



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

**СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Сборник тезисов докладов
III Всероссийского научно-практического семинара
(г. Москва, 17 июня 2020 г.)

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

ISBN 978-5-7264-2314-2

Москва
Издательство МИСИ – МГСУ
2020

УДК 62+378

ББК 38

C56

C56 **Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства**
[Электронный ресурс] : сборник тезисов докладов III Всероссийского научно-практического семинара (г. Москва, 17 июня 2020 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт гидротехнического и энергетического строительства – Электрон. дан. и прогр. (1,2 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2020. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> — Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-7264-2314-2

В сборнике содержатся тезисы докладов участников III Всероссийского научно-практического семинара, который проходил 17 июня 2020 г.

Для специалистов в сфере гидротехнического строительства.

Научное электронное издание

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

© Национальный исследовательский
Московский государственный
строительный университет, 2020

Ответственный за выпуск *С.А. Сергеев*
Макет подготовлен оргкомитетом конференции

Институт гидротехнического и энергетического строительства
(ИГЭС НИУ МГСУ).
Тел. +7 (499) 183 43 83
E-mail: iges@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 13.08.2020. Объем данных 1,2 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 (499) 183-97-95.
E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

| | |
|---|----|
| <i>Абдулов А.Б., Бестужева А.С.</i> Лабораторные исследования деформационной анизотропии галечника, уложенного в тело грунтовой плотины | 9 |
| <i>Ляпичев Ю.П.</i> Достоверность и применимость современных численных методов расчета поведения плотин | 11 |
| <i>Ляпичев Ю.П.</i> Новые конструктивно-технологические решения для плотин из особо тощего укатанного бетона | 13 |
| <i>Учеваткин А.А.</i> Влияние соотношения модулей упругости системы «арочно-гравитационная плотина – основание» на эффективность конструктивных решений по оптимизации напряженно-деформированного состояния сооружения | 15 |
| <i>Дмитриев Д.С., Учеваткин А.А.</i> Численное моделирование в основе систем мониторинга безопасности гидротехнических сооружений и автоматизированные системы управления напряженно-деформированным состоянием | 17 |
| <i>Чубатов И.В., Бестужева А.С.</i> Математическое моделирование нелинейных задач теории упругости в грунтовых основаниях | 19 |
| <i>Гадай Д.В., Бестужева А.С., Тарасов А.А.</i> Обоснование эффективности применения «камнебетона» в подэкранных зонах плотин с железобетонным экраном | 21 |
| <i>Лисичкин С.Е., Рубин О.Д., Пащенко Ф. А.</i> Исследование усиления подпорных стен композитными материалами | 23 |
| <i>Козлов Д.В., Юрченко А.Н.</i> Важность своевременной оценки технического состояния гидротехнических сооружений для обеспечения их безаварийной эксплуатации | 25 |
| <i>Сольский С.В., Быковская С.А.</i> Применение геомембран в гидротехническом строительстве. Проблемы использования в конструкциях противofильтрационных элементов | 27 |
| <i>Анискин Н.А., Нгуен Чонг Чык, Фан Хань Хань.</i> Использование поверхностной теплоизоляции для регулирования температурного режима бетонного массива при его возведении | 29 |
| <i>Доронин Ф.Л.</i> Напряженно-деформированное состояние межсекционных швов бетонных плотин при динамических воздействиях | 31 |
| <i>Зимнюков В.А., Зборовская М.И.</i> О работе плотин и подпорных стен ячеистой конструкции в гидротехническом строительстве | 32 |
| <i>Котицына С.С., Корчагин Е.А.</i> Ремонт нефтеналивного причала для крупнотоннажных судов | 34 |
| <i>Николаев П.А., Корчагин Е.А.</i> Повышение сейсмических свойств слабых грунтов | 36 |

