличии гидротехнических сооружений, в частности, проницаемой конструкции.

Не менее важной задачей является прогноз деформаций дна в мелководной и прибойной зонах моря.

К проницаемым для волн сооружениям относятся: сквозные вертикальные и откосно-ступенчатые стены, защитные наброски из камня или фигурных блоков, волногасители в подпричальных откосах с ростверком, различные типы волноломов, подводные траншеи.

Результаты. Для решения указанных задач разработаны методика и компьютерная программа, учитывающие обрушение волн. Программа откалибрована по экспериментальным данным. Задачи решаются в рамках одномерной нелинейно-дисперсионной модели мелкой воды (длинных волн).

Процесс обрушения волн моделируется по специально разработанной методике, позволяющей исключить традиционный коэффициент турбулентной вязкости, локализовать зону обрушения волн и организовать сплошной счет без разрывов.

В результате расчета определяются:

- параметры трансформации волн на неоднородном рельефе дна (подводный вал, волнолом, подводная траншея), в том числе параметры волны при обрушении;
- при наличии сквозного или проницаемого сооружения - коэффициенты отражения и прохождения волн, коэффициент волногашения, высота заплеска волны;

- деформации дна в зоне влияния сооружений.

Выводы и рекомендации. В исходных данных можно задавать параметры учета или не учета нелинейности, дисперсии, трения о дно, деформаций дна.

Разработанная программа использовалась для расчета сквозных берегозащитных стен на Калининградском побережье Балтики, на побережье Дагестана, в Крыму, при расчете подпричальных волногасителей в портах Новороссийск, Туапсе и Сочи.

ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СООРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА «СТРОИТЕЛЬСТВО ПЕШЕХОДНОЙ НАБЕРЕЖНОЙ ВДОЛЬ УЛИЦЫ МОРСКАЯ В Г. САКИ (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)»

Шунько Н.В.¹, Зув Н.Д.², Шунько А.А.³

¹к.т.н., заведующий НОЦ «Гидротехника» НИУ МГСУ;

²к.т.н., НОЦ «Гидротехника НИУ» МГСУ;

³студент, НОЦ «Гидротехника» НИУ МГСУ

Аннотация. *Исследована методом физического моделирования эффективность проектных решений гидротехнических сооружений строящейся пешеходной набережной и устойчивости искусственного волногасящего (галечного) пляжа при воздействии на них наиболее сильного шторма Ю-З направления. Проведены экспериментальные исследования в волновом лотке с установкой в нем физических моделей ГТС (волнозащитной стены, волнолома, участка набережной с галечным пляжем) в масштабе 1:30.*

Ключевые слова: *физическое моделирование, волновое воздействие на сооружения.*

Введение. Состояние гидротехнических сооружений и берегозащиты Крымского полуострова неудовлетворительное, соответственно, необходимость в реализации проектов в области морского гидротехнического строительства весьма велика. Исследуемый, в настоящей работе, участок будущего строительства располагается на западном побережье полуострова Крым, в приморской курортной зоне города Саки, на песчаной косе шириной 640 м на берегу Каламитского залива Черного моря. Общая длина проектного участка – 5850 м. Пляжеудерживающие гидротехнические сооружения (буны и волноломы) размещаются на длине 2380 м в средней части проектного участка. Остальные 3470 м набережной (по флангам) защищаются пляжем без сооружений.

Цели и задачи экспериментальных исследований в волновом лотке:

1. Исследование волнового воздействия на участок набережной ПК 17+00,00 – ПК 17+50,00;
2. Исследование размыва искусственного галечного пляжа у лицевой стены набережной на участке ПК 19+00,00 – ПК 19+50,00;
3. Исследование устойчивости элементов конструкции волнолома на участке набережной ПК 19+70,00 – ПК 20+20,00;
4. Исследование волнового воздействия на искусственный галечный пляж, волнолом и лицевую стену набережной в комплексе на участке ПК 19+70,00 – ПК 20+20,00.

Эксперименты в волновом бассейне проводились в масштабе 1:50.

Цели и задачи экспериментальных исследований в волновом бассейне. На трехмерной модели в волновом бассейне, при подходе к сооружениям ГТС объекта волн с азимутом луча 225 град., выполнялся следующий состав НИР: изучение изменения линии уреза при воздействии расчетного шторма; изучение изменения размеров береговой части пляжа; исследование устойчивости элементов головы буны; исследование устойчивости элементов конструкции волнолома.

Результаты. На основании проведенных экспериментов в волновом лотке по исследованию воздействия шторма Ю-3 направления на сечение пикета 17,00, без сооружений, было выявлено, что состояние естественного песчаного пляжа после воздействия шторма южного направления в течении 16 часов (натурные данные) или 3 часа на модели существенно не изменилось. Вымыва грунта у лицевой стены набережной не было, так как волны Ю-3 направления шторма не доходили до ее основания.

На пикете 19,00 состояние искусственного волнозащитного галечного пляжа после воздействия того же шторма, результаты деформации пляжной зоны, без сооружений, согласовывались по описанию и расчету с данными, приведенными в результатах математического моделирования. Вымыва грунта у лицевой стены набережной не было, так как волны Ю-3 направления шторма не доходили до ее основания.

По результатам исследований на сечении пикетов 19,00-20,00 (с установкой сооружения подводного волнолома), с учетом устойчивости каменных элементов волнолома (массой 3,0 т), при воздействии на него самого опасного шторма юго-западного направления, рекомендовано применять в проекте камень массой 3,0 т, вместо предложенного по проекту камня массой 5,0 т. Высотную отметку, заложение откосов, ширину гребня волнолома, рекомендовано оставить проектные.

При выполнении экспериментов с установкой всех гидротехнических сооружений (буна, подводный волнолом, стена набережной) на пикете 20,00, были получены результаты: каменный подводный волнолом с элементами наброски 3,0 т – устойчив; монолитная конструкция лицевой стены набережной – устойчива; искусственный волнозащитный галечный пляж из элементов фракции 2,0 – 2,5 мм – размывался до динамического равновесия.

На основании проведенных экспериментов в волновом бассейне по исследованию воздействия шторма Ю-3 направления на конструкции подводного волнолома, буны, стенку набережной и волногасящий пляж, в районе пикетов 17,00-21,00, было выявлено: сброс элементов каменной наброски с тела волнолома и головы буны – отсутствовал; фиксировался волновой заплеск и перелив воды через верхнюю бровку морского откоса

волнолома и верхнее строение буны по фронту движения волны; высотная отметка, заложение откосов, ширина гребня волнолома и головы буны достаточны; вымыва грунта у лицевой стены набережной не было, так как волны юго-западного направления шторма не доходили до ее основания; монолитная конструкция лицевой стены набережной – устойчива.

Таким образом, с учетом устойчивости каменных элементов волнолома в двух опытах в волновом лотке (№ 3 и № 4) и в волновом бассейне, при воздействии на него самого опасного шторма юго-западного направления, рекомендуется применять в проекте камень, массой 3,0 т. Этот же камень рекомендуется применять и в конструкции головы буны.

Результаты исследований по изменению положения линии уреза воды на 17,00 – 19,00 пикетах, показали значительную деформацию естественного и искусственного пляжа. В районе за волноломом линии уреза уходят от защитного сооружения до 60,0 м при начальной ширине надводного пляжа 50,0 м. Между сооружением буны и волноломом, линия уреза приближается к защитному сооружению до 40,0 м, уменьшая ширину пляжа.

Измерения плоской, не размывтой части надводного пляжа за буной (начальный размер 50,0 м) показали, что размер пляжа до волнолома составляет, примерно, 35,0 м, в районе волнолома он увеличивается до 45,0 м и далее уменьшается до 38,0 м.

В районе 17,00 пикета происходит намыв материала пляжа на естественный пляж. Наиболее значительный намыв материала пляжа происходит вблизи буны, где он не доходит до сооружения на 5,0 м. При большем удалении от буны, расстояние до намыва увеличивается до 13,0 – 18,0 м, несмотря на приближение линии уреза к сооружению.

Следует отметить, что по результатам экспериментов в волновом лотке (без волнозащитных сооружений), размер плоской не размывтой части надводного пляжа, составлял значения: от 29,0 м до 30,0 м.

Аналогичные измерения в бассейне, показали результаты: между буной и волноломом, размеры не размывтого надводного пляжа - 35,0 м, а за волноломом, этот размер составил - от 45,0 м до 38,0 м.

Таким образом, строительство волнозащитных сооружений – подводных волноломов и бун, позволяет уменьшить размыв галечного пляжного материала в районе строительства пешеходной набережной.

Представленные в данной работе исследования, проведенные на основе физического моделирования, позволили подобрать наиболее эффективные конструкции проектных гидротехнических сооружений строящейся пешеходной набережной при воздействии на них наиболее опасного шторма.

ДОСТОВЕРНОСТЬ И ПРИМЕНИМОСТЬ ЧИСЛЕННЫХ РАСЧЕТОВ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

Ляпичев Ю.П.,

доктор технических наук, профессор, международный консультант по большим плотинам и ГЭС, член СИГБ (ICOLD) в 1993-2013 годах по численным расчетам и проектированию плотин

Аннотация. *В настоящее время применение численных расчетов к реальным проблемам математического моделирования поведения плотин часто страдает от расхождения во взглядах между специалистами по математическому моделированию и инженерами и менеджерами по плотинам. Первая группа обычно включает специалистов по информационным технологиям, поскольку они способны разработать полноценные компьютерные модели. Специалисты второй группы часто предпочитают возвращаться к традиционным методам расчета и эмпирическим методам, основанным на их проверенном опыте. Целью этой работы, основанной на рекомендациях Международных рабочих семинаров, организованных Комитетом СИГБ по компьютерным аспектам расчета и проектирования плотин, помочь инженерам по плотинам взаимодействовать со специалистами по математическому моделированию и работать с ними без языковых барьеров или расхождений в понимании. В этом отношении оценка достоверности и применимости численных расчетов плотин поможет инженерам разработать оптимальный проект плотины. Оценка достоверности численных расчетов поведения плотин была выполнена по данным 10 Международных рабочих семинаров, организованных упомянутым Комитетом СИГБ в Италии (1991, 1992), Франции (1994, 2009), Испании (1996), США (1999), Австрии (2001), Румынии (2003), Китае (2005), России (2007), в которых автор статьи, члены Комитета и специалисты этих стран участвовали.*

Ключевые слова: *индекс достоверности; численная модель и расчеты; статическое и сейсмическое поведение грунтовой плотины.*

Введение. *В настоящее время применение численных расчетов к реальным проблемам математического моделирования поведения плотин часто страдает от расхождения во взглядах между специалистами по математическому моделированию и инженерами и менеджерами по плотинам. Первая группа обычно включает специалистов по информационным технологиям, поскольку они способны разработать полноценные компьютерные модели. Специалисты второй группы часто предпочитают возвращаться к*

традиционным методам расчета и эмпирическим методам, основанным на их проверенном опыте.

Материалы и методы. Оценка достоверности численных расчетов поведения грунтовых плотин была выполнена по данным 10 Международных рабочих семинаров, организованных упомянутым Комитетом СИГБ в Италии (1991, 1992), Франции (1994, 2009), Испании (1996), США (1999), Австрии (2001), Румынии (2003), Китае (2005), России (2007), в которых автор статьи, члены Комитета и специалисты этих стран активно участвовали.

Результаты. Целью этой работы, основанной на рекомендациях Международных рабочих семинаров, организованных Комитетом СИГБ по компьютерным аспектам расчета и проектирования плотин, помочь инженерам по грунтовым плотинам взаимодействовать со специалистами по математическому моделированию и работать с ними без языковых барьеров или расхождений в понимании. В этом отношении оценка достоверности и применимости численных расчетов грунтовых плотин поможет инженерам разработать оптимальный проект плотины.

Комитет СИГБ по компьютерным аспектам расчета и проектирования плотин опубликовал в 2013 году Бюллетень 155 “Руководящие указания по использованию численных моделей при проектировании плотин”. Оценка достоверности численных расчетов поведения плотин была основана на данных 10 Международных рабочих семинаров, проведенных этим Комитетом СИГБ, в которых автор статьи и другие члены Комитета участвовали. Каждый семинар носил рабочий характер: специалисты из многих стран могли проверить и сравнить свои программы численных расчетов и модели материалов плотин по 4 различным темам главных аспектов статического и сейсмического поведения плотин (по 2 темам по грунтовым и бетонным плотинам). Результаты многих расчетов сравнивались с данными мониторинга поведения реальных плотин.

Выводы и рекомендации. Выполнено численное моделирование главных аспектов поведения грунтовых плотин при действии статических и сейсмических нагрузок.

На основе 10 Международных семинаров были разработаны рекомендации по выбору математических моделей материалов этих плотин и их оснований для выполнения численных расчетов напряженно-деформированного состояния (НДС).

МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛИТОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, УЧИТЫВАЮЩИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ НАНОСОВ С ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ

Платонов С.А.¹, Козлов Д.В.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

² д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены проблемы литодинамики песчаного побережья Юго-Восточной Балтики с применением композитного моделирования. Проанализированы методы моделирования литодинамических процессов. Выполнено физическое моделирование и численное в программном комплексе MIKE 21.

Ключевые слова: литодинамика, гидротехнические сооружения, транспорт наносов, математическое и физическое моделирование, акватория.

Введение. В настоящее время в России актуально развитие портового строительства, что определяется необходимостью наращивания темпов экономического развития, оптимизации логистики и интенсификации морских грузоперевозок.

Для проектирования портовых гидротехнических сооружений крайне важно выполнение достоверного моделирования (как гидроволнового, так и литодинамического) будущих объектов и их взаимодействия с естественной средой для подбора оптимальных решений и минимизации затрат на строительство.

Решение этих задач может быть выполнено следующими методами: аналитическими; математического моделирования; физического моделирования; композитного моделирования.

Материалы и методы. Рассмотрены вышеуказанные методы моделирования литодинамических процессов с выделением преимуществ и недостатков каждого. Также приведены примеры моделирования реальных гидротехнических сооружений, в частности рассмотрены проблемы литодинамики песчаного побережья юго-восточной Балтики с применением композитного моделирования. Физическое моделирование выполнялось в бассейне, численное – в программном комплексе MIKE 21.

Результаты. При выполнении композитного моделирования акватории и гидротехнических сооружений на юго-востоке Балтийского моря были получены результаты, на основании которых дважды откорректированы изначальные проектные решения:

– по результатам физического моделирования пляжа – увеличена масса камня бун, головы бун усилены тетраподами, волноломы из тетраподов удлинены, а также повышена отметка их гребней;

– по результатам математического моделирования литодинамического режима – для уменьшения заносимости защищенной акватории и подходного канала удлинена крайняя восточная буна, при этом форма крайнего восточного волнолома трансформирована из прямой в изломанную.

Выводы и рекомендации.

1. Моделирование литодинамических процессов под действием волн и течений является наиболее сложным для достоверного прогнозирования.

2. Основные преимущества численного моделирования - независимость от масштабных искажений модели, простота корректировки модели и возможность в любой момент вернуться к эксперименту.

3. Основные преимущества физического моделирования - возможность учета различных особенностей естественных условий, а также возможность проверки проектных решений и их корректировка.

4. С учетом преимуществ и недостатков методов математического и физического моделирования оптимальным решением задач литодинамики является метод композитного или гибридного моделирования, при котором в ходе последовательного численного моделирования формируются исходные данные для физического моделирования. При этом результаты физического моделирования используются для калибровки численной модели.

КЛЮЧЕВЫЕ АСПЕКТЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДНОТРАНСПОРТНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Галимов И.М.¹, Сергеев С.А.²

¹ к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

² к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

Аннотация. Рассмотрен обширный опыт НИУ МГСУ по выполнению комплекса работ по научно-техническому сопровождению проектирования гидротехнических сооружений (ГТС), в том числе I-го класса ответственности. Изложены замечания, выявленные в ходе анализа проектной документации ГТС, даны рекомендации для их недопущения в процессе проектирования.

Ключевые слова: научно-техническое сопровождение, гидротехнические сооружения.

Введение. В соответствии с п. 3.22 СП 22.13330.2016 научно-техническое сопровождение – это комплекс работ научно-аналитического, методического, информационного, экспертно-контрольного и организационного характера, осуществляемых в процессе изысканий, проектирования и строительства в целях обеспечения надежности сооружений с учетом применения нестандартных расчетных методов, конструктивных и технологических решений.

Материалы и методы. Материалами исследований являются сведения, полученные на основе опыта НИУ МГСУ в области НТС проектирования ГТС. Данные материалы использовались для теоретического анализа и обобщения.

Результаты. В соответствие с п. 4.18 СП 22.13330.2016 состав работ по научно-техническому сопровождению инженерных изысканий, проектирования и строительства оснований, фундаментов и подземных частей сооружений следует определять генеральным проектировщиком и согласовываться заказчиком строительства.

В состав работ научно-технического сопровождения могут быть включены: разработка рекомендаций к техническому заданию и программе инженерных изысканий; оценка и анализ материалов инженерных изысканий; разработка нестандартных методов расчета и анализа; оценка геологических рисков; прогноз состояния оснований и фундаментов проектируемого объекта с учетом всех возможных видов воздействий; геотехнический прогноз влияния строительства на окружающую застройку, геологическую среду и экологическую обстановку; разработка программы геотехнического и экологического мониторинга; выявление возможных сценариев аварийных ситуаций; разработка технологических регламентов на специальные виды работ; выполнение опытно-исследовательских работ; обобщение и анализ результатов всех видов геотехнического мониторинга, их сопоставление с результатами прогноза; оперативная разработка рекомендаций или корректировка проектных решений на основании данных геотехнического мониторинга при выявлении отклонений от результатов прогноза.

Независимое составление расчетных моделей с использованием альтернативных сертифицированных программных средств предполагает сравнительный анализ расчетных схем и полученных результатов расчета, осуществляемый организацией, отличной от той, которая разрабатывала; определение соответствия принятых конструктивных решений требованиям действующих норм и правил проектирования; определение правильности расчетных моделей, использованных при проектировании (проведение двух независимых расчетов с использованием независимо разработанных программных средств; выполнение в рамках НТС сравнительного анализа расчетных схем и результатов расчетов; для зданий повышенного уровня ответственности (класс КС-3 по ГОСТ 27751-2014) первый расчет выполняется генеральным проектировщиком, второй - организацией, выполняющей НТС); проверку обоснованности принятых проектных решений, не регламентированных нормативными документами; локальную проверку проектных решений, расчетов наиболее ответственных элементов конструкции.

Научно-техническое сопровождение (далее – НТС) инженерных изысканий, проектирования и строительства зданий и сооружений повышенного уровня ответственности предусматривается Техническим регламентом о безопасности зданий и сооружений, Межгосударственным стандартом ГОСТ 27751-2014, СП 20.13330.2016 «Нагрузки и воздействия» СП 22.13330.2016 «Основания зданий и сооружений», СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы», СП 267.1325800.2016 «Здания и комплексы высотные», СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах», МРДС 02-2008.

НИУ МГСУ накопил серьезный опыт выполнения комплекса работ по НТС проектирования гидротехнических сооружений (далее – ГТС), в том числе 1-ого класса ответственности. В данной работе изложены ключевые замечания, выявленные в ходе анализа проектной документации ГТС, и даны рекомендации для их недопущения в процессе проектирования.

Выводы и рекомендации. По результатам данной работы составлены предложения, направленные на недопущения ошибок в процессе выполнения инженерных изысканий и проектирования ГТС высокой степени ответственности.

НТС проектирования рекомендуется осуществлять со стадии разработки ТЗ на проектирование в целях научного обоснования технических и эксплуатационных параметров объекта. Например, если решается проблема, связанная с судопропуском путем реконструкции гидротехнических сооружений, необходимо разработать научно-обоснованное решение, которое не будет ухудшать эксплуатационных характеристик объекта (снижать грузопропуск).

Научно-обоснованное решение следует осуществлять в рамках выполнения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В процессе консультационного сопровождения выявлялись замечания на стадии расчетного обоснования конструктивных решений, такие как неправильное назначение класса гидротехнических сооружений; не учет ледовых нагрузок; ошибки в определении нормативных и расчетных значений нагрузок от расчетного судна, эксплуатационных нагрузок; в проверках прочности сечения шпунтовых стен не учитывалась продольное

усилие (в соответствии с СП 16.13330.2017 проверку прочности необходимо выполнять как для сжато-изогнутых элементов (с учетом продольной силы N) по формуле: $\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W}$; не учет коэффициента $K_a=1,5$ (учитывающего перераспределение эпюры активного давления грунта, неравномерность натяжения анкеров, зависание грунта на анкерах) при определении растягивающего усилия в расчете анкерных тяг (требование СП 287.1325800.2016 (Сооружения морские причальные. Правила проектирования и строительства).

Были установлены наиболее распространенные замечания в ходе анализа инженерно-геологических изысканий:

- прочностные и деформационные свойства грунтов установлены только на основании результатов статического зондирования и данных СП 22.13330, что не соответствует требованиям п. 5.15 СП 23.13330.2018;

- отсутствуют результаты полевых испытаний или трехосных лабораторных испытаний, что не соответствует требованиям п. 5.18 СП 23.13330.2018;

- отсутствует прогноз изменения инженерно-геологических условий (качественный прогноз возможных изменений во времени и в пространстве инженерно-геологических условий исследуемой территории (состава, состояния и свойств грунтов, подземных вод, геологических и инженерно-геологических процессов) в период строительства и эксплуатации сооружения), необходимый в соответствии с требованиями п. 6.3.1.5 СП 47.13330.2016.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕКТОВ БАЛАКЛАВСКОЙ БУХТЫ)

Галимов И. М.¹, Черешнев В. П.², Филиппов В. В.³, Марков А. О.³

¹ к.т.н., доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва;

² инженер-гидротехник ООО НПИ «Гидротехника», Москва;

³ руководитель испытательного центра ООО НПИ «Гидротехника», Москва;

⁴ генеральный директор ООО НПИ «Гидротехника», Москва

Аннотация. Проанализированы современные методы обследования причальных сооружений (на примере объектов Балаклавской бухты).

Ключевые слова: обследование портовых ГТС, ТНПА, цифровая фотограмметрия, гидрографические изыскания, сейсмоакустический метод, георадиолокационное исследование, расчетное обоснование фактической несущей способности.

Введение. Благодаря стремительным темпам развития измерительной техники и технологий появляется возможность значительно повысить качество работ и оптимизировать трудозатраты специалистов при выполнении комплексного инженерного обследования портовых гидротехнических сооружений (ПГТС).

Материалы и методы. Объектами исследований являются причальные и берегоукрепительные сооружения, расположенные в Балаклавской бухте г. Севастополя (Республика Крым), подлежащие комплексному инженерному обследованию с использованием современного оборудования и методик (ультразвуковая толщинометрия, сейсмоакустические, георадиолокационные и гидролокационные исследования, цифровая фотограмметрия, подводное обследование посредством ТНПА и др.) для качественной оценки технического состояния конструктивных элементов сооружений. Полученные данные используются в качестве исходных для выполнения расчетного обоснования фактической прочности и несущей способности сооружений в программных комплексах на основе метода конечных элементов (Plaxis 2D, Midas GTS NX).

Результаты. В стандартный перечень работ по инженерному обследованию ПГТС входит инструментальный и визуальный контроль конструктивных элементов сооружений в надводной и подводной зонах. Техническое состояние сооружений в первую очередь определяется на основании инструментальных операций: геодезическая съемка электронными высокоточными приборами, определение прочности бетона прямыми и косвенными методами, водолазное обследование, промеры глубин и т.д. Однако, на практике зачастую возникает ряд трудностей, где использование всем привычных методик обследования не позволяет качественно оценить техническое состояние. К таким трудностям

можно отнести: сжатые сроки, вызванные как административным, так и природным факторами; отсутствие конструктивных сведений об исследуемом объекте, связанные с утратой проектной, исполнительной и эксплуатационной документации.

В 2022-2023 г. специалисты НИУ МГСУ и ООО НПИ «Гидротехника» в рамках выполнения работ по разработке проекта «Создание яхтенной марины г. Севастополь» проводили обследование существующих причальных и берегоукрепительных сооружений, строительство которых датируется 1945 – 2010 гг. Для оптимизации трудозатрат были применены следующие современные методы обследования: гидролокационное площадное обследование подводных конструкций сооружений и дна акватории; площадное подводное визуальное обследование посредством ТНПА; создание цифровой модели местности средствами фотограмметрии; ультразвуковая толщинометрия подводных металлических конструкций в режиме А-скан; георадиолокационный поиск заглубленных конструктивных элементов сооружений; исследование глубины погружения свай шпунтовых стенок и определение их сплошности сейсмоакустическим методом

Результатами комплексного инженерного обследования портовых гидротехнических сооружений являются сведения о техническом состоянии элементов конструкций, фактические прочностные и геометрические характеристики основных несущих элементов, планово-высотное положение сооружений и рельеф дна в операционной акватории.

Данные инженерного обследования используются для выполнения расчетного обоснования фактической прочности и несущей способности как отдельных конструктивных элементов, так и сооружения в целом. На основании данных расчетного обоснования сделаны выводы, о том, какие сооружения подлежат дальнейшей эксплуатации при условии выполнения работ по капитальному ремонту или реконструкции, а какие требуют полной ликвидации с последующим строительством новых объектов под необходимые эксплуатационные нагрузки и отметки дна в операционной акватории.

Выводы и рекомендации. Полученные данные по результатам настоящего инженерного обследования также будут использоваться для разработки проектных решений по капитальному ремонту, реконструкции или модернизации причальных сооружений.

Современные методы обследования портовых гидротехнических сооружений с использованием инновационных приборов и технологий позволяют достаточно качественно, с минимальными трудозатратами, оценить техническое состояние отдельных элементов и сооружений в целом, а используемые математические расчетные комплексы, предоставляют сведения об остаточной несущей способности.

Если техническое состояние того или иного элемента сооружения инструментально определить невозможно, остаточная несущая способность может быть определена путем проведения натурных испытаний, имитирующих нормальную эксплуатацию сооружения (навал судна, технологическая нагрузка и пр.).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ НАБЕРЕЖНЫХ С ГРУНТОВЫМ АНКЕРОМ ПАРУСНОГО ТИПА

Филиппов В.В.¹, Левачёв С.Н.², Галимов И.М.³

¹ *руководитель испытательного центра ООО НПИ «Гидротехника», Москва;*

² *к.т.н., научный советник АО «Акватик», Москва;*

³ *к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация. *Установлен оптимальный профиль несущего элемента (паруса) позволяющий оптимизировать напряженно-деформированное состояние лицевого элемента подпорной стенки, максимального использовать прочностной потенциал полотна в виде изделия из композитного материала. Получены поправки для расчетного обоснования конструкции набережной парусного типа.*

Ключевые слова: *портовые гидротехнические сооружения, коррозионный износ, набережные парусного типа, изделия из композитного материала, экспериментальная установка подпорной стенки парусного типа.*

Введение. Значительный физический износ портовых гидротехнических сооружений обуславливается, как правило, повышенным коррозионным износом основных несущих (металлических и железобетонных) элементов. Воздействие химически активной водно-атмосферной среды оказывает значительное влияние на надежность и долговечность элементов конструкций, выполненных из традиционных материалов. Применяемые антикоррозионные составы и смеси не способны полностью остановить процесс разрушения, а лишь замедляют их. А применение таких защитных составов в подводной зоне на существующих сооружениях сильно усложняется как с технологической точки зрения, так и с экономической.

Одним из рациональных решений по предотвращению коррозионных процессов в конструктивных элементах сооружений является замена источника коррозии (металла) на материал, абсолютно нейтральный к агрессивным средам. Таким материалом является композит, обладающий высокой прочностью и отвечающий нормативным требованиям по надежности и долговечности. Во многих отраслях, в том числе и в промышленном и гражданском строительстве, активно применяются изделия заводского изготовления из композитных материалов, сформированных из углеродного, стеклянного и других видов волокон в единую форму посредством смол или полимеров.

В настоящей работе рассматривается возможность использования изделий из композитных материалов в качестве несущего элемента в конструкции набережной парусного типа. Набережные парусного типа были предложены и исследованы научными сотрудниками Ленинградского института водного транспорта (ЛИВТ) в 1960 гг., однако, в виду отсутствия необходимого материала для изготовления гибкого полотна паруса, отвечающего сразу всем требованиям по обеспечению гибкости, прочности, долговечности,

устойчивости к коррозии, так и не нашли применения в гидротехнической практике и остались на уровне прототипа.

Материалы и методы. На базе грунтового сектора Научно-исследовательской лаборатории гидротехнических сооружений НИУ МГСУ авторами была разработана и смонтирована экспериментальная установка подпорной стенки парусного типа для исследования работы гибкого несущего элемента (паруса) в виде изделия из композитного материала.

Цель исследования: определение напряженного состояния гибкого полотна (паруса) при его различном пространственном положении, а также при изменении технологических нагрузок на грунт обратной засыпки.

Задачи исследования: определение положения паруса, при котором достигаются минимальные растягивающие усилия; определение зависимости растягивающего усилия гибкого полотна от его длины, пространственного положения, а также от интенсивности технологической нагрузки при постоянной свободной высоте сооружения.

Результаты. Экспериментальная установка подпорной стенки монтировалась в грунтовой лотке размерами 2,0x5,0x2,5(h) м. Подпорная конструкция представляет собой парус в виде полотна, изготовленного из углеродных лент FibArm Tape-230/300 путем их склеивания специализированным двухкомпонентным эпоксидным составом FibArm Resin 230+. Парус монтируется посредством двух распределительных поясов, имитирующих лицевую стенку и анкерную опору соответственно.

Пространство грунтовой лотки, образованное над полотном паруса засыпается песчаным грунтом с послойным уплотнением и после устройства отсыпки создается полезное нагружение в виде кладки из ж/б плит. Регистрируемые параметры при проведении эксперимента: определение деформаций полотна, определение сжимающих напряжений в основании верхнего и нижнего распределительных поясов. Измерения выполнялись с использованием специализированных высокоточных струнных датчиков напряжения и тензорезисторов, а также вторичных приборов для снятия показаний. Реализована практическая возможность использования изделий из композитного материала в качестве несущего элемента в несвойственном для этих изделий исполнении – анкерующий элемент в грунте обратной засыпки в виде паруса

Выводы и рекомендации. Результаты серии экспериментальных исследований позволили установить оптимальный профиль несущего элемента (паруса) позволяющий оптимизировать напряженно-деформированное состояние лицевого элемента подпорной стенки, а также максимального использовать прочностной потенциал полотна в виде изделия из композитного материала

На основании верификации данных выполненных исследований на физической и математической модели получены поправки для расчетного обоснования конструкции набережной парусного типа.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ, ВЫЗВАННЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ И ОПОЛЗНЯМИ

Гусаров Р.Н.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, инженер-проектировщик 1-й категории;

² д.т.н., профессор, профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Аннотация. Проведены экспериментальные исследования, построенные на физическом моделировании волн цунами в экспериментальной лабораторной установке гидравлической лаборатории НИУ МГСУ. Выполнен сравнительный анализ смоделированных волн с существующими записями цунами. Подготовлено предложение по расширению методики расчета гидротехнических сооружений вертикального типа на нагрузки от сейсмических волн цунами.

Ключевые слова: цунами, физическое моделирование, экспериментальная установка, методики моделирования, волны.

Введение. Цунами являются одними из самых опасных волн. Их воздействия на береговые населенные территории приводят к значительным разрушениям и жертвам среди населения. Основными источниками возникновения цунами волн являются сейсмические воздействия и оползни. Цунами, порожденное оползнем является одиночной волной – солитоном, в то время как цунами, вызванное землетрясением, представляет собой, так называемую, N-волну. Разница одиночных волн и N-волн заключается в профиле волны, а также, в направлении движения потоков воды во время формирования волны, что делает нагрузки от данных волн, а также их моделирование отличными друг от друга. Одиночная волна, при формировании, начинается с повышения уровня воды, а N-волны начинают формироваться при обратном движении воды от берега (отлива), это создает впадину перед ударной волной. На сегодняшний день в методиках расчета портовых гидротехнических сооружений, а также во многих способах физического моделирования, цунами волны рассматриваются как одиночные волны, что не является неправильным, но не учитывает особенности цунами волн, вызванных землетрясением. В связи с этим исследования различных видов цунами, их физическое моделирование воздействия на гидротехнические сооружения являются важными на сегодня.

Материалы и методы. В рамках НИУ МГСУ были проведены экспериментальные и аналитические работы по изучению, сопоставлению и анализу цунами волн различной формы.

Результаты. Экспериментальные исследования были построены на физическом моделировании цунами волн с помощью разработанной экспериментальной лабораторной установки в гидравлической лаборатории в НИУ МГСУ, способной осуществлять воспроизведение различных цунами волн по двум предложенным методикам моделирования.

Аналитические исследования проводились в области методик расчета гидротехнических сооружений вертикального типа на воздействия волн от цунами.

Благодаря разработанной экспериментальной установке в НИУ МГСУ были проведены серии экспериментов по изучению волн цунами.

Программа опытов включала следующие серии экспериментов: проверка методик моделирования, исследование формы цунами в зависимости от глубины воды, исследование отраженных волн цунами, исследования изменения формы волны от параметров экспериментальной установки, исследования изменения формы оползневого цунами в зависимости от угла наклона соскальзывающего твердого тела в воду, сравнительный анализ смоделированных оползневых и сейсмических цунами, сравнительный анализ смоделированных волн с существующими записями цунами.

Также помимо экспериментов были проведены исследования в области расчетов гидротехнических сооружений и подготовлено предложение по расширению методики расчета гидротехнических сооружений вертикального типа на нагрузки от сейсмических цунами.

Выводы и рекомендации. Проведены экспериментальные исследования, построенные на физическом моделировании волн цунами в экспериментальной лабораторной установке гидравлической лаборатории НИУ МГСУ.

Выполнен сравнительный анализ смоделированных волн с существующими записями цунами.

Подготовлено предложение по расширению методики расчета гидротехнических сооружений вертикального типа на нагрузки от сейсмических волн цунами.

ИЗМЕНЕНИЕ ВОЛНОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ СТЕНКУ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКОМ ПОВЫШЕНИИ УРОВНЯ МОРЯ

Долгушев Т.В.¹, Кантаржи И.Г.²

¹*аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;*

²*д.т.н., профессор, профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация. *Дана оценка влияния климатических изменений уровня режима акватории на величину волновой нагрузки, связанной с увеличением глубины и изменениями параметров расчётной волны при переходе из глубоководной зоны акватории в мелководную зону расположения оградительного портового гидротехнического сооружения.*

Ключевые слова: *климатические изменения, гидротехнические сооружения, трансформация волн, оградительный мол.*

Введение. Влияние климатических изменений уровня режима акватории на портовые гидротехнические сооружения заключается в изменении параметров расчётной волны и в учёте непосредственно изменения уровня отметки невзволнованной акватории. Оба фактора оказывают влияние на величину волновой нагрузки.

Несмотря на широкое распространение методов математического моделирования, позволяющих достоверно определять параметры ветровых волн на глубокой воде и в прибрежной зоне, отсутствие учёта долгосрочных климатических изменений уровня режима может привести к занижению параметров расчётной волны и как следствие снизить безопасность и надёжность проектируемого сооружения.

Результаты. В результате анализа имеющихся данных можно заключить, что в Российском секторе Арктики и Дальнего Востока наблюдается повсеместное повышение уровня режима, которое не учитывается в действующих методиках проектирования портовых гидротехнических сооружений.

Отсутствие учёта данного процесса увеличивает эксплуатационные риски объекта и повышает величину дальнейших затрат собственником объекта, на модернизацию существующих проектных решений.

Была разработана методика для оценки изменения параметров расчётной волны при трансформации и рефракции в мелководной зоне акватории с учётом климатических изменений уровня режима акватории.

Выводы. Разработанная методика для оценки изменения параметров расчётной волны при трансформации и рефракции в мелководной зоне акватории с учётом климатических изменений уровня режима акватории позволила:

- количественно и качественно оценить изменения параметров расчётной волны;
- установить, что для волн 1% обеспеченности в системе расчётного шторма увеличение высоты волны не превышает 5%, а для волн более частой повторяемости с малой величиной средней высоты волны на глубокой воде может составить до 24%.

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ БЕРЕГА У ПОРТОВ С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Куприн А.В.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Получены космические снимки с использованием программы Google Earth Pro. Проанализирована с использованием космических снимков динамика береговой линии нескольких исследуемых побережий: Геленджикской бухты, расположенной в северо-западной части Черного моря; Лужской губы, расположенной в юго-восточной части Финского залива; побережья у порта Темрюк Темрюкского залива, расположенного в юго-восточной части Азовского моря.*

Ключевые слова: *космический мониторинг, динамика береговой линии, вдольбереговой перенос наносов, размыв, аккумуляция.*

Введение. Для иллюстрации возможного использования данных дистанционного зондирования для моделирования движения наносов рассматриваются условия Геленджикской бухты расположенной в Российской северо-западной части Черного моря; район Лужской губы близ города Усть-Луга расположенной в юго-восточной части Финского залива; побережье близ порта Темрюк Темрюкского залива расположенного в юго-восточной части Азовского моря по данным спутниковым снимкам изменения береговой линии, представленным Google Earth, за многолетний период.

Результаты. Были рассмотрены три случая применения мониторинга с помощью космических снимков к различным задачам. В случае Геленджикской бухты космические снимки служили инструментом для верификации математической модели. В случае подходного канала порта Темрюк космические снимки позволили оценить предлагаемые инженерные решения по защите подходного канала и управления потоками наносов. В случае Усть-Луги космические снимки позволили оценить возможные проблемы при строительстве будущего объекта.

Геленджикская бухта. Был проведен анализ изменений береговой линии на отдельных участках Геленджикской бухты. Анализ спутниковых снимков показывают, в западной части близ пляжа «Толстый мыс» отмечается зона перехода от размыва донных отложений к зоне их осаждения, как и предсказывает численное моделирование. Рассматривая зону восточнее пляжа «Сады морей» на космических снимках отчетливо

видно, что за 19 лет произошел размыв на 50 м, хотя по результатам моделирования, рассматриваемый участок находится в зоне аккумуляции наносов. Центральный пляж города Геленджик находится в аккумулятивной зоне и в зоне нейтральной к размывам под влиянием сильных штормов за многолетний период, что подтверждается на основе анализа спутниковых снимков.

Подходной канал морского порта Темрюк. Поставленная в настоящее время задача реконструкции восточного и западного молов порта требует рассмотрения влияния проектов реконструкции на заносимость подходного канала. Для решения вопроса об удлинении мола следует проследить динамику береговой линии в окрестностях сооружения. Из анализа космических снимков восточной стороны следует, что за 13 лет береговая линия сместилась в сторону моря примерно на 40-50 м. Через 25 лет восточный мол полностью утратит функцию защитного сооружения, и весь поток песчаных наносов будет попадать в канал в обход мола. Береговая линия участка, примыкающего к каналу с западной стороны, колеблется год от года с амплитудой порядка 10 м. Однако ее среднее положение остается в целом стабильным. Тенденции к размыв не обнаруживаются.

Усть-Луга. В районе устья р. Луга близ города Усть-Луга (Лужская губа Финского залива) исследуется возможность создания портового терминала. Необходимо понимание на уровне предпроектной критичности для размещения морского терминала такого фактора, как заносимость акватории.

По космическим снимкам видно, что береговая линия не претерпевает значительных изменений в течение периода с 2010 по 2022 годы. Сток реки Луга не влияет значительно на переформирование исследуемого побережья. В целом береговая линия сохраняет свою стабильность, демонстрируя выдвигания - отступы берега интенсивностью до 1 м/год.

Выводы и рекомендации. Полученные космические снимки позволяют провести численное моделирование и проанализировать динамику береговых линий побережий.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЬДА С ВОЛНАМИ И СООРУЖЕНИЯМИ

Афонюшкин М.С.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Представлены современные методы физического моделирования взаимодействия волн и льда. Проанализированы на основе сравнения натурных испытаний и численной модели характеристики, от которых зависит нагрузка при дроблении льда с фазовой блокировкой – длина разрушения льда и частота собственных колебаний сооружения. Показано, что длина разрушения льда не зависит от его толщины, а частота собственных колебаний сооружения обратно пропорциональна скорости движения льда. Даны рекомендации по устранению влияния эффекта фазовой блокировки на сооружение.*

Ключевые слова: *математические модели, физическое моделирование, взаимодействие льда с волнами и сооружениями.*

Введение. Высокая современная активность в освоении арктической части Российского шельфа является весомым предлогом к изучению процессов взаимодействия морского льда с волнами и гидротехническими сооружениями.

Перечисляются основные свойства льда, а также то, как волны влияют на эти свойства посредством диссипативных процессов и процессов рассеивания. Эти процессы приводят к потере энергии волн через турбулентность, трение и деформацию льдин, а также к рассеянию волн, которое только перераспределяет энергию между различными волновыми модами без изменения общей энергии. Подчеркивается решающая роль распределения размера льдин в процессах таяния морского льда и распространения океанских волн.

Результаты. Анализ исследований в этой области позволил выделить основные полученные результаты, а также определить направление собственного исследования.

Описаны модели взаимодействия волн и льда. Выделены три класса моделей – модели льдин, эффективной среды и уравнения переноса. Модели льдин рассматривают отдельные льдины как фундаментальные степени свободы и применяют двумерное рассеяние волн от плавающей льдины неопределенной длины. Модели эффективной среды описывают поверхностный слой океана как однородный вязкоупругий материал, а модели уравнения переноса описывают распространение плотности энергии волн в терминах уравнения переноса.

Представлены современные достижения в области физического моделирования взаимодействия волн и льда. В качестве модели анализируется лед виртуальной эквивалентной толщины MIVET, у которого по сравнению с обычным модельным льдом уменьшена толщина и увеличена жесткость, благодаря чему сокращаются слишком сильное затухание волновой энергии во льду, не характерное для реального морского льда.