портовых комплексов

| | |
|--|----|
| <i>Малаханов В.В.</i> Противопаводковые и селезащитные грунтовые плотины с фильтрующим водосбросом | 38 |
| <i>Жарницкий В.Я., Андреев Е.В.</i> Влияние скоростных и инерционных показателей волновых нагрузок при оценке остаточного ресурса гидротехнических сооружений | 40 |
| <i>Тер-Мартirosян А.З., Сергеев С.А., Ермошина Л.Ю.</i> Сравнительный анализ методов расчета коэффициентов устойчивости ограждающей дамбы хвостохранилища с учетом сейсмического воздействия | 42 |
| <i>Собкалов Ф.П.</i> Эффективность комплексного использования местных полиминеральных глин в строительстве способом «стена в грунте» | 43 |
| <i>Кантаржи И.Г., Губина Н.А., Гусаров Р.Н.</i> Воздействие длинных волн на береговые гидротехнические сооружения | 45 |
| <i>Котицына С.С., Кантаржи И.Г.</i> Разрушения в порту, производимые волнами цунами | 46 |
| <i>Гогин А.Г., Кантаржи И.Г.</i> Устойчивость подводного трубопровода при воздействии течения и волн | 48 |
| <i>Круковец А.Е., Кантаржи И.Г.</i> Моделирование аварийного разлива топлива в порту | 50 |
| <i>Зуев Н. Д., Шунько А. С., Шунько Н. В.</i> Понижение коэффициента отражения волн у причальных сооружений, типа больверк | 52 |
| <i>Галимов И.М., Левачев С.Н., Немолочнов А.Г.</i> Результаты оптимизации профиля и фильтрационные свойства композитных шпунтовых свай ШК-150 УМ | 54 |
| <i>Соломатин С.В.</i> Оценка возможности и эффективности учета вязкопластических свойств льда при проектировании гидротехнических сооружений | 56 |

СЕКЦИЯ ГИДРАВЛИКИ, ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОЛОГИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

| | |
|--|----|
| <i>Анахаев К.Н., Беликов В.В.</i> О гидрогеофизических «несуразностях» в изучении рек Северного Кавказа | 59 |
| <i>Игнатенко Е.В., Брянская Ю.В.</i> Распределение скоростей в турбулентном потоке | 62 |
| <i>Брянский И.А., Боровков В.С.</i> Распределение скоростей по глубине потока в зоне влияния трубопроводного перехода | 64 |
| <i>Брянская Ю.В., Джумагулова Н.Т., Тен А.Э.</i> Экспериментальные исследования пропускной способности частично заиленного трубопровода | 66 |
| <i>Михайлец Д.П., Бахтин Б.М., Беглярова Э.С., Шаблий Л.С.</i> Сопоставление результатов численного и физического моделирования концевой участка напорного | 68 |

| | |
|--|----|
| водопрopusкного сооружения с вертикальным выходом потока | |
| <i>Гусев А.А.</i> Общее и особенное в формировании волны прорыва и течения за ее фронтом для разных случаев разрушения плотины | 70 |
| <i>Зуйков А.Л.</i> Гидравлика масляной ванны подпятника генератора вертикального гидроагрегата | 71 |
| <i>Гебрехивот Анхесом Алемнгу, Козлов Д.В.</i> Оценка применимости модуля NAM MIKE 11 для моделирования дождевого стока в малоизученном речном бассейне засушливого региона Эритреи | 72 |
| <i>Снежко В.Л., Козлов Д.В., Лагутина Н.В.</i> Совместное использование многомерного анализа данных и ГИС-технологий при оценке опасных гидрологических явлений на территории России | 74 |
| <i>Снежко В.Л., Бенин Д.М.</i> Инжекционные регуляторы расхода для напорных водопрopusкных сооружений | 76 |
| <i>Куприн А.В., Новаков А.Д., Губина Н.А., Кантаржи И.Г.</i> Местные и общие размывы, вызываемые волнами цунами | 78 |
| <i>Хадла Гунуа, Аншаков А.С., Кантаржи И.Г.</i> Роль течений и волнения в перемещении наносов в окрестности береговых ГТС | 80 |
| <i>Кулешов С.Л., Козлов Д.В.</i> Вероятностный прогноз образования заторов льда на реке Кичменьга | 81 |
| <i>Юмашева М.А., Брянская Ю.В.</i> Определение устойчивости защитных покрытий к воздействию потока | 83 |
| <i>Гурьев А.П., Козлов Д.В., Ханов Н.В., Абидов М.М., Верхоглядова А.С.</i> Факторы, определяющие достоверность результатов модельных исследований местных размывов отброшенной струей | 85 |
| <i>Дебольская Е.И., Иванов А.В., Остякова А.В.</i> Особенности распространения примеси в руслах рек криолитозоны (лабораторное и математическое моделирование) | 87 |
| <i>Джумагулова Н.Т., Абдуламир Лейс Саид Абдуламир.</i> Использование очищенных сточных вод в административном округе Кербел Ирака для ирригационных целей | 89 |
| <i>Вербицкий В.С., Ходзинская А.Г.</i> Общее описание речной и атмосферной турбулентности | 91 |
| <i>Вербицкий В.С.</i> Гидравлическая модель атмосферной турбулентности | 92 |
| <i>Ходзинская А.Г., Абрамова Л.В., Кудрявцев Г.М.</i> Некоторые проблемы разработки песчано-гравийных грунтов в руслах и пути их решения | 94 |
| <i>Комаров А.А.</i> Особенности гидравлического расчета параметров аварийного пролива опасных жидкостей | 95 |
| <i>Крылов А.П., Бакитанин А.М., Беглярова Э.С.</i> Экспериментальные исследования | 97 |