Рассматриваются модели взаимодействия волн и льда на примерах статей о воздействии льда на многоопорные сооружения с учетом ледяного завала между опорами и на наклонные сооружения с учетом вертикальной стенки из намороженного льда. С помощью программного комплекса ANSYS строятся соответствующие модели, где численным методом определяются коэффициенты, учитывающие влияние эффекта смерзания льда с конструкциями на итоговую нагрузку.

Проанализированы данные по учету фактора фазового дробления льда перед морскими сооружениями при механизме вязкого разрушения, которые дают представление о том, как между собой связаны ледовая нагрузка и колебания сооружения.

На основе натуральных испытаний и численной модели анализируются две характеристики, от которых зависит нагрузка при дроблении льда с фазовой блокировкой – длина разрушения льда и частота собственных колебаний сооружения.

Показано, что длина разрушения льда не зависит от его толщины, а частота собственных колебаний сооружения обратно пропорциональна скорости движения льда. Даются рекомендации по устранению влияния эффекта фазовой блокировки на сооружение.

Выводы и рекомендации. В результате анализа физических моделей взаимодействия волн и льда к преимуществам можно отнести повышение безопасности и эффективности, к недостаткам – сложность моделей и ограниченная применимость.

Для более точного определения нагрузки в рамках собственных исследований решено объединить моделирование взаимодействия волн и льда с моделированием взаимодействия льда и сооружений.

КОЭФФИЦИЕНТ ОТРАЖЕНИЯ ВОЛН ОТ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Руденко О.Е.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены параметры ветровых волн и типы акваторий. Выявлены основные параметры, влияющие на процесс дифракции. Рассмотрены случаи взаимодействия волн с вертикальной стенкой, откосным сооружением и сквозным. Приведены основные волновые теории, реализуемые в современных программах для численного моделирования, при этом выявлено большое влияние дифракции на результирующий волновой режим. Влияние коэффициента отражения волн от ГТС, а также шероховатости, подтверждается численным моделированием гидроволнового режима на акватории ГК Янтарь (г. Пионерский) на Юго-Востоке Балтийского моря.

Ключевые слова: параметры волнения, дифракция, коэффициент отражения, шероховатость, волновая теория, гидротехнические сооружения (ГТС), математическое и физическое моделирование, акватория.

Введение. В соответствии с утверждённым правительством РФ документом от 28.09.2012 г. «Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года» значение морских портов для развития экономики страны чрезвычайно велико. Основной задачей реализации «Стратегии...» является увеличение портовых мощностей и обеспечение эффективного развития портовой инфраструктуры. Таким образом, исследования, направленные на повышение эффективности работы порта, имеют актуальное значение.

Результаты. В последние годы инженерная мысль активно использует экспериментальные типы конструкций ГТС. Но, прежде чем внедрить новые решения, необходимо проверить их эффективность. Когда требуется перебрать значительное количество конструкций, применение методов физического моделирования (бассейн, лоток) представляется затруднительным.

Выходом из ситуации является применение численного гидродинамического моделирования, который позволит подобрать более оптимальный вариант и сузить количество задач для физического моделирования при необходимости. При этом неточности, сопровождающие численное моделирование, связанные с неполнотой математического

описания конструкций ГТС и неопределённостью значений их характеристик, могут вносить в результаты выбора допустимые на практике искажения.

Подобная численная модель должна быть организована так, чтобы её результаты могли быть соотнесены с результатами физического моделирования. Интерес инженеров, исследователей и учёных к вопросам уточнения параметров шероховатости и коэффициента отражения от ГТС в последнее время растёт, что в том числе обосновано требованиями актуальных нормативных документов СП 444.1326000.2019, СП 350.1326000.2018, СП 287.1325800.2016, СП 277.1325800.2016.

Выводы и рекомендации. Практически во всех в упомянутых исследованиях параметры взаимодействия волн определялись аналитически с подтверждением результатов физическим моделированием.

Физическое моделирование при использовании масштабов подобия даёт достоверные результаты взаимодействия ГТС с волной.

Однако физическое моделирование имеет ряд недостатков: отсутствие универсальности, трудоёмкость и высокая стоимость.

Сочетание численных исследований предлагаемых проектных решений и физическое моделирование конечного результата с целью подтверждения соответствия предъявляемым к нему требованиям, отвечает потребностям проектировщиков и исследователей в области гидротехнического строительства.

БОРЬБА С ФИЛЬТРАЦИЕЙ В ОСНОВАНИИ ЗАПАДНОЙ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА УДОКАНСКОГО ГМК

Аргал Э.С.,

д.т.н., консультант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. При сооружении хвостохранилища Удоканского ГМК появилась фильтрация в основании Западной дамбы. Для повышения фильтрационной плотности дамбы в ней была запроектирована диафрагма в виде стены в грунте из буросекущихся свай. Разработка состава глиноцементобетона для стены в грунте потребовала проведения значительного объёма изготовления и испытания образцов.

Ключевые слова: хвостохранилище, дамба, фильтрация, стена в грунте, глиноцементобетон.

Введение. При сооружении хвостохранилища Удоканского ГМК появилась фильтрация в основании Западной дамбы. Для повышения фильтрационной плотности дамбы в ней была запроектирована диафрагма в виде стены в грунте из буросекущихся свай. Разработка состава глиноцементобетона для стены в грунте потребовала проведения значительного объёма изготовления и испытания образцов.

Для ограждения строящегося хвостохранилища Удоканского ГМК Ленгидропроектом были запроектированы 4 дамбы, в том числе Западная высотой 39,5 м в виде распластанной каменно-набросной призмы с противофильтрационным экраном из геосинтетического материала. Тело дамбы отсыпалось зимой 2019-2020 гг. из скальных грунтов крупностью до 600 мм с послойным виброуплотнением. Поскольку отсыпка производилась при температурах воздуха, близких к минимальным годовым (до -56^0 С), можно предположить, что грунты тела дамбы находятся в мёрзлом состоянии.

Первичное заполнение водой объёма хвостохранилища началось в мае 2020 г. В июне была зафиксирована его резкая непроектная сработка и при визуальном обследовании зоны хвостохранилища было обнаружено место утечки воды. По мере заполнения водой формировалась талая зона в нескальных грунтах основания хвостохранилища и Западной дамбы, где отсутствовал сплошной противофильтрационный элемент, при высокой проницаемости грунтов и небольших отрицательных температурах основания. На растепление грунтов основания также указывает наличие термокарстов и просадок территорий, визуальное зафиксированных летом 2020 г.

Результаты. Для подавления фильтрации и восстановления фильтрационной плотности дамбы было решено провести ремонтно-восстановительные мероприятия и

создать в дамбе диафрагму по типу «стена в грунте» из буросекущихся глиноцементобетонных (ГЦБ) свай диаметром 1,20 м и шагом 0,96 м.

При разработке состава ГЦБ были приняты следующие базовые требования к физико-механическим показателям его свойств: минимальная прочность в возрасте 28 сут. на сжатие 1,0 МПа, на растяжение 0,1 МПа; диапазон модуля деформации 60-100 МПа, подвижность смеси П4, максимальный коэффициент фильтрации 0,001 м/сут. Указанные свойства должны достигаться при укладке смеси в скважины в грунтах с температурой около минус 10 °С. Материал должен сохранять свои свойства не менее трёх лет.

В соответствие с этими требованиями была разработана программа испытаний образцов пяти составов глиноцементобетона с противоморозной добавкой (и без добавки) на 7-е, 28-е и 60-е сутки созревания, включающая определение коэффициента фильтрации и фильтрационной прочности, предела прочности на одноосное сжатие и растяжение, модуля деформации. Испытания выполнялись в лаборатории фильтрационных исследований ВНИИГ.

Перед изготовлением образцов проверяли соответствие исходных материалов стандартам и некоторые их характеристики. У готовой смеси определяли плотность, пластичность по осадке нормального конуса и расплыв по конусу АзНИИ. Герметизированные образцы выдерживали в термошкафах.

По результатам испытаний был выдан рекомендуемый состав смеси ГЦБ со следующими основными технологическими параметрами: плотность 2,07 г/см³, подвижность по осадке нормального конуса (ГОСТ 2473-2010) 21 см.

Для обеспечения требуемых характеристик ГЦБ состав смеси подлежал корректировке в производственных условиях с учётом влажности и температуры используемых материалов.

Выводы и рекомендации. В результате исследований для подавления фильтрации был получен рекомендуемый состав смеси ГЦБ с заданными технологическими параметрами.

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПЛОТИНЫ ИЗ ОСОБО ТОЩЕГО УКАТАННОГО БЕТОНА (CSG) ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЗАЛОЖЕНИЯ ГРАНЕЙ ПЛОТИНЫ

Тарек С.С.¹, Толстиков В. В.²,

¹аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

²к.т.н., кафедра ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены гравитационные плотины симметричного профиля при различных заложениях граней. Представлены результаты расчётных исследований влияния заложения граней плотины на несущую способность плотин трапецеидального профиля из особо тощей бетонной смеси, выполненных в программном комплексе «CRACK».

Ключевые слова: несущей способности плотины, плотины из особо тощего укатанного бетона (CSG)», заложение граней плотины.

Введение. Рассмотрены гравитационные плотины симметричного профиля при различных заложениях граней. Представлены результаты исследования влияния заложения граней плотины на несущую способность плотин трапецеидального профиля из особо тощей бетонной смеси.

Материалы и методы. Расчеты (МКЭ) проводились в программном комплексе «CRACK».

Результаты. Были рассмотрены гравитационные плотины однородного симметричного профиля с различными заложениями граней из особо тощего укатанного бетона (CSG) на скальном основании высотой $H = 100$ м, нормальным уровнем воды ($\nabla_{НПУ}$) 98,00 м. Ширина гребня плотины $b = 10$ м. Область основания под плотиной моделировалась размерами $2H \times (4H + B)$ м.

Результаты исследований показывают, что на податливом основании при расчетных нагрузках нарушений сплошности в строительных швах нет. При доведении системы плотина - основание до разрушения происходит плоский сдвиг по нижним строительным швам и контакту. Со стороны низовой грани происходит локальное разрушение бетона плотины.

Характеристики плотины и основания приведены в таблице 1. В конструкции с помощью контактных элементов были явно воспроизведены горизонтальные строительные швы (13 швов по 35 контактных элементов в шве, разделенном на две равные части: "минус"- секция и "плюс" – секция, т.е. 70 значений деформаций и напряжений в шве) и контактный шов между плотиной и основанием. Все швы в теле плотины одинаковы по характеристикам сдвига, значения параметров сдвига шва и контактного шва между плотиной и основанием, выбранные по данным исследований на построенных плотинах из укатанного бетона, приведены в таблице 2.

Анализ полученных результатов для исследованных схем плотин при расчетной нагрузке и перегрузке показал, что коэффициенты устойчивости по горизонтальным строительным швам достаточно высокие, несмотря на низкие параметры сдвига, которые находятся в диапазоне от 2,67 вблизи контакта и существенно выше у гребня плотины (схема № 1).

Таблица 1. Физико-механические характеристики бетона плотины и основания

Физико-механические характеристики бетона плотины				
Модуль деформации $E_{пл}$, МПа	Прочности на сжатие $R_{сж}$, МПа	Прочности на растяжение R_p , МПа	Коэффициент Пуассона ν	Объёмный вес, γ (т/м ³)
5000	5	0,5	0,24	2,3
Физико-механические характеристики основания				
Модуль деформации $E_{осн}$, МПа				
6000	5	0,4	0,22	-

Таблица 2.– Параметры сдвиговой прочности строительных швов и контакта бетон-скала

Параметры сдвиговой прочности строительных швов			
Качество шва	Удельное сцепление, С МПа	Угол внутреннего трения, φ	$tg\varphi$
низкое	0,1	35	0,7
Параметры сдвиговой прочности контакта бетон-скала			
среднее	0,2	39	0,8

Фрагмент сетки МКЭ системы плотина - основание, с расположением моделируемых контактными элементами швов представлен на рисунке 1.

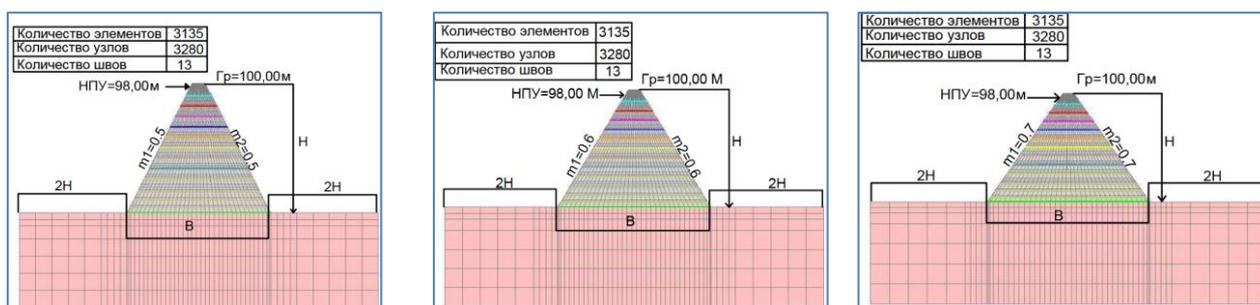


Рисунок 1. Фрагменты сетки МКЭ системы плотина-основание и расположение швов

Выводы и рекомендации.

1. Горизонтальные строительные швы плотины и контакта бетон - скала трех рассмотренных схем плотин работают практически упруго (не имеют сдвиговых нарушений).

2. Максимальное горизонтальное перемещение гребня плотины уменьшается с увеличением заложения граней плотины, которые находятся в диапазоне от 3,5 до 2,1 см, а вертикальное перемещение гребня плотины увеличивается с увеличением заложения граней плотины и находится в диапазоне от 4,1 до 4,9 см.

3. Коэффициенты устойчивости контакта бетон - скала увеличиваются с увеличением заложения граней плотины и находятся в диапазоне от $k_s = 2,84$ до $k_s = 3,85$, и глубина раскрытия контактного шва уменьшается с увеличением заложения граней плотины, которые находятся в диапазоне от 2,0 до 1,0 метра.

4. Главные сжимающие напряжения в низовом клине плотины находятся в диапазоне от -3,38 до -2,60 МПа и основания от -4,04 до -2,94 МПа и они уменьшаются с увеличением заложения граней плотины.

5. При увеличении коэффициента перегрузки для всех вариантов (по отношению к расчетной гидростатической нагрузке) на момент разрушения произошел плоский сдвиг по нижним строительным швам и контакту при локальном разрушении бетона тела плотины со стороны нижнего бьефа. При этом раскрытия контактного шва не происходит.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТАЦИИ МЕЖСТОБЧАТОГО ШВА НА НДС И УСТОЙЧИВОСТЬ ПЛОТИНЫ БУРЕЙСКОЙ ГЭС

Юссеф Яра¹, Толстикова В.В.²

¹ аспирантка кафедры ГиГС НИУ МГСУ;

² к.т.н., доцент, кафедра Гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

Аннотация. Выполнен многофакторный регрессионный анализ, получены уравнения регрессии для характеристик НДС и устойчивости на сдвиг бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС. Дана оценка степени влияния прочностных и жесткостных характеристик межстолбчатого шва на статическую работу плотины.

Ключевые слова: бетонная гравитационная плотина, межстолбчатый шов, НДС плотины, метод конечных элементов (МКЭ), программный комплекс CRACK, численный эксперимент, уравнение регрессии.

Введение. Целью данной работы является оценка степени влияния жесткостных и прочностных характеристик межстолбчатого шва на статическую работу (НДС и устойчивость на сдвиг) бетонной плотины Бурейской ГЭС на основе теории научного планирования эксперимента в качестве статистического метода и с помощью математического моделирования.

Материалы и методы. Методология научной работы основана на применении математической моделирования плотины при помощи метода конечных элементов с использованием программного комплекса CRACK. Кроме того, применена теория научного планирования численного эксперимента для оценки влияния прочностных и жесткостных характеристик вертикального шва на статическую работу плотины.

Результаты. Получены результаты напряженного состояния (нормальных напряжений σ_y) и состояния элементов плотины Бурейской ГЭС в упруго-пластической постановке при минимальных и максимальных величинах характеристик межстолбчатого шва (рисунок 1).

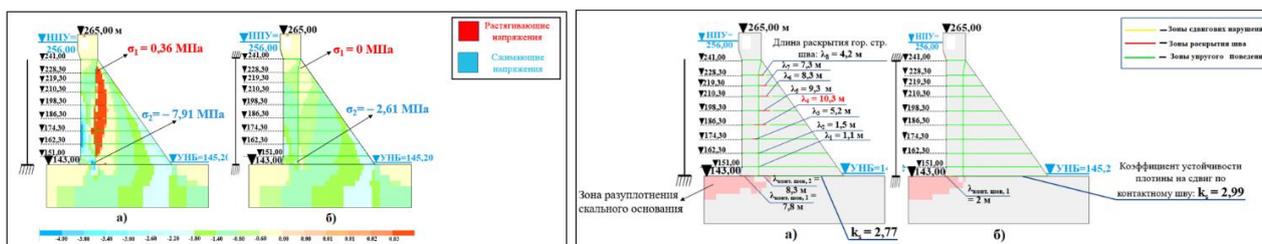


Рисунок 1 – Напряженное состояние (нормальные напряжения σ_y) и состояние элементов системы «бетонная гравитационная плотина Бурейской ГЭС – скальное основание» в упруго-пластической постановке: а) – при минимальных величинах характеристик межстолбчатого шва плотины; б) – при максимальных величинах характеристик межстолбчатого шва плотины

Получены следующие уравнения регрессии для характеристик НДС и устойчивости плотины на сдвиг (при кодированных значениях факторов):

$$y_1 (u_{x,\max}) = 3,266 - 0,371 X_1 - 0,371 X_2 - 0,219 X_3 + 2,6 X_{12} + 2,586 X_{22} + 2,338 X_{32} + 0,014 X_1 \cdot X_2 - 0,014 X_1 \cdot X_3 - 0,016 X_2 \cdot X_3 - 0,014 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (1)$$

$$y_2 (\sigma_1) = 0,199 - 0,104 X_1 - 0,04 X_2 + 0,011 X_3 + 0,18 X_{12} + 0,17 X_{22} + 0,155 X_{32} - 0,047 X_1 \cdot X_2 - 0,013 X_1 \cdot X_3 + 0,009 X_2 \cdot X_3 - 0,014 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (2)$$

$$y_3 (\sigma_2) = 3,928 - 0,834 X_1 - 0,871 X_2 + 0,009 X_3 + 2,999 X_{12} + 2,98 X_{22} + 2,984 X_{32} + 0,481 X_1 \cdot X_2 - 0,005 X_1 \cdot X_3 - 0,22 X_2 \cdot X_3 - 0,004 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (3)$$

$$y_4 (\delta) = 9,941 - 7,094 X_1 - 0,158 X_2 - 0,018 X_3 + 8,727 X_{12} + 7,588 X_{22} + 7,574 X_{32} + 0,134 X_1 \cdot X_2 + 0,001 X_1 \cdot X_3 - 0,3 X_2 \cdot X_3 + 0,001 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (4)$$

$$y_5 (\lambda) = 7,45 + 0,029 X_1 - 4,364 X_2 - 0,3 X_3 + 5,257 X_{12} + 6,107 X_{22} + 5,686 X_{32} + 0,657 X_1 \cdot X_2 + 0,014 X_1 \cdot X_3 - 0,743 X_2 \cdot X_3 + 0,014 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3; \quad (5)$$

$$y_6 (K_s) = 2,903 - 0,002 X_1 + 0,067 X_2 + 0,005 X_3 + 2,075 X_{12} + 2,061 X_{22} + 2,068 X_{32} - 0,011 X_1 \cdot X_2 + 0,001 X_1 \cdot X_3 - 0,204 X_2 \cdot X_3 + 0,001 X_1 \cdot X_2 \cdot X_3, \quad (6)$$

где, y_1 – максимальное горизонтальное перемещение гребня плотины по направлению X ($u_{x,\max}$); y_2 – главные растягивающие напряжения в низовом клине плотины на верхней отметке 232,0 м (возле межстолбчатого шва) (σ_1); y_3 – главные сжимающие напряжения в нижней части верхового столба плотины (около контактного шва и возле межстолбчатого шва) (σ_2); y_4 – максимальная нормальная деформация межстолбчатого шва в середине высоты шва (δ); y_5 – длина раскрытия контактного шва плотины (λ); y_6 – коэффициент устойчивости плотины на сдвиг по контактному шву при сдвиговых характеристиках контактного шва: $\text{tg}\varphi = 1$ ($\varphi = 45^\circ$), $C = 1$ МПа (K_s); X_1 – нормальная жесткость межстолбчатого шва (K_n); X_2 – касательная жесткость межстолбчатого шва (K_s); X_3 – коэффициент трения-зацепления межстолбчатого шва ($\text{tg}\varphi$).

Выводы и рекомендации.

1. На основе полученных уравнений регрессии для характеристик НДС и устойчивости плотины Бурейской ГЭС дана оценка степени влияния прочностных и жесткостных характеристик межстолбчатого шва, входящих в математическое моделирование его поведения, на статическую работу расчетных моделей бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС.

2. Выполненный многофакторный регрессионный анализ позволяет выбрать наиболее значимые характеристики шва, которые учитываются в дальнейшей работе по исследованию напряженно-деформированного состояния и несущей способности реальной секции №16 бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС.

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ТЕПЛОВОГО СОСТОЯНИЯ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ

Давлатшоев С.К.,

к.т.н., Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, Душанбе

Аннотация. *Приведены исследования по изучению изменения температуры подземных вод в основании будущей плотины Рогунской ГЭС с целью оценки фильтрационных характеристик породы основания, коэффициента фильтрации и нахождения пути сосредоточенной фильтрации. Приведена формула коэффициента фильтрации, позволяющая определить коэффициент и скорость фильтрации при турбулентном характере движения фильтрующейся воды.*

Ключевые слова: *температура, фильтрация, тепломассоперенос, плотина, распределение температуры, пьезометр.*

Введение. Гидротехнические сооружения, по последствиям возможных аварий, относятся к категории наиболее ответственных сооружений, для контроля состояния которых, на них размещают сотни, а иногда и тысячи средств измерений и ведут постоянные инструментальные и визуальные наблюдения. Температурные наблюдения за фильтрационным потоком в теле грунтовых плотин входят в состав рекомендуемых видов натуральных исследований гидротехнических сооружений.

Для грунтовых плотин, построенных вне зоны вечной мерзлоты, температурные наблюдения не получили большого распространения, и в первую очередь, ввиду слабого научного и методического обоснования их применимости. Эксплуатационный персонал гидроузлов, ведущий натурные наблюдения, не заинтересован в проведении температурных измерений, так как не видит в них практической пользы для анализа состояния грунтовых плотин, а существующие публикации на этот счет лишь убеждают их в этом.

Материалы и методы. Объектом исследования является контроль фильтрационных потоков в основании плотины Рогунской ГЭС и определении пути сосредоточенной фильтрации. Для этого выбран метод термометрии по пьезометрическим скважинам и исследование изменения температуры, связанное с процессами теплопереноса в основании плотины Рогунской ГЭС.

Результаты. Применяя теорию тепломассопереноса и выбор створа наблюдения по глубине в основании плотины, можно определить коэффициент фильтрации следующим образом:

$$K_i = \frac{\Delta h_{\text{ТН}}}{\Delta T}, \quad (1)$$

где $\Delta h_{\text{ТН}} = h(i+1) - h(i)$ – интервал выравнивания температуры до температуры теплоносителя при повышении напора в водохранилище на величину ΔH_i ; $\Delta T = T(i+1) -$

$T(i)$ – время, в течение которого фиксируется значение $\Delta h_{\text{ТН}}$; $i = 1 \div n$ – индекс выведения эмпирического уравнения.

Движение фильтрационных потоков и теплоперенос в основании плотины можно описать следующим образом:

$$t(i) = a h(i) + b, \quad (2)$$

где t – температура, h – глубина минимальной температуры равной температуре теплоносителя, a, b – коэффициенты эмпирического уравнения.

При ступенчатом наполнении водохранилища до верхней отметки коэффициент фильтрации можно определить по следующей формуле:

$$K = K_1 + K_2 + \dots + K_i, \quad (3)$$

где K_i – коэффициент фильтрации на каждой ступени повышения напора в водохранилище.

Выводы и рекомендации.

1. Результаты исследований показывают изменения градиента температуры в результате причин: асинхронный съём информации по стволу пьезометрических скважин, последовательное выполнение измерения от пьезометра к пьезометру с временным запаздыванием, смещение временного интервала измерения в течение суток, близкого расположению пьезометрических скважин к реке Вахш, которое может служить дополнительным источником теплопереноса и особенностью горного массива, связанного с трещиноватостью и фильтрационной характеристикой массива.

2. Контроль температуры воды по стволу пьезометрических скважин в основании плотины может быть использован для определения фильтрационных характеристик породы основания. Изменение температуры воды происходит в результате процессов конвекции и теплопереноса. Теплоперенос в этом случае происходит за счёт фильтрующего свойства породы, по которому движется вода, вследствие гидростатического давления.

3. Выведено идентичное эмпирическое уравнение закономерности среднегодового распределения температуры, в основании плотины Рогунской ГЭС и закономерное региональное многогодное распределение температуры в земной коре Таджикистана.

4. Наблюдения за изменением температуры воды в пьезометрических скважинах основания плотины позволяет контролировать изменения температурного поля по глубине, близкой к температуре теплоносителя (движение подземных вод), при изменении гидростатического напора в водохранилище и определить коэффициент фильтрации и нахождения пути сосредоточенной фильтрации. Чем больше глубина изменения температуры близкой к температуре теплоносителя за единицу времени, связанной с повышением гидростатического напора (давления), тем сильнее фильтрация.

5. Разработанный метод и выведенная формула коэффициента фильтрации позволяют определять скорость фильтрации, в основании плотины на скальных трещиноватых породах, где движение фильтрующейся воды может принимать турбулентный характер.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ СТЕПЕНИ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Давлатшоев С.К.,

к.т.н., Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАНТ, Душанбе

Аннотация. Проведено исследование по выявлению физических явлений опреснения и отжатия подземных минерализованных вод под действием гидростатического и осмотического давлений, а также появление гидроосмотической завесы между менее и сильноминерализованными водами в результате достижения равновесного состояния между гидростатическим и осмотическим давлениями.

Ключевые слова: минерализованные воды, пьезометр, кондуктометр, гидростатическое давление, осмотическое давление, гидронпорно-осмотическая завеса.

Введение. В 400-500 м, от оси плотины Рогунской ГЭС, в верхнем бьефе, под ее верховым клином, нижнемеловая толща подстилается согласно отложениями верхней юры, представленной пачкой аргиллитов мощностью около 20 м и солевым пластом, который непосредственно контактирует с Ионахшским разломом, пересекающий реку под углом около 30 градусов. Шов разлома параллельно простирается слоям пород нижнемеловой толщи и отложений верхней юры и падает в ту же сторону, в связи с чем, пласт соли колеблется осреднённо от 1 до 10-12 м, и на каждые 100 м глубины увеличивается на 15 м. Солевой пласт окружён высокоминерализованными водами полосой 150-200 м. Наполнение водохранилищ может привести к изменению гидрогеохимического режима.

Материалы и методы. Объектом исследования является солевой пласт и контроль за сформировавшимся гидрогеохимическим режимом вокруг него. Наблюдения за гидрогеохимическим режимом основания предусматривались специальной сетью пьезометрических скважин. В качестве метода исследования выбран кондуктометрический метод и аппаратура «КАЛЬМАР».

Результаты. В результате исследования выявлено, что при понижении гидростатического давления происходит гидратация молекулы воды в ионном составе раствора минерализованных вод (отжатия минерализованных вод), а при повышении гидростатического давления происходит дегидратация молекулы воды из ионного состава раствора минерализованных вод (опреснения минерализованных вод).

Между менее минерализованными и сильноминерализованными подземными водами появляется завеса, которая определяется равновесным соотношением между гидростатическим и осмотическим давлением. В зависимости от величины гидростатического давления завеса может изменить своё положение. Расположение завесы служит границей между менее минерализованными и сильноминерализованными подземными водами.

Суть выявленного физического явления заключается в том, что при понижении уровня воды в реке Вахш на величину $-\Delta h_{\text{воды}}$, гидростатическое давление $P_{\text{гст}}$ становится меньше осмотическому давлению $P_{\text{осм}}$ подземных минерализованных вод ($P_{\text{гст}} < P_{\text{осм}}$) и поток молекулы воды направляется в сторону сильноминерализованных вод (прямой осмос – отжатие минерализованных вод), который приведёт к снижению концентрации, смещению расположения завесы на величину $+\Delta h_{\text{завесы}}$ и прекращению массопереноса молекулы воды.

В случае повышения уровня воды в реке Вахш на величину $+\Delta h_{\text{воды}}$ гидростатическое давление $P_{\text{гст}}$ становится больше осмотического давления $P_{\text{осм}}$ подземных минерализованных вод ($P_{\text{гст}} > P_{\text{осм}}$) и поток молекулы воды направляется в сторону менее минерализованных вод (обратный осмос – опреснения минерализованных вод), который приведёт к повышению концентрации, смещению расположения завесы на величину $-\Delta h_{\text{завесы}}$ и прекращению массопереноса молекулы воды.

Соотношение гидростатического и осмотического давления и формирования завесы между ними можно описать в следующем виде:

$P_{\text{гст}} < P_{\text{осм}}$ - отжатие (снижение концентрации) подземных минерализованных вод;

$P_{\text{гст}} = P_{\text{осм}}$ - завеса между менее и сильноминерализованными водами (массоперенос молекулы воды отсутствует);

$P_{\text{гст}} > P_{\text{осм}}$ - опреснение (повышения концентрации) подземных минерализованных вод.

Поскольку завеса появляется в результате равновесного соотношения между гидростатическим и осмотическим давлением, то её можно назвать гидронапорно-осмотической завесой.

Выводы и рекомендации.

1. Установлено неизвестное ранее физическое явление опреснения и отжатия подземных минерализованных вод под действием гидростатического давления заключающееся в том, что при повышении величины гидростатического давления над осмотическим давлением минерализованных вод, происходит опреснение минерализованных вод, а при повышении осмотического давления над гидростатическим давлением, происходит отжатие минерализованных вод.

2. Установлено неизвестное ранее физическое явление возникновения гидронапорно-осмотической завесы между менее и сильноминерализованными водами заключающееся в том, что при достижении равновесного состояния между гидростатическим и осмотическим давлением, между ними появляется гидронапорно-осмотическая завеса и массоперенос молекулы воды в обе стороны прекращается.

3. Выявлена закономерность изменения глубины опреснения или же отжатия подземных минерализованных вод от величины гидростатического давления.

4. Выведено эмпирическое уравнение изменения глубины опреснения подземных минерализованных вод от величины гидростатического давления.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРОСТРУКТУРНОЙ СМОЛЫ НА АКРИЛАТНОЙ ОСНОВЕ В ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

Михайлов М.Е.¹, Крюков И.А.²

¹*руководитель группы по работе в проектных сегментах ООО «Эм-Си Баухеми», Санкт-Петербург*

²*заместитель руководителя отдела гидротехнических сооружений АО «Акватик», Москва*

Аннотация. Проанализирован опыт применения гидроструктурной смолы на акрилатной основе в противофильтрационных устройствах. Рассмотрены примеры применения на объектах ГТС гидроструктурной смолы на акрилатной основе для уплотнения швов, в скальных основаниях и в несвязных грунтах. Представлены технологические этапы и особенности метода пропитки.

Ключевые слова: противофильтрационная завеса и противофильтрационные устройства, гидроструктурная смола на акрилатной основе, гидрогель, глубинное инъектирование швов, грунтовые плотины, скальное основание.

Введение. Противофильтрационные устройства могут быть выполнены в виде противофильтрационных завес в скальном и полускальном основании для снятия противодействия на подошву сооружения.

Результаты. Для уменьшения фильтрационных расходов через тело плотины предусматривают противофильтрационные устройства (ПФУ) из негрунтовых материалов (бетон, асфальтобетон, сталь, дерево, глиноцементобетон, грунтополимер). Эти материалы применяются в виде экранов со стороны верхового откоса и диафрагм, расположенных по оси плотины.

ПФУ из негрунтовых материалов выполняются по технологии «стена в грунте» и могут быть возведены различными способами: в виде шпунтовых, траншейных технологий, устройством буросекущих свай (БСС), струйной цементации и пропитки грунта полимерными составами.

Метод пропитки – это один из способов химического закрепления грунтов путем заполнения пор грунта.

В СП 45.13330.2012 описаны способы усиления грунтов при нагнетании под давлением водных растворов полимеров неорганических и органических смол, а также растворов на основе кремеземов, акрилатов и полиуретанов: силикатизация, смолизация, цементация.

В пособии НИОСП им. Н.М Герсеванова (1986) представлены материалы по химическому закреплению грунтов инъекционными способами.

Европейский опыт оформлен стандартом EN 12715: 2000, который регламентирует основные принципы и методы при выполнении специальных геотехнических работ и режим пропитки грунтов.

Приведены примеры применения на объектах ГТС гидроструктурной смолы на акрилатной основе для уплотнения швов, в скальных основаниях и несвязных грунтах, представлены технологические этапы и особенности метода пропитки

Выводы и рекомендации. Метод пропитки может быть применен при капитальном ремонте плотин и в период возведения.

При производстве работ используется мобильное оборудование, которые позволит оптимизировать выполнение работ в сжатые сроки.

Учитывая, что структура грунта имеет трехфазную основу (частицы, воздух и вода) и трещиноватость, при пропитке происходит вытеснение воды и воздуха, и заполнение пор и трещин гидроструктурной смолой на акрилатной основе.

При выполнении нагнетания в несвязных грунтах формируется консолидируемая колонна с диаметром до 350-400 мм, в скальных трещиноватых грунтах и деформационных швах ГТС их заполнение.

ВРЕМЕННАЯ ПЛОТИНА ФЁДОРОВСКОГО ГИДРОУЗЛА

Саинов М.П., Зузов А.А.

*д.т.н., доцент, профессор кафедры энергетических и гидротехнических сооружений
НИУ МЭИ, Москва;*

студент, НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены особенности строительства Фёдоровского гидроузла на реке Кубань. Проанализированы возможные причины масштабной аварии земляной плотины Фёдоровского гидроузла после проведения строительно-монтажных работ при реконструкции.

Ключевые слова: *грунтовая плотина, Фёдоровский гидроузел, переливная плотина, авария.*

Введение. Фёдоровский гидроузел был построен в 1961-1966 гг. на реке Кубань. Этот низконапорный гидроузел необходим для подпора уровней, необходимых для водозабора оросительных систем. В 2022 году на гидроузле произошла масштабная авария, заключающаяся в прорыве напорного фронта.

Результаты. Выявлены особенности строительства и реконструкции Фёдоровского гидроузла на реке Кубань. Фёдоровский гидроузел был запроектирован в составе земляной плотины, бетонной водосбросной плотины, рыбохода и судоходного шлюза. Земляная плотина перекрывает старое русло реки Кубань, остальные сооружения построены на левобережной пойме. В 1982 г. один из пролётов плотины был переоборудован для устройства рыбоподъёмника.

Бетонная водосбросная плотина была рассчитана на сброс расхода $1500 \text{ м}^3/\text{с}$. В её составе 6 пролётов по 12 м. Она представляет собой водосброс с широким порогом, напор на пороге при НПУ – 6,9 м. Для крепления русла за водосбросной плотиной запроектирована водобойная плита длиной 40,5 м, по проекту она расположена ниже порога на 2,1 м. (рисунок 1).

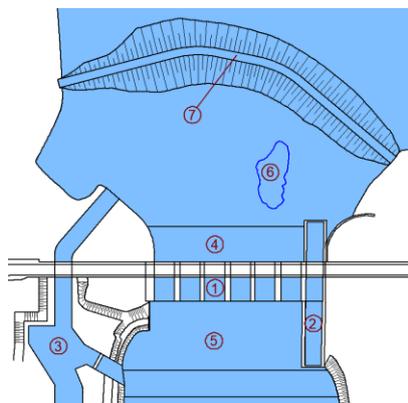


Рисунок 1. Схема расположения временной грунтовой плотины на плане основных сооружений гидроузла:
1 – бетонная водосбросная плотина, 2 – рыбоподъёмник, 3 – рыбоход, 4 – понур, 5 – водобой, 6 – зона углубления дна, 7 – временная грунтовая плотина

Концевое крепление выполнено в виде ковша, частично заполненного камнем. Дно ковша на 6,9 м заглублено на 6,9 м относительно дна. Подземный контур плотины был

выполнен бесшпунтовым, он имеет противотфильтрационный понур из глинистого грунта длиной 21 м.

Сооружения Фёдоровского гидроузла исправно прослужили 50 лет, после чего была намечена реконструкция бетонной водосбросной плотины. В 2021 г. была разработана проектно-сметная документация на реконструкцию несущих строительных конструкций бетонной водосбросной плотины.

Для составления проекта реконструкции была выполнена батиграфическая съёмка русла и инженерно-геологические изыскания. Изыскания показали, что основной объём основания водосбросной плотины занимают пылеватые пески, но имеются также слои суглинков, а также суффозионноопасных песков средней крупности. При батиграфической съёмке было установлено, что за период эксплуатации произошло некоторое переформирование русла перед и за водосбросной плотиной:

1) яма размыва за водобоем на участке центральных пролётов водосбросной плотины оказалась несколько глубже проектной. водобой также оказался ниже проектного высотного положения;

2) перед водосбросной плотиной образовалось углубление дна, в самом глубоком месте дно ямы расположено ниже подошвы самой бетонной плотины.

В меженный период 2021 г. проводились в строительном-монтажные работы, которые предусматривали ограждение участка строительства перемычками и его осушение.

После этого в процессе постановки сооружений под напор произошла масштабная авария: 22 апреля 2022 г. конструкции пролётов плотины скрылись под водой, а рыбоподъёмник накренился в сторону русла.

Причины аварии достоверно не установлены, однако очевидно, что разрушение происходило за счёт размыва грунтов основания течением водного потока и фильтрационным потоком. Несмотря на аварию, для обеспечения водой рисовых полей было необходимо, чтобы гидроузел продолжил выполнять свою функцию, потребовалось срочное возведение в составе гидроузла временных водоподпорных сооружений.

Сложность заключалась в том, что необходимо было не только поддерживать уровень верхнего бьефа, но и обеспечить пропуск расходов реки Кубань. Среднемесячные расходы реки Кубань в летний период составляют 500-1000 м³/с, их большая часть должна быть пропущена по реке.

Выводы и рекомендации. Создание временной переливной грунтовой плотины оказалось единственно возможным вариантом. Она возводилась из крупнообломочных грунтов с ближайших карьеров. Временная плотина была создана с криволинейным очертанием в плане длиной около 200 м. Возведение временной плотины пионерным способом было начато в конце апреля. К 11 мая 2022 г. река Кубань была полностью перекрыта временной плотиной, при этом вода просачивалась через каменную наброску. Однако на следующий день произошел местный размыв участка временной плотины шириной 50-60 м. Образовался проран.

Тем не менее, временная плотина выполнила свою основную задачу по обеспечению подъёма уровня воды в верхнем бьефе гидроузла. При этом она обеспечила пропуск необходимого количества воды без разрушения.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА ОТКОС_22 ДЛЯ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ И СКЛОНОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Бестужева А.С.,

к.т.н., доцент, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Разработана обновленная версия программы, использующейся в расчетах грунтовых плотин. Современная версия «ОТКОС» в среде визуального программирования Embarcadero Delphi на языке ООП DELPHI (Object Pascal) является открытой, постоянно обновляемой программой. В программе предусмотрены варианты расчетов откосов плотин на основное и особое сочетание нагрузок. В качестве нагрузок особого сочетания могут рассматриваться дополнительные фильтрационные нагрузки, поровое давление, сейсмические нагрузки. В отличие от ранней версии при расчете сейсмических сил могут быть использованы метод коэффициента сейсмической нагрузки (псевдостатика), линейно-спектральный метод (ЛСМ), метод спектра реакции (МСР) на основе построенных спектров акселерограмм.

Ключевые слова: *грунтовая плотина, устойчивость откосов, сейсмические нагрузки, фильтрационные силы, поровое давление.*

Введение. Программа «ОТКОС» является обновленной версией ранее разработанной программы расчета устойчивости откосов Otkos-386, использующейся в расчетах грунтовых плотин на кафедре Гидротехнического строительства с 1986г. Современная версия «ОТКОС» разработана в среде визуального программирования Embarcadero Delphi на языке ООП DELPHI (Object Pascal). Версия продукта является открытой, постоянно обновляемой программой, предназначенной для расчетов устойчивости откосов по методу круглоцилиндрических кривых К. Терцаги. В программе предусмотрены варианты расчетов откосов плотин на основное и на особое сочетание нагрузок в т.ч. для неоднородных и анизотропных грунтов. В качестве нагрузок особого сочетания могут рассматриваться дополнительные фильтрационные нагрузки, поровое давление, сейсмические нагрузки. В программе предусмотрен расчет с учетом анкерной крепи или геотекстильного крепления грунта. В отличие от ранней версии при расчете сейсмических сил могут быть использованы три расчетных метода: метод коэффициента сейсмической нагрузки (псевдостатика), линейно-спектральный метод (ЛСМ), метод спектра реакции (МСР) на основе построенных спектров акселерограмм.

Материалы и методы.

Расчет сейсмических нагрузок по спектральным методам предполагает знание форм и частот собственных колебаний сооружения. Для их ввода в программу возможно два варианта: - расчет ФСК по заранее введенным интерполяционным сеткам для стандартных конструкций; - ввод ФСК из внешней программы на сетке МКЭ, координаты которой вводятся в ОТКОС-22. На основе известных зависимостей СП [] в элементах МКЭ

определяются сейсмические силы по формуле: $S_{ki} = K_f \cdot K_2 \cdot K_\psi \cdot Q_k \cdot A \cdot \beta_i \cdot \eta_{ki}$, где $K_f \cdot K_2 \cdot K_\psi$, A – коэффициенты, вводятся в исходных данных. Коэффициенты β_i, η_{ki} рассчитываются в программе по известным периодам и формам собственных колебаний сооружения.