микро-ГЭС с сифонным водоподводом

Беглярова Э.С., Соколова С.А., Бакиитанин А.М. Изменение показателей загрязнения поверхностного стока городских территорий при проведении строительных работ на примере частных водосборов рек Лихоборка и Жабенка 99

Волгина Л.В., Сергеев С.А. Определение средней скорости селевых потоков с учетом жизненного цикла 101

Заборова Д.Д., Петриченко М.Р., Мусорина Т.А. Расчетно-экспериментальное определение интегральных характеристик нестационарного фильтрационного потока (на примере призматических перемычек) 102

Локтионова Е.А., Мифтахова Д. Р., Ярославцева Е. Ю. Трубопроводы с засорением и их фильтрационные характеристики 103

СЕКЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИОННОЙ АНИЗОТРОПИИ ГАЛЕЧНИКА, УЛОЖЕННОГО В ТЕЛО ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ

Абдулов А.Б.¹, Бестужева А.С.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Для надежного прогнозирования устойчивости откосов, осадок и смещений каменных и каменно-земляных плотин необходимо знать физико-механические свойства грунтов упорных призм, в том числе с учетом наведенной анизотропии, формирующейся за счет послойной укатки грунта (трансверсально-изотропный материал). В настоящее время в литературе отсутствуют данные об экспериментальных исследованиях деформационной анизотропии гравийно-галечниковых грунтов, хотя вопросы анизотропии весьма детально изучены на примере глинистых грунтов, в которых тоже существует деформационная анизотропия. По исследованиям лондонских глин в экспериментах В.Х. Уорд, С.Ж. Самуэл, на ветви нагружения соотношение $\frac{E_x}{E_y} = 1,2 \div 1,95$, а при разгрузке $\frac{E_x}{E_y} = 1,3 \div 2,0$. Для таких же глин ненарушенной структуры, по данным Л. Бердена $\frac{E_x}{E_y} = 1,5 \div 4,0$. Также наличие деформационной анизотропии в грунтах подтверждается в работах В.М. Фурса, А.К. Бугрова, А.И. Голубева А. И., Г.Г. Болдырева, З.Г. Тер-Мартirosяна, О.А. Коробовой и др.

Анизотропные свойства грунта в плотине проявляются в том, что деформирование под действием сил собственного веса и сил бокового давления, например, гидростатических, происходит по-разному из-за различия в модулях деформации по разным направлениям. Как правило, модуль деформации в грунтах по оси слоистости выше, чем в перпендикулярном направлении, поэтому не учёт анизотропных свойств ведет к расчетному завышению величин горизонтальных смещений в плотине, возможно и к излишнему уположению откосов.

Материалы и методы. С целью исследование различия в деформировании гравийно-галечникового грунта в зависимости от ориентации его частиц, были выполнены экспериментальные исследования для речного галечника в одометре, в вакуумном стабилометре, а также на большом трехосном приборе «АСИС» в лаборатории НОЦ «Геотехника» НИУ МГСУ. Опыты были проведены по стандартной методике в соответствии

с ГОСТ 12248-2010. Частицы гравийно-галечникового грунта фракции 10-60мм были уложены горизонтально и вертикально с засыпкой между ними частиц менее 10мм. Размер образцов $d=255\text{мм}$ и $h=255\text{мм}$ в компрессионных испытаниях, а при экспериментах в вакуумном стабилометре и в трехосном приборе составили $d=300\text{мм}$ и $h=600\text{мм}$ с плотностью образцов $\rho_d=2,19\div 2,22\text{т/м}^3$. Коэффициент деформационной анизотропии η определялся как соотношение осевых деформаций в опытах с разным расположением частиц в одомере и стабилометре и по соотношению модулей деформации грунта по разным направлениям в экспериментах с вакуумным стабилометром.

Результаты. По результатам трех серий экспериментов в различных приборах установлено, что коэффициент деформационной анизотропии η в гравийно-галечниковых грунтах зависит от напряженного состояния и меняется в диапазоне от 1 до 2, снижаясь при увеличении напряжений всестороннего сжатия. В ходе испытаний грунтов в трехосном стабилометре получено, что на этапе уплотнения грунта большее деформирование присуще грунту в направлении перпендикулярном слоистости, чем в направлении параллельном слоистости ($\epsilon_y > \epsilon_x$), и для грунтов тела плотины в зоне всестороннего сжатия справедливо соотношение $E_x > E_y$. Однако, так называемая “прямая” анизотропия свойственна только этапу уплотнения. В зонах разуплотнения и сдвига характер деформирования изменяется и после достижения максимальной плотности, что отмечено на графиках “*”, наблюдается “обратная” анизотропия, при которой соотношение $\eta = \frac{\epsilon_y^{\text{гор.}}}{\epsilon_y^{\text{верт.}}}$ становится меньше 1, т.е. при разуплотнении грунта растет «обратная» анизотропия с ростом девиатора напряжений.

Выводы. В процессе укладки и укатки галечниковых грунтов в тело плотины возникает наведенная анизотропия (трансверсально-изотропный грунт), в них необходимо учитывать разницу деформационных свойств по двум направлениям, т.е. E_x и E_y .

Галечниковые грунты более деформируемы по направлению перпендикулярному слоистости, чем по направлению параллельному слоистости ($\epsilon_y > \epsilon_x$) и для грунтов тела плотины $E_x > E_y$.

Экспериментально установлены зависимости коэффициентов деформационной анизотропии при различных условиях нагружения, при этом при небольших напряжениях она максимальна (около 2) и снижается с ростом действующих напряжений.

Ключевые слова: деформационная анизотропия, гравийно-галечниковый грунт, компрессионные эксперименты, вакуумный стабилометр, трехосные эксперименты, грунтовые плотины.

ДОСТОВЕРНОСТЬ И ПРИМЕНИМОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОВЕДЕНИЯ ПЛОТИН

Ляпичев Ю.П.

д.т.н., профессор, член Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ), Париж

АННОТАЦИЯ

Введение. Комитет СИГБ по расчету и проектированию плотин в 2001 и 2013 годах выпустил Бюллетень 122 (Применимость и достоверность программ расчета плотин) и Бюллетень 155 (Указания по использованию численных моделей в проектах плотин). Автор статьи, как член этого комитета в 1993-2013 годах, принял активное участие в подготовке этих бюллетеней. Оценка достоверности численных методов расчета поведения плотин основывалась на данных 10 Международных семинаров, проведенных в 1991-2009 годах этим Комитетом в Италии, Франции, Испании, США, Австрии, Румынии, Китае, России, что позволило выявить достоверность численных расчетов поведения плотин.