Согласно методу «Спектра реакции» в программе предусмотрен ввод спектральной кривой «спектра реакции» расчетного землетрясения с учетом частот собственных колебаний сооружения. Расчет сейсмических сил в этом случае проводится по формуле:

$S_{ki} = K_f \cdot K_2 \cdot m_k \cdot \ddot{A}_r(T_i) \cdot \eta_{ki}$, где $\ddot{A}_r(T_i)$ – ускорение на спектре реакции сооружения для периода собственных колебаний по i -тону.

В расчетах устойчивости грунтовых плотин предполагается учет любого числа форм собственных колебаний, что устанавливается в исходных данных. Результирующая сейсмическая сила с учетом всех форм определяется по формуле: $S_k = \sqrt{\sum_{i=1}^F S_{ik}^2}$.

Коэффициент запаса для каждой кривой обрушения рассчитывается по формуле:

$$K_n = \frac{Mr}{Ma} = \frac{\int_l R\tau_r dl}{\int_l F\tau_a dl} = \frac{\sum_{j=1}^N \left(G_j - p_j^b \frac{b}{\cos \alpha_j} \right) \cos \alpha_j t g \varphi + \sum_{j=1}^N C_j \frac{b}{\cos \alpha_j} + \sum_{m=1}^M A_m \frac{r_m}{R}}{\sum_{j=1}^N \left(G_j - p_j^b \frac{b}{\cos \alpha_j} \right) \sin \alpha_j + \sum_{j=1}^N W_j \frac{r_j}{R} + \sum_{s=1}^S S_s \frac{r_s}{R}},$$

где Mr – суммарный момент реактивных сил, Ma – суммарный момент активных сил, R – радиус расчетной дуги обрушения, g – плечо сил относительно центра окружности обрушения. G, P, C, A, S, W – силы в расчетных элементах дуги обрушения: веса, порового давления, сцепления, анкерного крепления, сейсмической силы, фильтрации соответственно.

Результаты. Проведены серии тестовых расчетов, результаты которых показали хорошее согласование с результатами решения по существующим программам (Otkos, Plaxis), а также дополнительные возможности исследований, предусмотренные в новой редакции программы, позволяющие рассматривать различные поверхности обрушения, исключая тем самым локальные, связанные с местной устойчивостью (рисунок 1).

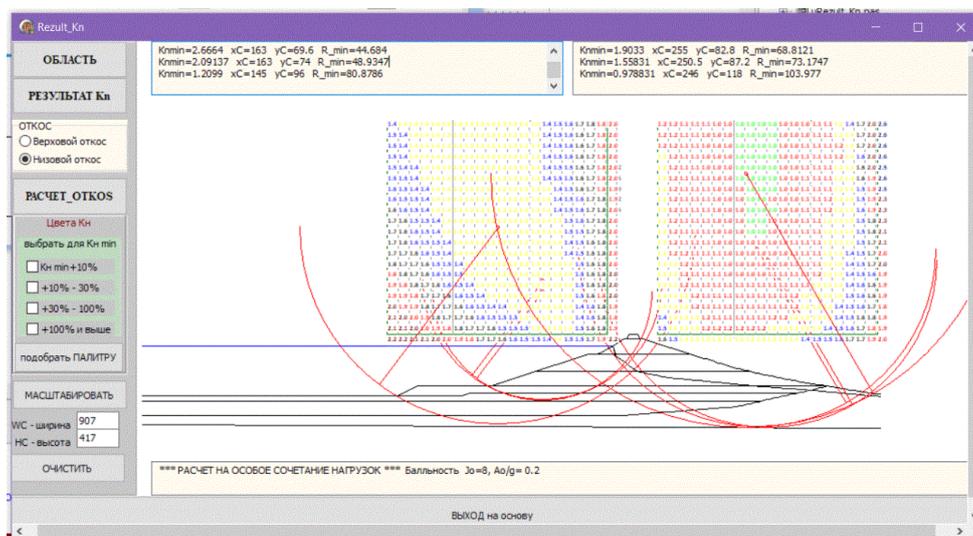


Рисунок 1. Новая редакция вычислительной программы откос_22 для расчета устойчивости откосов и склонов при сейсмических воздействиях

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ ГРАВИЙНО-ГАЛЕЧНИКОВОГО ГРУНТА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Абдулов А.Б.¹, Бестужева А.С.²,

¹ аспирант кафедры ГиГС, НИУ МГСУ, Москва;

² к.т.н., доцент кафедры ГиГС, НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований деформационной и прочностной анизотропии гравийно-галечникового грунта, уложенного в тело грунтовых плотин. Составлена авторская расчетная программа ОТКОС_22 (Delphi), учитывающая прочностную анизотропию галечниковых грунтов для расчетов устойчивости откосов грунтовых плотин и склонов при сейсмических нагрузках.

Ключевые слова: деформационная анизотропия, прочностная анизотропия, прочность гравийно-галечникового грунта, трехосные эксперименты, устойчивость откосов с учетом сейсмических нагрузок, напряженно-деформированное состояние грунтовых плотин.

Материалы и методы. Проведены экспериментальные исследования деформационной и прочностной анизотропии гравийно-галечникового грунта, уложенного в тело грунтовых плотин. Разработана авторская расчетная программа ОТКОС_22 (Delphi), в которой проведены расчеты откосов для каменных и каменно-земляных плотин разной конструкции и высоты.

Результаты. Представлены результаты экспериментальных исследований деформационной и прочностной анизотропии гравийно-галечникового грунта, уложенного в тело грунтовых плотин.

В ходе стабилметрических испытаний получены различающиеся углы сдвига для камня при различной ориентации частиц грунта в рабочей камере – горизонтальной и вертикальной. При увеличении гидростатического давления в рабочей камере до 0,8МПа получено снижение углов сдвига камня на 8-12 градусов в зависимости от направления слоистости грунта.

В ходе обработки экспериментов получена функция соотношения углов сдвига для камня при разной ориентации частиц в зависимости от направления главного напряжения на площадке сдвига как $\Psi_{ан} = \frac{\varphi(min)}{\varphi(max)} = f(\sigma)$. Построены графики «годографы углов сдвига» для определения расчетных значений прочностных характеристик гравийно-галечникового грунта в зависимости от угла наклона площадки сдвига к оси слоистости грунта. Составлена авторская расчетная программа ОТКОС_22 (Delphi), учитывающая прочностную

анизотропию галечниковых грунтов для расчетов устойчивости откосов грунтовых плотин и склонов при сейсмических нагрузках.

Для каменных и каменно-земляных плотин разной конструкции и высоты проведены расчеты откосов и получены корректирующие коэффициенты для учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов с учетом сейсмических нагрузок в виде функции $K_{ан}^S = \frac{K_n^{ан}}{K_n} = f(H, \gamma, m)$. Получены функции изменения $K_{ан}^S$ в зависимости от типа, высоты и плотности укладки гравийно-галечникового грунта в тело плотины.

Выводы и рекомендации. Установлено, что «понижающий» коэффициент на учет снижения прочностных свойств галечникового грунта при горизонтальной слоистости изменяется в диапазоне от $0,9 \div 1,0$, что должно быть учтено при выборе конструкции грунтовых плотин с призмами из гравийно-галечниковых грунтов.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ НАМЫВНОЙ ДАМБЫ НАЛИВНОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА ИЗ МАТЕРИАЛА СКЛАДИРОВАНИЯ

Бестужева А.С.¹, Рыбаков В.В.²

¹к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

²студент кафедры переподготовки гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрено два варианта конструкции проектируемой дамбы хвостохранилища: наливной с ограждающей дамбой из карьерных грунтов и наливной с намывными дамбами из складированного материала. Разработана схема строительства и складирования отходов обогащения с учетом конкретных топографических данных объекта строительства, характеристик намываемого грунта и объема хвостохранилища для второго варианта дамбы.

Ключевые слова: гидронамыв, ограждающая дамба, хвостохранилище, раскладка фракций, строительство хвостохранилищ, Крайний Север, программный комплекс ОТКОС_22.

Введение. Для проектируемой дамбы хвостохранилища рассмотрены два варианта ее конструкции – наливной с ограждающей дамбой из карьерных грунтов и наливной – с намывными дамбами из складированного материала. Для второго варианта дамбы разработана схема строительства и складирования отходов обогащения с учетом конкретных топографических данных объекта строительства, характеристик намываемого грунта и объема хвостохранилища.

Материалы и методы. На основе анализа литературных источников проведено конструирование внутренней дренажной системы хвостохранилища. Расчеты устойчивости проводились в программном комплексе ОТКОС_22.

Результаты. Согласно рекомендациям [1,2,6,8] проведены расчеты раскладки фракций намывного грунта в тело дамбы, определены основные физико-механические и фильтрационные характеристики зон фракционирования при постепенном сгущении пульпы, поступающей на карты намыва при работе ГОК. Согласно рекомендациям [4,5,7] проведено конструирование внутренней дренажной системы хвостохранилища, определены максимальные расходы дренажных вод и сбросных расходов вод из пруда-отстойника. Для системы обратного водоснабжения хвостохранилища подобрано насосное оборудование по методике [2,3]. Фракционирование намывного грунта по телу ограждающей дамбы позволяет оценить устойчивость откосов на этапах строительства намывных дамб и на этапах

последующего заполнения емкости. Расчеты устойчивости проводились в программном комплексе ОТКОС-22.

Исходя из полученных данных были определены гранулометрические составы каждой характерной зоны (рисунок 1), получены фильтрационные и физико-механические характеристики материала намыва, разработана схема возведения сооружения и его эксплуатации, сделаны расчеты на устойчивость и вывод о возможности использования данной пульпы в качестве грунта дамбы.

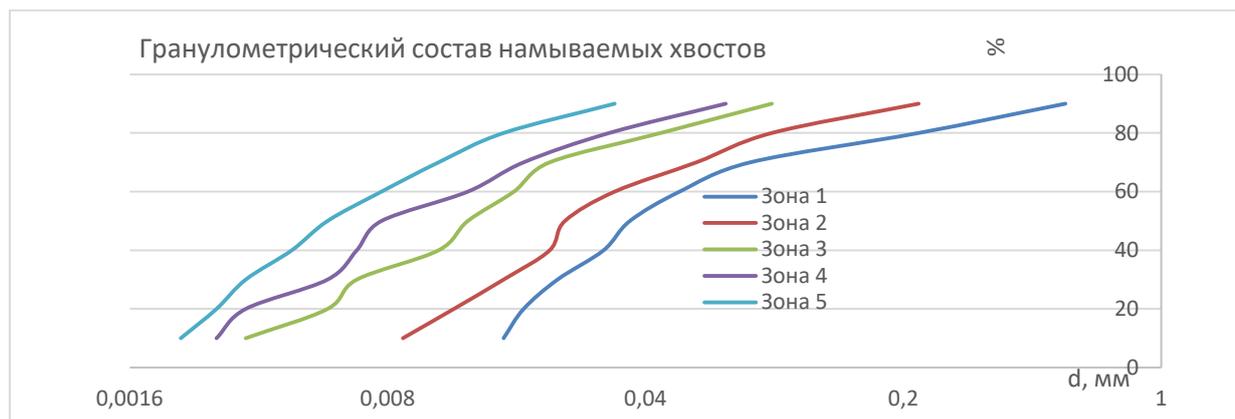


Рис.1 Раскладка фракций по зонам намыва на хвостохранилище

Список литературы

1. Мелентьев В.А. Песчаные и гравелистые грунты намывных плотин. Москва: Гос. энергет.изд-во, 1960.
2. Огурцов А.И. Намыв земляных сооружений. Москва: Стройиздат, 1974.
3. Эристов В.С. Производство гидротехнических работ. Москва Издат-во литературы по строительству, 1970.
4. Рекомендации по проектированию хвостовых хозяйств предприятий металлургической промышленности. Москва: Стройиздат, 1974.
5. Недрига В.П. Гидротехнические сооружения. Москва: Стройиздат, 1983.
6. Юфин А.П. Гидромеханизация. Учебное пособие для вузов. Москва: Стройиздат, 1974.
7. Федоров И.С., Захаров М.Н. Складирование отходов рудообогатения. Москва: Недра, 1985.
8. СП 39.13330.2012 Плотины из грунтовых материалов.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ ВОДЫ ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ НА НАПОРНЫЕ ГРАНИ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

Гоциридзе Г.П.¹, Бестужева А.С.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

² к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены горизонтальные гармонические колебания, действующие на грунтовую плотину, представленную в виде закрепленной стены, движущейся как единое целое вместе с фундаментом. Составлена номограмма для практического определения коэффициента присоединенной массы воды, что позволяет определить гидродинамическое давление на элемент напорной грани плотин с широким спектром принятого заложения. Произведен сравнительный анализ полученных эюр с уже известными данными, используемыми в нормативной документации.

Ключевые слова: *грунтовая плотина, гидродинамическое давление, уравнение Лапласа, гидродинамическая сетка.*

Введение. Учет и анализ взаимодействия сооружений с водной средой при землетрясениях на сегодняшний день остается одним из самых актуальных вопросов проектирования гидротехнических сооружений. Теоретические основы учета подобного взаимодействия были разработаны в 30-х годах прошлого века в работах западных ученых (Ветергард, Карман, Зангар, Ламб), активные исследования проводили и отечественные ученые (Шульман С.Г., Шейнин И.С., Кульмач П.П. и др.). Достижения и результаты их работы на сегодняшний день являются методологической основой при определении сейсмических нагрузок на гидротехнические сооружения и имеют отражения в актуальной нормативной документации Российской Федерации.

Материалы и методы. Современные подходы к решению задач учета и анализа взаимодействия сооружений с водной средой при землетрясениях и доступные вычислительные мощности позволяют уточнить и скорректировать существующую методику определения сейсмических нагрузок на гидротехнические сооружения при землетрясениях.

Результаты. В рамках исследования были рассмотрены горизонтальные гармонические колебания, действующие на грунтовую плотину, представленную в виде закрепленной стены, движущейся как единое целое вместе с фундаментом. Учитывая

малость перемещения элементов плотины и предположения о несжимаемости воды, гидродинамическое давление на элемент можно представить следующей формулой:

$$\frac{\partial^2 P_{\text{гидр}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P_{\text{гидр}}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 P_{\text{гидр}}}{\partial z^2} = 0.$$

Таким образом, задача определения гидродинамического давления воды на элемент плотины описывается уравнением Лапласа, графическое решение которого можно представить в виде гидродинамической сетки, составленной пересечением семейства эквипотенциалей ($H=\text{const}$) и линий тока ($P=\text{const}$).

Вышеуказанное уравнение Лапласа было решено для наклонных напорных граней плотин с вертикальным углом $\alpha = 0^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 40^\circ, 60^\circ, 75^\circ$. На основе полученных результатов составлена номограмма для практического определения коэффициента присоединенной массы воды μ_k , что позволяет определить гидродинамическое давление на элемент напорной грани плотин с широким спектром принятого заложения.

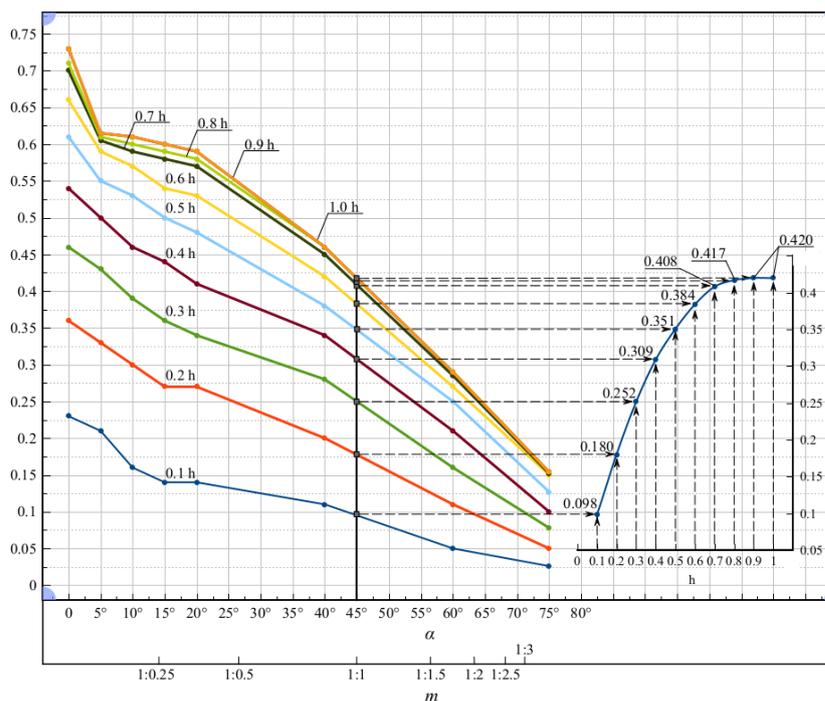


Рисунок 1. Номограмма эпюры распределения коэффициента μ_k

Выводы и рекомендации. Произведен сравнительный анализ полученных эпюр с уже известными данными, используемыми в нормативной документации.

Для вертикальной наклонной грани решения совпали, для углов $\alpha = 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ$ погрешность составляет до 20%, что является недопустимым для инженерных расчетов и вопросов проектирования.

МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ДИАФРАГМЫ В КАМЕННЫХ ПЛОТИНАХ

Тарасов А.А.,

аспирант кафедры ГиГС, Москва

Аннотация. Рассмотрены методики расчета диафрагмы в каменных плотинах. Произведено сравнение расчетов ручным методом и в программных комплексах *Plaxis 2D* и *SCAD Office*.

Ключевые слова: диафрагма, расчет балок на упругом основании, каменная плотина, гидростатическое давление.

Введение. Конструкции каменных плотин с диафрагмами являются одними из самых экономичных типов плотин за счет максимально обжатого профиля и минимального объема противофильтрационного элемента (ПФЭ).

Материалы и методы. При выполнении задачи произведено сравнение расчетов ручным методом (на основе метода Жемочинка Б.Н.), а также в программных комплексах *Plaxis 2D* и *SCAD Office*.

Результаты. В отличие от традиционных асфальтобетонных диафрагм, которые возводятся совместно с отсыпкой плотины и требуют специальных технологий по укладке и уплотнению ПФЭ, устройство «стены в грунте» из буросекущихся свай позволяет ускорить процесс за счет строительства «стены в грунте» очередями по мере протекания и стабилизации строительных осадок грунтовой насыпи.

В настоящей работе представлены различные методы расчета диафрагмы от гидростатического давления в каменных плотинах, в т.ч. предложена теория расчета диафрагмы, как балки на упругом (Винклеровском) основании. Расписана теория расчета балок на упругом основании, в т.ч. с выводами формул. Выполнено сравнение исходных данных для решения задачи, и полученные результаты расчетов.

Выводы и рекомендации. Результаты расчетов в программных комплексах *Plaxis 2D* и *SCAD Office* сопоставимы между собой, разница по результатам расчетов составляет не более 10%.

Представлены возможные причины возникшей разницы между результатами машинного и ручного счета.

Эпюра по результатам расчета диафрагмы, как балки на упругом основании имеет схожий характер, но результаты прогибов отличаются существенно.

ЭФФЕКТЫ КОНТРВИХРЕВЫХ ТЕЧЕНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ СБРОСА ХОЛОСТЫХ РАСХОДОВ ГИДРОУЗЛОВ

Скляднев М. К.¹, Орехов Г. В.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Рассмотрены эффекты контрвихревых течений и их использование для сброса холостых расходов гидроузлов. Проведено исследование методом физического моделирования.*

Ключевые слова: *гидротехнические водосбросы, гасители энергии потока, продольно-циркуляционные течения жидкости, турбулентность, силы вязкого трения, гидравлические сопротивления.*

Введение. Статья посвящена исследованию гидравлических характеристик гасителей энергии потока гидротехнических водосбросов. Водосбросы входят в состав сооружений гидроузлов различного назначения и предназначены для сопряжения бьефов и гашения избыточной энергии сбрасываемых потоков как во время строительства, так и в эксплуатационный период. Выбор схемы сопряжения бьефов и способа гашения энергии потоков воды является важным этапом при формировании компоновочной схемы всего комплекса сооружений при проектировании и строительстве гидроузлов. В практике гидротехнического и гидроэнергетического строительства используются различные конструкции водосбросов и способы гашения энергии потоков. Однако переход к высоконапорным сооружениям требует нетрадиционных подходов к изучению явлений, связанных с течением высокоскоростных потоков, и разработки принципиально новых видов течений и конструкций гасителей, что формирует новые технологические решения в гидротехническом строительстве. Одним из таких подходов является способ гашения энергии с помощью контрвихревых гасителей, основанный на взаимодействующих циркуляционных течениях.

Материалы и методы. Исследование проведено методом физического моделирования. Для проведения исследований были построены физические модели. С помощью физического эксперимента определялись некоторые динамические и кавитационные характеристики сложного течения.

Результаты. Целью исследований является обоснование эффективности работы гасителей энергии сбрасываемых расходов воды для гидротехнических водосбросов,

использующих гидродинамические эффекты вязкого взаимодействия коаксиально расположенных и противоположно закрученных слоёв жидкости.

Описываемый способ гашения, основанный на работе сил вязкого трения, позволяет погасить избыточную энергию потока на очень коротком участке проточного тракта водосброса.

Для проведения исследований были построены физические модели с действующим напором до 70 м вод. ст. и расходом до 3 м³/с. Получены характеристики пропускной способности контрвихревого гасителя, а также значения гидравлического сопротивления всей системы и коэффициента гашения энергии. С помощью физического эксперимента определялись некоторые динамические и кавитационные характеристики сложного течения. Дана оценка погрешностей измеряемых величин.

Результаты исследований показали, что при такой организации искусственно созданного течения коэффициент гашения энергии может иметь очень большие значения. Энергия гасится на участке проточного тракта с повышенной турбулентностью потока, стандарт пульсаций которого может превышать в 4-5 раз аналогичные значения, наблюдаемое в обычном продольном течении. Возникающее в приосевой зоне закрученного потока отрицательное давление (плоть до полного физического вакуума) позволяет транспортировать в поток атмосферный воздух и тем самым снижать динамические воздействия со стороны потока на элементы строительных конструкций. Приводится сравнение характеристик контрвихревых гасителей энергии с уникальными гасящими свойствами при компактности его конструкции и надёжности эксплуатации с другими способами гашения кинетической энергии потока. Показано, что предлагаемый подход выгодно отличается от известных способов гашения энергии.

Выводы и рекомендации. В результате исследований можно сделать выводы:

- эффективность гашения энергии при взаимодействии коаксиальных противоположно закрученных потоков может достигать 90-98% от действующего напора;
- гашение энергии всего потока происходит на очень малом расстоянии от локальных завихрителей, составляющем 6-8 диаметров камеры смешения;
- в зоне взаимодействия слоёв потока наблюдается повышенная пульсация давления, достигающая до максимума на расстоянии от начала камеры смешения, равном 0,6 радиуса и зона рециркуляции, сопровождающаяся отрицательным давлением в приосевой зоне течения.

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТРУБЧАТЫХ ВОДОСБРОСОВ ГРУНТОВЫХ ОДНОРОДНЫХ ПЛОТИН МАЛЫХ НАПОРОВ

Чан М.К¹, Орехов Г.В²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Проведено численное моделирование с применением программного комплекса Plaxis фильтрационной устойчивости грунтовых плотин в области трубчатых водосбросных сооружений на примере грунтовой плотины Бунг-Бунг во Вьетнаме. Разработаны конструктивные подходы к предотвращению гидравлического разрыва для обеспечения безопасных условий работы плотины.

Ключевые слова: фильтрация, грунтовая плотина, гидравлический разрыв, водопропускная труба, нормальное напряжение, неравномерная осадка, разрушение.

Введение. В мире происходит много разрушений грунтовых плотин из-за потери фильтрационной прочности грунтов тела плотины или основания. Фильтрационная устойчивость грунтов прямым образом связана с явлением гидравлического разрыва, поэтому предотвращение условий, вызывающих гидравлический разрыв, является очень важной задачей при проектировании и эксплуатации грунтовых плотин. Гидравлический разрыв тесно связан с явлениями неравномерной осадки грунтов плотины и строительных конструкций. В грунтовых плотинах явление неравномерной осадки часто возникает в зонах между грунтом плотины и бортовыми массивами створа плотины, грунтом плотины и бетонными конструкциями, такими как водопропускные трубы и водосбросы, фундаментные элементы конструкций, водонепроницаемым ядром плотины и примыкающими к нему зонами грунта. Статья посвящена исследованию фильтрационной устойчивости грунтовых плотин в области трубчатых водосбросных сооружений.

Материалы и методы. Исследование проводилось с помощью численного моделирования с применением программного комплекса Plaxis.

Результаты. В качестве объекта исследования принята грунтовая плотина Бунг-Бунг (Вьетнам). В состав гидроузла Бунг Бунг входит однородная грунтовая плотина максимальной высотой около 21 м и длиной по гребню 123,6 м, поверхностный эксплуатационный водосброс и водопропускная труба, предназначенная для спуска воды из водохранилища в период ремонтных или реконструкционных работ.

Водоспускная система представляет собой железобетонную круглоцилиндрическую трубу, которая проходит поперёк плотины на её низких, придонных отметках. Труба уложена на бетонный фундамент толщиной 0,5м. Водоспускная система устроена у правого берега плотины, она выполнена из стальных труб диаметром 800 мм, толщиной 20 мм, покрытых железобетоном марки 300; её длина равна 55,5 м. В конце трубы, со стороны нижнего бьефа, устроен затвор. Со стороны верхнего бьефа находится водоприёмник.

Выводы и рекомендации. Результаты исследований показали, что нормальное напряжение вокруг водопропускной трубы было снижено до уровня, намного ниже, чем давление воды в фильтрационном потоке с высокой вероятностью гидравлического разрыва в объеме грунта, находящегося под водосбросной трубой. Таким образом, в этих областях может произойти гидравлический разрыв.

Предложено два конструктивных подхода к предотвращению явления гидравлического разрыва: во-первых, изменить форму сечения водопропускной трубы, а во-вторых, устроить глиняную рубашку вокруг водосбросной трубы.

Оба подхода были проверены численным методом. Расчёты показали, что применение обоих методов снижают условия возникновения гидравлического разрыва вблизи водопропускной трубы.

Разрушение плотины из-за гидравлического разрыва может привести к серьёзному повреждению. Внедрение методов предотвращения гидравлического разрыва крайне важно для обеспечения безопасных условий работы плотины.

УЧЕТ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕДОВО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПРИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ИЗ-ЗА АКТИВИЗАЦИИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ОБСКОЙ ГУБЫ)

Виноградов Р.А.¹, Андреев О.М.², Морозова О.А.³

¹ *научный сотрудник лаборатории «Арктик-шельф» им. Г.К. Зубакина ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург;*

² *к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории «Арктик-шельф» им. Г.К. Зубакина ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург*

³ *младший научный сотрудник лаборатории «Арктик-шельф» им. Г.К. Зубакина ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург*

Аннотация.

Ключевые слова: *ледово-гидрологические условия, антропогенное влияние, морские гидротехнические сооружения.*

Введение. Вопросы освоения арктического региона всегда были актуальны для нашей страны. В последние десятилетия эта тема получила новый импульс развития. При этом важное место занимает морская транспортная инфраструктура со строительством соответствующих гидротехнических сооружений.

Материалы и методы. Исходными данными для определения уровня антропогенного воздействия послужили сведения о количестве судозаходов к различным терминалам порта Сабетта; ледовая обстановка оценивалась по архивным ледовым картам ФГБУ «АНИИ» для акватории Обской губы.

Результаты. Регулярное круглогодичное судоходство началось в Обской губе с 2013-2015 гг. С этого времени авторами были отмечены происходящие на акватории изменения ледовых условий, выходящие за рамки исключительно климатических процессов. Был проведен анализ этих изменений и сделан вывод о существенном влиянии антропогенной составляющей (в виде интенсивней зимней навигации) на ледовые условия в северной части Обской губы, что было отмечено в соответствующей работе.

Продолжение исследований (уже частично в рамках НИТР 5.1.6 Росгидромета) показало более значимое влияние антропогенных процессов практически на весь ледово-гидрологический комплекс акватории, что в свою очередь должно сказываться и на

актуальных величинах, закладываемых в проекты при морском гидротехническом строительстве.

В качестве исходных данных для определения уровня антропогенного воздействия использовались сведения о количестве судозаходов к различным терминалам порта Сабетта. Ледовая обстановка оценивалась по архивным ледовым картам ФГБУ «АНИИ» для акватории Обской губы (с частотой 2 раза в неделю). Причем, для сравнения с фоновыми условиями, анализ производился за последние 25 лет.

За этот же срок использовались сведения по температурному режиму, необходимые для оценки суровости зимних условий с учетом климатических изменений. Все исходные данные подвергались статистической обработке для выявления взаимосвязей. В ходе анализа полученных результатов и с привлечением известных закономерностей взаимовлияния ледовых и гидрологических условий оценивался характер потенциального изменения проектных величин, необходимых для гидротехнического строительства.

Выводы и рекомендации. Проведенное исследование позволило выявить влияние интенсификации зимнего судоходства в Обской губе на ледовую обстановку. В свою очередь масштабные изменения ледовых условий на акватории губы вызывают соответствующую адаптацию остальных гидрологических параметров: колебаний уровня, течений и др.

Результатом совместной перестройки ледового и гидрологического режимов является изменение отдельных гидрометеорологических характеристик, требуемых нормативными документами при проектировании морских гидротехнических сооружений. Это может сказаться на принимаемых компоновочных и конструктивных решениях портовых комплексов.

Соответствующая корректировка проектных значений может касаться как нового гидротехнического строительства, так и уже существующих на данной акватории сооружений.

Работа выполнена в рамках НИТР 5.1.6 Росгидромета за 2020-2024 гг.

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ БЕЗОПАСНОСТИ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА МЯГКИХ ГРУНТАХ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ОСНОВАНИЯ

Александров А.В.,

к.т.н., руководитель работ по выравниванию здания станции Загорской ГАЭС-2, Москва

Аннотация. *Рассмотрены возможности повышения уровня безопасности бетонных сооружений на мягких грунтах за счет изменения свойств основания. Дана аналитическая оценка результатов выполненных на различных стадиях работ с целью изменения состояния основания в сторону увеличения механических характеристик грунтов, а также выравнивания этих характеристик по площади и глубине.*

Ключевые слова: *грунтовые условия, основание, изыскания, уровень безопасности, прогноз.*

Введение. В равнинных условиях Российской Федерации значительное количество гидротехнических сооружений ГТС (ГТС) возведено на мягких грунтах. В частности, на мягких грунтах возведена большая часть Волжско-Камского каскада ГЭС, сооружения Загорской ГАЭС и ГАЭС-2, морские шельфовые сооружения, имеющие I-IV класс опасности. Характерной особенностью этих гидроузлов является размещение бетонных сооружений (зданий станций, водоприёмных сооружений, плотин, шлюзов и проч.) на нескальном основании, что предъявляет к ним ряд специальных условий по их устойчивости и долговечности в условиях сложных гидрогеологических процессов.

Результаты. В рамках традиционной школы проектирования бетонных сооружений на нескальном основании природные характеристики основания, определяемые в процессе изыскательских работ, предполагались неизменными на стадиях проектирования, строительства и эксплуатации сооружения. Однако, ряд исследований, а также зафиксированные процессы различного происхождения, неучтённые в рамках проектных работ (неравномерные по площади сооружения непроектные осадки, проявления выхода грунтовых вод на дневную поверхность, выпоров и проч.), показывают, что на грунтовые условия оснований сооружений влияет сам факт их возведения.

До настоящего времени отсутствовала возможность изменения этих условий. Существует необходимость выполнения управляемого вмешательства в грунтовые условия оснований с целью их изменения в нужную для работоспособности сооружений сторону и повышения безопасности ГТС, что является актуальной задачей.

Процессы, произошедшие при осадке здания ЗаГАЭС-2 в 2013 году, изменили инженерно-геологические условия основания здания ГАЭС, это событие привело к

ремонтно-восстановительным работам, существенно изменившим характер и свойства грунтового массива.

В рамках работ по восстановлению Загорской ГАЭС-2 в настоящее время выполняются работы по выравниванию здания станции. Работы выполняются методом управляемого компенсационного нагнетания.

В процессе выполнения работ был проведен ряд исследований основания здания ГАЭС: инженерно-геологические и инженерно-геофизические изыскания, выполненные как на стадии разработки проекта, так и на стадии работ по восстановлению.

Основной целью инженерных изысканий являлся контроль эффекта изменения грунтовых условий после инъекционных мероприятий при восстановительных работах.

Работы выполнялись как инженерно-геологическими методами путём выбуривания образцов с последующими их лабораторными исследованиями, так и инженерно-геофизическими методами.

При выполнении инженерно-геофизических изысканий контролируемым параметром являлась скорость упругой волны. Оценивалось распределение упругих параметров (скоростей упругих волн) до инъекционных мероприятий и после цикла этих работ.

При увеличении скорости можно было сделать вывод о произошедшем укреплении, падение скорости упругой волны свидетельствовало бы о разуплотнении.

Выводы и рекомендации. Аналитическая оценка результатов изыскательских работ, выполненных на различных стадиях, показала изменение состояния основания в сторону увеличения механических характеристик грунтов основания, а также выравнивания этих характеристик по площади и глубине.

Определена возможность изменения свойств основания сооружения на нескальном основании.

ПРОВЕДЕНИЕ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕТОННОЙ ПЛОТИНЫ ОТ СЛАБЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Доронин Ф.Л.,

к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Представлены результаты натурных исследований бетонной массивно-контрфорсной плотины от динамических воздействий различной интенсивности. Приведен анализ динамической реакции сооружения на импульсные воздействия от вибрационной машины, подводных взрывов и действия слабых землетрясений. Дана оценка динамических характеристик контрфорсной плотины, уточнены параметры затухания и собственные частоты сооружения.

Ключевые слова: импульсное воздействие, ударная волна, динамическая реакция, вибрационная машина, собственная частота, параметр затухания, подводный взрыв, землетрясение.

Организация и проведение натурных динамических испытаний позволяет выявить частоты и формы собственных колебаний сооружений, построить амплитудно-частотные характеристики, определить логарифмический декремент затухания колебаний, а значит уточнить демпферные свойства конструкции.

Для разрешения поставленных задач следовало разработать методику проведения таких испытаний, включая выбор источников возбуждения колебаний, подбор регистрирующей и измерительной аппаратуры, порядок проведения самих испытаний, систему обработки и анализа результатов опытов.

Для разработки методики проведения динамических исследований было выбрано водоподпорное сооружение – плотина Анджижанского водохранилища в Узбекистане. Бетонная массивно-контрфорсная плотина высотой 112,5 м и шириной по гребню – 875 м. Общая длина плотины превышает 1 км и включает в себя левобережную земляную плотину длиной 166 м и высотой 35 м (рисунок 1).

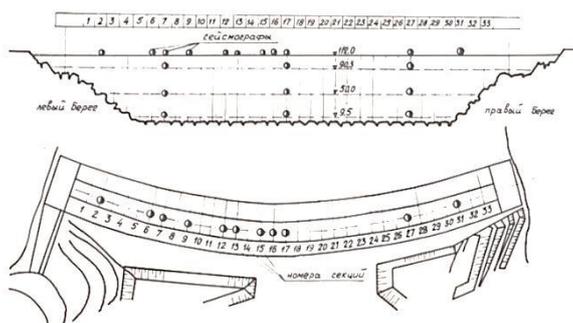


Рис. 1. Плотина Анджижанского водохранилища

Были проведены комплексные динамические испытания, в том числе натурные эксперименты. Для возбуждения колебаний плотины использовались различные источники: ударные нагрузки; динамические нагрузки от взрывов зарядов ВВ в скальном грунте; динамические нагрузки от подводных взрывов ВВ на различных глубинах; воздействия мощной машиной дебалансного типа, установленной на гребне плотины; записи естественных землетрясений. В качестве измеряемых параметров при колебаниях плотины принимались смещения и скорости.

По результатам обработки записей колебания удалось получить графики спектральной плотности и их автокорреляционные функции, определить собственные частоты первой и второй форм колебаний и установить логарифмический декремент затуханий колебаний (рисунок 2).

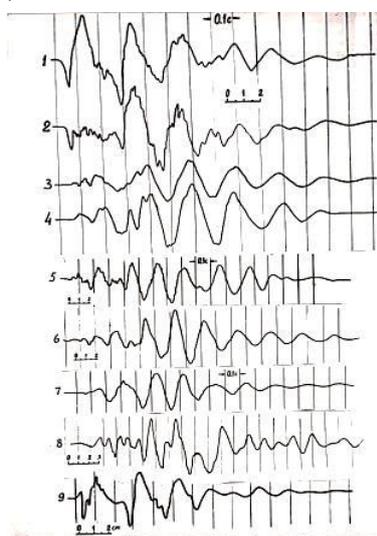


Рис. 2. Образцы записи колебаний плотины от подводных взрывов

Выводы и рекомендации.

1. Динамические свойства зданий и сооружений, полученные на основе расчетных схем и методов расчета, могут быть уточнены в результате проведения динамических натурных исследований на объекте строительства.

2. Из представленных методов натурных динамических исследований сооружений к наиболее эффективным можно отнести: использование подводных взрывов малой мощности; использование вибрационной машины.

3. Метод проведения натурных динамических испытаний с использованием вибрационной машины является универсальным для любых типов сооружений и может быть принят для проведения систематических испытаний в период строительства и эксплуатации объекта.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОРСКИХ ВОЛН НА НЕФТЯНЫЕ ПЛАТФОРМЫ МАЯТНИКОВОГО ТИПА

Пиляев С.И.,

к.т.н, доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Аннотация. Рассмотрены морские платформы на маятниковых опорах в качестве гидротехнических сооружений вспомогательного назначения (техническое обслуживание скважин, спуско-подъемные операции, подача нефти к морскому трубопроводу или непосредственно на танкер). Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по воздействию волн на модели маятниковых платформ.

Ключевые слова: маятниковая платформа, волновой режим, теоретические и экспериментальные исследования.

Введение. В настоящее время при освоении морских нефтегазовых месторождений маятниковые опоры используются как гидротехнические инженерные сооружения вспомогательного назначения. Они предназначены для приема и подготовки продукции, получаемой из кустов подводных скважин, откачки ее на берег или в танкерные суда, сжигания газа на факельных установках и других видов вспомогательных работ.

В определенных условиях (например, на больших глубинах) маятниковые опоры вполне успешно могут быть использованы вместо дорогостоящих и капиталоемких плавучих и стационарных платформ.

Материалы и методы. Для разработки метода расчета маятниковых опор предварительно были проведены экспериментальные исследования. Исследование воздействий ветровых волн на морские платформы маятникового типа проводились в волновом лотке отраслевой лаборатории кафедры гидравлики и гидротехнических сооружений НИУ МГСУ.

Результаты. Обобщение полученных экспериментальных данных позволило выявить области рационального применения маятниковых опор и обосновать инженерные рекомендации аналитического способа оценки перемещения и опорных реакций маятниковых платформ.

При рассмотрении взаимодействия маятниковой опоры, с регулярными ветровыми волнами учитывались следующие действующие силы:

1. собственный вес подвижной части системы G ;

2. выталкивающая (поддерживающая) сила равная весовому водоизмещению подвижной части опоры (с учетом поплавок) W ;

3. силовое воздействие регулярных волн Q ;

4. инерционная сила J , перемещения массы подвижной части системы $m = \frac{G}{g}$ с линейным ускорением центра тяжести ω_{mx} ;

5. инерционная сила J перемещения присоединённой массы жидкости $m = \frac{\gamma}{g}(c_m - 1)W$ с линейным ускорением центра величины ω'_{mx} .

Уравнение движения опоры может быть составлено из условий равенства нулю моментов действующих сил в шарнире, расположенном в начале координат, для любого момента времени, соответствующему углу наклона θ . Данное уравнение представляет собой, по существу, нелинейное дифференциальное уравнение второго порядка с неоднородными членами, характеризующее взаимодействие двух колебательных процессов: колебаний частиц жидкости при волновом движении и колебании самой маятниковой опоры.

Имея в виду бесперспективность поисков строгого математического решения уравнения, было решено разработать упрощенный численный метод для приближенной оценки перемещений и опорных реакций системы.

При сопоставлении с экспериментальными данными было выявлено, что наибольшее расхождение перемещений маятниковой опоры с предложенным методом расчета не превышало 8% - 10%. Наибольшее расхождение значений горизонтальных составляющих реакций в шарнире опоры находилось в пределах до 18- 20%.

Выводы и рекомендации. Сложность структуры дифференциального уравнения движения опоры под воздействием регулярных волн исключает практическую возможность получения решения в замкнутом виде.

Полученные приближенные аналитические зависимости для оценки реакций системы (смещений и опорных реакций в шарнире) могут быть использованы при инженерных расчетах для решения численным методом для дискретных значений интервала времени.

Несмотря на ряд упрощающих допущений, проведенные выборочные сопоставления расчетных и опытных данных для ряда волновых режимов показали вполне удовлетворительное совпадение.

ОЦЕНКА ТЕХНОГЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ОТ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Антонов А.С.¹, Юрченко А.Н.²

¹к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, главный инженер АО «Институт Гидропроект»-«НИИЭС», Москва

²к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, заместитель директора ООО «АИР», Москва

Аннотация. Дана оценка техногенных динамических воздействий от оборудования при реконструкции гидротехнических сооружений. Определено количественное вибрационное воздействие от работы гидромолотов при демонтаже существующих сооружений, а также их влияние на площадку проведения работ и безопасность примыкающих конструкций. Построены номограммы распределения величин ускорений по площадке строительства. Определены фактические техногенные динамические нагрузки. Разработаны предложения по уточнению устойчивости и прочности грунтового массива основания и склона. Определён эффективный метод демонтажа бетонных конструкций при реконструкции водоприёмного узла.