Материалы и методы. Результаты расчетов сравнивались с данными натурных поведения плотин-прототипов. Оценка достоверности расчетов выражается через 4 индекса достоверности: $RI=1$ - высокий (без упрощений), 2- средний (с ограничениями и упрощениям, трудностью получения надежных опытных данных), 3 - низкий (из-за серьезных упрощений возможна лишь качественная оценка), 4- нулевой (моделирование невозможно). Приняты обозначения: *Б* - бетонная плотина, *Г*- грунтовая плотина, *С* - статическое поведение, *Д* - динамическое поведение, *Г* - гидравлическое поведение.

Результаты. Для бетонных плотин - статическое поведение (*БС*) получена средняя достоверность ($RI=2$) расчетов их напряженно-деформированного состояния (НДС) в строительный период и первом наполнении водохранилища (*ВБ*). В период эксплуатации численное моделирование поведения этих плотин вполне достоверно ($RI=1$), так как данные мониторинга плотины позволяют получить достоверную картину поведения системы плотина - основание - *ВБ*.

Для бетонных плотин - динамическое поведение (*БД*). Моделирование динамических нагрузок вносит дополнительную аппроксимацию по сравнению со статическими расчетами. Поэтому достоверность динамических расчетов НДС в период эксплуатации более низкая (средняя, $RI=2$) по сравнению со статическими расчетами (высокая, $RI=1$). Для строительства и первого наполнения водохранилища достоверность средняя для обоих расчетов ($RI=2$).

Для бетонных плотин - гидравлическое поведение (*БГ*). Средняя достоверность численного моделирования гидравлического режима водосбросов плотин позволяет определить распределение давления потока на водосливной грани.

Для грунтовых плотин - статическое поведение (*ГС*). Для грунтовых плотин с глинистыми ядрами и экранами необходимо проводить связанные расчеты НДС и консолидации глинистого грунта с расчетом эффективных напряжений в скелете и порового давления. Математические модели грунтов, различаются в зависимости от того, является ли расчет связанным или нет. Автор составил классификацию основных моделей грунтов, дал их анализ и рекомендации по их выбору, вошедшие в Бюллетень 122 СИГБ. Для грунтовых плотин – динамическое поведение (*ГД*). По сравнению со статическими расчетами этих плотин динамические расчеты более сложные и имеют низкую достоверность ($RI=3$). Главные сложности этих расчетов заключаются в выборе 2 расчетных акселерограмм землетрясений; определении границ области отражений и поглощений сейсмических волн; взаимодействии плотины и основания. Общая сейсмоустойчивость плотины, возможность разжижения несвязных грунтов, поведение плотины после воздействия можно оценить приближенно используя псевдостатические методы расчета с учетом расчетов ее сейсмического НДС. Но при этом не учитывается усиление амплитуды колебаний, остаточное поровое давление после воздействия, разжижение несвязных грунтов.

Выводы. Разработаны рекомендации по выбору математических моделей материалов бетонных и грунтовых плотин при численных расчетах их НДС и определены основные направления дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: достоверность численных расчетов, модели материалов плотин, статическое, сейсмическое (динамическое) и гидравлическое поведение плотин, индексы достоверности, матрицы поведения.

НОВЫЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ПЛОТИН ИЗ ОСОБО ТОЩЕГО УКАТАННОГО БЕТОНА

Ляпичев Ю.П.

д.т.н., профессор, член Международной комиссии по большим плотинам (СИГБ), Париж

АННОТАЦИЯ

Введение. В 1992 г. Лонде (Президент СИГБ) предложил идею «твердой насыпи» из особо тощего укатанного бетона (УБ) с расходом цемента 50 кг/м^3 в плотине симметричного профиля высотой $h=100$ м с заложением откосов $0,7$ на скальном основании. Водонепроницаемость плотины обеспечивается с помощью экрана из железобетона (ж-б) на верховом откосе.

Дальнейшее развитие этой идеи привело автора статьи к разработке в 1998 г. проекта симметричной плотины $h=100$ м с заложением откосов $0,5$, наружными зонами из УБ 3 типа по классификации УБ (расход цемента $70-80$, золы-уноса $100-120 \text{ кг/м}^3$) шириной равной $(3+0,1H)$, (где H - напор ВБ, м) и внутренней зоной из камня, упрочненного цементно-зольным раствором.