Ключевые слова: оценка техногенных воздействий, динамические воздействия от оборудования, реконструкции гидротехнических сооружений.

Введение. В настоящее время наступает период, когда значительное количество гидротехнических сооружений 2-4 класса приблизились или уже превзошли нормативный срок эксплуатации, в связи с этим встаёт вопрос о необходимости их реконструкции или обоснования их дальнейшей безопасной эксплуатации. Рассматривается информация о реконструкции водоприёмного узла ГЭС ввиду невозможности дальнейшего обеспечения его безаварийной и надёжной эксплуатации.

Результаты. Реконструкция сегодня должна удовлетворять нескольким ключевым аспектам: стоимость, скорость и надёжность. В связи с этим встаёт вопрос о выборе метода демонтажа и строительства. Зачастую заказчикам ставится задача в ускоренном проведении работ, которые требуют применения специализированного оборудования, создающего значительные техногенные динамические воздействия.

Целью работы является оценка возможности применения роботизированной техники для проведения демонтажных работ на элементах ГТС. Задачами работы являются:

- проведение сейсмо-вибрационных исследований на гидротехнических сооружениях;

- определение влияния техногенных динамических воздействий на основание и конструкции сооружения, включая прилегающие сооружения и грунтовые склоны естественного и искусственного залегания.

При проведении работ на сооружении в специально выбранных местах размещались датчики, контролирующие величины вибрационных воздействий от применяемого оборудования.

В ходе проведения работ определялось количественное вибрационное воздействие от работы гидромолотов при демонтаже существующих сооружений, а также их влияние на площадку проведения работ и безопасность примыкающих конструкций.

По результатам работ получены величины ускорений по осям X, Y и Z, построены номограммы распределения величин ускорений по площадке строительства.

Выводы и рекомендации. В результате работ определены фактические техногенные динамические нагрузки, сделаны предложения по уточнению устойчивости и прочности грунтового массива основания и склона.

Определён эффективный метод демонтажа бетонных конструкций при реконструкции водоприёмного узла.

Сделан однозначный вывод о невозможности применения гидромолотов, вызывающих техногенные динамические нагрузки, для демонтажа фундаментной плиты водоприёмного узла.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСАЧИВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА ЧЕРЕЗ НАКЛОННЫЙ ГРУНТОВЫЙ СКЛОН

Анахаев К.Н.¹, Анахаева Х.К.²

¹д.т.н., профессор, Институт прикладной математики и автоматизации КБНЦ РАН, Нальчик; Институт водных проблем РАН, Москва;

²инженер, Российский университет транспорта, Москва

Аннотация. На основе математического моделирования получены зависимости по определению параметров фильтрации, высачивающейся на грунтовый склон, имеющие сходимость (до 5-6 %) с экспериментами по методу ЭГДА и точного решения.

Ключевые слова: фильтрация через откос, высота высачивания, расход, градиенты напора.

Введение. В работе приводится математическое моделирование гидравлической модели высачивания фильтрационного потока через наклонный водонасыщенный грунтовый склон, подстилаемый непроницаемыми грунтами – водоупором (скальными - полускальными породами, плотной глиной) (рисунок 1).

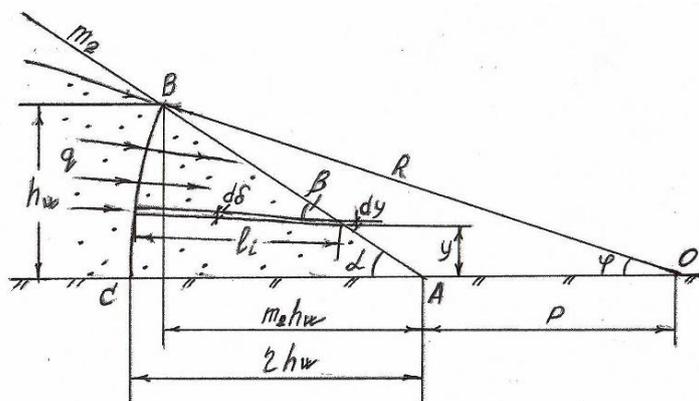


Рисунок 1. Расчетная схема фильтрации через грунтовый склон.

Результаты. В результате гидравлического рассмотрения задачи фильтрации в области ABC с непрерывно изменяющимися по высоте длиной и направлением линий токов получена расчетная зависимость для фильтрационного расхода в виде:

$$q/k = h_w \varepsilon \left[\frac{1+\lambda}{2(\eta-t)} - \frac{\lambda(5\eta-t)}{8(\eta-t)^2} - \frac{t(\eta-t-\lambda\eta)}{(\eta-t)^3} \ln \frac{2\eta}{\eta+t} + \frac{4-3\lambda}{8(\eta+t)} \right], \quad (1)$$

где k - коэффициент фильтрации; h_w - высота высачивания; α_0 - угол в град.;

$$\eta = m_2 + \xi - \sqrt{\xi^2 - 1} \quad ; \quad t = \left[\xi + \sqrt{\xi^2 - 1} - m_2 - \sqrt{1 + \left(2\sqrt{\xi^2 - 1} - m_2\right)^2} \right] ;$$

$$\varepsilon = \frac{l_{BC} + h_w}{2h_w} = \frac{1}{2} \left(1 + \xi \arcsin \frac{1}{\xi} \right) ; \quad \lambda = 1 - \frac{\sin(0.47\alpha)}{\sin \alpha} ; \quad \xi = 1.176 \cdot 90 / \alpha_0 .$$

С зависимостью (1) достаточно близко (до 3-5 %) согласуется формула (2) [1, 2]

$$q / k = h_w \left[3m_2 \left(m_2^2 + 0.4 \right) + 0.4 \right]^{-1/3} . \quad (2)$$

Выводы и рекомендации. Сравнение результатов формул (1) и (2) с данными метода ЭГДА [1, 3, 4] и точного решения Полубариновой-Кочиной П.Я. [5] дало приемлемое для практических расчетов соответствие (до 5-6 %).

Список литературы

1. *Анахаев К.Н.* Расчет фильтрации в однородной грунтовой плотине на непроницаемом основании // Изв. вузов. Строит-во и арх-ра. 1990. № 11. С. 71-75.
2. *Анахаев К.Н.* Совершенствование конструкции, методов расчетного обоснования и проектирования противofильтрационных устройств грунтовых плотин. Дисс. д-ра тех. наук. 05.23.07. МГМИ. М. 1997. – 521 с.
3. *Маскет М.* Течение однородных жидкостей в пористой среде. Пер. с англ. М.-Л., 1949. – 528 с.
4. *Беляев А.Н. и др.* Моделирование притока грунтовых вод к осушительному каналу при наличии участка высачивания на его откосах // Конструкции и методы расчета мелиоративных систем. БелНИИМиВХ. Минск. 1985. С. 78-89.
5. *Полубаринова-Кочина П.Я.* Теория движения грунтовых вод. М., 1977. 664 с.

РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ ЗАВАЛЬНЫХ ПЛОТИН РАЗЛИЧНОГО ОЧЕРТАНИЯ

Анахаев К.К.,

аспирант Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова, Нальчик

Аннотация. *Разработан метод определения объемов тел завальных плотин треугольного и трапецидального очертаний в руслах горных и предгорных водотоков по исходным данным натурных и дистанционных измерений, приведены примеры расчетов.*

Ключевые слова: *горные водотоки, завальные плотины, объемы завалов, оползни, обвалы береговых склонов, сели.*

Введение. На горных и предгорных водотоках нередко случаи внезапного перекрытия русел грунтовыми массами в результате оползаний (обвалов) береговых массивов с образованием завальных плотин, которые происходят как при переувлажнении неустойчивых глинистых и супесчаных грунтов на береговых склонах, так и при подмывах их оснований паводковыми и селевыми потоками, а также при сейсмических воздействиях. Подобные грунтовые завалы русел водотоков нередко случались как в нашей стране, так и за рубежом.

Накопление водных масс с верховой стороны от завальных плотин и возможное их разрушение при переполнении верхнего бьефа и потере устойчивости тела плотины создают угрозу возникновения прорывного селевого (наносоводного) потока большой разрушительной силы. Это обуславливает актуальность разработки методов оперативного определения параметров завальной плотины и аккумулируемого им водоема, используя при этом исходные натурные данные, а также дистанционные измерения.

Результаты. Приведены расчетные зависимости для определения объемов тела завальной плотины треугольного и трапецидального очертаний.

Объем тела завальной плотины V_{Δ} треугольного очертания (в поперечном сечении) высотой H_{Δ} может быть определен по формуле объема клина с прямоугольным основанием [1]

$$V_{\Delta} = \frac{1}{6} b_{пл} H_{\Delta} (2B_0 + B_{\Delta}), \quad (1)$$

где B_0 и B_{Δ} - ширины створа русла водотока по пойме и гребню плотины; $b_{пл}$ - ширина плотины по основанию (вдоль русла).

Для случая трапецеидального поперечного сечения тела завальной плотины высотой H , шириной гребня b и шириной створа русла водотока на уровне гребня завала B , объём тела плотины V_S определяется как объём усеченного (на величину Δh) клина с прямоугольным основанием [1]

$$V_S = \frac{1}{6} \left\{ b_{nl} (H + \Delta h) [2B_0 + B + (n_r + n_l) \Delta h] - b \cdot \Delta h [3B + (n_r + n_l) \Delta h] \right\}, \quad (2)$$

в которой $m = 0.5 \cdot (b_{nl} - b) / H$ - коэффициент заложения откосов завальной плотины; $\Delta h = 0.5 \cdot b / m$ - отсекаемая высота клина; n_r и n_l - коэффициенты заложения правого и левого береговых склонов, суммарное значение которых равно $(n_r + n_l) = (B_r + B_l) / H = (B - B_0) / H$, где B_r и B_l - горизонтальные проекции правой и левой склоновых частей створа русла на уровне гребня трапецеидальной завальной плотины с шириной B .

Исходные параметры, входящие в приведенные формулы (1) и (2), могут быть определены как непосредственными измерениями в натуре на местности, так и с использованием данных дистанционных измерений при расположении завальных плотин в труднодоступных горных районах.

Выводы и рекомендации. В качестве примеров были проведены расчеты объёмов тел завальных плотин различных сечений:

1. Для плотины треугольного очертания при исходных данных $H_{\Delta} = 10$ м, $b_{nl} = 40$ м, $b = 8$ м, $B_0 = 3$ м, $B_{\Delta} = 30$ м значение объёма будет равно $V_{\Delta} = 2400$ м³.

2. Для плотины трапецеидального очертания при исходных данных $H = 8$ м, $b_{nl} = 40$ м, $B_0 = 3$ м, $B = 25$ м значение объёма будет равно $V_{\Delta} = 2218.7$ м³ - при высоте отсекаемого клина $\Delta h = 2$ м и суммарном значении $(n_r + n_l) = 2.75$.

Список литературы

1. Бернштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике. Перевод с нем. М.: Наука. 1980. 915 с.

ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРАВЛИКА В ПРОЕКТАХ ПРИЛИВНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ПЛОТИННОГО ТИПА

Ерхов А.А.,

к.т.н., доцент кафедры строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения РГГРУ имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), Москва

Аннотация. *Рассмотрены основные задачи инженерной гидравлики в проектах приливных электростанций плотинного типа.*

Ключевые слова: *прилив, бассейн, плотина, гидротурбина, рабочее колесо, лопасть, мощность, энергия, напор, эксплуатация.*

Введение. Есть два экономических района РФ – Северный и Дальневосточный, где проектирование ПЭС целесообразно (при условии, что здесь сохранится дефицит электроэнергии при высоком экономическом уровне, и они будут работать в составе единой энергосистемы. Главными достоинствами ПЭС являются низкая стоимость обслуживания – <0,5 %, высокая эксплуатационная готовность – >95 %; основные недостатки: очень высокая стоимость установленной мощности – в десять-сто раз выше других источников, долгий срок строительства – 5-15 лет, низкий коэффициент нагрузки – 22-35 %.

Материалы и методы. В проектах приливных электростанций плотинного типа должны быть решены частные инженерные задачи: устойчивость плотины; необходимость эффективного управления скоростным напором; необходимость выверенной ориентации рабочего колеса турбины в водоводе; неравномерность выработки электроэнергии из-за нерегулярности потока, вызванной длительными паузами прилив/отлив; недостаточная эффективность преобразования энергии; тяжёлые условия эксплуатации гидротурбин по ряду показателей, например, наличие шуги, активно идущих биологических/химических процессов; изменение экологического равновесия; влияние на прибрежно-морской наносный режим и переформирование дна за счёт отложений твёрдого стока рек.

Результаты. *Расчёт конструкции плотины.* Плотины ПЭС кубической формы, по конструктивному исполнению – это ячеистые плотины с плоскими перекрытиями, в гидротехнике обычно называемые «облегчёнными»; по материалу – бетонные/железобетонные сооружения.

Расчёт турбинных агрегатов сводится к определению: энергетического потенциала прилива в исходных данных расчёта водовода гидротурбин; кинетической энергии турбинного водовода в энергии осевых турбин; гидравлических характеристик осевой

гидротурбины в конструктивных параметрах мощности; совмещению турбинного водовода со средненапорной гидротурбиной.

Принципиальное решение по ориентации в потоке рабочего колеса, то есть выбор типа турбины. Для ПЭС могут рассматриваться турбины двух типов: а) с горизонтальной осью, ориентированной вдоль потока, диаметром 10-20 м и мощностью 200-700 кВт могут иметь лопасти с регулируемым шагом, подстраиваемым под скорость потока; б) с ортогональной осью и перпендикулярно ей направленным потоком способны извлекать из потока до 35 % энергии.

Неравномерность выработки электроэнергии. В традиционном исполнении ПЭС – однобассейновое ГТС с отгораживающей плотиной; двухбассейновые ПЭС способны генерировать электричество в период повышенного спроса.

Недостаточная эффективность преобразования энергии и оптимизация. Эффективная эксплуатация на основе целевой функции каждого цикла максимизирует выход энергии, и добавление прокачки повышает выход электричества на $\approx 15-20$ %, а в целом оптимизированное управление циклами приводит, за счёт более гибкого управления турбинами и затворами, к увеличению выхода электроэнергии на $\approx 30-35$ %.

Особые условия эксплуатации и технического обслуживания отражаются на расходах. Из всех возможных осложнений в эксплуатации, связанных с задачами инженерной гидравлики, три наиболее острые – волны, ледовые явления, коррозия.

Воздействие на окружающую среду. Технология электрогенерации приливной станции нарушает сложившуюся экосистему географического региона, формировавшуюся тысячелетиями. Показательны негативные примеры с крупными млекопитающими.

Влияние на прибрежно-морской наносный режим. Инженерная гидравлика методами лабораторного моделирования участков в пределах акватории позволит определять параметры и строить в натуре на дне пороги, на берегах – шпоры.

КОМПОЗИТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ УСЛОВИЙ ВБЛИЗИ ПОДХОДНОГО КАНАЛА

Аншаков А.С.¹

¹ к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация.

Ключевые слова: *композиционное моделирование, волновые нагрузки, волновой бассейн, численные модели.*

Введение. Для проектирования портовых сооружений необходимо правильное определение расчетных нагрузок на сооружения для реальных условий площадки проектирования и с учетом предлагаемых вариантов компоновки и конструкции сооружений. Среди внешних нагрузок для портовых сооружений часто определяющими являются нагрузки от ветровых волн, течений и ветра.

Материалы и методы. Расчетные значения параметров ветровых волн, течений и ветра, и их взаимодействия с сооружениями должны определяться для гидрометеорологических условий конкретной площадки строительства. Для этого могут использоваться четыре метода: натурные измерения, физическое моделирование (лабораторные исследования в гидроволновых бассейнах и лотках), расчетные методы и математическое моделирование (численные исследования). Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, которые были на примере композиционного моделирования сооружений проектируемого сухогрузного района морского порта Тамань.

Результаты. В рамках проведенных исследований проводилось численное и физическое моделирование, в ходе которых рассматривались вопросы определения волновых воздействий на сооружения порта.

Подробно описаны испытания на физических моделях в волновых бассейнах, выполненные разными авторскими коллективами. Результаты численного моделирования сравнивались с лабораторными экспериментами.

Исследование выполнено для регулярных и нерегулярных волн. Отмечены достоинства и недостатки использования физических и численных моделей.

Для откосной защиты голов оградительных молов проектировщиками предполагалось использовать фигурные массивы - тетраподы с массой 13 тонн. Эксперименты в волновом

бассейне показали, что такое защитное покрытие является неустойчивым, а для обеспечений устойчивости необходимо увеличить массу тетраподов до 20 тонн.

Численное моделирование волн позволило объяснить увеличение высоты расчетных волн перед головой мола. Этот эффект связан с фокусировкой волн на бровках подходного канала. Увеличение высоты волны приводит к увеличению нагрузки на защитные сооружения головы мола.

Выводы и рекомендации.

В результате исследования были оценены достоинства и недостатки физических и численных моделей.

1. К недостаткам физической модели можно отнести: масштабные и модельные эффекты; многократные инструментальные измерения в отдельной точке и многократные повторения измерений не дают стабильности; высокая трудоемкость физических моделей, а также необходимость в специальном оборудовании.

2. Достоинства физической модели: общепринятая технология моделирования; результаты часто используют как эталон.

3. Недостатки численной модели: не все процессы могут быть корректно описаны; высокие потребности в вычислительных мощностях; неприменимость численных моделей для некоторых задач создают потенциал для ошибок.

4. Достоинства численной модели: гибкость моделей; адекватное представление различных физических процессов; данные можно получить в любой точке модели и в любой момент времени.

К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОННО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ

Захарян Р.А.¹, Седракян А.М.², Маргарян В.Г.³

¹к.т.н., доцент ВНИИ ГО ЧС(ФЦ) МЧС России, Москва

²к.ф.-м.н, доцент, Национальный политехнический университет Армении, факультет прикладных математики и физики, Ереван, Армения

³к.г.н., доцент, Ереванский государственный университет, Ереван, Армения

Аннотация. *Выполнено математическое моделирование остаточной атмосферы электронно-механических вакуумных приборов с внутренними клеевыми соединениями. Предложена методика приближенной оценки парциального давления летучим компонентом, выделяющимся с поверхности клеевого слоя.*

Ключевые слова: *системы безопасности, гидротехнические сооружения, датчики, клеевые соединения, электронно-механические вакуумные приборы.*

Введение. В статье показана актуальность изучения остаточной атмосферы электронно-механических вакуумных приборов с внутренними клеевыми соединениями, которые в настоящее время входят в состав системы безопасности. Выполнено математическое моделирование остаточной атмосферы электро-механических вакуумных приборов с внутренними клеевыми соединениями, на основе которого предложена методика приближенной оценки парциального давления летучих компонентов, выделяющихся из клеевого соединения.

В настоящее время производители не указывают в технической документации состав выделяемых газообразных компонентов и скорости удельного газовыделения. Таким образом, определение химического состава и парциальных давлений выделяемых летучих компонентов при использовании клеевых соединений внутри электронно-механические вакуумных приборов для повышения эффективности систем безопасности является актуальной современной задачей.

Материалы и методы. Для точного моделирования остаточной внутри приборной атмосферы необходимо знать величины коэффициентов диффузии всех летучих компонентов и начальных концентраций этих компонентов в клеевом слое. В мире выпускается много разных клеев с низким газоотделением, но такие данные в настоящее время отсутствуют и их определение для всех промышленных клеев потребует значительных временных и материальных ресурсов.

Результаты. Предложена методика приближенной оценки парциального давления, создаваемого летучим компонентом, выделяющимся с поверхности клеевого слоя площадью S в замкнутый герметичный объем V в течение времени t по экспериментальным результатам измерения газовой выделению.

Измерение газовой выделению осуществляется с помощью масс-спектрометра и включает измерения при различной температуре средних скоростей газовой выделению каждого компонента, которые спрямлялись в координатах уравнения Аррениуса и вычислялась энергия активации процесса, а также величина удельной скорости выделению этого компонента для комнатной температуры.

Выполнено математическое моделирование остаточной атмосферы электронно-механических вакуумных приборов с внутренними клеевыми соединениями.

Для применения на практике результатов моделирования требуется экспериментальное определение коэффициентов диффузии летучих соединений и их начальные концентрации в отвержденном клеевом слое, что требует масштабных экспериментальных исследований.

Предложена методика приближенной оценки парциального давления летучим компонентом, выделяющимся с поверхности клеевого слоя, в основе которой экспериментальные данные по измерению газовой выделению с помощью масс-спектрометра, включающие измерения при различной температуре средних скоростей газовой выделению каждого компонента, что существенно облегчает оценку концентрации летучих соединений в электронно-механические вакуумных приборов с внутренними клеевыми соединениями.

Выводы и рекомендации. Полученная оценка позволит на основе измерений при различной температуре средних скоростей газовой выделению каждого компонента для различных клеев выбирать наиболее оптимальный клей для сохранения эффективности работы датчиков систем ориентации с течением времени.

ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННОЙ ПРОЧНОСТИ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ И ТЕЛА ПЛОТИНЫ

Буренкова В.В., Буренков П.М.¹

¹преподаватель кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены подходы к оценке суффозионных процессов в глинистых грунтах в зависимости от фильтрационных деформаций. Подчеркивается, что в современных нормативных документах допустимый естественный градиент в грунтовом сооружении определяется с коэффициентом запаса, зависящим от класса сооружения.

Ключевые слова: фильтрационная прочность, глинистый грунт, плотина, размыв связного грунта, число пластичности, сцепление на срез, сцепление на разрыв, градиент напора, кольматация трещин ядра.

Материалы и методы. Исследуются связные грунты: глины, суглинки, супеси обладают молекулярным сцеплением между частицами, благодаря наличию кварца даже в самых мелких частицах (чем мельче частицы, тем больше силы сцепления) в зависимости от фильтрационных деформаций.

Результаты. В практических расчетах количественная величина прочности грунта оценивается силами сцепления между частицами и агрегатами, сцеплением на срез C_c и на разрыв C_p , углом внутреннего трения $\text{tg}\varphi$.

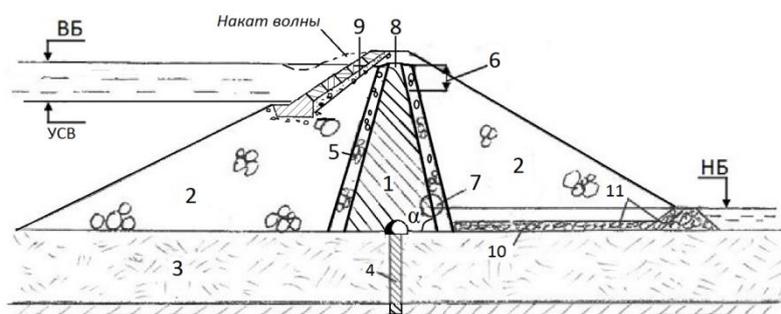


Рис.1. Схема возможных фильтрационных деформаций грунтов плотин

1 - ядро из связного грунта, 2 - призма из песчано-гравийного грунта, 3 - нескальное основание, 4 - противофильтрационная завеса, 5 - защитные фильтры, 6 - зона возможного тещинообразования в ядре; виды фильтрационных деформаций: 7 - контактный выпор грунта ядра в поры фильтра; 8 - размыв грунта в трещине ядра; 9 - пульсации в обратном фильтре от наката и спада волн; 10 - размыв грунта основания на контакте с дренажем; 11 - недопущение просыпания грунта призмы и фильтра банкета

В связных грунтах суффозионных процессов не должно происходить из-за наличия очень мелких пор. Если считать по аналогии с несвязными грунтами, то размер пор в глине и суглинке может быть в пределах $d_0 = 0,0001 \div 0,002$ мм.

Зоммер В.Л.¹, Зоммер Т.В.², Симонян В.В.³, Чернышев С.Н.⁴

¹ магистр, лаборатория гидравлики и гидромеханики кафедры ГиГС НИУ МГСУ;

² научный сотрудник ИКБС, заведующий лабораторией гидравлики и гидромеханики кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

³ д.т.н., профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии НИУ МГСУ;

⁴ доктор геолого-минералогических наук, профессор

Аннотация: Скальные основания следует рассматривать как важный стратегический ресурс для возведения высотных плотин. При этом следует учитывать, что ошибки в фильтрационных расчетах могут приводить к катастрофическим последствиям.

Ключевые слова: крупные аварии ГЭС, гидротехнические сооружения, скальные основания ГС, фильтрационный режим, опасные процессы в скальных основаниях.

Введение. Строительство ГС на равнинных реках вызывает множество нареканий из-за большого числа опасных геоэкологических и процессов, сопровождающих весь цикл жизни от строительства и затопления огромных территорий до аварий или эксплуатации морально и физически устаревших систем. В противоположность строительству плотин на равнинных реках, горные территории, как правило, не способствуют компактному заселению и развитию сельского хозяйства. В этой связи скальные основания следует рассматривать как природный как ресурс для возведения высотных плотин. Понимание скальных оснований как стратегического ресурса было в СССР и сейчас имеет место во всем мире.

Материалы и методы. Материалами исследования послужили публикации о крупных авариях, связанных с опасными процессами, связанными с фильтрацией в скальных основаниях гидроузлов и водохранилищах, собственные публикации, изыскания и расчеты одного из авторов (Чернышева С.Н.) [1-5].

Результаты. Установленные преимущества плотин на скальных основаниях:

1. Рациональность строительства в виду высокой несущей способности скалы, которая открывает возможность возводить высотные плотины обжатого профиля, сокращая сроки строительства и стоимость за счет экономии строительных материалов.

2. В скальных грунтах долина реки, как правило, заужена в сравнении с другими участками, поэтому плотина получается короче. Устройство арочных плотин позволяет простоять им «вечно» - почти столько же веков, что и скальным основаниям, из-за наибольшего сопротивления давлению воды.

3. В районе распространения скальных грунтов рельеф земной поверхности не способствует развитию промышленного и гражданского строительства.

Однако строительство высотных плотин на скальных основаниях пока что также не обходится без опасных, а иногда и катастрофических процессов, при которых гибнут люди, а ущерб во много раз превышает достаточно высокую стоимость строительства гидроузла.

Самые катастрофические аварии произошли в 1959 г. на плотине Мальпассе на реке Рейран во Франции и в Италии на реке Пьяве на водохранилище Вайонт в 1963 г. Когда арочная бетонная плотина Мальпассе рухнула, город Фрежюс оказался полностью затоплен, погибло 423 человека, общий ущерб составил около \$68 млн. Присутствовали нарушения технологического режима: из-за скудного финансирования были остановки строительства; в

целях экономии приходилось ухудшать качество бетона; водохранилище 5 лет почти не было заполнено; рядом шло строительство автотрассы А8 с применением взрывчатки.

По нашему мнению, причина аварии кроется в неправильной оценке связи фильтрационной способности с НДС основания: под нагрузкой от плотины трещины в скале закрылись и пьезометрический напор создал непредусмотренное проектом противодействие, которое спровоцировало нерасчетную ситуацию. В результате резкого увеличения гидростатического давления в бьефе примыкание плотины было сдвинуто.

Катастрофическая авария на водохранилище Вайонт была вызвана подтоплением левого борта водохранилища, где залежали трещиноватые известняки юрского возраста. Прослой мергеля и глины, маловлажные в естественных условиях, после увлажнения глины потеряли прочность, структура *скади-массива* (автор термина С.Н. Чернышев) в виде синклинальной складки, по шарниру которой прошла долина, способствовала образованию консеквентного оползня, объем оползневой массы составил около 1 км³, скорость схода которой превысила 100 км/час, поэтому водохранилище было мгновенно заполнено оползневой массой. Плотина, рассчитанная итальянскими инженерами на сейсмические воздействия в 8 баллов, и вода из водохранилища была выплеснута через плотину в нижний бьеф с подъемом над гребнем плотины на 250 м; масса воды прошла по долине реки через плотно заселенную Ломбардскую низменность, что привело к гибели тысяч людей.

По нашему мнению причиной катастрофы является то, что при проектировании не была изучена чаша водохранилища на предмет ее фильтрационной способности, возможности подтопления и прогнозирования процессов в бортах водохранилища.

В 1986 г. группа профессоров МИСИ: С.Б. Ухов, С.А. Юфин и С.Н. Чернышев – консультировали в Индии специалистов гидротехников по обеспеченности безопасности плотины Наджарюна. Гравитационная высотная плотина по компоновке напоминает Братский ГУ, в основании лежат кварциты, в которых имеются многочисленные трещины длиной до нескольких сантиметров, заполненные алевритом. Обходная фильтрация ведет к суффозионному выносу алевритов из трещин. Многочисленные источники в нижнем бьефе на разных уровнях с расходом до 2-х – 3-х л/с выносят мутную, желтоватую воду.

Вопросы, поставленные перед нами как экспертами: долго ли будет продолжаться суффозионный вынос, когда может произойти авария, вызванная деформацией основания и примыканий из-за суффозии. Наша группа запросила геологические материалы по основанию плотины и примыканиям, данные по наблюдению за деформацией плотины. *Оказалось, что разрез по оси плотины отсутствует, геодезические наблюдения за деформациями не были организованы. На следующий день из Дели на самолете доставили схематичный разрез без масштаба и каких-либо характеристик грунтов основания. В этом случае отсутствие геологической информации могло привести к непредсказуемым последствиям. Была предложена программа мониторинга деформаций плотины и ее примыканий.*

При наполнении Братского водохранилища на реке Ангаре фильтрация из водохранилища прошла через водораздел Ангары и реки Вихоревка. Фильтрационный поток из водохранилища подтопил правый борт долины реки Вихоревки, где проходит полотно железной дороги, связывающей Братск и Усть-Кут на реке Лене с Транссибирской магистралью. Дорога пострадала, поезда шли со скоростью 5 км в час. Гидравлический уклон подземного потока под водоразделом 0,03, что вызвало большие потери при значительной водопроницаемости залегающих здесь горных пород. *Снижение качества*

дороги до аварийного состояния произошло из-за того, что не были проведены гидрогеологические исследования водораздела между реками Вихоревка и Ангара, не были определены коэффициенты фильтрации скальных массивов на водоразделе, как следствие не был выполнен расчет потерь на фильтрацию и подтопление железной дороги.

Выводы и рекомендации. Скальные основания являются стратегическим ресурсом для получения дешевой гидроэнергии и быстрой окупаемости строительства.

Для экологически безопасной реализации ресурса необходимо определять более точно фильтрационные характеристики скальных массивов в основании напорных сооружений, береговых примыканиях и бортах водохранилищ в т.ч. при гидравлическом опробовании.

Обобщение неоднородного массива данных опробования представляет собой сложную статистическую задачу, рассмотренную в статьях [1-4]. Однако в ряде случаев гидравлическое опробование невозможно или технически затруднительно. Это имеет место в примыканиях плотин с широкими раскрытыми трещинами над уровнем подземных вод, где наливывы обеспечить невозможно из-за большого поглощения воды и недостаточной мощности насосов, имеющихся в распоряжении изыскателей.

Определение коэффициента фильтрации в примыканиях актуально не только с точки зрения проектирования цементационной завесы, но и для обеспечения устойчивости бортов долины и сооружения.

Определение коэффициента фильтрации массива невозможно в условиях вечной мерзлоты, трещины в многолетнемерзлом грунте заполнены льдом. В сложных условиях определение фильтрационной способности возможно расчетным методом [1-4].

Совершенствование предложенного расчетного метода требует использования современных возможностей вычислительной техники.

Список литературы

1. Чернышев С.Н., Зоммер Т.В., Зоммер В.Л. Фильтрационная модель скального основания напорного гидроузла // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. № 10 (121). С. 1251-1259.
2. Chernyshev S.N., Zommer T.V., Zommer V.L. A method for determining the hydraulic conductivity of rock mass with fractures of limited length. Power Technology and Engineering. 2019. Т. 53. № 2. С. 155-158.
3. Чернышев С.Н., Зоммер Т.В., Зоммер В.Л. Расчетная методика определения коэффициента фильтрации скального массива с трещинами ограниченной длины // Гидротехническое строительство. 2019. № 1. С. 38-41.
4. Чернышев С.Н., Зоммер В.Л., Зоммер Т.В. Методика создания фильтрационной модели скального основания напорного гидроузла // Современные полевые и лабораторные методы исследования грунтов - изыскания и проектирование. 2018. С. 95-102.
5. Чернышев С.Н., Зоммер В.Л., Зоммер Т.В. Инженерно-геологические процессы, связанные с фильтрацией в скальных основаниях гидроузлов и водохранилищах // Опасные для строительства геологические процессы.. 2019. С. 70-75.

ИЗУЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КАМНЕБЕТОНА

Бестужева А.С.¹, Батманов Я.А.², Дьячков Д.Г.³, Старков А.Е.⁴

¹к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

^{2, 3, 4} студенты НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Подобран рациональный состав камнебетона. Проведены испытания образцов на фильтрацию эмпирическим способом на экспериментальной установке. Подобран рациональный состав камнебетона, отвечающий заявленным требованиям. Получен осредненный коэффициент фильтрации исследуемого материала. Построены графики, аппроксимирующие результаты в нескольких различных по времени и напору испытаниях на четырёх аналогичных установках. Коэффициент фильтрации сопоставим с коэффициентом фильтрации глиноцементобетонной диафрагмы.*

Ключевые слова: *грунтовая плотина, фильтрация, коэффициент фильтрации, камнебетон, глиноцементобетонная диафрагма, проливаемость, вязкость, прочность, ПФЭ, гравитационный бетон.*

Введение. Исследование представляет собой подбор рационального состава смеси для создания камнебетона и дальнейшее исследование его фильтрационных свойств. Материал относится к грунтобетонам, от аналогов его отличает относительно низкая стоимость как материалов, так и производства работ, чему способствует низкое содержание цемента в смеси (не более 80 кг/м³) и гравитационная заливка в предварительно отсыпанный щебень. Камнебетон может быть использован в строительстве грунтовых плотин с глиноцементобетонной диафрагмой, подобное применение позволит перераспределить напряжения в теле грунтовой плотины, а также снизить градиент напора на противofильтрационный элемент, что даст возможность проектировать подобные грунтовые плотины большей высоты.

Материалы и методы. Применен теоретический ручной и программный способ подбора рационального состава камнебетона. Образцы испытаны на фильтрацию эмпирическим способом на экспериментальной установке.

Результаты. В ходе эксперимента теоретически ручным и программным способом был подобран рациональный состав камнебетона. Подобранная смесь прошла проверку проливаемости и вязкости.

Образцы были испытаны на фильтрацию эмпирическим способом на экспериментальной установке, которая представляет собой вертикальную трубу, внутри

которой 28 суток набирал прочность образец. Испытания проведены с различной высотой столба жидкости над образцом внутри трубы за различные промежутки времени.

Из закона Дарси определен средний коэффициент фильтрации образцов четырех установок. Получен осредненный коэффициент фильтрации исследуемого материала

Построены графики, аппроксимирующие результаты в нескольких различных по времени и напору испытаниях на четырёх аналогичных установках.

Выводы и рекомендации. Подобран рациональный состав камнебетона, отвечающий заявленным требованиям. Коэффициент фильтрации сопоставим с коэффициентом фильтрации глиноцементобетонной диафрагмы.

Фильтрационные свойства исследованного материала удовлетворяют условиям для его использования в теле грунтовой плотины.

Результаты работы позволяют эффективнее использовать грунтовые плотины с глиноцементобетонной диафрагмой совместно с камнебетоном.

Перспективы применения камнебетона в различных конструктивных решениях грунтовых плотин с негрунтовым противофильтрационным элементом представляются актуальными.

Секция 2

**Гидравлика, инженерная гидрология и
водное хозяйство**

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ ВАКУУМНОГО ШАХТНОГО ГАСИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ПОТОКА ВОДЫ

Гурьев А.П.¹, Козлов Д.В.², Ханов Н.В.³, Алексеев Д.А.⁴

¹д.т.н., профессор, кафедра инженерных конструкций, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

² д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ГиГС НИУ МГСУ, Москва

³д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидротехнических сооружений, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

⁴аспирант кафедры гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

Аннотация. Дано теоретическое обоснование работы вакуумного шахтного гасителя энергии потока воды. Вакуумный шахтный водосброс обеспечивает надёжную работу водосбросного сооружения, при которой в шахте гасится вся избыточная энергия сбрасываемого потока, а остаётся лишь энергия, необходимая для пропуски этого потока через водоотводящий туннель.

Ключевые слова: вакуумный шахтный водосброс, избыточная энергия потока воды, водосбросное сооружение, водоотводящий туннель.

Введение. Одним из возможных путей уменьшения стоимости водосбросного сооружения и повышения безопасности работы гидроузла является уменьшение энергии сбрасываемого потока на выходе из водоотводящего водовода за счёт частичного гашения энергии сбрасываемого потока по пути его движения в водопроводящем тракте. Эта идея в последние десятилетия осуществляется использованием принципа циркуляции потока. При прохождении воды через специально запроектированные циркуляционные камеры происходит вращение потока в поперечном сечении отводящего водовода. При этом возникают высокие градиенты эпюры скоростей, которые создают высокие градиенты касательных напряжений и расходуют большое количество энергии потока, снижая тем самым энергию потока на выходе из отводящего водовода.

Результаты. При всей привлекательности такого способа гашения энергии, он имеет ряд существенных недостатков: узлы закрутки потока сложны в техническом исполнении и имеют высокую стоимость; при закрутке потока создаются высокие пристенные скорости воды, достигающие 50 м/с, которые являются источником физического разрушения бетона, для защиты которого стенки отводящего водовода приходится облицовывать металлом; при циркуляции потока возникают зоны с глубоким вакуумом, для срыва которого необходимо в поток подводить воздух.

В зоне раскрутки потока этот воздух стремится под потолком отводящего водовода двигаться против потока. Собирая воздушные мешки, воздух создаёт лобовое сопротивление, действуя на которое, поток выносит эти мешки из отводящего водовода. На выходе из водовода, выходящий воздух создаёт шумовые эффекты и является причиной гидравлических ударов в водоводе, приводящих в ряде случаев к разрушению бетонной обделки

Принципиальная идея работы вакуумного шахтного гасителя энергии потока заключается в том, что ствол шахты изолирован от доступа в неё атмосферного воздуха. Поэтому в конструкции отсутствуют воздухопроводы. Для предупреждения поступления воздуха из подводящего водовода к верхнему торцу шахты вода подводится водоводом, работающим в напорном режиме. Напорный режим в нем обеспечивается горизонтальными затворами, установленными в конце подводящего водовода.

Для предупреждения поступления воздуха из отводящего водовода дно водоотводящего тракта выполнено с обратным уклоном. При такой конструкции водоотводящего тракта обеспечивается занaporивание его входного сечения, что предотвращает поступление воздуха в шахту.

Дополнительным преимуществом такого исполнения водоотводящего тракта является создание благоприятных гидравлических режимов его работы во всём диапазоне пропускаемых расходов.

При пропуске малых расходов происходит занaporивание начального участка водоотводящего тракта, за которым формируется кривая спада с критической глубиной в конечном сечении. По мере нарастания расходов занaporенный участок продвигается к выходному сечению. Таким образом, на выходе из водоотводящего тракта при всех режимах формируется поток с минимальной энергией.

Вакуум в шахте создаётся заземлением воздуха и выносом его в отводящий водовод падающим из затвора потоком. При уровне воды в шахте выше входного отверстия отводящего водовода, вынос воздуха будет сопровождаться сначала появлением вакуума в шахте, а затем углубления вакуума до абсолютного значения, определяемого высотным положением шахты на местности.

Выводы и рекомендации. Вакуумный шахтный водосброс обеспечивает надёжную работу водосбросного сооружения не только в диапазоне расчётных расходов, но и при пропуске расходов в два раза превышающих расчётный расход.

При этом в шахте гасится вся избыточная энергия сбрасываемого потока. Остаётся лишь энергия, необходимая для пропуска этого потока через водоотводящий туннель.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ВОДОСБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ РУБЛЕВСКОГО ГИДРОУЗЛА

Беликов В.В.¹, Колесников Ю.М.²

¹д.т.н., заведующий лабораторией численного гидродинамического моделирования ИВП РАН, Москва;

²к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Проведены теоретические исследования с разработкой математической модели для построения кривых пропускной способности водосбросной плотины при различных высотах поднятия затвора. Выполнены систематические расчеты при варьировании условий протекания потока. Получены кривые пропускной способности водосбросной плотины, которые согласуются с данными фактических измерений.

Ключевые слова: водосбросная плотина, исследование пропускной способности, численное моделирование, Рублевский гидроузел.

Введение. При пропуске половодий и паводков через городской бьеф р. Москвы неоднократно возникали сложности в обеспечении взаимодействия эксплуатационных служб смежных гидроузлов (например, Рублевского и Карамышевского) в части управления затворами, причиной которых являлись весьма заметные несоответствия в регистрации расходов. В связи с этим, а также в целях более четкого регулирования водохозяйственной деятельности, было принято решение о проведении экспериментально-теоретических исследований, направленных на уточнение пропускной способности плотины Рублевской водопроводной станции, находящейся в эксплуатации с 1932 г.

Материалы и методы. Методика натурных работ состоит в следующем. Водосливной фронт Рублевской плотины представляет два пролета по 30 м, которые перекрываются вальцовыми затворами диаметром 3,1 м. Общая площадь отверстия, перекрываемого одним затвором, составляет 130 м². Пропуск воды через верх вальцов при опирании нижнего щитка на порог отверстия (донный режим отсутствует) производится до тех пор, пока толщина слоя воды над затвором не достигает 50 см, далее начинается вкатывание (или поднятие) вальцов, приводящее к постепенному открытию донного отверстия, т.е. наблюдается сочетание поверхностного и донного режимов протекания потока. В соответствии с правилами эксплуатации гидроузла при расходах более 250 – 270 м³/с вальцы поднимаются на полную высоту над поверхностью воды и наблюдается свободный режим течения через водослив.

Результаты. Регистрация расходов на поверхностном водосливе, а также в специальном гидрометрическом створе (для фиксации общих расходов через плотину) осуществлялась с помощью измерений местных скоростей течения посредством вертушек. При расходах более $270 \text{ м}^3/\text{с}$ измерения скоростей потока производились с помощью поверхностно-глубинных (интегрирующих) поплавков. Обобщение натуральных данных для практического применения выполнялось с привлечением результатов расчетно-теоретических исследований на основе численного моделирования.

В ходе теоретических исследований была разработана математическая модель для построения кривых пропускной способности водосбросной плотины при различных высотах поднятия затвора.

Для описания течения воды была использована двумерная по вертикали модель, основанная на уравнениях Эйлера для невязкой несжимаемой жидкости со свободной поверхностью (разработана к.ф.-м.н. С.А. Иваненко).

Выводы и рекомендации. С использованием разработанной модели были выполнены систематические расчеты при варьировании условий протекания потока.

При полностью опущенном вальце натурные и расчетные точки хорошо соответствуют гладкой кривой, полученной в процессе натуральных работ.

Этой кривой рекомендуется пользоваться при поверхностном режиме истечения (случай опирания нижнего щитка вальцового затвора на порог отверстия).

При открытых донных отверстиях кривой $Q = Q(H)$ можно пользоваться для оценки поверхностного перелива, принимая во внимание тот факт, что погрешность определения расходов может достигать до 15%.

Полученные кривые пропускной способности водосбросной плотины в целом хорошо согласуются с данными фактических измерений.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ В ЗОНЕ ППМГ ЧЕРЕЗ ХАПТАГАЙСКУЮ ПРОТОКУ С УЧЕТОМ ЛЕДОВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Глотко А.В.¹, Беликов В.В.², Борисова Н.М.³, Крыленко И.Н.⁴, Головлев П.П.⁵

¹*к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ; ИВП РАН, Москва*

²*д.т.н., заведующий лабораторией численного гидродинамического моделирования ИВП РАН, Москва*

³*к.ф.-м.н., ИВП РАН; МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

⁴*к.г.н, МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

⁵*Научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва*

Аннотация. *Представлены результаты численного моделирования переформирования дна Хаптагайской протоки в зоне технического коридора подводных трубопроводов.*

Ключевые слова: *численное моделирование, подводные переходы магистрального газопровода, моделирование деформаций дна, размыв, Хаптагайская протока, STREAM 2D CUDA, моделирование ледового затора*

Введение. Целью работы является установление тенденций переформирований дна пойменной протоки с учетом заторных явлений в русле реки Лена для установления причинно-следственной связи между половодьем 2018 года и размывом на 5.5 м ниже уровня дна протоки

Материалы и методы. Для моделирования природных процессов использовался отечественный программный комплекс STREAM 2D CUDA, разработанный в ООО НПП «Аквариус Аналитик». В основе программы заложена система двумерных дифференциальных уравнений Сен-Венана, описывающая движение жидкости в горизонтальной плоскости. Для расчета деформаций дна и берегов русла применяется новый уникальный алгоритм транспорта наносов с учетом неоднородного (многофракционного) состава грунта, движения как влекомых, так и взвешенных наносов, переформирования подводных и надводных склонов.

Результаты. Для расчетов основных параметров водного потока были построены две численные модели – «глобальная» и «локальная». Первая модель («глобальная»), протяженностью 112 км располагается между населенными пунктами Покровск и Кангалассы, в которых находятся гидрометрические посты. Расчетная сетка модели 1 содержит 131457 ячеек. Назначение – получение граничных условий для «локальной». На ней моделировались сценарии 1-5.

Вторая модель («локальная»), включающая участок русел и пойм р. Лены и Хаптагайской протоки, предназначена для оценки русловых деформаций. Данная модель является вложенной по отношению к первой модели, и имеет протяженность 31 км. На ней моделировались сценарии 1д-3д, 5д. В качестве цифровой модели рельефа использовались русловая съемка 2016-2019 годов, а также оцифрованные картографические материалы пойменных участков. Калибровка двумерной модели проводилась путем уточнения коэффициентов шероховатости на основе сопоставления измеренных и рассчитанных отметок урезов водной поверхности, распределения воды по рукавам и протокам, по которым имелись данные наблюдений. При коэффициентах шероховатости русел 0.023, пойм 0.05 было достигнуто хорошее соответствие измеренных и

рассчитанных отметок водной поверхности в контрольных точках. Для моделирования ледовых явлений на реке Лене в программе подключался “ледовый блок”, для которого задавались значения плотности льда на участке, а также значения толщины и коэффициента шероховатости льда в каждой расчетной ячейке.

Для оценки гидравлических характеристик потока и русловых деформаций на исследуемом участке при моделировании был рассмотрен ряд расчетных сценариев, включая половодье 2018 г. с ледовым затором (сценарии 1 и 1д), период 2016-2019 гг. (сценарии 2 и 2д), период 2009-2015 гг. (сценарии 3 и 3д), максимальный наблюдаемый расход в 1966 г. (сценарий 4), а также выполнен прогноз русловых деформаций на 10 лет (сценарии 5 и 5д).

По результатам моделирования (сценарий 1д) с начала половодья 2018 г. до 22.05.2018 г. мог произойти размыв правобережного побочня в створе подводных переходов магистрального газопровода в Хаптагайской протоке на величину до 1.5 м, непосредственно к верхней нитке перехода примыкает зона размыва с величинами до 2м. Ближе к левому берегу в плесовом углублении дополнительного размыва не наблюдается.

По результатам моделирования за период 2016-2019 гг. (сценарий 2д) подводных переходов магистрального газопровода в Хаптагайской протоке наблюдается чередование размыва правобережного побочня в течение половодья и незначительной аккумуляции наносов на побочне при снижении водности с общей тенденцией к преобладанию размыва в этой части русла до 0.5 - 0.7м.

Период 2009-2015 гг. (сценарий 3д) использовался для верификации модели русловых деформаций всего участка р. Лены от г.п. Табага до г.п. Кангалассы в предшествующих исследованиях. На участке от Табагинского мыса до п. Нижний Бестях было получено наилучшее совпадение смоделированных и фактических зон эрозии и аккумуляции наносов.

Сценарий 4 моделировал экстремальное половодье 1966 г. и проводился для оценки скоростного режима в створе подводных переходов. Результаты расчетов показали, что скорости воды ниже значений в половодье 2018 г. и необходимости производить расчеты с деформациями для этого случая нет.

Сценарий 5д – прогнозный на 10 лет. По данным среднемесячных расходов воды на гидропосту Табага был смоделирован ступенчатый гидрограф, который представляет собой поочередную смену лет 50%, 10% и 1% обеспеченности. Для каждого года брались месяцы с 5-го по 10-ый, в которые в основном и происходит руслоформирование. Результаты расчетов показали, что размыв в створе подводных переходов прогнозируется по правому берегу Хаптагайской протоки и значения его за 4 года составляют не более чем 1 м, за 10 лет – не более 2 м.

Выводы и рекомендации. Полученные результаты моделирования на численной модели показали, что:

- расход воды Хаптагайской протоки в период затора с 18 по 20 мая 2018 г. составил более 2100 м³/с (при беззаторных наводнениях обычно до 1000 м³/с), при этом средняя в створе перехода скорость течения достигала 1,2 м/с, максимальная у правого берега до 1,5 м/с;

- за период с 18 по 22 мая 2018 г. размыв на участке подводных переходов составил до 1,5-2,0 м и не мог достичь величины 5.5 м;

- моделирование за периоды 2009-2019 гг., а также прогнозное на 10 лет показали, что максимальные размывы в Хаптагайской протоке (в створе подводных переходов) происходят у правого берега и составляют около 2 м.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДНОЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ АВАРИИ НА ВЕРХНЕУРАЛЬСКОЙ И МАГНИТОГОРСКОЙ ПЛОТИНАХ

Васильева Е. С.¹, Беликов В. В.²

¹ к.т.н., научный сотрудник ИВП РАН, Москва;

² д.т.н., заведующий лабораторией численного гидродинамического моделирования ИВП РАН, Москва

Аннотация. *Представлены результаты численного моделирования сложной каскадной гидродинамической аварии, вызванной образованием прорана в теле земляной плотины Верхнеуральского гидроузла.*

Ключевые слова: *численное моделирование, каскадная гидродинамическая авария, Верхнеуральская плотина, Магнитогорская плотина.*

Введение. Целью исследования является численное моделирование гидродинамической аварии на земляной плотине Верхнеуральского водохранилища на р. Урал и распространения волны прорыва в нижнем бьефе, приводящей к каскадной аварии на Магнитогорском гидроузле.

Материалы и методы. Работа выполнялась с использованием отечественного программного комплекса STREAM 2D CUDA. Расчет прорана выполнялся с применением физико-математической модели развития проранов в грунтовых плотинах, входящей в состав STREAM 2D CUDA. Модель основана на гидроморфологическом методе численного моделирования развития прорана в плотинах, сложенных однородным и неоднородным грунтом, описывает конвективный перенос частиц грунта потоком с учетом взмыва и осаждения наносов и дополняется диффузионными членами, учитывающими изменение отметок дна во времени на основе известного эффекта поперечного выполаживания подводного откоса. Для надводного откоса тоже выбрана диффузионная модель, которая начинает работать, когда угол сухого откоса превышает угол предельной устойчивости. Данный подход позволяет моделировать развитие прорана в грунтовых плотинах без использования дополнительных гипотез.

Результаты. Разработана двумерная (в плане) единая гидродинамическая модель Верхнеуральского водохранилища, участка долины р. Урал, Магнитогорского водохранилища, г. Магнитогорска в границах предполагаемого затопления и участка нижнего бьефа Магнитогорского гидроузла.

Расчетная сетка и ЦМР сформированы с довольно высокой степенью детализации. Расчетная сетка нерегулярной структуры из треугольных и четырехугольных ячеек содержит более 240 тыс. Её построение выполнялось по собственной оригинальной методике.

Сценарий 1 (наиболее вероятный) происходит на фоне межени при уровне воды в Верхнеуральском водохранилище, равном НПУ.

Сценарий 2 (наиболее тяжелый) происходит на фоне половодья обеспеченностью 0,01% при уровне воды в Верхнеуральском водохранилище равном ФПУ.

При реализации сценария 1 максимальная ширина прорана на Верхнеуральской плотине составит 360 м. Максимальный расход излива на Верхнеуральской плотине составит 27674 м³/с, на Магнитогорской – 24860 м³/с. При сценарии 2 максимальная ширина прорана – 415 м, максимальный расход излива на Верхнеуральской плотине – 33217 м³/с, на Магнитогорской – 27940 м³/с.

Выводы и рекомендации. На единой численной модели, включающей в себя верхний и нижний бьефы каскада Верхнеуральского и Магнитогорского гидроузлов, удалось при непрерывном счёте выполнить моделирование развития первичного прорана на Верхнеуральской земляной плотине, последующих размывов автодорожных и железнодорожных насыпей мостовых переходов через р. Урал и частичное разрушение Магнитогорской каменно-земляной плотины вследствие перелива через её гребень.

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ MIKE 11-NAM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ANN, FIS И ARIMA ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА В МАЛОИЗУЧЕННОМ РЕЧНОМ БАССЕЙНЕ

Слейман А.¹, Козлов Д.В.²

¹ аспирант кафедры ГиГС, НИУ МГСУ, Москва

² д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Проведена верификация модели MIKE 11-NAM для моделирования стока с использованием методов искусственной нейронной сети (ANN или ИНС), системы нечеткого вывода (FIS) и авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (ARIMA) на гидрометрической станции Аль-Джавадия реки Оронтес в Сирии. Выполнена программная реализация ИНС и FIS в среде MATLAB. Построение ARIMA моделей было в статистической программе Minitab с добавлением сезонного эффекта. Выявлено, что с точки зрения параметров оценки, что ИНС позволяет получать прогнозные значения стока более точно, чем ARIMA модель. Были рассчитаны с большим количеством итерационных циклов параметры модели, получены расчетные значения стока.

Ключевые слова: гидрологическое моделирование, сток, программа MIKE 11-NAM, искусственная нейронная сеть, система нечеткого вывода, метод авторегрессионного интегрированного скользящего среднего.

Введение. Гидрологические данные являются информационной основой для исследований водного баланса в любом регионе, а поверхностный сток – важнейшая составляющая гидрологического цикла и одна из самых сложных характеристик с точки зрения ее оценки и прогнозирования.

Материалы и методы. Программная реализация ИНС и FIS выполнена в среде MATLAB. Верификация модели MIKE 11-NAM для моделирования стока проведена с использованием методов искусственной нейронной сети (ANN или ИНС), системы нечеткого вывода (FIS) и авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (ARIMA). Построение ARIMA моделей было выполнено в статистической программе Minitab.

Результаты. Целью исследования является проверка модели MIKE 11-NAM для моделирования стока с использованием методов искусственной нейронной сети (ANN или ИНС), системы нечеткого вывода (FIS) и авторегрессионного интегрированного скользящего среднего (ARIMA) на гидрометрической станции Аль-Джавадия реки Оронтес в Сирии. Программная реализация ИНС и FIS была выполнена в среде MATLAB с

построением множества моделей и изменением всех возможных параметров, функций и алгоритмов. Построение ARIMA моделей было выполнено в статистической программе Minitab с добавлением сезонного эффекта.

С точки зрения параметров оценки выявлено, что ИНС позволяет получать прогнозные значения стока более точно, чем ARIMA модель. Затем рассчитанные значения стока, полученные с помощью ИНС, использовались для заполнения пробелов во временных рядах поверхностного стока на исследуемой территории в процессе моделирования стока с применением программы MIKE 11-NAM.

Методом проб и ошибок с большим количеством итерационных циклов были рассчитаны параметры модели и получены расчетные значения стока.

Выводы и рекомендации. На данный момент итоговые результаты оказались не очень хорошими. При этом наблюдались существенные различия между измеренными значениями стока и значениями, полученными с помощью модели MIKE 11-NAM.

Считаем, что существенные различия связаны с отсутствием или недостаточностью достоверных исходных данных.

Рекомендовано использовать модели искусственного интеллекта и машинного обучения для оценки и прогнозирования данных о поверхностном стоке.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ЦИЛИНДРА ТУРБУЛЕНТНЫМ ПОТОКОМ ЖИДКОСТИ В ПК ANSYS FLUENT

Гармакова М.Е.,

старший преподаватель кафедры гидротехнического строительства, безопасности и экологии НГАСУ (Сибстрин), Новосибирск

Аннотация. Проведено численное моделирование в программном комплексе ANSYS Fluent в целях решения проблемы строительства и эксплуатации подводных магистральных переходов трубопроводов. В прямоугольном канале выполнено физическое 2D моделирование обтекания турбулентным потоком жидкости цилиндра, имитирующего подводный трубопровод. В результате эксперимента было установлено соответствие экспериментальных данных и значений, полученных численным моделированием, что говорит об адекватности использованной методики моделирования.

Ключевые слова: поле скоростей, круглый цилиндр, программный комплекс ANSYS.

Введение. Исследования обтекания потоком жидкости посвящено большое количество публикаций и получена богатая теоретическая и экспериментальная информация, которая имеет определяющее значение для решения ряда важных проблем, таких, например, как сопротивление движению тел в жидкости и структура гидродинамического следа за движущимся в жидкости телом. В теоретических работах рассматривался в основном случай относительно малых значений чисел Рейнольдса набегающего потока.

Материалы и методы. Численное моделирование проводилось в программном комплексе ANSYS Fluent и обусловлено необходимостью решения проблемы строительства и эксплуатации подводных магистральных переходов трубопроводов.

Результаты. Постановка расчетной задачи соответствует ранее выполненному физическому эксперименту А.В. Чеботниковым на базе Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН.

В настоящей работе было рассмотрено два случая, когда цилиндр отсутствовал и когда цилиндр располагался на относительно небольшом расстоянии от дна канала.

Эксперименты проводились в прямоугольном канале, ширина которого составляет $B=0,2$ м. Глубина набегающего потока h была неизменной и составляла $0,12$ м. Средняя скорость потока составляла $0,17$ м/с. Диаметр цилиндра составлял $D = 0,028$ м.

Моделирование проведено в программном комплексе ANSYS Fluent на основе нестационарных осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, дополненных $k-\omega$ SST

моделью турбулентности со стандартной пристеночной функцией и уравнениями модели многофазности Volume of Fluid с учетом поверхностного натяжения.

Для моделирования перехода ламинарного течения в турбулентное в пристеночной области данная $k-\omega$ SST модель не требует добавления дополнительных членов в уравнения. Также данная модель хорошо предсказывает отрывные течения.

Выполнено 2D моделирование обтекания турбулентным потоком жидкости цилиндра, имитирующего подводный трубопровод.

По результатам исследования были получены графики распределения продольной и вертикальной компоненты скорости в семи поперечных сечениях, которые сравнивались с графиками, полученными по результатам физического эксперимента.

Соответствие экспериментальных данных и значений, полученных численным моделированием, выполненного в ПК ANSYS Fluent, очень хорошее, что говорит об адекватности использованной методики моделирования. Расхождения между численными результатами моделирования и эксперимента не превышают 10%.

Выводы и рекомендации. Было установлено, что скорости вблизи дна при наличии цилиндра больше, чем в случае отсутствия цилиндра. Скорость на расстоянии 2,4 мм от дна перед цилиндром возросла в 1,1 раз, а за цилиндром – в 1,27 раза, что также согласуется с результатами физического эксперимента.

При анализе характера изменения касательных напряжений по длине расчетной области было установлено, что касательные напряжения на дне увеличились в 1,87 раз по сравнению с величиной касательных напряжений, когда цилиндр отсутствовал. Наибольшее превышение наблюдается немного ниже по потоку от цилиндра.

Также выполнена визуализация течения в окрестности цилиндра.

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И СОСТОЯНИЕ МАЛОПРОЛЁТНОГО ВОДОСБРОСА В ПОДМОСКОВЬЕ

Черных О.Н.¹, Суэтина Т.А.², Бурлаченко А.В.³

¹*к.т.н., доцент кафедры гидротехнических сооружений, РГАУ-МСХ имени К.А. Тимирязева, Москва;*

²*д.т.н., профессор, заведующий кафедрой гидравлики МАДИ, Москва;*

³*к.т.н., доцент кафедры гидравлики МАДИ, Москва*

Аннотация. *Актуализирована история создания Подольского гидроузла, предназначенного для регулирования стока р. Пахры, в рамках создания рекреационных водных объектов в планируемой комфортной курортной зоне на юге Подмосковья. Выполнены натурные обследования Подольского гидроузла. Проведены лабораторные исследования водосброса гидроузла на пространственной модели. Оценена пропускная способность водосброса. Отмечена целесообразность продолжения строительства Подольского гидроузла или возведения нового рекреационного гидроузла на юге Московской области.*

Ключевые слова: *малопролётный водосброс, гидродинамические нагрузки, гасители энергии, плиты крепления.*

Введение. Создание рекреационных водных объектов является одной из главных задач обустройства территорий, поэтому появление комфортной курортной зоны на юге Подмосковья в условиях современного изменения климата и развития отечественного туризма сегодня очень актуально и соответствует требованиям основных национальных проектов РФ: «Жильё и городская среда», «Экология» и др.

В 1970-1990 гг. для регулирования стока р. Пахры с целью возможно более полного использования крупного водохранилища для водоснабжения населения, промышленности, сельского хозяйства, улучшения судоходства, санитарного оздоровления р. Пахры и отдыха был разработан проект каскада из трёх гидроузлов, создающих «Подольское море». Подольский гидроузел предназначался для регулирования стока р. Пахры с целью возможно более полного комплексного использования водохранилища для юга Подмосковья. В состав гидроузла входила глухая земляная плотина, бетонная водосбросная плотина с встроенными в береговых устоях водовыпусками с цилиндрическими затворами. Водосбросная плотина состояла из двух пролётов шириной по 5 м каждый, напор на гребне водослива при отметке НПУ составлял 7 м, перепад уровней бьефов при пропуске максимального расхода 01% обеспеченности 350 м³/с был 15,1 м. Строительство, начавшееся в месте впадения р. Мочи в р. Пахра после проектных уточнений и лабораторного проектирования на базе НИС «Гидропроект» сотрудниками МГМИ, не было завершено и по ряду причин в 1990 г. остановлено.

Результаты. Натурные обследования для оценки современного состояния гидроузла, выполненные в 2020-2023 гг. показали, что недостроенная часть бетонной плотины за более чем 45-летний срок сильно деформирована и обветшала, бетон изобилует дефектами, арматура корродирует, что представляет опасность для посетителей, территория заболочена, сильно заросла, как и возведённые ГТС, везде много строительного мусора и обломков бетонных элементов.

Лабораторные исследования водосброса Подольского гидроузла проводились на пространственной модели в масштабе 1:30 натуральной величин, где были воспроизведены с соблюдением геометрического подобия участок подводящего канала с вертикальными стенками и откосами плотины, водосбросная плотина и участок отводящего канала.

В результате лабораторных исследований оценена пропускная способность водосброса как при полностью открытых пролётах, так и при их частичном открытии.

Приведены результаты исследований гасителей энергии. Рекомендована система гашения, состоящая из треугольных растекателей и водобойной стенки, которая обеспечивает благоприятную работу нижнего бьефа при работе одним и двумя пролётами одновременно.

Изложены результаты исследований осреднённого и пульсационного давления на элементах крепления нижнего бьефа: дне водобоя в зоне затопленного гидравлического прыжка и начальных участках рисбермы.

Определены оптимальные параметры устройств нижнего бьефа, базирующиеся на гибридном моделировании рекреационного гидротехнического объекта.

Выводы и рекомендации. Полученные данные позволяют определить значения ряда коэффициентов, оптимизировать конструкцию и толщины элементов водобойного участка на основании квазистатического гидротехнического расчёта с учётом экспериментальных данных при различных схемах загрузки плит водобоя и рисбермы.

Отмечена целесообразность возвращения к рассмотрению продолжения строительства или возведения нового рекреационного гидроузла на юге Московской области.

При этом стоит учитывать экологическую значимость Подольского гидроузла, являющегося составной частью системы регулирования рек ближайшего Подмосковья, реновация которого должна привести к улучшению экологической ситуации в бассейнах р. Пахра и Моча при их ревитализации и решении проблем водного хозяйства юга Подмосковья.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ ПО РАЗВИТОЙ СИСТЕМЕ ПОЙМЕННЫХ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ

Беднарук С.Е.¹, Мاستрюкова А.В.², Чуканов В.В.³, Чернобровкин Н.Н.⁴

¹*ИВП РАН; РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва;*

²*старший инженер, ИВП РАН, Москва;*

³*к.т.н., ИВП РАН, Москва;*

⁴*ИВП РАН; РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва*

Аннотация. *Приведены основные положения алгоритма расчета движения воды по развитой системе пойменных водоемов и водотоков Волго-Ахтубинской поймы.*

Ключевые слова: *расчетное обоснование гидрографа, алгоритм расчета движения воды, система пойменных водоемов и водотоков, Волго-Ахтубинская пойма, ИВП РАН.*

Введение. Ежегодно в интересах рыбного и сельского хозяйства Нижней Волги через гидроузел Волгоградского водохранилища осуществляется специальный весенний попуск. Опыт расчетного обеспечения при разработке гидрографа спецпуска в 2023 году, выполнявшегося ИВП РАН, и дальнейшей его реализации Федеральным агентством водных ресурсов ещё раз показал глубину противоречий в требованиях к режиму пуска между водопользователями, относящимися к Куйбышевскому, Саратовскому и Волгоградскому водохранилищам, с одной стороны, и непосредственно к Нижней Волге, с другой стороны.

Хотя бы частично снять противоречия возможно с помощью детального расчетного обоснования режимов работы водохранилищ, задействованных в осуществлении спецпуска, выполненного на основе результатов гидрологических, водохозяйственных и гидравлических расчетов.

Результаты. В 2022 году с целью повышения надежности и детальности расчетного обоснования гидрографа спецпуска в рамках темы № FMWZ-2022-0003 Государственного задания ИВП РАН начата разработка математической модели водных объектов с развитой системой пойменных водотоков и водоемов на примере Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги.

В разрабатываемой модели водная система представляется ориентированным ациклическим графом произвольной формы, где узлы представляют пойменные водоемы (озера, ерики и др.), а дуги – соединяющие их водотоки. Одним из типов узлов может быть «гидроузел», который характеризуется возможностью регулирования потока воды с

помощью входящих в его состав гидротехнических сооружений (каждое из которых имеет свою пропускную способность) на основании заданных правил управления (диспетчерских графиков).

Состояние моделируемой системы на каждом расчетном интервале времени характеризуется уровнями воды в узлах и расходами воды в дугах (начальными, средними и конечными). Воздействием на систему (возмущающими факторами) на каждом расчетном интервале времени являются: притоки (отборы) воды в узлах; осадки на поверхность воды в узлах; испарение с водной поверхности в узлах); ветровые воздействия (сгон, нагон) по дугам между узлами; барические воздействия (перепады атмосферного давления) по дугам между узлами. Расчет ведется календарным методом по расчетным интервалам времени. Конечные значения показателей состояния элементов моделируемой системы для предыдущего расчетного интервала являются начальными для следующего.

Главное условие расчета – точное соблюдение во всех узлах моделируемой системы и на каждом расчетном интервале времени баланса водных потоков (с учетом боковых притоков, отборов воды, аккумуляции воды, испарения с водной поверхности, осадков на водную поверхность и т.д.).

Для каждого интервала времени предусмотрено два этапа расчета: от узла с минимальным номером к узлу с максимальным номером (прямая прогонка, позволяющая для каждого узла и дуги получить взаимоувязанные расчетные характеристики связей расходов и уровней) и по упорядоченным узлам от больших номеров к меньшим – обратная прогонка, позволяющая по заданным нижним граничным условиям через рассчитанные на первом этапе характеристики получить окончательное решение.

Выводы и рекомендации. В настоящее время реализуются этапы по созданию действующей программной реализации описанного алгоритма.

Разрабатываются процедуры автоматизированного построения графа и расчета характеристик его узлов и дуг на основе цифровой модели рельефа, разрабатывается объединенная система хранения данных (DSS).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГГЕРОВ В ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАЛЫХ РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ

Жуков И.А.¹, Айбулатов Д.Н.²

¹аспирант кафедры гидрологии суши, Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва;

²к.г.н., кафедра гидрологии суши, Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Аннотация. *Рассмотрены особенности использования электронных логгеров в инженерной гидрологии. Приведен пример инженерных изысканий с использованием логгеров для создания временных гидрологических сетей для изучения стока и внутригодового режима малых рек Новой Москвы и верхней реки Свияги. Проведена обработка полученных результатов в программе «МатСтатистика».*

Ключевые слова: *электронные логгеры, инженерная гидрология, исследование малых рек, река Волга.*

Введение. В настоящее время водный режим и внутригодового распределение стока малых рек – самых распространённых рек на территории России, изучен крайне слабо. Причина кроется в недостаточной освещённости малых рек стационарными гидрологическими постами.

С увеличением числа опасных гидрологических явлений, которые приводят к большим потерям в экономическом и социальном секторе, а также потребностью в адаптации водного хозяйства к современным тенденциям и условиям формирования водных ресурсов, как на региональном уровне, так и в более глобальном масштабе, всё большее внимание уделяется стоку именно малых рек.

Материалы и методы. Одним из решений для изучения внутригодового стока воды малых рек является организация временной сети гидрологических постов с установленными на них логгерами. Для организации автоматического дистанционного наблюдения за гидрологическими характеристиками рек на каждом посту устанавливается логгер для автономной автоматической записи измерений уровня воды и температуры. Основным назначением логгеров является автоматический контроль физических параметров (температуры, влажности, давления, напряжения, силы тока и пр.) в установленных временных интервалах с фиксацией полученных результатов.

Современные электронные логгеры сохраняют результаты измерений в цифровом виде в энергонезависимой памяти и по сравнению с использовавшимися ранее самописцами обладают рядом неоспоримых преимуществ: обеспечивают повышенную точность и более

продолжительный период наблюдений; не требуют остановки измерений при считывании сохраненных данных (в некоторых моделях логгеров возможен дистанционный съем информации), обеспечивая практически непрерывную фиксацию измеряемых параметров; полученные результаты обрабатываются и анализируются с использованием ПК.

В гидрологических исследованиях наибольшее распространение получили регистраторы данных для контроля температуры, температурно-влажностных параметров окружающей среды, а также других характеристик. Каждая запись с них включает дату, время, значения уровня и температуры воды. Кроме этого, для введения в полученные данные об уровнях поправок на барокомпенсацию атмосферного давления дополнительно устанавливаются барологгеры в непосредственной близости от исследуемой территории. При работе в районах, удовлетворительно освещённых метеостанциями [1], нужды в барологгерах нет, их могут заменить данные наблюдений на них.

Результаты. В ходе инженерных изысканий логгеры использовались для создания временных гидрологических сетей для изучения стока и внутригодового режима малых рек Новой Москвы (сеть из 40 постов), верховий реки Свияги (10 постов).

В ходе исследований в каждом районе, в каждую фазу водного режима проводились измерения расходов воды детальным методом в каждом створе, в котором установлен логгер. В дальнейшем, полученные расходы воды соотнесены с уровнями воды, полученными с логгер и в результате построены кривые зависимостей $Q = f(H)$. Это позволило перейти от уровней воды к расходам.

После построения гидрографов для каждого поста, в их внутригодовом распределении выделены несколько закономерностей, изучение которых проводилось с помощью анализа получившихся результатов в программе «МатСтатистика».

Анализ позволил выделить восемь типов рек на территории Новой Москвы, и 4 типа рек в бассейне р. Свияги по внутригодовому распределению стока воды.

Выводы. В результате исследований выявлены величины, от которых в наибольшей степени зависят характеристики стока воды и его генетические составляющие.

Полученные результаты использованы в качестве входных данных в гидрогеологических моделях, необходимых при решении проблем водоснабжения Новой Москвы и Ульяновска, а также уточнения формул расчета характеристик стока воды, используемых в инженерных гидрометеорологических изысканиях.

Список литературы

1. СП 482.1325800.2020. Свод правил. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ.

ОЦЕНКА ТЕРМОЭРОЗИОННОГО РАЗМЫВА РЕЧНЫХ БЕРЕГОВ НА ОСНОВЕ ЛАБОРАТОРНОГО И ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дебольская Е.И.¹, Грицук И.И.², Дошина М.Е.³

¹*д.т.н., ведущий научный сотрудник, ИВП РАН, Москва;*

²*к.т.н., старший научный сотрудник, ИВП РАН; РУДН; Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва;*

³*студентка МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва*

Аннотация. *Работа посвящена исследованию русловых деформаций рек криолитозоны. Дан обзор современных исследований деформационных процессов под действием термоэрозии. Приводятся новые результаты численного и лабораторного моделирования, основанного на способе отсыпки песка в деформированные в результате воздействия термоэрозии участки русла. Особое внимание уделено размыву криволинейных участков. Для получения количественных оценок различий в размыве от вида искривления русла введен и обоснован фактор формы. Получены выводы о зависимости интенсивности русловых деформаций и таяния ледяных береговых включений от формы русла.*

Ключевые слова: *криолитозона, русловые деформации, термоэрозия, лабораторные эксперименты, математическое моделирование.*

Введение. К основным факторам, определяющим динамику переработки берегов в криолитозоне, принято относить мощность, продолжительность и направленность гидрологических и метеорологических процессов, батиметрические параметры берегового подводного склона, конфигурацию береговой линии, высоту и крутизну берегового уступа, геокриологическое и литологическое строение берегов. Эти факторы в равной степени могут быть отнесены и к деформациям речных берегов, которые в меньшей степени подвержены волновым воздействиям, но существенным образом зависят от быстрого изменения уровня и скоростного режима водного потока во время паводков и половодий.

Материалы и методы. Основной вывод из анализа существующих в настоящее время исследований воздействия термоэрозии на русла рек криолитозоны заключается в недостатке фактического материала, который объясняется как объективными трудностями проведения натуральных наблюдений и их высокой стоимостью, так и сложностью постановки лабораторных экспериментов. Альтернативой может служить использование метода математического моделирования, который, однако, должен опираться на данные наблюдений или независимых экспериментов.

Результаты. Выполнена попытка постановки лабораторного эксперимента, результаты которого были использованы для валидации и верификации разработанной математической модели.

В ходе лабораторных экспериментов в гидравлическом лотке были получены данные для количественной оценки деформаций, вызванных термоэрозией, способом отсыпки песка в деформируемую область.

Особое внимание было уделено установлению различий в динамике размыва участков русла с различными видами искривлений. Способ засыпки песка позволяет с достаточной точностью оценивать массу унесенного материала, проводить количественный анализ и более адекватно верифицировать математическую модель.

Эксперимент продемонстрировал существенную зависимость процесса термоэрозии от формы русла. Очевидно, что изменение скоростного поля в потоке влияет не только на перенос наносов, но и на таяние ледяных включений, что демонстрируют измерения остатков ледяных пластин после воздействия потока.

Для получения количественных оценок различий в размыве от вида искривления русла введен и обоснован фактор формы, с помощью которого можно дать количественную оценку влияния степени искривления и формы русла на процессы деформации берегового склона и таяния ледяных включений и верифицировать математическую модель, разработанную авторами.

Выводы и рекомендации. Наиболее существенное влияние на деформации при постоянной форме русла имеют изменения в размерах ледяной пластины. Зависимость от характеристик потока, температуры воды и положения пластинки относительно дна также существует, но она менее значительна.

Форма русла имеет существенное влияние также на скорость таяния ледяных включений, наибольшие значения наблюдаются в случае сужающегося русла.

Численные эксперименты демонстрируют эти зависимости с хорошей степенью совпадения.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0001 Государственного задания ИВП РАН.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФРАКТАЛЬНОСТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ РЕК

Февралев А.В.,

к.т.н., профессор Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, Нижний Новгород

Аннотация. Проведена аналогия между фрактальной размерностью и коэффициентом извилистости рек. Предложено использование фрактальности для оценки длины рек.

Ключевые слова: фрактал, фрактальность, фрактальная размерность, применение фрактальности, оценка длины рек.

Введение.

Фракталом называется структура, состоящая из частей, которые в каком-то смысле подобны целому. Понятие «фрактал» происходит от *fractal* (лат. *fractus*), что в переводе означает дробный, ломаный, фрагментарный [1].

Одной из основных характеристик фракталов является фрактальная размерность. Размерностью называют количество переменных, необходимых для описания положения точки в пространстве [1].

Исходя из этого, различают одномерность – размерность равна 1, двумерность – размерность равна 2 и трехмерность – размерность равна 3. Эти размерности принято называть топологическими.

Результаты.

Для фрактальных объектов размерность может принимать дробные значения из-за всякого рода несовершенства реальных объектов, например, степени извилистости линии. Такую размерность принято называть фрактальной.

Для определения фрактальной размерности используется зависимость [1]:

$$D = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} (\ln N(\varepsilon) / \ln \varepsilon), \quad (1)$$

где ε – характерный размер; $N(\varepsilon)$ – число областей с размерами ε .

При измерении длины L её величина будет

$$L = N \cdot \varepsilon. \quad (2)$$

Фрактальная размерность характеризует степень извилистости линии: величина D тем больше, чем более извилистая линия длины.

В этом смысле фрактальная размерность аналогична коэффициенту извилистости рек.

Фрактальная размерность используется для определения длины, измеренной по картам разного масштаба. Эта процедура требует предварительной оценки величины D .

Выводы и рекомендации.

Для оценки длины рек применение фрактальности также имеет смысл, однако методика этой оценки с использованием коэффициента извилистости [2] является предпочтительнее, так как названный коэффициент вычислен для различной степени извилистости и табулирован.

Список литературы

1. *Соболь С.В.* Фрактальные параметры водных объектов: монография / С. В. Соболь; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. – 232 с.
2. *Гидрографические характеристики речных бассейнов Европейской территории СССР / Под ред. В.В. Куприянова.* Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1971. 99 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРУШЕНИЯ ГРУНТОВЫХ СКЛОНОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ТАЛИКОВ

Остякова А.В.,

к т.н., доцент НИУ «МЭИ»; ИВП РАН, Москва

Аннотация. Рассмотрены вопросы образования таликов и фильтрации грунтовых вод в многолетнемерзлых грунтах, которые могут существенно повлиять на устойчивость природных (берегов рек, водохранилищ) и искусственных склонов (откосов строительных котлованов, выемок, набережных и других). Проанализированы причины аварий, связанных с образованием таликов: авария резервуара резервного дизельного топлива на ТЭЦ-3 Норильска, периодические обрушения берегов Угличского водохранилища, обрушение оползня на реке Буря.

Ключевые слова: криолитозона, таяние вечной мерзлоты, гидростатический напор, обрушение склонов, фильтрационное давление, талик, изменение физико-механических свойств мерзлых грунтов.

Введение. Глобальные климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, приводят к увеличению вероятности катастрофических явлений и аварий в криолитозоне, где повсеместно происходит растепление массивов многолетнемерзлых пород. Нередко этот процесс сопровождается образованием в мерзлых грунтах оттаявших слоев – таликов.

При образовании таликов на природных и искусственных склонах в зимнее время талики перекрываются водонепроницаемым экраном промерзающих с поверхности грунтов. Это приводит к тому, что фильтрация грунтовых вод по таликам начинает носить напорный характер и на экран из мерзлых грунтов действует гидростатическое давление, уменьшая устойчивость склона.

Похожие механизмы, как показали исследования, могут реализоваться не только в многолетнемерзлых грунтах, но и в сезонно-мерзлых грунтах. Образование таликов за счет фильтрации воды и тепломассопереноса представляются собой значительную опасность для сооружений, поскольку существенно ускоряют деградацию мерзлоты в локальных участках под сооружениями, провоцируя неравномерные деформации.

В этой связи при проведении инженерных изысканий и мониторинга объектов необходимо выявлять зоны образования таликов и определять гидростатическое давление грунтовой воды в них.

Результаты. В работе анализируются причины аварий, связанных с образованием таликов: авария резервуара резервного дизельного топлива на ТЭЦ-3 в г. Норильске в мае 2020 г., периодические обрушения берегов Угличского водохранилища, обрушение оползня на р. Буря в 2018 г.

Для проверки механизма обрушения и смещения склонов под воздействием гидростатического давления была поставлена серия лабораторных экспериментов по фильтрации воды под ледяным водонепроницаемым грунтовым экраном в наклонном лотке.

Описываются конструкция лабораторной установки, методика и результаты проведенных экспериментов.

Выводы и рекомендации. Выполненные работы показывают необходимость учета напорной фильтрации грунтовых вод в таликах промерзших масс грунтов, важность выявления таликов и установления величины гидростатического давления при проведении инженерных изысканий и мониторинга объектов.

Наиболее целесообразно выявлять и устанавливать границы таликов следует методами электроразведки, а поровое давление – с помощью установленных в скважинах пьезометров.

О ГИБКИХ ВОДОВОДАХ В ГОРНЫХ И ПРЕДГОРНЫХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Бондаренко В.Л.¹, Волосухин В.А.², О.А. Продоус³ Сергеев Б.И.⁴

¹ д.т.н., профессор НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ ДонГАУ, Новочеркасск;

² д.т.н., профессор НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ ДонГАУ; Институт безопасности гидротехнических сооружений, Новочеркасск;

³ д.т.н., профессор, Инженерный центр подготовки специалистов, Санкт-Петербург;

⁴ д.т.н., профессор, Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Республика Крым, Симферополь

Аннотация. Приведен критический анализ возможности применения водоводов в горных и предгорных условиях из тонкостенных технических тканей Unisol, производимых в Республике Корея, с основой из полиэстероловых нитей с двухсторонним ПВХ покрытием.

Ключевые слова: тентовая ткань Unisol с двухсторонним ПВХ покрытием, водоводы, горные условия, зимний период эксплуатации.

Введение. В материалах XIV Международной научно-практической конференции «Технология очистки воды» помещена статья доцента Кашарина Д.В., в которой автор утверждает, что водовод, изготовленный из тентовой ткани Unisol корейского производства, используемой для автомобильных тентов, временных покрытий летних кафе, детских игровых площадок, следует считать гибким, и это вынесено в название работы [1].

Результаты. Тканевые оболочки из тентовой ткани Unisol не могут иметь устойчивой цилиндрической формы при давлении, стремящемся к нулю, и относятся к классу мягких оболочек, отличающихся малой изгибной жесткостью, и не способны воспринимать сжимающих напряжений.

Мягкие оболочки следует рассчитывать с учетом геометрической, физической и конструктивной нелинейности [2-6].

В той же статье также утверждается, что водовод из тентового материала Unisol 900 рекомендуется для диаметров от 600 до 1200 мм при напорах до 50–60 м [1].

Принимая нижнюю границу рекомендуемого Д.В. Кашариным интервала, получаем кольцевые напряжения в тканевом материале

$$\sigma_k = 230,8 \cdot 10^3 \text{ кПа} = 230,8 \text{ МПа.}$$

Для верхней границы водовода из тентового материала Unisol имеем для рекомендуемых тем же автором условий $\sigma_k = 553,8 \text{ МПа}$.

В то время как разрушающее напряжение в условиях проявления пластичности деформаций, приводимое в технических условиях для тентового материала Unisol и в результате лабораторных испытаний тентового материала Unisol 900, равно $\sigma = 69,5$ МПа, т.е. в 3,3 раза меньше для нижнего интервала и в 8,0 раз меньше для верхнего интервала.

Деформации при разрушении по результатам испытания тентового материала Unisol составляют $\Sigma = 22...25\%$, т.е. водовод $D = 500$ мм (периметр $L = 1,57$ м удлинился бы при разрушении до $L=1,92$ м).

Выводы и рекомендации. Тканевые водоводы следует рекомендовать для зоны упругих деформаций с учетом их длительной прочности, однако в работе [1] эти границы не обоснованы.

В статье также ошибочно приведены неподтвержденные данные эксплуатации водовода из тентового материала Unisol в зимних условиях на р. Гизельдон (Республика Северная Осетия – Алания) [1].