Преимуществами этих плотин по сравнению с обычными гравитационными плотинами из УБ, являются: 1) снижение напряжений в плотине и ее основании; 2) низкая стоимость особо тощего УБ и камня, упрочненного цементом; 3) большая сейсмостойкость, чем у гравитационных плотин из УБ. Водонепроницаемость напорной грани обеспечивается геомембраной CARPI (Швейцария) - двухслойной пленкой из ПВХ и дренажа из геотекстиля. Геомембрана успешно эксплуатируется на 37 плотинах из УБ, она отличается надежностью от проколов, водонепроницаемостью, высокой дренажной способностью и рекомендована в этих плотинах в Бюллетене СИГБ 135, гл.6.

Материалы и методы. В исследованиях рассматривались 4 варианта плотин. *Вариант 1:* гравитационная плотина из УБ с низовой гранью с заложением $0,8$ и напорной - $0,1$. Противодействие в основании снижено в дренаже на 35% . Прочность на сдвиг в швах УБ: угол внутреннего трения $\varphi=45^\circ$, сцепление $C=2$ МПа. Сейсмостойкость плотины определялась псевдо-статическим методом. *Вариант 2:* каменно-насыпная плотина с экраном из ж-б, заложение верхового откоса $1,4$, низового - $1,5$. Прочность камня на сдвиг: $\varphi=45^\circ$, $C=0$. Сейсмостойчивость откосов определялась псевдо-статическим способом. *Вариант 3:* симметричная плотина с наружными зонами из УБ-3 и внутренней зоной из камня, упрочненного цементно-зольным раствором, с заложением откосов $0,5$ с экраном из

пленки CARPI. Прочность на сдвиг по швам УБ: $\varphi = 45^\circ$, $C = 0,5$ МПа, по упрочненному камню: $\varphi = 45^\circ$, $C = 0,1$ МПа. Противодействие снижено в дренаже на 40%. *Вариант 4:* симметричная плотина (заложение откосов 0,7) типа «твердая насыпь» из особо тощего УБ с экраном из ж-б. Прочность на сдвиг по швам УБ: $\varphi = 45^\circ$, $C = 0,5$ МПа. Противодействие снижено в дренаже на 40%.

Результаты. Выполнена оценка устойчивости, прочности и стоимости 4 вариантов плотин $h = 100$ м на скальном основании ($\varphi = 45^\circ$, $C = 1$ МПа) и вариантов 2-4 на нескальном ($\varphi = 30^\circ$, $C = 0,3$ МПа). В расчетах учитывалось сейсмическое воздействие в 8 баллов (ускорение в основании 0,2g). Наиболее экономичными для скального и нескального оснований являются: вариант 2 (грунтовая плотина с экраном из ж-б) и вариант 4 (симметричная плотина с наружными зонами из УБ-3 и центральной зоной из камня, упрочненного цементом). Учитывая, что стоимость отводящих и водосбросных туннелей в вариантах 3 и 4 будет намного меньше, чем в варианте 2, то можно сделать вывод об экономической эффективности вариантов 3 и 4 плотин из УБ. Приведены примеры построенных и запроектированных этих плотин.

Выводы. 1) Симметричные плотины из особо тощего укатанного бетона с заложением откосов 0,5-0,7 обладают лучшей сейсмостойкостью и технико-экономической эффективностью по сравнению с обычными плотинами из УБ. 2) Эти плотины высотой до 200 м можно строить на скальных основаниях, а высотой до 100 м на нескальных. 3) Следует рассматривать возможность строительства этих плотин в сейсмичных районах России, стран СНГ, Латинской Америки и Азии и российских проектах плотин за рубежом.

Ключевые слова: плотины из особо тощего УБ; камень, упрочненный цементом; экран из геомембраны; скальные и нескальные основания.

ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ СИСТЕМЫ «АРОЧНО-ГРАВИТАЦИОННАЯ ПЛОТИНА – ОСНОВАНИЕ» НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ОПТИМИЗАЦИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СООРУЖЕНИЯ

Учеваткин А.А.

Центральное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Москва

АННОТАЦИЯ

Введение. Обеспечению безопасности гидротехнических сооружений в настоящее время уделяется большое внимание. Особое внимание уделяется крупным эксплуатируемым бетонным гидротехническим сооружениям, запроектированным и построенным в большом количестве в рамках реализации плана электрификации России. Цикличность нагрузок и воздействий, «старение» бетона, непрерывное изменение физико-механических свойств основания под воздействием фильтрационных потоков приводит к появлению необратимых процессов, выражающихся, в частности, появлением систем трещин и обширных зон растягивающих напряжений, которые негативно влияют на общую прочность и устойчивость системы «плотина-основание». Вышеперечисленные обстоятельства, связанные с изменением расчетного напряженно-деформированного состояния высоконапорных бетонных плотин, могут возникнуть также и при ошибках на этапах проведения инженерных изысканий, а так же в ходе разработки проектной документации. Обеспечение отсутствия зон растягивающих напряжений на верховой грани приобретает особую актуальность для сравнительно тонкостенных конструкций арочных плотин, напряженно-деформированное состояние которых связано со свойствами основания, что в сочетании с трещинами может существенно сказаться на их прочности и устойчивости. Таким образом, актуальной проблемой обеспечения безопасности эксплуатируемых бетонных плотин является разработка комплекса конструктивных и технологических решений (с проведением оценки их эффективности с учетом влияния различных факторов), позволяющих выполнить усиление рассматриваемого сооружения.

Материалы и методы. В настоящей работе, для достижения поставленных задач по оценке влияния соотношения модулей упругости системы «арочно-гравитационная плотина – основание» на эффективность конструктивных решений по оптимизации напряженно-деформированного состояния сооружения, используется современный конечно-элементный

программный комплекс. В качестве расчетной модели использован профиль арочно-гравитационной плотины со следующими габаритными характеристиками: ширина гребня 25 м, высота плотины 232 м, длина по гребню 1080 м.

Результаты. Проведенный сравнительный расчетный анализ для плотины с усилением гребня со стороны верховой грани для различных соотношений модулей упругости плотины к основанию (0.01, 1, 2.5, 5, 10) показал существенное повышение эффективности предлагаемого конструктивного решения по усилению в части повышения сжимающих консольных напряжений на верховой грани и устранения возможных процессов трещинообразования.

Выводы. Оценка влияния соотношения модулей упругости системы «арочно-гравитационная плотина – основание» показала, что при различных деформационных характеристиках эффективность предложенных оптимизационных решений, выраженная в добавке к сжатию на верховой грани, возрастает до 584,2 % от первоначального значения. В этой связи необходимо также дополнительно провести сравнительную оценку фактически достигаемых напряжений с пределом прочности бетона на сжатие, и начать комплекс аналогичных исследований, которые позволили бы оценивать предлагаемые мероприятия не только в части улучшения напряженно-деформированного состояния, но и в части оценки несущей способности, в том числе с учетом сейсмических воздействий.

Ключевые слова: безопасность гидротехнических сооружений, оптимизация (усиление) эксплуатируемых арочно-гравитационных плотин, расчет напряженно-деформированного состояния.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ОСНОВЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННЫМ СОСТОЯНИЕМ

Дмитриев Д.С.¹, Учеваткин А. А.²

¹ЗАО «Научно-исследовательский центр Стадио», Москва

²Центральное управление Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору, Москва