Список литературы

1. *Каширин Д.В.* Обоснование применения гибких водопроводящих (деривационных) сооружений для условий водоснабжения в горных и предгорных условиях // Материалы XIV Международной научно-практической конференции «Технология очистки воды». Новочеркасск: Лик, 2023. С. 63-68.
2. *Сергеев Б.И.,* Бондаренко В.Л., Волосухин В.А., Блясов А.И. Пятьдесят лет научной школе мягких гидротехнических конструкций в водохозяйственном строительстве. Монография. ФГБОУ ВО Донской госуд. техн. ун-т, НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО ДонГАУ. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2020. 248 с.
3. *Сергеев Б.И., Тырзина Т.И., Волосухин В.А., Сергиенко Н.С.* Мягкие конструкции, применение их в водохозяйственном строительстве и других отраслях. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1979. 211 с.
4. Библиография публикаций ЮжНИИГиМа 1970-1979. Ч. 1, 2. Новочеркасск: ЮжНИИГиМ, 1980. 214 с.
5. Теория мягких оболочек и их использование в народном хозяйстве. Отв. редактор член-корр. АН СССР И.И. Ворович. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 1976. 168 с.
6. *Волосухин В.А., Кузнецов В.А.* Основы теории и методы расчета тканевых сооружений мелиоративных систем. Монография. Новочеркасск: НГМА, 2001. 266 с.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВНЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПОДЗЕМНОЕ СООРУЖЕНИЕ

Мусаев В.К.,

д.т.н., профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ; профессор кафедры техноферной безопасности РУТ, Москва

Аннотация. *Рассмотрено математическое (компьютерное) моделирование нестационарных волн в подземном сооружении при взрывных (внутренних и внешних) и сейсмических воздействиях. Актуализирована проблема математического (численного и аналитического) и физического (модельный и натурный эксперименты) моделирования задач переходного периода. Разработаны методика, алгоритм и комплекс программ для получения компонентов тензора напряжений, перемещений и их производных в деформируемых телах различной формы при нестационарных волновых воздействиях. Получена явная двухслойная схема. Для оценки достоверности разработанной методики, алгоритма и комплекса программ была решена задача о воздействии импульса в виде синусоидальной волны (три полупериода). Решены следующие задачи: внутреннее взрывное воздействие в подземном сооружении на окружающую среду; внешнее взрывное воздействие на подземное сооружение; сейсмическое воздействие на подземное сооружение. Получены новые результаты о контурных напряжениях на свободной поверхности при различных воздействиях с учетом сооружения, находящегося под землей.*

Ключевые слова: *цифровое моделирование, комплекс программ, нестационарный волновой процесс, подземное сооружение, взрыв, сейсмика, волны напряжений.*

Введение. Взрывные и сейсмические воздействия на строительные объекты можно представить в виде нестационарных волн переходного процесса. В работе приводится математическое моделирование напряженного состояния подземного сооружения при внутренних и внешних взрывных воздействиях, а также при сейсмическом воздействии.

Материалы и методы. Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени сообщается импульсное механическое воздействие. Многие материалы имеют свойство упругости при волновых воздействиях. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости. Система уравнений в некоторой области деформируемого тела, следует интегрировать при

начальных и граничных условиях. Для решения нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями (задача Коши) используем метод конечных элементов (численное моделирование уравнений переходного процесса). Задача решается с помощью метода математического моделирования для распространения нестационарных волн напряжений в сложных деформируемых объектах. С помощью метода Галеркина получена двумерная явная двухслойная линейная схема для внутренних и граничных узловых точек исследуемых объектов. Шаг по временной переменной определяем из условия Куранта-Фридрихса-Леви. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык высокого уровня Фортран-90. Исследуемая область разбивается на конечные элементы первого порядка (треугольные и прямоугольные), так как конечные элементы первого порядка позволяют хорошо моделировать фронты нестационарных волн в деформируемых телах, а также аппроксимировать разрывы на фронтах различных волн.

Результаты. Для решения динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработаны методика, алгоритм и комплекс программ. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90. Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде синусоиды (три полупериода) на упругую полуплоскость. Проведено сопоставление с результатами аналитического решения, которое показало, количественное совпадение. Решена задача о внутреннем взрывном воздействии в подземном сооружении на окружающую среду. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса (дельта функция). Получены контурные напряжения на свободной поверхности. Решена задача о внешнем вертикальном сосредоточенном воздействии на подземное сооружение. Взрывное воздействие моделируется в виде треугольного импульса (дельта функция). Получены контурные напряжения на свободной поверхности. Решена задача о сейсмическом воздействии на подземное сооружение. Сейсмическое воздействие моделируется в виде ступеньки (функция Хевисайда). Получены контурные напряжения на свободной поверхности. Величина контурных напряжений в задачах с учетом подземного сооружения выше по сравнению с задачами без подземного сооружения.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОГО СОСРЕДОТОЧЕННОГО ВОЛНОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ (ДЕЛЬТА ФУНКЦИЯ) НА ПОЛУПЛОСКОСТЬ В ВИДЕ ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ

Мусаев В.К.,

д.т.н., профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ; профессор кафедры техносферной безопасности РУТ, Москва

Аннотация. *Рассмотрено цифровое (компьютерное) моделирование нестационарных волн в двухслойном основании при вертикальном сосредоточенном волновом воздействии (треугольный импульс или дельта функция). Актуализирована проблема численно-аналитического и физического моделирования задач переходного периода. Разработан комплекс программ для оценки безопасности по несущей способности деформируемых тел, различной формы при нестационарных волновых воздействиях. Для оценки достоверности разработанного комплекса программ решена задача о воздействии импульса в виде двух трапеций, двух треугольников и двух трапеций.*

Ключевые слова: *математическое моделирование, методика, алгоритм, комплекс программ, нестационарный волновой процесс, двухслойное основание, полуплоскость, сосредоточенное воздействие, треугольный импульс, контурное напряжение.*

Введение. Волновые воздействия на двухслойное основание можно представить в виде нестационарных волн переходного процесса. В работе приводится математическое моделирование напряженного состояния двухслойного основания при вертикальном сосредоточенном воздействии в виде треугольного импульса (дельта функция).

Материалы и методы. Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное (волновое) механическое воздействие. Система уравнений в области, занимаемой некоторым телом, следует интегрировать при начальных и граничных условиях. Для решения нестационарной динамической задачи теории упругости с начальными и граничными условиями – используем метод конечных элементов. С помощью метода Галеркина, получена явная двухслойная схема для внутренних и граничных узловых точек исследуемых объектов. Шаг по временной переменной определяем из условия Куранта. На основе метода конечных элементов разработана методика, алгоритм и комплекс программ. Исследуемая область разбивается на конечные элементы первого порядка

(треугольные и прямоугольные), так как конечные элементы первого порядка позволяют хорошо моделировать фронты нестационарных волн в деформируемых телах, то есть аппроксимировать разрывы на фронтах различных волн.

Результаты. Для решения линейных двумерных плоских задач динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработаны методика, алгоритм и комплекс программ. Основные соотношения метода конечных элементов получены с помощью принципа возможных перемещений. Матрица упругости выражена через скорость продольных волн, скорость поперечных волн и плотность. Исследуемая область разбивается по пространственным переменным на треугольные и прямоугольные конечные элементы первого порядка. По временной переменной исследуемая область разбивается на линейные конечные элементы первого порядка. За основные неизвестные приняты два перемещения и две скорости перемещений в узле конечного элемента. Линейная динамическая задача с начальными и граничными условиями в виде дифференциальных уравнений в частных производных, для решения задач при волновых воздействиях, с помощью метода конечных элементов, приведена к системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными условиями, которая решается по явной двухслойной схеме. Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде импульса (две трапеции, два треугольника и две трапеции) на упругую полуплоскость. Проведено сопоставление с результатами аналитического решения, которое показало, количественное совпадение. Решена задача о сосредоточенном вертикальном воздействии на двухслойную полуплоскость. Величина контурных напряжений в задаче с двухслойным основанием больше по сравнению с задачей с однослойным основанием.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛОСКОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ВОЛНЫ (ДЕЛЬТА ФУНКЦИЯ) НА ПОЛУПЛОСКОСТЬ В ВИДЕ ДВУХСЛОЙНОГО ОСНОВАНИЯ

Мусаев В.К.,

*д.т.н., профессор кафедры комплексной безопасности в строительстве НИУ МГСУ;
профессор кафедры техносферной безопасности РУТ, Москва*

Аннотация. *Рассмотрено цифровое (компьютерное) моделирование плоской продольной волны в виде треугольного импульса на двухслойное основание (полуплоскость). Актуализирована проблема численно-аналитического и физического моделирования задач переходного периода. Разработан комплекс программ для оценки безопасности по несущей способности деформируемых тел различной формы при нестационарных волновых воздействиях. Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде треугольного импульса на двухслойное основание. Получены новые результаты о нормальных напряжениях в двухслойном основании.*

Ключевые слова: *компьютерное моделирование, численный метод, алгоритм, комплекс программ, двухслойное основание, полуплоскость, плоская продольная волна, треугольный импульс, нормальные напряжения.*

Введение. Волновые процессы на деформируемые объекты можно представить в виде нестационарных волн переходного процесса. В работе приводится математическое моделирование напряженного состояния двухслойного основания в виде полуплоскости при воздействии треугольного импульса.

Материалы и методы. Для моделирования нестационарных волн переходного периода в деформируемых телах сложной формы, рассмотрено некоторое тело в прямоугольной декартовой системе координат, которому в начальный момент времени, сообщается импульсное механическое воздействие. Будем предполагать, что деформируемые тела, являются упругими. Предполагается, что материал в деформируемом упругом теле непрерывно распределен. То есть он однороден и изотропен. Для решения задачи о распространении волн напряжений в деформируемых телах применяем уравнения динамической теории упругости. Система в области, занимаемой некоторым телом, следует интегрировать при начальных и граничных условиях. Задача решается с помощью метода математического моделирования (метод конечных элементов) распространения нестационарных волн напряжений в сложных деформируемых объектах. С помощью метода

Галеркина, получена двумерная явная двухслойная линейная схема для внутренних и граничных узловых точек исследуемых объектов. Шаг по временной переменной определяем из условия Куранта-Фридрихса-Леви. На основе метода конечных элементов разработана методика, алгоритм и комплекс программ. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык высокого уровня Фортран-90. Исследуемая область разбивается на конечные элементы первого порядка (треугольные и прямоугольные), так как конечные элементы первого порядка позволяют хорошо моделировать фронты нестационарных волн в деформируемых телах.

Результаты. Для решения линейных двумерных плоских задач динамической теории упругости, при нестационарных волновых воздействиях, разработаны методика, алгоритм и комплекс программ. При разработке комплекса программ использовался алгоритмический язык Фортран-90. Линейная динамическая задача с начальными и граничными условиями в виде дифференциальных уравнений в частных производных, для решения задач при нестационарных волновых воздействиях, с помощью метода конечных элементов, приведена к системе линейных обыкновенных дифференциальных уравнений с начальными условиями, которая решается по явной двухслойной схеме. Решена задача о воздействии плоской продольной волны в виде импульса (двух треугольников, двух трапеций и двух треугольников) на упругую полуплоскость. Проведено сопоставление с результатами аналитического решения, которое показало, количественное совпадение. Решена задача о моделировании воздействия плоской продольной волны в виде треугольного импульса (дельта функция) на двухслойное основание. В первом слое, которое находится на поверхности полуплоскости, видны отраженные волны от границы первого и второго слоя.

ИЗМЕНЕНИЕ РУСЛА РЕКИ ПРИ МЕАНДРИРОВАНИИ В СЛУЧАЕ ИЗМЕНЕНИЯ УКЛОНА ЗЕМНОЙ КОРЫ ВСЛЕДСТВИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ТИПА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Масликова О.Я.¹, Грицук И.И.², Ионов Д.Н.³

¹ к.т.н., ИВП РАН, Москва;

² к.т.н., РУДН, МАДИ (ГТУ), ИВП РАН, Москва;

³ к.т.н., ИВП РАН, Москва

Аннотация. Рассмотрено изменение русла реки при меандрировании в случае изменения уклона земной коры вследствие катастрофических явлений типа землетрясений.

Ключевые слова: землетрясения, меандры, речная сеть, оползни.

Введение. Землетрясения, вызывающие подвижки земной коры, наряду с мгновенным воздействием на бассейн реки вследствие переформирования уклона, изменения геометрии канала и перестройки всех процессов, происходящих в потоке, имеют пролонгированное воздействие на развитие речной сети по другому сценарию. Мгновенный эффект – это выход потока из берегов, прорыв дамб, тенденция к резкому изменению положения меандра. Отложенный процесс – это оползни, вызванные землетрясениями, которые обычно инициируют процессы морфологической перестройки русел вниз по течению. Практически вся речная сеть на много километров оказывается задействованной в процессе. Всё это приводит к огромным рискам катастрофических явлений ниже по течению.

Материалы и методы. В гидравлической лаборатории РУДН проведена серия экспериментов по изучению движения меандра вследствие подвижки земной коры. Эксперименты проводились на установке Armfield S12-МКП, позволяющей варьировать уклон макета русла реки, что полностью должно имитировать последствия катастрофических явлений – землетрясений и взрывов. Технические характеристики установки позволяют задавать уклон в пределах от 0% до 5%, что даёт возможность визуального наблюдения за изменением русла реки, размывом и дальнейшим существенным изменением излучины вплоть до прорыва.

Результаты. Устоявшийся меандр после небольшого изменения уклона поверхности макета практически оставался неизменным, продолжая размываться в плановом режиме (на выпуклом склоне проседая и оттаивая, на вогнутом – за счет движения вихревых структур на повороте и переноса наносов, размываясь до состояния сбалансированной стабильности).

При дальнейшем увеличении уклона в сторону наблюдалось заиливание на самом повороте и затруднение потока преодолевать обратный уклон после поворота.

Существенное изменение уклона привело к полному перекрытию поворота принесенным материалом. Однако прорыва меандра не произошло, эксперимент был остановлен.

Выводы и рекомендации. Полностью нивелировать последствия катастрофических явлений такого масштаба не удастся, но значительно уменьшить можно.

Для предотвращения сильного размыва можно предложить берегоукрепляющие мероприятия для защиты русла от резких изменений такого типа.

Также большую эффективность будет иметь водоотводящий канал для смягчения мощности воздействия водного потока на русло.

ПРОДЛЕНИЕ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ДЮКЕРА НА ПРАВО-ЕГОРЛЫКСКОЙ ОРОСИТЕЛЬНО-ОБВОДНИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Волосухин В.А.¹, Моргунов В.Н.², Васильев Д.А.³

¹ *д.т.н., профессор НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ ДонГАУ; Институт безопасности гидротехнических сооружений, Новочеркасск;*

² *к.т.н., доцент, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова (ЮРГПУ (НПИ)), Новочеркасск;*

³ *Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова (ЮРГПУ (НПИ)), Новочеркасск*

Аннотация. *В статье проведен анализ результатов обследования Кугультинского дюкера. Показаны опасные участки металлического трубопровода.*

Ключевые слова: *Кугультинский дюкер, результаты обследования, металлический трубопровод.*

Введение. Кугультинский дюкер является одним из крупнейших сооружений запроектированных и построенных на макропористых лессовидных суглинках имеющих просадочные свойства, введен в эксплуатацию в 1948 году.

Проведено длительное замачивание грунта при нагрузке соответствующей проектному давлению от сооружения. Замачивание осуществлялось согласно проекту, через сеть питающих канав, а на участке входного оголовка дюкера – дополнительно через скважины. Влажность грунта поддерживалась и в процессе возведения насыпи.

Результаты. В связи с опасностью просадочных деформаций были проведены мероприятия по ликвидации просадочных свойств грунта основания насыпи и входного оголовка дюкера.

В результате проведенных мероприятий произошло уплотнение грунта основания и соответственно осадка, которая в высокой части насыпи достигла 1,57 м, объемный вес скелета грунта основания увеличился с 1,40 до 1,55-1,60.

Наблюдения над фактическими просадками в процессе производства работ проведены по 17 глубинным реперам заложенным в 4-х поперечных створах.

По основанию железобетонного трубопровода шугосброса и под части опор металлического трубопровода при дополнительной нагрузке на грунт до 1 кг проведено ударное уплотнение грунта трамбовками весом 2,5 тонны.

В процессе эксплуатации трубопровода произошло разрушение участка между опорами №153 и №158 длиной 100 метров.

На основе проведенных обследований были выявлены дефекты, которые потребовали дополнительных исследований, выполненных авторами.

Для этого была разработана 3D модель, позволившая выполнить прочностные расчеты для выбора оптимальной конструкции заменяемых сегментов между опорами №118 – 119.

Выводы и рекомендации. Проведенные исследования позволили выявить дефекты трубопровода.

Для продления жизненного цикла металлического дюкера на Право-Егорлыкской оросительно-обводнительной системе рекомендуется замена опасных участков трубопровода.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ТРАНСПОРТНЫЙ КОРИДОР «СЕВЕР-ЮГ»: ОТ ИДЕИ К ИТОГАМ РЕАЛИЗАЦИИ (2000-2023)

Волосухин В.А.¹, Мельников В.В.²,

*¹д.т.н., Заслуженный деятель науки РФ, профессор НИМИ им. А.К. Кортунова ФГБОУ
ДонГАУ; Институт безопасности гидротехнических сооружений, Новочеркасск;*

²директор ООО «Юрист Компании», Новочеркасск

Аннотация. *Рассмотрен вопрос развития международного транспортного коридора «Север-Юг» от Санкт-Петербурга до порта Мумбаи (Индия). МТК «Север-Юг» призван создать кратчайшее торговое соединение России, государств Каспийского региона, Ирана, Индии.*

Ключевые слова: *Международный транспортный коридор, судоходный канал Каспий-Персидский залив.*

Введение. Еще в 1910 г. был разработан проект судоходного канала Каспий-Персидский залив. В 1970-е гг. советские и иранские специалисты возобновили работу над проектом судоходного канала Каспий-Персидский залив, однако реализовать его так и не удалось из-за событий, охвативших одновременно как Иран, так и Советский Союз.

12 сентября 2000 г. во время работы 2-й Международной Евроазиатской конференции по транспорту в Санкт-Петербурге правительства этих государств заключили «Соглашение о Международном транспортном коридоре “Север–Юг”» – «из Индии, Омана по морю, через Иран, Каспийский регион, Российскую Федерацию и далее в обратном направлении». Как подчеркивалось в Соглашении, достигнутая договоренность была обусловлена тем, что в стремлении «укреплять дружественные отношения и сотрудничество» государства-подписанты осознавали «растущую взаимозависимость стран в региональном и глобальном плане, придавая большое значение расширению и повышению эффективности внешнеэкономических связей». Со временем соглашение ратифицировали 13 стран. Азербайджан присоединился к проекту в 2005 году.

Из-за постоянных вызовов и угроз в отношении российского экспорта через порты Азово-Черноморского бассейна актуализировались работы по формированию альтернативного и наиболее проработанного и перспективного в настоящее время проекта по формированию МТК «Север-Юг».

Международный транспортный коридор «Север-Юг» - это мультимодальный маршрут от Санкт-Петербурга до порта Мумбаи (Индия) протяженностью 7,2 тысячи километров. Коридор является равноценной и перспективной альтернативой морскому пути, соединяющему Европу, страны Персидского залива и Индийского океана через Суэцкий канал.

Изначальной целью проекта было снижение сроков доставки индийских грузов в Россию и Европу, однако со временем его назначение было значительно расширено.

Существует три маршрута МТК «Север-Юг»: Транскаспийский начинается в индийском порту Нава-Шева. Морской путь до иранского порта Бендер-Аббас, расположенного в Ормузском проливе, его протяженность составляет 1275 км. Затем маршрут проходит по суше на север страны к порту Бендер-Энзели. Оттуда ветка продолжается по морю в российские, азербайджанские, туркменские и казахские порты (порты Каспийского моря). Западный и восточный маршруты МТК «Север-Юг» – сухопутные.

Результаты. Задача развития МТК «Север-Юг» имеет стратегическое значение для Российской Федерации и представляет большой интерес для стран-участниц, по территориям которых проходят маршруты этого коридора. 29 апреля 2023 г. Президент РФ В.В. Путин утвердил перечень поручений Правительству РФ и Российскому союзу промышленников и предпринимателей (РСПП) принять меры по привлечению средств инвесторов для строительства МТК «Север-Юг», которое опубликовано 2 мая 2023 г. В ближайшие годы МТК «Север-Юг» будет активно развиваться, поскольку все участники заинтересованы в обеспечении бесперебойной торговли в условиях постоянно меняющихся условиях.

Привлечение инвестиций в проект неразрывно связано с необходимостью широкого изучения перспектив и возможностей проекта, а так же с необходимостью публичного освещения всех достигнутых в результате изысканий результатов. Подобный подход позволит объединить в одном проекте множество его возможностей, во всех без исключения сферах предпринимательской, социальной, промышленной, военной деятельности государств-участников, позволит выработать универсальные решения, которые создадут возможность трансформировать МТК под изменившиеся условия, для его дальнейшей интеграции в любые политические и экономические процессы.

Выводы и рекомендации. В отличие от Суэцкого канала, МТК «Север-Юг» обладает перспективной возможностью неограниченного развития во времени и географии, обеспечивая одновременно, гармоничный баланс между неизбежным развитием человечества безопасностью окружающей среды.

МТК «Север-Юг» - ультрасовременный проект, который позволит стать макроэкономической основой многополярного мироустройства и построения экономики новой модели, учитывающей современные технологии, экологию и межгосударственные интересы образующихся глобальных центров силы. Проект, закладывающий основу совместного созидательного процесса во всем регионе стран-участников.

Список литературы

1. *Волосухин В.А., Мельников В.В. Азово-Каспийский водный путь: история, проблемы, перспективы.* Ростов-на-Дону, 2008. 240 с.

ОЦЕНКА ВОДООБЕСПЕЧЕННОСТИ В РЕЧНОМ БАССЕЙНЕ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННЫХ КРИТЕРИЕВ ПОКРЫТИЯ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

Муалла Манхаль¹, Раткович Л.Д.²

¹аспирант кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва

²д.т.н., профессор кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, Москва

Аннотация. Проанализированы методы оценки использования водных ресурсов и их потенциала в исследуемой части речного бассейна. Отмечены преимущества рационального водопользования и альтернативных источников водоснабжения. Рассмотрена стратегия водопользования в бассейнах трансграничных реках, основанная на принципах совместного использования водных ресурсов. Предложена универсальная система критериев для удовлетворения количественных требований к водным ресурсам речных бассейнов. Разработан применительно к этой системе критериев программный модуль для оценки потенциала водных ресурсов, который позволяет определить максимальную гарантированную водоотдачу условного водохранилища.

Ключевые слова: альтернативные источники водоснабжения, рациональное водопользование, критерии покрытия водопотребления, водно-ресурсный потенциал, имитационное моделирование.

Введение. Водообеспеченность населения и отраслевого водопользования – всегда одна из самых актуальных задач современного водного хозяйства. Практически все хозяйственно освоенные речные бассейны находятся в условиях высокой антропогенной нагрузки. В связи с этим приоритетная роль принадлежит комплексным мероприятиям по рационализации водопользования.

Материалы и методы. Настоящим исследованиям предшествовало изучение водохозяйственной обстановки во многих речных бассейнах как в России, так и за рубежом.

Каждый бассейн и каждая водохозяйственная система уникальны, имеют свои особенности.

В данном случае основное внимание было уделено оценке водно-ресурсного потенциала, в том числе трансграничных рек, на основе обобщенных критериев удовлетворения количественных требований к водным ресурсам.

Для решения задачи использовалось имитационное моделирование с элементами оптимизации.

Результаты. В работе рассмотрены наиболее важные аспекты очистки водных ресурсов, ее новых технологий, перспективные возможности альтернативных источников водоснабжения.

При проектировании и эксплуатации водохозяйственных систем и отдельных водохранилищ анализ и оценка водообеспеченности является приоритетной задачей.

Однако, надежное управление водными ресурсами возможно только на основе их оценки и распределения между водопользователями, а в случае трансграничных бассейнов – между странами.

В свою очередь оценка водно-ресурсного потенциала нуждается в достаточно универсальной и согласованной системе критериев удовлетворения количественных требований к водным ресурсам.

Совокупность изложенных факторов свидетельствует о высокой актуальности методической разработки рассматриваемых вопросов.

Выводы. Предложена и реализована в программном модуле «*Reachable water*» методика отыскания максимальной гарантированной отдачи с тремя диапазонами обеспеченности покрытия водопотребления $P1$, $P2$, $P3$ и показателем многолетней надежности R .

Описанный алгоритм реализован в среде Excel с использованием макросов, пакета «анализа» и процедуры поиска оптимального решения «solver», опирающегося на алгоритм обобщенного понижающего градиента (ОПГ) для гладких нелинейных задач.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА РАВНИНЕ АККАР В СИРИЙСКОЙ АРАБСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Хадж Кхамис¹, Козлов Д.В.²

¹*аспирантка кафедры ГиГС НИУ МГСУ,*

²*д.т.н., профессор, заведующий кафедрой ГиГС НИУ МГСУ*

Аннотация. *Приведены статистический анализ и прогнозирование климатических характеристик на равнине Аккар в Сирийской Арабской республике.*

Ключевые слова: *статистический анализ, прогнозирование, климатические характеристики, равнина Аккар, Сирийская Арабская республика.*

Введение. Целью исследования является проведения комплексного статистического анализа и прогнозирования климатических характеристик на равнине Аккар в Сирийской Арабской Республике. В соответствии с целью исследования были поставлены и решены следующие задачи: проверка наличия аномальных значения и выбросов; проверка однородности данных климатических характеристик; проверка нормального распределения данных; выявление тенденции во временных рядах климатических характеристик; анализ динамики изменения климатических характеристик; прогнозирование климатических характеристик и проверка адекватности прогнозных значений.

По статистическим данным среднегодовая дневная температура составляет 19,5°C, а самая высокая средняя температура в августе составила 30,1°C. Самый холодный месяц в году - январь, средняя минимальная температура за наблюдаемый период составляет 8,7°C.

Сезон дождей начинается с середины сентября до конца апреля, и среднегодовая норма составляет 865 мм. Однако максимальное количество осадков выпадает в декабре и достигает 194 мм. Лето сухое, среднее количество осадков колеблется от 1 до 12 мм.

Над регионом дуют ветры, наиболее влажные юго-западные ветры, особенно летом, а средняя скорость ветра в год составляет 4,3 м/с. Ветер активен зимой и является северо-западным, а дождливые ветры дуют с юга и юго-запада, но летом опускается до 2,4 м/с.

Результаты. Максимальная скорость испарения (Е_{То}) была оценена нами с использованием математических и эмпирических уравнений – модифицированных Блейни-Кределя, Пенмана и Иванова. По Пенману получилось 1472 мм/год, по Блейни – Кределю – 1383 мм/год, по Иванову – 1376 мм / год.

Июль считается самым испарительным месяцем, так как в июле максимальная скорость испарения достигает 173,6 - 179,1 мм, а наименьшая скорость максимального испарения приходится на январь и варьируется в диапазоне 74,4 - 50,6 - 84 мм.

Из вышеизложенного, и по сравнению количества осадков и максимально возможной скорости испарения Е_{То}, было замечено, что дожди в районе равнины Аккар могут представлять собой надежное водоснабжение для удовлетворения потребностей воды озимых культур, особенно в первые месяцы года. Весной в случае отсутствия дождя с

необходимостью обеспечить орошение ранних и летних культур либо из поверхностных колодцев, либо из рек и плотин, которые расширяются на побережье в целом и в районе равнины Аккар в частности. Все обнаружены аномальные значения были удалены и замещены средним значением временного ряда.

В результате анализа табличных значений можно делать вывод о том, что данные всех климатических показателей были однородными или стали однородными после преобразования данных с использованием натурального логарифма или метода Бокса-Кокса. Значения всех коэффициентов вариации меньше 33%.

Для проверки нормального распределения данных построена гистограмма для всех показателей, на основе которой, можно делать вывод, что данные всех исследуемых показателей следуют или близко к нормальному распределению (форма колокола). В результате анализа можно сделать вывод о наличии тенденции только во временном ряду средней скорости ветра, а во временных рядах остальных анализируемых показателей тенденция отсутствует.

Среднее значение максимальной температуры за исследуемый период составило 29,90°C. В среднем за весь период роста максимальной температуры составил 100,08%. В среднем максимальной температуры увеличилась на 0,08%. С каждым годом максимальная температура в среднем увеличивается на 0,02°C. Среднее значение динамики минимальной температуры составило 11,69°C. Средняя минимальная температура ежегодно в среднем снизилась (-0,02°C). За исследуемый период в среднем исследуемый показатель снизилась на 0,23 %.

Среднее значение показателя «Средняя влажность», составило 69,27%. С каждым годом средняя влажность в среднем, уменьшилась на 0,24%. За весь период в среднем анализируемый показатель уменьшился и составил 0,37%. Среднее значение скорость ветра, составило 2,39 м/с. Средняя скорость ветра ежегодно в среднем, уменьшилась на 0,13 м/с. За весь период исследования средняя скорость ветра, уменьшилась в среднем на 0,73%.

Среднее значение солнечной яркости, составило 3073.01 часов. С каждым годом солнечная яркость в среднем, увеличилась на 3,13 часа. Ежегодное увеличение исследуемого показателя за весь период в среднем составило 0,11%. Среднее значение количество осадков составило 887,94 мм. С каждым годом количество осадков в среднем увеличивалось на 18,64 мм. Увеличение анализируемого показателя за весь период в среднем составило 2.51%.

Все статистические показатели использованы для проверки адекватности прогнозных климатических данных и подтверждают эффективность модели нейронных сетей для прогнозирования климатических показателей.

Выводы и рекомендации. На основании вышеизложенного отметим, что данные климатических показателей являются адекватными и их можно использовать в дальнейшем гидрологическим анализом.

Также подтверждена эффективность нейронных сетей для прогнозирования климатических данных с помощью статистических показателей.

Рекомендуется использовать другие алгоритмы машинного обучения для анализа и прогнозирования климатических показателей таких, как модель Wavelet ANN в пакет R, Matlab или с использования языка программирования Python.

ФОРМИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА

Исмайлова И.Г.¹, Раткович Л.Д.²

¹*соискатель кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ИМВХиС имени А.Н. Костякова*

²*д.т.н., профессор кафедры гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, ИМВХиС имени А.Н. Костякова*

Аннотация. *Рассмотрены методические подходы к формированию длительных временных рядов элементов водного баланса с целью оценки (прогноза) речных вод в замыкающем створе речного водосбора. Для формирования длительных временных рядов суммарного испарения и изменения бассейновых влагозапасов, предложено использовать новые подходы к определению этих элементов водного баланса. В качестве основного подхода в настоящем исследовании используется корреляционное уравнение, связывающее стохастические закономерности формирования речного стока совместно с уравнением водного баланса, учитывающим многолетнюю динамику распределения осадков между стоком и бассейновыми влагозапасами.*

Введение. Существующие опорные гидрометрические посты и метеостанции более надежно измеряют только атмосферные осадки и речной сток, что нельзя сказать о других элементах водного баланса, таких как суммарное испарение с поверхности суши и изменение бассейновых влагозапасов. В связи с этим, ставится и решается задача определения суммарного испарения и изменения бассейновых влагозапасов при наличии атмосферных осадков и речного стока.

Материалы и методы. Отсутствие достаточно длительных временных рядов гидрометеорологической информации не позволяет осуществить сопряженный анализ межгодовой и сезонной изменчивости элементов водного баланса (ЭВБ) и прогнозировать приток речных вод к расчетным створам водохранилищных гидроузлов.

В связи с этим, авторами предлагается методика определения трудно измеряемых составляющих водного баланса, таких как суммарное испарение и изменение бассейновых влагозапасов. Предлагаются два подхода для определения ЭВБ речного бассейна. В первом подходе мы исходим из решения систем уравнений балансового типа, учитывающих распределение атмосферных осадков на формирование речного стока, суммарного испарения с поверхности речного бассейна и изменение бассейновых

влажностных запасов. Второй подход предусматривает в дополнение к первому методу использование корреляционного уравнения, связывающего формирование речного стока смежных лет с закономерностями водного баланса.

Результаты. Используя предложенную методику, получены уравнения, позволяющие определить, как суммарное испарение с поверхности суши, так и изменения бассейновых влажных запасов при заданных величинах атмосферных осадков и речного стока. Получены длительные временные ряды суммарного испарения с поверхности речного бассейна и изменение бассейновых влажных запасов применительно к бассейну р. Волги в зоне формирования до г. Волгограда для двух периодов: с 1891/1892 – 2020/2021 гг. (n=130 лет) и период с 1914/1915 – 2020/2021 гг. (n=107 лет). Это позволило выявить межгодовую изменчивость речного стока и установить связь между речным стоком и основными стокоформирующими факторами. Сгенерированы длительные временные ряды гидрометеорологической информации для оценки ЭВБ речного бассейна.

Выводы и рекомендации. Результаты могут использоваться в процессе исследования вероятностных климатических трендов в колебаниях элементов водного баланса.

Многолетние ряды стока необходимы при выполнении водохозяйственных и водно-энергетических расчетов в режиме имитационного моделирования.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ВОД В ПРОЕКТИРУЕМОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ: КАК ПОВЫСИТЬ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКОВ И ЭКСПЕРТОВ

Цхай А.А.,

д.т.н., профессор, главный научный сотрудник Института водных и экологических проблем СО РАН; профессор Алтайского государственного технического университета им. Ползунова, Барнаул

Аннотация. Приведено сравнение результатов двух прогнозных подходов к прогнозированию качества вод в Богучанском водохранилище: традиционного и модельного, выполненных на этапе проектирования. Выполнено сравнение прогнозной модельной оценки качества воды в проектируемом водохранилище с данными фактических наблюдений после его сооружения. Поставлен вопрос о привлечении экспертов в области моделирования с начала этапа проектирования водохранилищ.

Ключевые слова: проектируемое водохранилище, прогноз качества воды, Богучанское водохранилище, моделирование, загрязнение, экспертная оценка.

Введение. Комплексная оценка экологических последствий зарегулирования рек в нашей стране началась во второй половине XX в. В этой связи регулярно возникают задачи экологической экспертизы проектов гидросооружений. Инженерно-технические аспекты сооружения четвёртого в каскаде ангарских водохранилищ, объединённых в единую эколого- гидрологическую систему Богучанского водохранилища (рисунок 1), в свое время были предметом исследований, в том числе специалистов МГСУ.

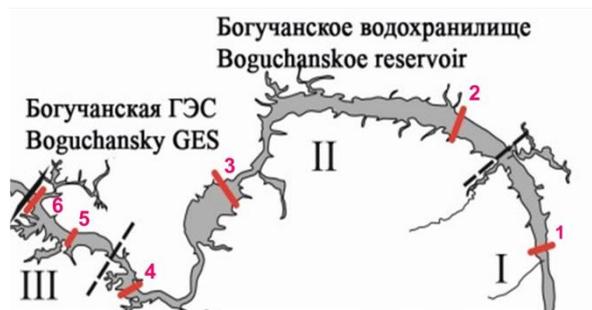


Рисунок 1. Богучанское водохранилище (I – верхний участок; II – средний участок; III – нижний участок): створы наблюдений (1-6) за БПК₅ в июле 2016 г.

Материалы и методы. На основе результатов исследований ангарских водохранилищ и данных, полученных в конце 20-го века на незарегулированном участке Ангары, ниже плотины Усть-Илимской ГЭС, были подготовлены прогнозы состояния компонентов экосистемы Богучанского водохранилища в период формирования и стабилизации. Прогнозирование выполнялось как на основе экспертных оценок специалистов, так и путем математического моделирования сценарных вариантов режима эксплуатации проектируемого гидроузла.

Результаты. В качестве примера взято прогнозирование качества вод в Богучанском водохранилище на этапе проектирования. Его сооружение и наполнение до нормального

подпорного уровня было завершено в 2014 г. Сравнение данных фактических наблюдений качества воды в нем велось с прогнозными оценками, полученными в результате традиционных экспертных оценок, а также путем математического моделирования на этапе проектирования. Модельные расчеты автора показали изменение одного из самых распространенных показателей качества вод - содержания легкоокисляемых органических веществ - БПК₅ (рисунок 2) в июле от 1,2 до 1,8 мгО₂/л, что говорит о самоочищении Ангары на участке проектируемого водохранилища в 2-4 раза по сравнению с данными наблюдений в реке в модельном 1986 г.

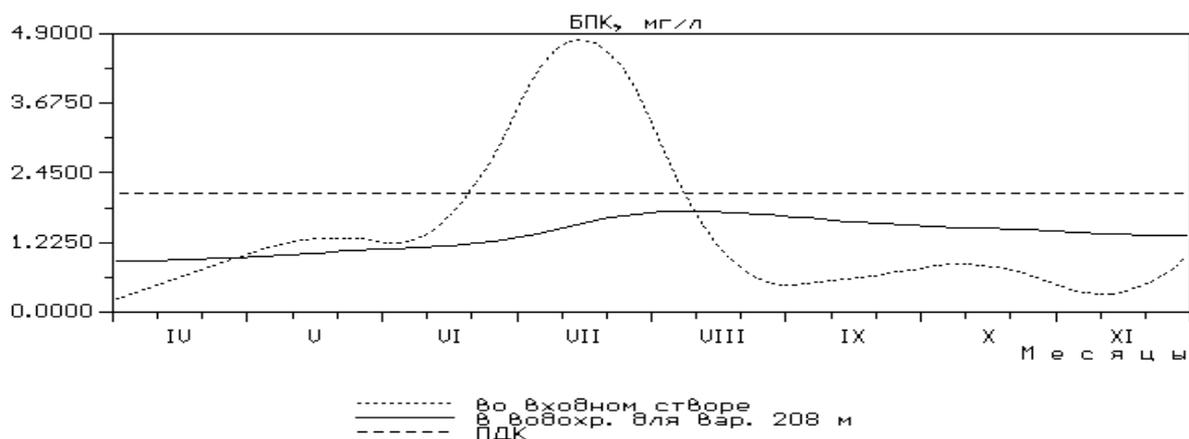


Рисунок 2. Модельный прогноз качества воды в Богучанском водохранилище

После заполнения Богучанского водохранилища до НПУ появились фактические данные наблюдений об уровне БПК₅ здесь (таблица 1).

Таблица 1

Наблюдаемая концентрация БПК₅ в Богучанском водохранилище, июль 2016 г.

Створы наблюдений	БПК ₅ , мгО ₂ /л		Створы наблюдений	БПК ₅ , мгО ₂ /л	
	поверхность	дно		поверхность	дно
1	1,80	1,25	4	2,16	0,87
2	1,24	0,51	5	1,08	0,50
3	1,52	0,69	6	1,22	0,43

В июле 2016 г. величина БПК₅ в разрезах всех трех (верхнем, среднем и нижнем) участков Богучанского водохранилища менялась от 0,43 до 2,16 мгО₂/л, что, действительно, в 2-4 раза меньше содержания БПК₅ в притоке – реке Ангаре, на месте нынешнего входного створа водохранилища - 4,8 мгО₂/л, в июле модельного 1986 года.

Выводы и рекомендации. Эффективность взаимодействия проектировщиков и экспертов при проектировании водохранилищ можно существенно повысить, опираясь на современные модели, которые дают высокую точность прогноза.

Совместная работа проектировщиков и экспертов в области моделирования уже на этапе подбора приемлемых вариантов режимов эксплуатации ГЭС способствует нахождению оптимальных характеристик гидросооружений.

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ПРОПАРИН В ГИЛЮЙСКОМ ЗАЛИВЕ ЗЕЙСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Агафонова С.А.¹, Банищикова Л.С.², Устинов Н.Б.³, Казанцев В.С.⁴

¹к.г.н., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва; ФГБУ «Зейский государственный природный заповедник», Зeya;

²к.г.н., Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург; ФГБУ «Зейский государственный природный заповедник», Зeya;

³Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва;

⁴к.б.н., Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва

Аннотация. Представлены результаты обследования ледяного покрова Гилюйского залива, выполненного в конце апреля 2023 г. В период съемки обнаружены пропарины, приуроченные к выходам метана из донных отложений. В створе пропарин и выше по течению зафиксированы повышенные значения температуры воды в придонных горизонтах.

Ключевые слова: ледяной покров, толщина льда, парниковые газы, водохранилище.

Введение. Газообразные включения меняют свойства ледяного покрова, снижают его плотность и грузоподъемность, способствуют более интенсивному таянию в весенний период. Пропарины, приуроченные к мощным выходам газов, в том числе метана, из донных отложений представляют значительную опасность при передвижении по льду, т.к. они трудноразличимы даже на небольшом расстоянии и места их образования могут меняться от года к году.

Материалы и методы. Полевые работы проводились в нижнем течении р. Гилюй (Гилюйском заливе Зейского водохранилища) на участке от впадения кл. Золотой до устья и на основной акватории Зейского водохранилища ниже Гилюйского залива с 22 по 24 апреля 2023 г. (рис. 1).

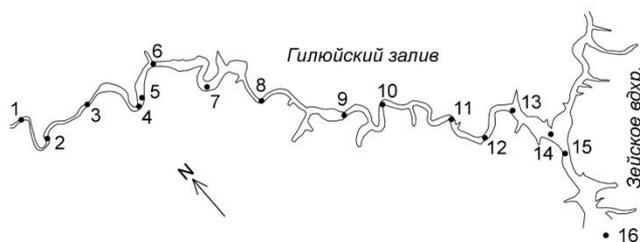


Рисунок 1 – Схема станций по продольному профилю Гилюйского залива (в створах ст. 2, 5, 6, 7, 12 и 14 выполнены измерения по поперечным профилям)

Программа работ включала обследование ледяного покрова, гидрологическое зондирование, а также отбор проб воды на содержание растворенного метана в воде. Всего было сделано 40 станций, из них 14 по продольному профилю залива над руслом р. Гилюй,

24 по поперечным профилям (в створе ст. 2, 5, 6, 7, 12 и 14) и 2 на основной акватории Зейского водохранилища (ст. 15 и 16).

Результаты. При обследовании ледяного покрова Гилюйского залива в конце апреля 2023 г. на участке 45,6 – 46,0 км от устья на мелководье у левого берега обнаружены 8 метановых пропарин диаметром до 2 м, в центре которых наблюдались выходы пузырьков газа. В створе пропарин во льду зафиксированы полости округлой и конусообразной формы диаметром от 2 до 10 см. Концентрации растворенного метана в воде на этом участке составили от 790 до 1084 мг/м³, содержание растворенного кислорода – 31,2 – 34,5 % насыщения. Ниже по течению значения концентраций снижались и к устьевому створу достигли 0,17 – 0,39 мг/м³, что близко к значениям в основной акватории Зейского водохранилища.

Выводы и рекомендации. В створе обнаруженных пропарин, а также выше по течению, в придонных горизонтах наблюдались повышенные значения температуры воды. В самих пропаринах, расположенных на мелководье у берега, температура воды не превышала 0,3°С.

Обнаруженные сипы могут быть мощными источниками эмиссии метана и требуют дополнительных исследований.

ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ

Баев О.А.,

к.т.н., Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск

Аннотация. Рассмотрены вопросы создания противофильтрационных покрытий на оросительных каналах из различных материалов. Представлены недостатки и преимущества существующих решений, направленных на снижение потерь воды, транспортируемой по каналам от водоисточника до водопотребителя. Приведены последствия, возникающие при фильтрации воды, представлен обобщенный график распределения коэффициента полезного действия облицованных и необлицованных оросительных каналов. Даны физико-механические характеристики бентонитовых покрытий, полученные по результатам испытаний, и расчетные значения фильтрационных расходов через повреждения таких экранов.

Ключевые слова: *противофильтрационное покрытие, оросительный канал, фильтрация, облицовка, геосинтетический материал, противофильтрационный экран.*

Введение. Одной из основных проблем, связанной с эксплуатацией оросительных каналов, являются потери воды (на фильтрацию и испарение) при ее транспортировке от водоисточника (водозабора) до водопотребителя (орошаемого участка). Потери на испарение, как правило, не значительны (по опытным данным не превышают 3–5 % от общего объема) и во многих расчетах ими пренебрегают.

Фильтрация воды из оросительных каналов гидромелиоративных систем приводит к ряду негативных явлений, происходит постепенный вывод сельскохозяйственных земель из оборота, подтопление, вторичное засоление и заболачивание приканальных территорий и др.

Большая часть оросительных и магистральных каналов (более 75 %) протрассирована в земляном русле (без противофильтрационных покрытий), КПД многих оросительных каналов не соответствует требованиям нормативной документации (рекомендуемый КПД оросительных каналов 0,90–0,93) и составляет от 0,78 до 0,87, при этом общий КПД близок к 0,84.

Материалы и методы. Ранее на многих оросительных каналах предусматривались различные простейшие противофильтрационные мероприятия, к которым относились: кольматация, уплотнение, битумизация, оглеение, солонцевание. Однако такие способы борьбы с фильтрацией в настоящее время практически не применяются. Общие недостатки

таких мероприятий заключались в следующем: большинство способов давали малый эффект (от 30 до 40 %), длительность их воздействия на снижение потерь не превышало 3–5 лет, использовались материалы с малыми противofильтрационными свойствами, в частности, коэффициент фильтрации их приближался к значениям грунта русла каналов.

Применение пленочных экранов с защитным покрытием из грунта и бетона в отличие от простейших мероприятий давало уже больший эффект – до 5–10 раз, а в некоторых случаях до 100 раз. Вместе с тем, при строительстве и эксплуатации каналов на пленочных экранах образовывалось значительное количество повреждений (до 10–20 повреждений на 1 м² экрана), что значительно снижало их эффективность. Такие покрытия также характеризуются ограниченным сроком службы и практически не применяются в настоящее время.

Результаты. В настоящее время на смену пленочным экранам пришло новое поколение противofильтрационных материалов – геосинтетические (полимерные геомембраны, толщиной от 2 мм и более) и геокомпозитные (многослойные), которые находят все более широкое применение на каналах. Такие покрытия обладают повышенными физико-механическими характеристиками, отличаются высокой эффективностью. Так, эффективность полимерных геомембран толщиной 2 мм составляет по коэффициентам фильтрации – 10^{-8} – 10^{-10} см/с, а долговечность – до 50–65 лет (по данным экспериментальных и теоретических исследований автора). Еще более высокие показатели получены по результатам лабораторных испытаний для геосинтетических бентонитовых материалов: коэффициент фильтрации противofильтрационных покрытий оросительных каналов составляет $1,5 \times 10^{-11}$ – $1,5 \times 10^{-13}$ м/сек, а срок службы может достигать до 68 лет и более.

Выводы и рекомендации. Применение противofильтрационных покрытий на оросительных каналах из пленочных, бетонных и железобетонных материалов дает лишь временный эффект с ограниченным сроком службы и последующей необходимостью проведения текущего или капитального ремонта противofильтрационной облицовки каждые 5–7 лет.

Значительное снижение фильтрационных потерь воды на оросительных каналах может быть достигнуто за счет применения высокоэффективных конструкций противofильтрационных покрытий с использованием многослойных геосинтетиков и геокомпозитов.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ БОКОВОГО ВОДОСЛИВА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДООТВОДА С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

Перевозников Б.Ф.¹, Дегтярев С.Д.², Пальмов В.Г.³

¹д.т.н., профессор, ОАО «Институт Гипростроймост», Москва;

²к.г.н., главный специалист ОАО «Институт Гипростроймост», Москва

³начальник отдела инженерной гидрологии ОАО «Институт Гипростроймост», Москва

Аннотация. Водоотводные сооружения на проезжей части автомобильной дороги рассмотрены как боковые водосливы. На основании уравнения движения с уменьшающимся расходом получено дифференциальное уравнение движения воды для бордюрного сечения. В результате аналитического решения дифференциального уравнения выведена формула для расчета отверстия водосбросного сооружения. Сопоставление результатов расчета и экспериментальных данных показало удовлетворительную точность предложенной формулы.

Ключевые слова: водосбросные сооружения, боковые водосливы, отверстие водосбросного сооружения, дифференциальное уравнение движения воды для бордюрного сечения.

Введение. Водоотводные сооружения - водоподводящие лотки на обочинах насыпи, водосбросные лотки на откосе насыпи являются важнейшим элементом дорожных и мостовых конструкций, обеспечивая их функционирование в условиях воздействия атмосферных осадков и поверхностного стока.

В большинстве случаев водоотводные сооружения на проезжей части автомобильной дороги располагаются параллельно к направлению движения воды, поэтому их следует рассматривать в гидравлическом плане как боковые водосливы.

Материалы и методы. В процессе обоснования теоретических решений на основе теории бокового водослива решались следующие задачи: оценка гидравлических особенностей работы входных отверстий водосбросов как боковых водосливов; составление дифференциальных уравнений движения воды на участке бокового водосброса и разработка методики расчета отверстий водосбросных сооружений на основе их решения для условий дорожного строительства; сопоставление теоретических решений с данными лабораторных исследований и практикой строительства.

Результаты. В процессе решения поставленных задач установлено, что отверстия водосбросных сооружений с проезжей части автомобильных дорог с гидравлической точки зрения могут рассматриваться как боковые водосливы. Водный поток на участке водослива

при уклонах более 12‰ может рассматриваться, как находящийся в бурном состоянии, а кривая свободной поверхности на водосливе как кривая спада.

Дифференциальное уравнение движения воды на участке бокового водосброса выведено на основе применения уравнения неравномерного движения с уменьшающимся расходом вдоль пути и закона сохранения энергии. Для треугольного сечения прибордюрного лотка получено обыкновенное дифференциальное уравнение.

Аналитическое решение этого уравнения дает возможность определить длину отверстия водосбросного отверстия (s)

$$s = \frac{E}{i_{\pi} m_{\text{в}}} [F_{\text{б}}(t_2) - F_{\text{б}}(t_1)] \quad , \quad (1)$$

где $E = \frac{\alpha \cdot v^2}{2g} + h$ - удельная энергия в начальном сечении, м; i_{π} – поперечный уклон проезжей части; $m_{\text{в}}$ -коэффициент расхода водослива; $t=h/E$ – относительная глубина; $F_{\text{б}}(t)$ - функция Де Марчи для треугольного сечения бокового водослива

$$F_{\text{б}}(t) = \frac{3}{4} [\arccos(\sqrt{t})] - \frac{5}{4} [\sqrt{1-t} \cdot \sqrt{t}]. \quad (2)$$

Выводы и рекомендации. Сопоставление результатов произведенного расчета с данными американских исследований и типовыми решениями конструкций водоотвода показало приемлемую точность определения отверстий водосбросных сооружений.

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ И КОНТРОЛЯ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ РАЙОНА ВАДИ-ВАТИР

Мохамед Мостафа Еззелдин Абделрахим¹, Синиченко Е.К.²

¹аспирант РУДН им. Патриса Лумумбы;

²к.т.н., доцент, Департамент строительства Инженерной академии РУДН им. Патриса Лумумбы

Аннотация. Проанализированы проблемы, связанные с водными ресурсами в Египте – растущий спрос и сокращающееся предложение, особенно после строительства Великой плотины Эфиопского Возрождения. Установлено, что 12 участков подходят для строительства запорных плотин. Четырнадцать участков определены как оптимальные для размещения перколяционных (фильтрационных) резервуаров вдоль потоков. Предложена установка систем сбора дождевой воды (СДВ), которая поможет сократить дефицит воды и достижение целей устойчивого развития.

Ключевые слова: гидрологическое обоснование, повышения эффективности водопользования, сбор дождевой воды (СДВ), Вади-Ватир.

Введение. В пятой оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата говорится, что нехватка воды затрагивает 80% населения мира. В связи с ростом населения и изменением климата, особенно в полувзасушливых и пустынных регионах с сильно изменчивыми осадками, нехватка воды стала серьезной глобальной проблемой. Ближневосточная страна Египет классифицируется как чрезвычайно засушливая. Стране грозит серьезная катастрофа из-за нехватки воды. Генеральный план в Египте в настоящее время направлен на максимально эффективное использование нетрадиционных водных ресурсов, как сбор дождевой воды (СДВ).

Вади-Ватир является одним из самых важных водосборов на Синайском полуострове в Египте. Это засушливый регион, который страдает от проблемы нехватки воды. Кроме того, Вади-Ватир уязвим для внезапных наводнений из-за больших возвышенностей и сурового рельефа. Сбор дождевой воды (СДВ) может стать хорошим решением проблемы дефицита воды в изучаемом районе.

Материалы и методы. Целью данной работы является анализ основных проблем, стоящих перед управлением водными ресурсами в Египте, и способы их решения. Кроме того, подготовить устойчивый план развития водосбора Вади-Ватир на Синайском полуострове.

Для определения пригодности сбора дождевой воды (СДВ) и картирования опасностей наводнений используются две основные методологии: географические информационные системы (ГИС) и дистанционное зондирование (ДЗ). Для определения пригодности сбора дождевой воды (СДВ) сочетаются метод числа кривых службы охраны почв (SCS-CN), гидрологическое моделирование (ГМ) и многокритериальный анализ (МКА).

Логический анализ был применен для исключения некоторых местоположений, которые были выбраны с использованием метода взвешенной линейной комбинации (ВЛК). Техника глубины депрессии была объединена с логическим анализом и методом взвешенной линейной комбинации (ВЛК), чтобы выбрать лучшие места для сооружений сбора дождевой воды (СДВ). Впервые выводы исследования связаны с целями устойчивого развития (ЦУР) для разработки устойчивого плана сбора дождевой воды (СДВ). Для оценки степени опасности внезапных наводнений использовался метод морфометрического ранжирования. Результаты картирования опасности внезапных наводнений и пригодности сбора дождевой воды (СДВ) были наложены друг на друга.

Результаты. Основная проблема с водными ресурсами в Египте – растущий спрос и сокращающееся предложение, особенно после строительства Великой плотины Эфиопского Возрождения. Одним из лучших решений является зависимость от необычных альтернатив воды, таких как СДВ.

Окончательный вариант карты СДВ показал, что 19% (666 км²) Вади-Ватира подходит для СДВ. Примерно вся эта территория расположена вдоль потоков водосбора. Данные результаты обусловлены крутыми склонами исследуемой территории и горным характером.

Установлено, что 12 участков подходят для строительства запорных плотин. Четырнадцать участков определены как оптимальные для размещения перколяционных (фильтрационных) резервуаров вдоль потоков. Площадь, считающаяся идеальной для наземных перколяционных (фильтрационных) резервуаров, составляет 25,9 км². Оптимальная площадь для фермерских прудов составляет 1,34 км².

Для анализа с использованием метода морфометрического ранжирования результаты исследований показали, что суббассейны с низкой, умеренной и высокой степенью опасности составляют 19%, 44.2% и 36.8% всей площади соответственно.

На пригодность СДВ явно влияют ливневые паводки. Площадь, наиболее подходящая для СДВ, может быть увеличена с 666 км² (19%) до 966 км² (27%). Поэтому количество собираемой воды можно повысить. Оптимальная площадь водосборных сооружений увеличилась на 2% (84 км²). Зона ограниченного доступа для СДВ, находящаяся в зоне повышенной опасности, должна быть надежно защищена от риска внезапных паводков.

Выводы и рекомендации. Применение устойчивого плана СДВ имеет большое значение для развития Вади-Ватир. Существует соответствие между задачами настоящего исследования и задачами целей устойчивого развития (ЦУР) №6 - «чистая вода и санитария». Таким образом, установка предлагаемых систем СДВ обеспечивает устойчивое решение проблемы дефицита воды и достижение целей устойчивого развития (ЦУР).

Подход исследования показывает связи с различными социальными, экономическими и экологическими целями устойчивого развития (ЦУР) и выделяет устойчивые решения социальных, экономических и экологических проблем, например, использование солнечной энергии для производства электроэнергии и расширение сельского хозяйства для создания рабочих мест.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕКИ АЛ-КАБИР АЛ-ШАМАЛИ В СИРИИ

Алали Хозефа¹, Перминов А.В.²

¹*аспирант, кафедра гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва;*

²*к.т.н., доцент, кафедра гидравлики, гидрологии и управления водными ресурсами, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва*

Аннотация. Проанализированы современные программные продукты ГИС, которые играют важную роль при анализе гидрологических данных. Дана оценка программных ГИС при анализе гидрологических данных для реки ал-Кабир ал-Шамали в Сирии.

Ключевые слова: программные продукты, ГИС-технологии, гидрологический анализ, SAGAGIS, WMS, ArcGISPro, GRASSGIS, ILWISGIS, Surfer, WhiteboxGAT, Globalmapper, Цифровые Модели Рельефа (ЦМР).

Введение. Водные ресурсы являются одним из важнейших природных элементов, необходимые для жизни человека и использования в различных отраслях народного хозяйства. В связи с большим приростом населения и ограниченностью водных ресурсов возникает необходимость в разработке современных технологий, методов и программного обеспечения для решения растущих проблем в вопросах гидрологии и управления водными ресурсами. Благодаря быстрому развитию компьютерных технологий это не только сделало возможным, но и облегчило разработку компьютерных приложений для решения проблемы хранения, обработки и анализа больших объемов пространственных данных, связанных с водными проблемами.

Материалы и методы. Программное обеспечение ГИС может быть мощным инструментом для гидрологического анализа, поскольку оно позволяет интегрировать и анализировать различные геопространственные данные, такие как данные о рельефе, землепользовании, осадках и потоках. Использование ГИС для гидрологического анализа:

1. Выделение водосборных бассейнов: программное обеспечение ГИС может быть использовано для определения границ водоразделов и подводоразделов на основе топографии и других исходных данных.

2. Анализ рельефа: ГИС может использоваться для получения важных характеристик рельефа, таких как уклон, аспект и кривизна, которые важны для гидрологического моделирования.

3. Гидрологическое моделирование: ГИС можно использовать для создания гидрологических моделей, которые имитируют движение воды через водосборный бассейн, таких как HEC-HMS, SWAT и MIKE SHE.

4. Картирование наводнений: ГИС может быть использовано для создания карт опасности наводнений, которые показывают степень и серьезность наводнений на данной территории.

5. Анализ качества воды: ГИС может использоваться для анализа данных о качестве воды путем создания пространственных карт параметров качества воды и выявления потенциальных источников загрязнения.

6. Управление водными ресурсами: ГИС может использоваться для управления водными ресурсами путем отслеживания наличия воды, водопользования и спроса на воду в различных пространственных и временных масштабах.

Результаты. Решение задачи по использованию и применению современных ГИС-технологий при анализе гидрологических данных было выполнено на одном из водосборных бассейнов Сирии. В качестве типового бассейна рассматривался водосборный бассейн реки Ал-Кабир Ал-Шамали. Изучаемый бассейн расположен на Северо-Западе Сирии, находится между Байерсом, Басситом и прибрежной равниной. Река считается одной из самых больших и длинных рек прибрежного района Сирии, берет свое начало с плато Аль-Байер на высоте 1100 м, впадает в Аль-Басса в Средиземном море к югу от Латакии [16].

Река Ал-Кабир Ал-Шамали является одним из важнейших водных ресурсов в прибрежном бассейне. Протяженность реки составляет 96 км, так как имеет длину 60 км в пределах сирийских земель, а его средний расход составляет $5 \text{ м}^3/\text{с}$, а максимальный расход в половодье достигает $40 \text{ м}^3/\text{с}$. Бассейн реки характеризуется густой растительностью и плодородными сельскохозяйственными угодьями, В бассейне 41 водораздел. Его площадь была рассчитана от истока до устья и составила 1025 км^2 , из которых 172 км^2 на территории Турции и 853 км^2 на территории Сирии, с окружностью 217 км. Бассейн можно разделить на три единицы местности:

- верхние водоносные горизонты от истоков в Айн-эль-Ашре и Салуре до Сахл-ас-Сафкун, в которых ширина русла реки колеблется в пределах 50-100 м. - Средний бассейн, который начинается от равнины Ас-Сафкун до начала прибрежной поймы у Хан-Аталла, на высоте 75 м и на расстоянии 21 км от устья;

- пойма, в которой четко выделяются четыре берега реки, состоящие из гравия, камней, песка и ила, а ширина русла реки в настоящее время не превышает 50 м, в то время как ее ширина превышала 600 м в местах, и река заканчивается в устье.

Выводы и рекомендации. Большинство программ ГИС могут давать схожие результаты, хотя точность и четкость результатов может варьироваться. Некоторые программы ГИС могут иметь расширенные функции и алгоритмы, которых нет у других, что может привести к различным результатам.

Кроме того, различные программы ГИС могут поддерживать различные форматы файлов, типы данных и источники данных, что может повлиять на ввод и вывод данных.

Важно обеспечить совместимость данных с используемым программным обеспечением ГИС для получения точных результатов.

В целом, ожидаемый результат ГИС-анализа может отличаться в разных программах, поэтому важно оценить точность, достоверность и пригодность каждой программы для конкретного анализа и используемых данных.

УЧЕТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ИНЖЕКЦИОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ РАСХОДА

Кобозев Д.Д.¹, Снежко В.Л.²

¹ассистент кафедры систем автоматизированного проектирования и инженерных расчетов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва;

²д.т.н., профессор, Москва

***Аннотация.** Проанализирован учет гидравлических потерь при определении пропускной способности инжекционных регуляторов расхода. Получены новые расчетные зависимости для определения расхода инжектирующего и инжектируемого потока.*

***Ключевые слова:** гидравлика, гидротехнические сооружения, орошение, регуляторы расхода.*

Введение. Автоматизация водоподачи гидротехнических сооружений является актуальной задачей развития мелиоративного комплекса страны. Водопропускные сооружения на оросительных каналах совмещаются с дюкерами или трубчатыми переездами и располагаются в глубине орошаемого массива, что делает экономически нецелесообразным их подключение к источникам электроэнергии. Снижение водопотребления ниже створа водовыпуска приводит к росту уровня воды в отводящем канале и непроизводительному сбросу оросительной воды. Инжекционные регуляторы расхода используют гидравлическую энергию потока и являются энергонезависимыми. Обратная гидравлическая связь между уровнем воды в канале и расходом позволяет осуществлять циркуляцию излишков водоподачи между нижним и промежуточным бьефом регулятора. Гидравлическая схема сооружения представляет собой своеобразный водоструйный насос, расположенный под перемычкой. Точность расчета напрямую связана с гидравлическими потерями сливающихся в регуляторе потоков. Существующие расчетные зависимости учитывают только потери на отдельных местных сопротивлениях, что отражается на точности расчетов. Цель исследований: уточнение теоретических зависимостей с учетом местных сопротивлений и сопротивлений по длине с последующей валидацией по данным гидравлических испытаний модели с соплом и выходным участком постоянной площади.

Материалы и методы. Процессы, протекающие в любом струйном аппарате, описываются законами сохранения энергии, импульса и массы. Их применение к течению воды в характерных сечениях позволило впервые получить уточненные расчетные зависимости для основных характеристик регулятора с учетом всех гидравлических потерь в

каждом из элементов сооружения. Струйные насосы с одинаковым соотношением площади сопла и камеры смешения являются подобными (т.е. имеют одинаковые характеристики), если числа Рейнольдса потоков на выходе из сопла находятся в автомодельной области. Модель сооружения из органического стекла с линейным масштабом 1:10 испытывалась в гидравлическом лотке при числах Рейнольдса порядка $2 \cdot 10^5$.

Результаты. Полученные новые расчетные зависимости для определения расхода инжектирующего Q_1 и инжектируемого потока Q_0 имеют вид:

$$Q_1 = \omega_1 \sqrt{\frac{2gH_1 B^2 - 2AC + \sqrt{(2AC - 2gH_1 B^2)^2 + 4(B^2 \zeta_{v1} - A^2)C^2}}{2(B^2 \zeta_{v1} - A^2)}}; Q_0 = \frac{\omega_0}{\sqrt{\zeta_{v0}}} \sqrt{\zeta_{v1} v_1^2 - 2gH_1},$$

где A, B, C – константы: $A = f(\omega_1, \omega_2, \omega_0, \zeta_{v1}, \zeta_{v0}, \zeta_{дл\ v2})$, $B = f(\omega_1, \omega_2, \omega_0, \zeta_{дл\ v2})$, $C = f(H_1, H_2, \omega_1, \omega_2, \omega_0, \zeta_{v0}, \zeta_{дл\ v2})$; H_1 и H_2 – напор между промежуточным и верхним/нижним бьефом; ζ_{v1} и ζ_{v0} – приведенные коэффициенты гидравлических сопротивлений инжектирующего и инжектируемого потоков до камеры смешения; $\zeta_{дл\ v2}$ – коэффициент потерь на трение в камере смешения; $\omega_1, \omega_0, \omega_2$ – площадь сопла, инжектируемого потока и камеры смешения соответственно.

Выводы и рекомендации. Сопоставление расчетных зависимостей с данными эксперимента показало их достаточную сходимость.

Регулирующая способность водовыпуска Q_0/Q_1 является функцией напоров и гидравлических потерь.

Расчет «идеального» регулятора завышает регулирующую способность в среднем на 20% по сравнению с зависимостями, включающими все гидравлические сопротивления.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ НА НЕРАВНОМЕРНО ЗАГЛУБЛЕННЫЙ ТРУБОПРОВОД В ПРОНИЦАЕМОМ ДНЕ

Шерстнев Д.Ю.¹, Брянская Ю.В.²,

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Численно исследованы гидродинамические силы, действующие на трубопровод с неравномерным заглублением с обеих сторон, подверженном потоку. Для моделирования течения жидкости решаются двумерные уравнения Навье-Стокса, усредненные по Рейнольдсу с $k-\omega$ моделью турбулентности. Для численного моделирования использован программный комплекс ANSYS. Выполнено сравнение результатов расчета при различных расходах. В результате выполненных расчетов было исследовано векторные поля течения, динамического давления в окрестности цилиндра, а также выявлено, что структуры потока асимметричны из-за разницы уровней дна по обеим сторонам трубопровода.

Ключевые слова: гидродинамические силы, трубопровод, численное моделирование, программный комплекс ANSYS.

Введение. Оценка устойчивости существующих трубопроводов на дне часто необходима для выполнения требований эксплуатации трубопроводов и продлению срока их службы. Исследование существующих трубопроводов показывает, что большая часть существующих трубопроводов, проложено разными способами. Степень заглубления часто варьируется по маршруту трубопровода, а также по обе стороны трубопровода. Понимание гидродинамических сил на частично заглубленных трубопроводах важно для оценки устойчивости трубопроводов на дне.

Исследования, проведенные до сих пор в отношении гидродинамических сил на частично заглубленном трубопроводе, исходили исключительно из предположения, что уровни дна по обе стороны трубопровода одинаковые. Однако гидродинамика частично заглубленного трубопровода с неровной засыпкой с обеих сторон изучена недостаточно. Это послужило мотивацией для изучения данной темы.

Материалы и методы. Рассмотрены работы авторов, исследовавших влияние потока жидкости на цилиндр. Для моделирования течения в жидкости решаются двумерные уравнения Навье-Стокса, усредненные по Рейнольдсу с $k-\omega$ моделью турбулентности. Предполагается, что просачивающийся поток на проницаемом дне подчиняется закону Дарси.

Рассматривается структура потока и распределение давления вокруг трубопровода. Для численного моделирования использован программный комплекс ANSYS.

Результаты. Структура потока вокруг трубопровода асимметрична из-за разницы уровней дна по обеим сторонам трубопровода. Степень асимметрии увеличивается с увеличением значения $|e_1 - e_2| / D$ (где e – степень заглубления трубопровода).

Существует очевидная разница между гидродинамическими силами, действующими на трубопровод из-за асимметричной структуры обтекания трубопровода. Пиковые значения линейной силы и подъемной силы уменьшаются по мере увеличения значения e_2 / D .

Установлено, что структуры течения вокруг трубопровода асимметричны из-за разницы уровней морского дна с двух сторон трубопровода.

Линейные силы амплитуды четного порядка (C_{2N}) увеличиваются с увеличением значения $|e_1 - e_2| / D$, а амплитуды нечетного порядка (C_{2N+1}) уменьшаются с ростом значения e_2 / D . Для фазового угла (N) не обнаружено явной последовательности.

Выполнено сравнение результатов расчета при различных расходах.

Выводы и рекомендации. Существует очевидная разница между гидродинамическими силами, испытываемыми трубопроводом, из-за асимметричной структуры потока вокруг трубопровода.

Выявлены пиковые значения коэффициента силового воздействия потока на цилиндр и коэффициента подъемной силы, уменьшающейся по мере увеличения значения отношения e_2 / D .

ГИДРАВЛИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ, ВОССТАНОВЛЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИМЕРНЫХ РУКАВОВ

Брянская Ю.В.¹, Волнушкина К.А.²

¹*д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;*

²*студентка ИГЭС, НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация. *Рассмотрены зависимости для расчета коэффициента гидравлического сопротивления, которые используются при проектировании трубопроводных систем. Произведен расчет коэффициентов гидравлического сопротивления и пропускной способности восстановленных трубопроводов для участка безнапорного трубопровода с различными параметрами. Численно исследовано влияние выбора расчетных зависимостей для определения коэффициента гидравлического сопротивления трубопроводов, восстановленных с помощью полимерных рукавов, на их пропускную способность.*

Ключевые слова: *гидравлическое сопротивление, восстановление трубопроводов, пропускная способность трубопроводов, полимерные рукава.*

Введение. Надежная работа различных инженерных трубопроводных систем зависит от их состояния. В настоящее время используются различные способы восстановления труб, в том числе гибкие полимерные рукава, при этом изменяется внутренний диаметр и шероховатость поверхности. Вопрос расчета коэффициента гидравлического сопротивления восстановленных трубопроводов до сих пор остается не до конца изученным.

Материалы и методы. В статье рассмотрены зависимости для расчета коэффициента гидравлического сопротивления, которые используются при производстве гидравлических расчетов трубопроводных систем. Произведен расчет коэффициентов гидравлического сопротивления и пропускной способности восстановленных трубопроводов для участка безнапорного трубопровода длиной 60 м для различных диаметров, уклонов и наполнений согласно СП 32.13330.2018 «Канализация. Наружные сети и сооружения». Шероховатость внутренней поверхности трубопроводов, восстановленных с помощью полимерных рукавов из стекловолокна и искусственного войлока, была принята согласно экспериментальным данным.

Результаты. Коэффициент гидравлического сопротивления был рассчитан для одних и тех же условий течения по формулам Блазиуса, Никурадзе для гидравлически гладкой области сопротивления, Шифринсона, Альтшуля, Волгина и по СП 399.1325800.2018 «Системы водоснабжения и канализации наружные из полимерных материалов».

В результате расчетов установлено, что значения коэффициента гидравлического сопротивления изменяются почти в семь раз, что в конечном итоге влияет на расчеты пропускной способности трубопроводов, которая при использовании различных коэффициентов изменяется до трех раз.

Выводы и рекомендации. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что уточнение формулы для определения коэффициента гидравлического сопротивления является важной задачей гидравлики.

Для дальнейшего исследования необходимо провести сравнение расчетных значений с экспериментальными данными.

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ЛОГАРИФМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ СКОРОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЛОЖЕНИЯ СТВОРА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ГЛАДКИХ И ШЕРОХОВАТЫХ КАНАЛОВ

Е.В. Игнатенко¹, Ю.В. Брянская²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ;

² д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Аннотация. Рассмотрено влияние различных факторов на параметры логарифмического профиля скорости. Проанализировано влияние положения створа по ширине потока, геометрической характеристики b/h и уклона канала на параметры логарифмического распределения скоростей на основе обработки экспериментальных данных, полученных в лаборатории гидравлики и гидромеханики НИУ МГСУ в гладком и шероховатом канале.

Ключевые слова: логарифмический профиль скорости, распределение скоростей, турбулентное течение, шероховатость, коэффициент гидравлического сопротивления, параметр Кармана.

Введение. Основными задачами гидравлических расчетов напорных и безнапорных инженерных систем, гидротехнических и водохозяйственных сооружений являются определение гидравлических сопротивлений и распределения скоростей по поперечному сечению потока. Несмотря на то, что данные вопросы считаются хорошо изученными, до сих пор расчеты основываются на эмпирических и полуэмпирических теориях и зависимостях.

Материалы и методы. В лаборатории гидравлики и гидромеханики НИУ МГСУ были измерены значения скорости по вертикали в различных створах по ширине экспериментального канала с использованием лазерного доплеровского измерителя скорости.

Результаты. Измерения проводились в гладком канале и с шероховатым дном, имитирующем шероховатость бетона, при числах Фруда меньше единицы.

Полученные экспериментальные данные представлены в безразмерном виде. графики логарифмических профилей скоростей, проведенных при различных гидравлических условиях, а также соответствующий анализ полученных результатов.

Шероховатость гидравлического лотка была реализована путем укладки на дно асфальтобетонных матов.

В результате обработки опытных данных получены логарифмические профили скорости для различных створов по ширине потока. Показано, что на параметр Кармана k влияет выбор створа измерения и геометрический параметр b/h .

Получено, что шероховатость канала влияет на значение свободного члена C ; с приближением к пристеночной области, а также с увеличением значения отношения b/h происходит увеличение значения параметра Кармана k .

Выводы и рекомендации. Полученные результаты свидетельствуют о том, что на величину параметров логарифмического профиля скорости влияют такие факторы, как отношение b/h , шероховатость русла, положение створа измерений.

ПОТЕРИ ВОДЫ НА ИСПАРЕНИЕ ИЗ ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ И ПОЛИВНЫХ БОРОЗД И СПОСОБЫ ИХ УМЕНЬШЕНИЯ

Ходзинская А.Г.¹, Кузичкина Д.А.², Полторак А.Г.³

¹ к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

^{2,3} студентки ИГЭС, НИУ МГСУ, Москва;

Аннотация. *Рассмотрены потери воды на испарение из оросительных каналов и поливных борозд и способы их уменьшения. Потери воды из оросительных каналов складываются из потерь на фильтрацию и на испарение. Потери воды на фильтрацию из оросительных каналов, имеющих противofильтрационную защиту, зависят от вида этой защиты (чаще всего это бетонопленочные монолитные или сборные одежды, или экраны из полимерной пленки с защитным слоем грунта) и не должны превышать нормативных значений. Из каналов, кроме потерь на фильтрацию, образуются потери воды на испарение, которые при высокой температуре воздуха и низкой влажности довольно значительны. Получившиеся значения сопоставимы с потерями воды на фильтрацию.*

Ключевые слова: *потери воды на фильтрацию, потери воды на испарение, допускаемые значения потерь, испарение с водной поверхности, химические методы.*

Введение. В России только около 35 % посевных площадей находится в благоприятных для земледелия климатических условиях и обеспечено осадками, поэтому получение устойчивых урожаев без орошения и связанного с ним строительства каналов часто невозможно.

Потери воды из каналов обусловлены её фильтрацией через стенки и дно русла и испарением с их поверхности. Кроме того, возможны утечки воды, возникающие при эксплуатации.

Считается, что потери на испарение в большинстве случаев весьма малы, тогда как потери на фильтрацию могут достигать очень больших величин и заметно снижают экономическую эффективность канала. При современных способах строительства каналов и для каналов в глинистых грунтах, когда потери на фильтрацию могут быть очень малыми, так считать нельзя.

Материалы и методы. Потери на испарение зависят от температуры испаряющей поверхности и значения площади водной поверхности, отнесенной к единице площади (ширины водотока по верху).

При уменьшении средней глубины русла условия испарения сильно изменяются (на единицу объема воды в сечении приходится меньше свободной поверхности) и потери на испарение увеличиваются. Вследствие этого потери на испарение из поливных борозд в процентном отношении больше, чем из оросительных каналов.

Проектирование канала с гидравлически наивыгоднейшим сечением дает относительно глубокое сечение с минимальной шириной поверху, к чему и надо стремиться в условиях жаркого климата. Такое сечение применяют при небольших расходах, уклонах и при применении облицовки. Гидравлически наивыгоднейшее сечение имеет максимальную пропускную способность при наименьшем объеме земляных работ. На практике от гидравлически наивыгоднейшего сечения часто отказываются, исходя из требований производства работ.

Результаты. Целью работы стало сопоставление потерь на фильтрацию из каналов с потерями на испарение и поиск методов уменьшения потерь на испарение. В условиях засушливого климата потери на испарение из канала могут достигать значений потерь на фильтрацию и даже превышать их.

Потери на испарение из каналов в аридном климате особенно в жаркие периоды сопоставимы с потерями на фильтрацию при наличии противофильтрационной защиты или при глинистых грунтах и даже превышают их.

В работе они рассчитаны по картам изолиний среднегодовых значений испарения с поверхности водоема площадью 20 м² для месяца с самыми высокими среднемесячными температурами – июля. Получившиеся значения сопоставимы с потерями воды на фильтрацию.

Выводы и рекомендации. Для защиты поверхности каналов от испарения можно использовать часть методов, которые давно известны и применяются для уменьшения испарения с больших водоемов, в том числе – защитные насаждения по берегам, затеняющие устройства расположенных над водой и химические вещества, образующие на поверхности защитную пленку и препятствующие испарению воды.

Затеняющие устройства, позволяющие экономить большой процент воды (70 - 90%), требуют большие капитальные затраты при низких эксплуатационных, а химические методы экономят меньший процент воды (между 20 - 40%), но не требуют больших капитальных затрат при значительных затратах на техническое обслуживание.

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА В БЕЗНАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Абдуламир Л.С.¹, Зуйков А.Л.², Джумагулова Н.Т.³

¹*аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;*

²*д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;*

³*к.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва*

Аннотация. *Выполнены экспериментальные исследования гидравлических характеристик потока в полиэтиленовой трубе. Произведено сравнение методов расчета гидравлических характеристик потока в безнапорных трубопроводах.*

Ключевые слова: *безнапорное движение, скорость потока, гидравлический уклон, наполнение трубы*

Введение. В статье рассмотрены три метода расчета гидравлических характеристик потока в безнапорных трубопроводах. Эти методы экспериментальные, традиционные и с использованием программного обеспечения SewerCAD. В настоящее время возможно дальнейшее развитие гидравлических методов расчета турбулентных течений в безнапорных трубопроводах благодаря новым методам измерения и эффективным программным продуктам. Для повышения точности гидравлических расчетов необходимо проведение экспериментальных исследований.

Материалы и методы. В основе гидравлических расчетов безнапорных (самотечных) трубопроводов лежит условие соблюдения установившегося равномерного движения воды в трубах по двум основным формулам: непрерывности потока и Шези. Цель работы - определить гидравлические характеристики потока в безнапорных трубопроводах тремя методами и найти взаимосвязь между ними.

Результаты. В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования гидравлических характеристик потока в полиэтиленовой трубе диаметром 100 мм при течении жидкости в безнапорном режиме в диапазоне уклонов (0.005-0.03), наполнении трубопровода от 0.1 до 0.8.

Установлено, что значения скоростей потока, полученные в эксперименте, традиционным методом и с помощью программы SewerCAD практически идентичны.

Получены соответствующие зависимости средней скорости потока от наполнения между результатами эксперимента и программой SewerCAD для безнапорной системы.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА РАСЧЕТА ЗАИЛЕНИЯ В ГОРОДСКОЙ КОЛЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЕ

Волгина Л.В.¹, Волгин Г.В.², Айтян С.А.³

¹*к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ;*

²*к.т.н., НИУ МГСУ;*

³*студент НИУ МГСУ*

Аннотация. *Проанализировано изменение процента заиления в городской коллекторной системе при увеличении среднего расхода.*

Ключевые слова: *коллектор, заиление, живое сечение, двухфазовый поток, малое водопропускное сооружение, средний расход.*

Введение. Коллектор – закрытый искусственный водоток (труба), отводящий в заданную точку поверхностные или подземные воды, либо принимающий в себя частично или весь речной поток. Коллекторы относятся к малым водопропускным гидротехническим сооружениям, протяженность всех водопропускных труб внутри московского коммуникационного коллектора значительно, и составляет 752 км. Из-за большой протяженности есть ряд проблем, одна из важных — это заиление. Так как поток, двигающаяся в коллекторах, является двухфазным (жидкая фаза - вода, твердая - песок, глина, камни, ил и т.д.) обладающим необходимым уровнем энергии, достаточным для переноса твердых частиц. При снижении этой энергии твердые частицы оседают и образуется слой заиления, который оказывает влияние на эффективность работы системы в целом, и отдельных гидротехнических сооружений в частности. Для избежание заилений надо следить за расходом, площадью живого сечения потока и средней максимальной скоростью. Для расчета расходов, площади живого сечения и среднюю максимальную скорость коллекторов, необходимо знать несколько величин, значения которых прописанные в СП 32.13330.2018 Канализация. Наружные сети и сооружения.

Методы и материалы. Анализ базы данных коллекторной системы, позволил выявить наиболее часто встречающегося трубопроводы с высоким расходом. Для расчета и моделирования были выбраны трубопроводы с диаметром от 0,2 до 1,6 м., движение безнапорное, равномерное, уклон дна, постоянный $i=0,005$, коэффициент шероховатости равен $n=0,012$ (железобетонная труба). После нахождения площади живого сечения из геометрии трубопровода, с помощью формулы Шези находим фактическую скорость и расход,

предварительно определив в 7 разных сечениях расчетные расходы и скорости от наполнения коллектора. Таким образом, рассчитываются все возможные скорости и наполнения трубы.

Результаты. Фактические скорости и наполнения коллекторов показывают, что движения в них безнапорное и полное живое сечение работает очень редко. Поскольку при снижении глубины потока – снижается энергия потока, то возможно образование слоя заиления. Расчеты показали, что для твердых частиц, диаметром от 0,16 до 5мм, неразмывающая (донная скорость) находится в диапазоне от 0,5 до 1м/с. Таким образом, при глубине потока менее 20 см, твердые частицы, рассмотренных диаметров, будут двигаться по дну коллекторной трубы. А при глубине менее 20 см будет образовываться слой заиления. Анализ базы данных показал, что только во время половодья скорости в коллекторах достаточны для размыва твердых частиц, коротая регламентируется по СП 32.13330.2018, а это составляет всего лишь 37% из всех рассмотренных водовыпусков. На дне большинства коллекторов накапливается мусор, труднопроходимые места, что приводит к некорректной работе системы.

Выводы. Создана база данных из 153 крупных водотоков, где были рассчитаны средние скорости и расход (по глубине потока в коллекторе), отмечены коллектора, содержащих труднопроходимые (заиленные) участки, из – за недостатка средней максимальной скорости. Сравнивая полученные данные с регламентированными данными по СП, видим, что скорости в диапазоне от 0,7 до 1,6 м/с в рассмотренных коллекторах встречается редко.

Список литературы

1. *Товарищ Хэлл.* Подземные реки Москвы. Издательские решения, 2019. 492 с.
2. *Пособие по расчетам малых водопропускных сооружений.* Под редакцией Г.Я. Волченкова. М.: Транспорт, 1992. 408 с.
3. *Зуйков А.Л.* Гидравлика. Учебник. 2 том. Москва: МГСУ, 2014. 190 с.

УЧЕТ УКЛОНА ДНА БЫСТРОТОКА ПРИ ПОСТРОЕНИИ СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Романова А.А.¹, Волгина Л.В.²

¹аспирантка кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

²к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Проведен анализ экспериментальных данных и сопоставление с результатами приближенного интегрирования уравнения неравномерного движения жидкости в призматическом русле с уклоном дна больше критического. В качестве теоретических методов построения кривой свободной поверхности рассмотрены методы Б.А. Бахметева, Н.Н. Павловского и В.И. Чарномского, а также проанализирована возможность учета уклона дна при построении кривой свободной поверхности методом решения основного уравнения неравномерного безнапорного движения.

Ключевые слова: неравномерное безнапорное движение, учет уклона дна, быстроток.

Введение. Построение кривой свободной поверхности при расчете быстротока является основополагающей задачей, решение которой дает понимание какой длины необходим быстроток, его уклон, скорость потока и глубины на рассчитываемом участке.

При проведении экспериментальных замеров глубин на быстротоке, измерения проводятся перпендикулярно проекции дна, без учета наклона, то есть на расстояние h_{Π} согласно рисунку 1.

Однако фактически правильной глубиной является расстояние, измеренное по нормали ко дну (расстояние h). Зависимость между этими величинами выражается в соотношении к косинусу угла уклона дна.

Уклон дна быстротока должен быть выше критического $i > i_{кр}$, при проектировании и строительстве уклон быстротоков варьируется от 0,05 до 0,5.

При этом угол наклона поверхности дна, таким образом, достигает 32°. При таких значениях уклона пересчет глубин может давать искажение последней свыше 12% и необходимо производить расчеты и построения кривой свободной поверхности с учетом уклона дна.

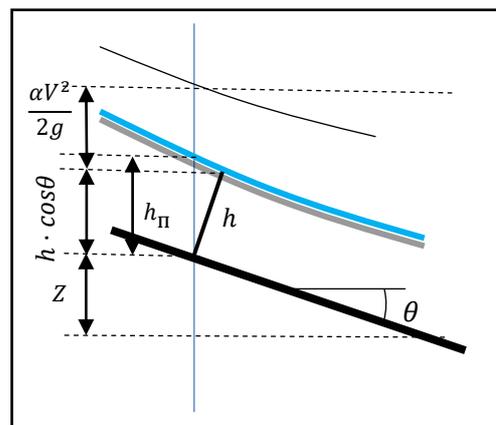


Рисунок 1. Схема определения глубины с учетом уклона

Материалы и методы. При расчетах быстротоков на практике, как правило применяют методы Б.А. Бахметьева, Н.Н. Павловского и В.И. Чарномского. Проведено сравнение данных методов построения с методом по уравнению неравномерного движения, а также по данному уравнению с учетом уклона дна, ограничив глубины вышеописанными теоретическими границами. Все вышеперечисленные методы проанализированы и сопоставлены с экспериментальными данными поведения кривой на участке Parshall Flume с уклоном выше критического.

Результаты. Расходная характеристика потока принята исходя из требований гидравлически наивыгоднейшего сечения. В данной работе были рассчитаны показатели приращения длины на участке от $h_{кр} = 0,109$ м до $h_0 = 0,0255$ м. Построены кривые свободной поверхности с использованием методов Б.А. Бахметьева, Н.Н. Павловского и В.И. Чарномского. Определено приращение глубины по длине dh/ds при использовании основного уравнения неравномерного движения без учета уклона, учета уклона в явном виде в знаменателе уравнения и с учетом угла наклона дна во всех зависимых величинах числителя и знаменателя уравнения. Результаты приведены на графике (рисунок 2).

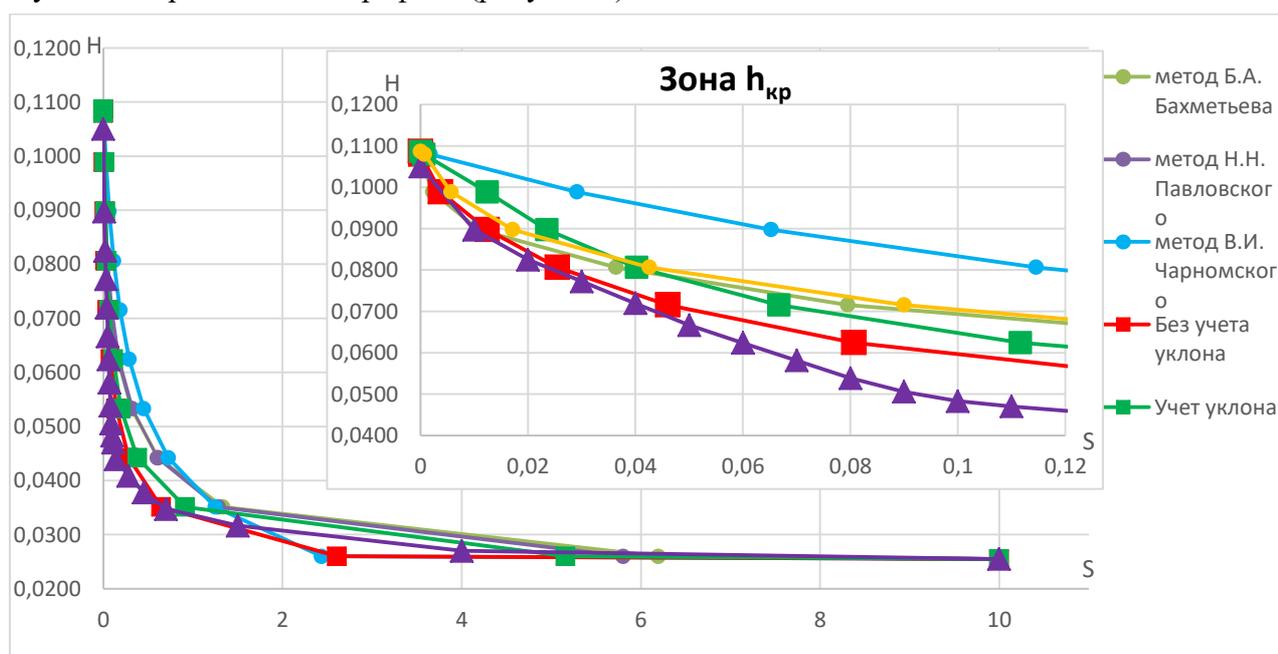


Рисунок 2. Поведение кривой свободной поверхности при построении различными методами

Выводы. Учет уклона только в явном виде дает нам незначительно изменение кривой свободной поверхности, к тому же, не в сторону изменения кривой при полном учете уклона дна. Таким образом явный учет не стоит применять на практике. Кривая свободной поверхности по основному уравнению неравномерного движения без учета уклона дна находится ближе к экспериментальным данным. При учете уклона дна во всех величинах уравнения положение кривой приближена к теоретическим методам интегрирования, в особенности к кривым, построенным по методу Б.А. Бахметьева и Н.Н. Павловского.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАВОДНЕНИЯ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ САЙ ГОН – ДОНГ НАЙ

Фан Хань Хань¹, Маркова И.М.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва;

² к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Район нижнего Сай Гон-Донг Най в целом и город Хошимин в частности являются крупным экономическим и финансовым центром Вьетнама, сталкивается со многими проблемами, из которых нерешенными являются нехватка жилья и наводнения. В исследовании используются модели MIKE 11, MIKE 21 и MIKE Flood для оценки масштабов и глубины затопления с противопаводковыми сооружениями и без них, что дает ориентир для каждого здания и зоны затопления. Результаты расчетов показывают, что при эксплуатации противопаводковых сооружений это будет способствовать защите внутренних районов ядра, площадь затопления уменьшится, а также приведет к более глубокому затоплению многих внешних территорий. Контролируемая отметка здания, предложенная в статье для каждой зоны затопления, станет важной основой для планирования и управления строительством в принятии мер по минимизации ущерба от наводнения в ближайшем будущем.

Ключевые слова: нижнее течение реки Сай Гон - Донг Най, город Хошимин, MIKE 11, MIKE 21, MIKE Flood, водохранилище Зау Тиенг, водохранилище Чи Ан, противопаводковые сооружения.

Введение. Во Вьетнаме в последние десятилетия стремительно идет процесс урбанизации. В котором Хошимин является крупнейшим городом Вьетнама с населением по состоянию на 2021 год 9.166.800 человек (что составляет 9,3% населения Вьетнама), средняя плотность населения составляет 4375 человек / км², самая высокая в стране. Слишком высокая плотность населения привела к жилищным проблемам и загрязнению окружающей среды. Чтобы решить эту проблему, Хошимин намерен построить 47 млн. м² жилых этажей для удовлетворения потребностей в жилье 2 млн человек в период 2021-2030 годов и отдать приоритет проектам реконструкции и нового строительства взамен старых многоквартирных домов до 1975 год; проекты по строительству новых или реконструкции жилых районов вдоль каналов.

Кроме того, Вьетнам является одной из стран, наиболее сильно пострадавших от изменения климата и повышения уровня моря. В 2010 г. Хошимин вошел в десятку городов

мира, которые больше всего пострадают от изменения климата. В последние годы явление затопления во время приливов или паводкового сброса озер в верхнем течении становится все более серьезным, сильно влияя на транспорт и жизнь людей в крупнейшем городе Вьетнама. В 2016 году, город Хошимин официально запустил проект противопаводковых сооружений для города. Однако, когда эти работы будут введены в эксплуатацию, участки за пределами шлюза будут затоплены с разной глубиной затопления в зависимости от района. Поэтому необходимо изучать масштабы и уровень затопления, чтобы предложить высоту строительства жилых домов, супермаркетов, торговых центров и т. д.

Материалы и методы. Программы MIKE 11, MIKE 21 и MIKE Flood использовались для влияния вышерасположенных водохранилищ и противопаводковых сооружений на уровень воды в нижнем течении реки СГ-ДН. Полностью собранные данные о речной сети, размере поперечного сечения реки, цифровая модель рельефа (ЦМР), расходе воды, уровне приливов.

Результаты. При проведении противопаводковых работ, которые будут способствовать защите центральных районов города Хошимин, площадь затопления будет уменьшаться, но при этом внешние территории будут подвергаться более глубокому затоплению (район 12, район Нхя бе, район Кан Гио).

В исследовании использованы модели MIKE 11, MIKE 21 и MIKE Flood для оценки масштабов и глубины затопления с противопаводковыми сооружениями и без них, что дает ориентир для каждого здания и зоны затопления.

Выводы и рекомендации. Результаты расчетов показывают, что при эксплуатации противопаводковых сооружений это будет способствовать защите внутренних районов ядра, площадь затопления уменьшится, а также приведет к более глубокому затоплению многих внешних территорий.

Контролируемая отметка здания, предложенная в статье для каждой зоны затопления, станет важной основой для планирования и управления строительством в принятии мер по минимизации ущерба от наводнения в ближайшем будущем.

Список литературы

1. R. Lasage, T. De Moel, H. Van, T. Phi, H. Vellinga, P. Aerts. Assessment of the effectiveness of flood adaptation strategies for HCMC. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 14, pp. 1441-1457, 2014.
2. S. Hallegatte, C. Green, R. J. Nicholls & J. Corfee-Morlot. Future flood losses in major coastal cities. *Nature climate change*, vol. 3, pp. 802-806, 2013.
3. H. Storch, & N. K. Downes. A scenario-based approach to assess Ho Chi Minh City's urban development strategies against the impact of climate change. *Cities*, vol. 28, pp. 517-526, 2011.
4. D. D. Dung, N. N. An, D. T. Ha. Assessment of changes in water resources in the Dong Nai River Basin and its environs. *Science, Technology, Irrigation and Environment*, vol. 47. pp. 19-26, 2014.
5. S. Hanson, R. Nicholls. A global ranking of port cities with high exposure to climate extremes. *Climatic Change*, vol. 104, 89–111, 2011.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В КНР

Маркова И.М.¹, Лю Пэн²,

¹ кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва

² магистрант ИГЭС, НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрено обеспечение безопасности гидротехнических сооружений КНР при создании интеллектуальной системы управления безопасностью.

Ключевые слова: обеспечение безопасности, гидротехнические сооружения КНР, интеллектуальная система управления безопасностью.

Введение. Гидроэнергетика занимает важное место в энергетической структуре Китая. Общая мощность гидроэлектростанций в Китае - 391 ГВт, что составляет примерно треть от общего мирового объема в 1360 ГВт.

Результаты. Было установлено, что целях обеспечения безопасной и безаварийной работы гидротехнических и гидроэнергетических сооружений необходимо:

1. создать надежную систему управления;
2. установить порядок действий персонала в чрезвычайных ситуациях;
3. разработать регламент технического обслуживания оборудования;
4. организовать обучение персонала.

Выводы. Создание интеллектуальной системы управления безопасностью гидротехнических сооружений, основанной на технологии высокоточного позиционирования персонала UWB и технологии 3D-визуализации, обеспечивает комплексное решение проблем в сочетании с фактическими потребностями при эксплуатации.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И МЕРЫ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ И ПЛОТИН В КИТАЕ

Маркова Ирина Михайловна¹, Чжан Синжунь²,

¹ кандидат технических наук, доцент кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ, Москва

² студент ИГЭС, НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Рассмотрены основные проблемы. Предложены меры по обеспечению безопасности водохранилищ и плотин в Китае.*

Ключевые слова: *обеспечение безопасности, водохранилища, плотины, Китай.*

Введение. Водоохранилища и плотины играют важную роль в борьбе с наводнениями и устранении последствий природных стихийных бедствий. Они также имеют важное значение для социальной и общественной безопасности и охраны водных ресурсов в КНР.

Результаты. Департамент охраны водных ресурсов Китая особое внимание уделяет управлению безопасностью водохранилищ и плотин. В настоящий момент достигнуты следующие результаты: актуализированы законы и нормативно-технические документы, касающиеся безопасности управления водохранилищами и плотинами; внедрена система ответственности за безопасность; реформирована система управления водными ресурсами.

Однако остаются нерешенными проблемы в сфере управления водными ресурсами:

1. аварийное состояние водохранилищ и плотин, построенных в середине XX -го столетия;
2. отсутствие или несовершенство системы мониторинга водных объектов и гидротехнических сооружений;
3. отсутствие превентивных мероприятий для предотвращения аварийных ситуаций и снижения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Выводы. В целях повышения качества безопасной эксплуатации водохранилищ и плотин предлагается совершенствовать систему управления водными ресурсами и гидротехническими сооружениями в Китае на основе международных инновационных концепций и моделей по управлению рисками.

ОСОБЕННОСТИ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ УТЕЧКАХ БЫТОВОГО ГАЗА В ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Комаров А.А.,

д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Аннотация: Рассмотрены особенности диффузионных процессов при аварийных утечках бытового газа в жилых помещениях.

Ключевые слова: дефлаграционный взрыв, взрывоопасность, концентрация смеси, взрывоопасная смесь, квазистатичность процесса, коэффициент диффузии, диффузионные процессы, экологическая безопасность.

Введение. При аварийных утечках газа происходит его смешение с воздухом, а формирующаяся газоздушная смесь может представлять значительную опасность для людей. Наибольшую опасность представляет облако, способное к взрывному горению или взрывоопасное облако. Диапазон концентрации газа в воздухе, при котором смесь является взрывоопасной, ограничен верхним и нижним концентрационными пределами взрываемости. Для большинства смесей он составляет от 1-2% от общего объема смеси до 15-20%. Следовательно, для взрыва необходимо, чтобы горючее было сильно разбавлено воздухом. С учетом данного обстоятельства для предотвращения аварийных взрывов необходимо знать общие закономерности процесса формирования взрывоопасных облаков и определить основные факторы, влияющие на этот процесс.

Материалы и методы. Основным параметром, определяющим общий характер и характеристики процесса смешения горючего газа с воздухом, является коэффициент турбулентной диффузии. В настоящей статье приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение коэффициента турбулентной диффузии в реальных жилых помещениях.

Уравнение, описывающее процесс смешения газов, имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + D_z \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + Q - \text{div}(\vec{U} \cdot C), \quad (1)$$

где C - объемная концентрация вещества в смеси; D - коэффициент диффузии для трех направлений, $\text{м}^2/\text{с}$; Q - удельный (на единицу объема) объемный расход вещества, $1/\text{с}$; U - скорость воздушного потока, $\text{м}/\text{с}$; x, y, z - пространственные координаты, м ; t - время, с .

Результаты. Экспериментальное определение коэффициента турбулентной диффузии в реальном помещении осуществлялось следующим образом. В помещении открывалась

газовая конфорка заданной производительности. Экспериментально определялось время достижения в конкретной точке пространства определенной концентрации газа. На основании численных расчетов уравнения (1) определялся коэффициент турбулентной диффузии, при котором в рассматриваемой точке помещения через данный промежуток времени реализуется определенная концентрация газа.

Выполненные экспериментальные исследования и численные расчеты показали, что числовое значение коэффициента турбулентной диффузии в реальных помещениях в 200 и более раз больше, чем коэффициент ламинарной или молекулярной диффузии метана в воздух, который составляет около $D=0.196 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$, т.е. примерно $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$.

Рассмотрены особенности формирования взрывоопасных смесей в жилых помещениях, которые реализуются при реальных значениях коэффициента турбулентной диффузии. Приведены примеры последствий аварийных взрывов в жилом фонде, иллюстрирующие основные особенности формирования взрывоопасных смесей.

Выводы и рекомендации. Проведенные эксперименты и выполненные численные расчеты показали, что коэффициент турбулентной диффузии в реальных жилых помещениях, определяющий процесс формирования в них взрывоопасной смеси, составляет минимум $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$, что многократно превышает коэффициент ламинарной или молекулярной диффузии.

При указанных значениях коэффициента турбулентной диффузии и при аварийных расходах газа с газовых конфорок, т.е. при расходах, связанных с человеческим фактором, например, при утечке газа по забывчивости или небрежности жильцов, в жилом помещении формирующееся взрывоопасное облако обладает свойством квазистатичности.

Концентрация газа в помещении мало зависит от пространственной координаты и в основном определяется временем утечки. Другими словами, аварийный объем газа при данном значении коэффициента турбулентной диффузии и при данных аварийных расходах достаточно равномерно распространяется по всему помещению. Указанное свойство взрывоопасной смеси полностью определяет характер взрывной аварии и методы ее предупреждения и недопущения.

Необходимо отметить, что указанные особенности формирования газоздушных смесей в жилых помещениях справедливы для любых газов с малыми аварийными расходами.

Поэтому полученные результаты применимы не только при рассмотрении вопросов взрывоопасности жилых помещений, но и при рассмотрении вопросов их экологической безопасности.

ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ, СТОЧНЫХ И СНЕГОВЫХ ВОД ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИННОВАЦИОННОЙ ВОДОУГОЛЬНОЙ СУСПЕНЗИИ

Зоммер Т.В.¹, Симонян В.В.²

²научный сотрудник ИКБС, заведующий лабораторией гидравлики и гидромеханики кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

¹ д.т.н., доцент кафедры ИИиГЭ НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. *Рассмотрена возможность использования техногенных подземных, сточных и снеговых вод при производстве инновационной водоугольной суспензии.*

Ключевые слова: *использование техногенных ресурсов, техногенных подземных, сточных и снеговых вод при производстве инновационной водоугольной суспензии.*

Введение. Использование техногенных отходов как вторичных ресурсов повышает биосферную совместимость технологий. В рамках проектируемого инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ разработка инновационной угольно-водоугольной технологии ведется как средства защиты урболандшафтов с уменьшением негативного воздействия хозяйственной деятельности на геосферы, энерго- и ресурсосбережения. На данный момент в водоугольных технологиях при получении водоугольной топливной суспензии используется подготовленная очищенная вода питьевого качества.

Результаты. Проведено исследование возможности использования техногенных подземных, сточных и снеговых вод в инновационной угольно-водоугольной технологии взамен подготовленной очищенной воды питьевого качества является важной научно-практической задачей, предполагающей утилизацию техногенных отходов в качестве вторичного сырья и вследствие этого существенное уменьшение негативного антропогенного воздействия на гидросферу.

В результате проведенной геоэкологической оценки водоугольной технологии основным выявленным недостатком является использование на технологические нужды подготовленной воды питьевого качества. Выявленный недостаток производители пробных партий водоугольных суспензий связывают с необходимостью соответствовать мировым экологическим требованиям. Однако в промышленных масштабах перерасход подготовленной воды на технологические нужды недопустим.

Таким образом, выявленная проблема требует поиска альтернативных водных ресурсов для производства ВУТС в рамках угольно-водоугольного кластера ЖКХ с уменьшением негативного воздействия на гидросферу. На данный момент ведутся исследования в целях поиска альтернативных вод, в том числе морских, сточных бытовых и промышленных вместо подготовленной очищенной воды для приготовления водоугольной суспензии.

Предложено использование сточных и снеговых вод при производстве водоугольной суспензии в рамках инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ. В настоящее время снеговые и ливневые воды сбрасываются после очистки в ливневую канализацию. Замена подготовленной воды на альтернативные снеговые, ливневые способствует существенному снижению негативного техногенного воздействия в рамках инновационного кластера и может происходить с включением уже существующих участков ЖКХ ливневой канализации и снегоплавильных заводов.

Расходование подготовленной воды также можно сократить за счет использования шахтных вод, которые после откачки и очистки сбрасываются в природу. При добыче угля в горных выработках образуется приток подземных и поверхностных вод, называемых шахтными, поэтому даже остановленные шахты требуют ежедневной откачки. Как действующие, так и остановленные шахты требуют откачки и очистки шахтных вод, что приводит к удорожанию угольной продукции, так как угледобывающие предприятия включают стоимость данных мероприятий в необходимые расходы.

Для экономической целесообразности очищенные воды пытаются использовать для полива растений, на хозяйственные нужды и помывку шахтеров. В перспективе очищенные шахтные воды планируют максимально довести до качества питьевой воды с целью водоснабжения шахтерских поселков и городов.

В связи с этим была предложена схема использования для приготовления инновационной водоугольной топливной суспензии шахтных вод, представляющих собой водоуголь малой концентрации. От степени минерализации зависит очистка шахтных вод, состоящая из комплекса очистных сооружений и мероприятий. Поэтому в первую очередь нас будут интересовать слабоминерализованные шахтные воды, загрязненные взвешенными веществами, т.е. мелким углем и угольной пылью.

Вместо того чтобы очищать шахтные воды от угольного шлама до питьевого качества, считаем возможным наладить прямо производство инновационной водоугольной топливной суспензии с использованием шахтных вод как водоугля малой концентрации для приготовления.

Выводы и рекомендации. Предложена схема использования сточных и снеговых вод при производстве водоугольной суспензии в рамках инновационного угольно-водоугольного кластера ЖКХ.

Предложена схема использования для приготовления инновационной водоугольной топливной суспензии шахтных вод, представляющих собой водоуголь малой концентрации.

Таким образом, решение встречных проблем при использовании шахтных вод для приготовления водоугольной суспензии приводит к повышению рентабельности угольно-водоугольного кластера ЖКХ в целом, помогает повысить экологическую эффективность, энерго- и ресурсосбережение.

РЕАБИЛИТАЦИЯ ВОДНЫХ РЕКРЕАЦИОННЫХ ОБЪЕКТОВ МОСКВЫ И ПОДМОСКОВЬЯ

Королева Е.А.¹, Зоммер Т.В.²

¹ к.т.н., кафедра водоснабжения и водоотведения НИУ МГСУ, Москва

² научный сотрудник ИКБС, заведующий лабораторией гидравлики и гидромеханики кафедры ГиГС НИУ МГСУ, Москва

Аннотация. Рассмотрены новые природоохранные технологии, применяемые при реабилитации водных рекреационных объектов, в том числе Москвы и Подмосковья.

Ключевые слова: реабилитация водных объектов, рекреационные зоны Москвы и Подмосковья, *Microbe-Lift*, ГУП «Мосводосток», аллотропные модификации углерода, колонии микроорганизмов на углеродных структурах, природоподобные водоросли.

Введение. Конечной целью реабилитации водных рекреационных объектов является восстановление нарушенных экосистем. Причинами загрязнения водоемов являются гниение мусора, попавшего в водоем и осевшего на дно, гниение водной растительности, привнос в водоем тальными водами песка, глины, почвы. В результате состояние водоема ухудшается, он постепенно начинает заболачиваться и «цвести». Массово начинают развиваться микроскопические водоросли и другие микроорганизмы, содержание кислорода в воде резко снижается. Из водоема исчезают рыбы, моллюски, ракообразные и другая ихтиофауна. Ухудшается экологическое состояние водоема и качество воды. Наряду с традиционными, в Москве и Подмосковье находят применение новые природоохранные технологии с применением различных микробных препаратов и углеродных наноструктур, которые требуют более широкого освещения и всесторонних исследований.

Результаты. Инновационные природоохранные технологии призваны решать экологические проблемы при реабилитации водных рекреационных объектов. В 2012 г. ГУП «Мосводосток» провел пилотный проект совместно с ООО «БТА Групп» по обработке пруда «Перекопский» биопрепаратами микробного происхождения *Microbe-Lift*, которые содержат смеси высокоэффективных аэробных, анаэробных, факультативных, хемотрофных и фотосинтетических бактерий, специализированных ферментов и питательных веществ (около 29 видов разновидностей живых природных бактерий, принадлежащих 12 основным родам, выращенные и опробованные на совместимость, способность к воспроизведению и росту до взрослого состояния), позволяющие комплексно воздействовать на экосистему [1].

До этого пруд не обрабатывался другими препаратами, что обеспечивало чистоту эксперимента. В зимний период биопрепараты вносились под лед в пробуренные лунки; обработка производилась 4 раза (2 раза в феврале и 2 раза в марте) с интервалами в 1 неделю. В весенне-летний период обработка производилась 1 раз в месяц, за исключением мая (3 раза в месяц) и июня (2 раза в месяц); препараты вносились с берега по периметру пруда. Непосредственно перед обработкой пруда биопрепаратом производился отбор проб для

проведения лабораторного анализа по 9 показателям: рН, растворенный кислород, БПК, ион аммония, нитрит-ион, нитрат-ион, сероводород, фосфат-ион, нефтепродукты, а также проба на микробиологию. Результаты лабораторных исследований показали, что действительно происходило увеличение растворенного кислорода в воде до 7-8 мг/л, уменьшается концентрация органических веществ (уменьшение концентрации БПК₅ до 3 мг/л с течением времени), происходит уменьшение концентрации сероводорода и его последующее исчезновение. Не наблюдалось замора рыбы после таяния льда, плавания прошлогодней растительности, замедлился рост донной растительности. По окончании исследования ГУП «Мосводосток» счел возможным использование биопрепаратов *Microbe-Lift* на декоративных водоемах, при условии соответствия НПУ проектным данным.

Также проводятся эксперименты по заселению прудов природоподобными структурами на основе графитовых волокон *MiraCarbon* в целях очистки сточных вод и поддержания здоровой экосистемы рек, озер и водоемов (во вторичном отстойнике). Было изучено заселение бактериями в питательной среде и водорослями в воде четырех аллотропных модификаций углерода: уголь, графит, углеродные нанотрубки, фуллерен. Установлены отличия в структуре колоний микроорганизмов и их численности на различных кристаллических структурах углерода, в отношении водорослей, выявлена зависимость уменьшения численности и разнообразия в ряду: фуллерен, нанотрубки, уголь, графит. Площадь обрастания водорослями составила: фуллерен 10.3%, нанотрубки 9.1%, уголь 6%, графит 3.5% [2]. Методом очистки воды с применением графитовых волокон и аэрации, не требующим сложного технического обслуживания, можно очищать сточные воды благодаря большому количеству микроорганизмов, расселяющихся на графитовых волокнах.

Выводы и рекомендации. Препараты *Microbe-Lift* для очистки водоемов и рек ускоряют процессы окисления и разложения органических соединений в озерах, отстойниках и реках, помогают восстанавливать их природный баланс; создают благоприятные условия для водной флоры и фауны; увеличивают рекреационные возможности и экологическую ценность водных объектов.

Преимущества очистки воды графитовым волокном *MiraCarbon*: улучшается прозрачность воды (уменьшение количества взвешенных частиц), сокращение БПК, ХПК, общее содержание азота и фосфора, быстрое биологическое разложение, активный процесс денитрификации; дешевизна метода, волокна не теряют своих качеств и не гниют.

Несмотря на установленные преимущества и относительную «безвредность» для окружающей среды, новые природоохранные технологии требуют всестороннего изучения.

Список литературы

1. Оценка эффективности применения биопрепаратов *Microbe Lift*. ГУП «Мосводосток», 2012 https://ochistka.btagroup.ru/news/perekop/microbe_lift.pdf
2. Москвина А.В., Корляков К.А. Особенности заселения бактериями и водорослями аллотропных форм углерода // Вестник Совета молодых учёных и специалистов Челябинской области. 2015. Т.1. №4(11).
3. Есина М.Н., Цыганкова Л.Е., Вигдорович В.И., Назина Т.Н. Исследование бактерицидной способности многостенных углеродных нанотрубок // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. Т. 17. № 3. 2012. С. 887-889.

ДЕФИЦИТ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ВОДЫ И ЗЕМЛИ КАК ПРИЧИНА ВРЕДНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Беляков А.А.,

к.т.н., доцент, Академия водного транспорта РУТ (МИИТ)

Аннотация. Выявлены причины вредных экологических процессов, в том числе сложившийся дефицит техногенных воздействий на воды и земли. Рекомендован возврат к решению водных проблем посредством комплексной реконструкции рек, в т.ч. строительства больших плотин, строительства и реконструкции подпорных гидроузлов.

Ключевые слова: экологические проблемы, «антропогенный прессинг», подпорные гидроузлы, подпор вод плотинами, дефицит техногенных воздействий.

Введение. Выступление на открытии Куйбышевской ГЭС 10 августа 1958 г. Н.С. Хрущева ознаменовало внезапный переворот (буквально с ног на голову) всей социально-экономической деятельности. В частности, под видом переориентации электроэнергетики на «более дешевые», чем ГЭС тепловые электростанции, транспортно-энергетический комплекс фактически замкнул себя на самообслуживание: «добывать, перевозить и сжигать топливо для того, чтобы добывать, перевозить и сжигать топливо» [1].

Результаты. В результате тенденции «антропогенного прессинга» в нашей стране была остановлена комплексная реконструкция рек и введено негласное табу на постройку плотин и водохранилищ, которое внедрилось в сознание людей, порождая неверные представления: и в наводнениях, и в маловодьях склонны обвинять плотины, тогда как истинная причина – не наличие плотин, а их дефицит (таблица 1).

Таблица 1
Количество больших плотин* в разных странах (2020 г.)

Страна	Количество больших плотин, штук	Больших плотин на 1000 кв. км территории страны	Больших плотин на 1 куб. км годового стока рек
КНР	23841	2,574	9,504
США	9265	0,986	4,411
Индия	5100	1,551	2,727
Япония	3130	8,280	7,451
Россия	69	0,0040	0,0161

*Большими обычно считают плотины высотой более 15 м. Их регистрирует Международная комиссия по большим плотинам (ICOLD–CIGB).

Однако, как видно из таблицы 1, реальные мировые тенденции совсем другие. Только за два десятилетия XXI в. построено больших плотин: в США – около 3 тыс., в Индии – 2,5 тыс., в Японии – 7 сотен. И массовое строительство плотин в мире будет продолжаться до тех пор, пока водохранилища не будут устроены всюду, где это возможно, и сток рек не будет ими предельно зарегулирован. Периодическое уменьшение огромного числа больших плотин в КНР (более 23841) объясняется оптимизацией каскадов водохранилищ на реках: некоторые ступени каскада упраздняют с соответствующим увеличением подпора на расположенной ниже ступени. Подобное могло быть и в России: согласно утвержденному в 1970-х гг. проекту шлюзования нижнего Дона, ниже устья Северского Донца предполагалась постройка Багаевского и Аксайского гидроузлов, причем Кочетовский гидроузел должен был быть упразднен.

Россия больше не участвует в мировом процессе: больших плотин в России столько же, сколько в Польше. За двадцать лет XXI в. достроили лишь несколько больших плотин из позднесоветского долгостроя: Богучанскую на Ангаре, Бурейскую и Нижне-Бурейскую на Буре, Курейскую, Светлинскую на Вилюе, Ирганайскую на Сулаке. Негласное табу проявляется и в научно-технической печати. Факт разборки где-то в Америке старой и давно неработоспособной «плотинки» отражается едва ли не в десятках публикаций, а активное строительство тысяч больших водохранилищных плотин в КНР, США, Индии освещения не находит. Поэтому в научном сообществе бытует мнение, что в мире (как и в России) новых плотин не строят, а старые ликвидируют для «восстановления рек».

Выводы и рекомендации. Непрерывность каскада, при которой нижние бьефы ГУ должны быть подперты нижележащими ступенями – одно из важнейших требований при комплексной реконструкции рек, обеспечивающее двойное регулирование расходно-уровенного режима (попуском верхнего гидроузла и подпорной отметкой нижнего) [2].

Верхневолжский каскад должен быть непрерывным. Непрерывность каскада соответствует самой природе реки: в 1880-х гг. начальник Волжской описной партии профессор Богуславский сравнивал Волгу с цепочкой глубоководных озер (плёсов), соединенных между собой мелководными протоками (перекатами) [3]. Невыполнение требования непрерывности каскада ведет к развитию вредных русловых процессов. Но укоренившееся табу на постройку плотин и водохранилищ породило критику «принципа непрерывных каскадов» [4]. После отказа от «заведомо неэффективных» Калининской и Старицкой ступеней Верхневолжского каскада осталась одна Ржевская ступень, в результате проблемы, которые были бы решены Верхневолжским каскадом, в т.ч. улучшение водоснабжения Москвы, остались нерешенными. Гидроузлы, первоначально проектировавшиеся как ступени каскадов, работают изолированно, что и ведет к вредным русловым деформациям в их неподпертых нижних бьефах и в зонах переменного подпора водохранилищ [5].

Нижний бьеф Новосибирского гидроузла должен был быть подперт Батуриным гидроузлом. А в зоне выклинивания подпора Новосибирского водохранилища должен быть расположен Каменский гидроузел с водохранилищем многолетнего регулирования (по проектным данным середины 1950-х гг.). Из-за отсутствия Батуриного гидроузла и подпора от него в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла на р. Оби идет донная эрозия с нарастающими «посадками уровней». Процесс активно исследуется с 1980-х гг., но ни в одной из множества научных публикаций нет простого и очевидного вывода, что нижний бьеф Новосибирского гидроузла должен быть подперт. Между тем, после пуска первого гидроагрегата в 1957 г. Новосибирская ГЭС за три года полностью окупилась и водохранилище. За следующие 2,5 года она дала средства, достаточные для постройки Батуриного гидроузла, еще за 3,1 года – для постройки Каменского гидроузла. Значит, деньги на водные проекты были, но действовало табу на постройку плотин и водохранилищ.

Разрыв Волжско-Камского каскада должен быть ликвидирован. По свидетельству чл.-корр. АН СССР Б.К. Александрова, с 1930 г. принимавшего участие в проектировании и строительстве гидроузлов Волжско-Камского каскада, изначально общей схемы каскада не было, проектирование и строительство велось «последовательно, от гидроэлектростанции к гидроэлектростанции» [6]. Однако благодаря профессиональному

мастерству инженеров старой школы, принцип непрерывности каскада выдерживался. Но после утверждения негласного табу на плотины и водохранилища, приводящего к саботажу имеющих силу закона государственных проектов, последние две из строившихся ступеней Волжско-Камского каскада – Чебоксарская и Нижнекамская – не завершены, и около уже 40 лет эксплуатируются при временных отметках подпора ниже проектного УМО. Вследствие этого разрушены системы, в которые Чебоксарское и Нижнекамское водохранилища должны были входить как неотъемлемые составные части: Волжско-Камский каскад водохранилищ разорван свободными (неподпертыми) участками Волги и Камы, а Единая глубоководная система ЕТР фактически разорвана на 3 части отсутствием потребных судоходных глубин. На участке Волги от Горьковского гидроузла до Нижнего Новгорода глубины обеспечиваются специальными попусками через Горьковский гидроузел, причем с течением времени нарастает «посадка уровней», и для получения требуемой глубины требуется все бóльший попуск. Это закономерно и обусловлено наложением двух процессов: свойственной всем водохранилищным гидроузлам донной эрозии в неподпертом нижнем бьефе, а также путевыми дноуглубительными работами, чрезвычайно активными со второй половины 1960-х гг. в предвидении заполнения Чебоксарского водохранилища до НПУ 68,0 м. Так, уже к середине 1970-х гг. перекаты выше г. Балахны были фактически ликвидированы. На Каме ниже Воткинского гидроузла дноуглубительные работы столь активно не велись, но «посадка уровней» также имеет место. Положительные решения о заполнении Чебоксарского и Нижнекамского водохранилищ принимались правительственными органами неоднократно, но были саботированы. Реальных причин для отказа от заполнения этих водохранилищ нет, и их существование в нынешнем виде наносит возрастающий с течением времени социально-экономический и экологический вред. Вместе с тем проектирование «Нижегородского низконапорного гидроузла» (ННГ) без государственной приемки в постоянную эксплуатацию Чебоксарского гидроузла и водохранилища – противоправно. Оба водохранилища должны быть заполнены до проектного НПУ 68,0 м, а средства, потраченные на НИиПИР по ННГ, возвращены в государственный бюджет.

Комплексная реконструкция Оки необходима для решения экологических проблем. Когда в середине 1990-х гг. «посадки уровней» воды в р. Оке из-за разработки русловых карьеров превысили на участке от Калуги до Коломны 1,5 м, стало ясно, что иного решения комплекса проблем р. Оки, кроме реконструкции ее в каскад водохранилищ, не существует [7]. Об этом неоднократно было заявлено печатно и публично, но разработка карьеров продолжается, «посадки уровней» прогрессируют, отчего лимитировать глубину (и, соответственно, осадку судов, везущих в Москву добытые в русле Оки НСМ) стали уже пороги Кузьминского и Белоомутского шлюзов. И для обеспечения доставки в Москву НСМ, добытых ценою фактической гибели Оки, соорудили новые Кузьминский и Белоомутский гидроузлы с прежними параметрами, без гидроэлектростанций и мостовых переходов. Между тем, еще в начале XX в. обострившиеся проблемы Оки (наводнения, маловодья, низкое качество воды) закономерно привели к осознанию необходимости регулирования ее стока водохранилищами, устройства по Оке магистрального глубоководного пути с выходами в Днепр и Дон и кардинальной реконструкцией шлюзованного (с 1878 г.) водного пути по р. Москве в Москву. Это нашло выражение в

разработанной в 1934 г. Московско-Окским бюро Гидроэнергопроекта НКТП в контексте реконструкции Волго-Каспия «Схеме реконструкции р. Оки» [8]. Выше Коломны предполагалось создание регулирующих водохранилищ при гидроузлах Коломенском, Калужском, Косовском, они подводили глубоководный путь к Окско-Днепровскому соединению: Ока – Жиздра – соединительный канал – Десна – Днепр. Ниже Коломны, где Ока протекает по широкой пойме, намечалась постройка 6 гидроузлов со сравнительно невысокими напорами от 4 до 7 м. В частности, вместо Белоомутского и Кузьминского гидроузлов проектировался один Кузьминский, но с удвоенным напором. В составе всех окских гидроузлов проектировались гидроэлектростанции. Экспертная комиссия Госплана СССР по реконструкции реки Волги (1934 г.) признала высокую эффективность транспортно-энергетической реконструкции Оки в целом и, в частности, первоочередных верхнеокских гидроузлов. В 1939 г. приступили к строительству Калужского гидроузла, но с началом войны оно было прекращено. В 1950 г. схема реконструкции р. Оки была Гидроэнергопроектом переработана, между Коломенским и Калужским гидроузлами поместили Серпуховскую ступень, головной узел канала Ока – Москва. Функционально аналогичный Каналу им. Москвы, он позднее входил в первую схему комплексного использования и охраны водных ресурсов СССР (1961 г.), а в 1970-х гг. был включен в титульный список водохранилищ и каналов комплексного назначения, намечаемых к строительству до 1990 г. со сметной стоимостью 214 млн. руб. Причины неосуществления финансировавшегося государством проекта неизвестны. В 2017 г. в створе Калужского гидроузла был построен мост объездной автомобильной дороги. Отказ от комплексной реконструкции Оки необъясним. Однако ясно, если хотя бы первоочередные, выше Коломны, окские гидроузлы были построены, современные проблемы Оки не возникли, и разработка русловых карьеров в подпертых бьефах на их уровенный режим не повлияла.

Нарушение сроков ввода в эксплуатацию водохранилищ приводит к экологическим бедствиям. Заиливание Чиркейского водохранилища, образованного в 1976 г. знаменитой арочной плотиной высотой 232,5 м [9], объясняется исключительно многодесятилетней задержкой ввода в эксплуатацию Ирганайского водохранилища, заполненного только в 2008 г. Расположенное выше по течению р. Сулак, оно должно было перехватывать наносы, но его не было, и наносы транзитом поступали в Чиркейское водохранилище.

Список литературы

1. *Беляков А.А.* Транспортно-энергетическая водная сеть России М.; СПб.: Нестор-История, 2016.
 2. Речная доктрина Российской Федерации. Проектно-аналитический доклад к разработке доктрины. М., 2015. 108 с. с илл. (<http://www.proektnoegosudarstvo.ru/materials/0017>).
 3. *Богуславский Н.А.* Волга, как путь сообщения. СПб., 1887.
 4. *Авакян А.Б., Шаранов В.А.* Водоохранилища гидроэлектростанций СССР. Изд. 3-е. М.: Энергия, 1977.
 5. *Беркович К.М.* Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001.
 6. *Александров Б.К.* Комплексное использование р. Волги // Гидротехническое строительство. 1974. № 6.
 7. *Беляков А.А., Колесников Ю.М.* Ока: современное состояние, проблемы, перспективы // Водное хозяйство, порты и портовые сооружения, объекты строительства на шельфе: Сб. науч. тр./ Моск. гос. строит. ун-т. М.: МГСУ, 2002.
 8. *Гаврилов В.В.* Реконструкция р. Оки // Проблема реконструкции бассейна реки Оки. Сборник материалов. М.-Л.: АН СССР, 1935.
 9. Особенности функционирования гидроэнергетики России в изменяющихся внешних условиях / Под общ. ред. А.Ю. Александровского и В.В. Клименко. М.: Издательский дом «Энергия», 2016.
 10. *Беляков А.А., Беляков А.А. (мл.)*. История, современное состояние, перспективы бывшей Тихвинской судоходной системы // Вопросы истории естествознания и техники. 2007. № 3.
- Проектирование речных гидроузлов на нескальных основаниях / Под общ. ред. М.М. Гришина и А.В. Михайлова. М.: Энергия, 1967.