АННОТАЦИЯ

Введение. Современные способы оценки технического состояния строительных конструкций (в части механической безопасности), основанные на традиционном визуальном и инструментальном обследовании и успешно используемые для «обычных» зданий и сооружений, недостаточно эффективны при мониторинге водоподпорных гидротехнических сооружений, в том числе в силу, как правило, ограниченного доступа к несущим конструкциям и их элементам, значительной продолжительности сроков выполнения работ, и их чрезмерной трудоемкости. В связи с этим, для гидротехнических объектов возникает необходимость автоматизации процесса мониторинга (что успешно реализуется с помощью систем автоматизированного сбора данных натуральных наблюдений) и диагностики их механической безопасности на основе неразрушающих методов контроля, позволяющих в процессе эксплуатации объекта выявлять на ранней стадии изменения напряженно-деформированного состояния (НДС). Более того, особую актуальность приобретает возможность прогнозирования и регулирования НДС гидросооружений с применением автоматических систем управления (широко внедряемых в области гидроэнергетики, машиностроения и эксплуатации промышленных объектов) при различных гипотетических сценариях их работы, что позволит заблаговременно выявить и предотвратить потенциально опасные ситуации.

Материалы и методы. В настоящей обзорной работе изложены особенности систем мониторинга безопасности гидротехнических сооружений в основе которых лежит аппарат математического и компьютерного моделирования. Представлен аналитический обзор примеров реализации подобных систем и перспективы их развития с учетом применения автоматизированных систем управления напряженно-деформированного состояния (АСУ

НДС). Приведены отечественные и зарубежные примеры эксплуатируемых систем мониторинга.

Результаты. Применение численных, пространственных моделей систем «основание - гидротехническое сооружение - водохранилище» является по сути единственным и безальтернативным способом расширения возможностей систем мониторинга безопасности ГТС. Возможности численного моделирования позволяют увидеть качественно более полную и актуальную картину НДС сооружения и провести прогнозные исследования для огромного числа сценариев нагружения. Современные исследования в области автоматизированных систем управления напряженно-деформированным состоянием позволяют предположить, интеграцию и использование совместно с системами контроля механической безопасности ГТС.

Выводы. Инструментальный мониторинг без опоры на специально разработанные математические «мониторинговые» модели гидротехнического сооружения не представляет значительного практического интереса и, иногда, уводит от осознания реальных проблем. Интегрирование автоматических систем управления НДС в математические системы мониторинга могут оказать существенное влияние на повышение безопасности ГТС с исключением по отдельным направлениям человеческого фактора.

Ключевые слова: мониторинг безопасности, контрольно-измерительная аппаратура (КИА), бетонные плотины, напряженно-деформированное состояние (НДС), численное моделирование, метод конечных элементов, автоматизированная система управления (АСУ).

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ ЗАДАЧ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ В ГРУНТОВЫХ ОСНОВАНИЯХ

Чубатов И.В.¹, Бестужева А.С.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Вследствие аварий, причинами которых могут быть различные факторы, фундаменты сооружений могут давать осадки несовместимые с нормальной эксплуатацией. Одним из методов ликвидации последствий аварии и восстановления нормальной эксплуатации сооружения является метод компенсационного нагнетания.

Сущность метода компенсационного нагнетания заключается в том, что в грунтовый массив основания внедряется специальный строительный раствор, который упрочняет основание и создает дополнительный объем, компенсирующий просадки основания. При этом обеспечивается как прекращение развития осадок, так и последующий подъём дневной поверхности вместе с фундаментом сооружения.

Моделирование процесса нагнетания в грунтовый массив инъекционного раствора производится на основе численных расчетов его напряженно-деформированного состояния (НДС) на основе МКЭ с учетом этапов производства работ. При этом необходимо решить ряд задач, связанных с минимизацией количества инъекционных скважин, устраиваемых под сооружением, их местоположением, подбором порций инъектируемого раствора и пр. Оптимизация схемы проведения работ с учетом ограничений по напряжениям, возникающим в фундаментной плите при неравномерном подъёме, позволяет выбрать определенную последовательность подачи раствора через манжеты инъекторов в грунтовую толщу, определить наиболее эффективный путь подъема и выравнивания фундамента сооружения во избежание нового трещинообразования.

Численные исследования по моделированию восстановления и подъема сооружения на нескальном основании в рамках компенсационного нагнетания на основе расчетов в ПК «The Soil» приводят в своих диссертациях к.т.н. Симутин А.Н., к.т.н. Александров А.В.

В представленной работе численное моделирование НДС основания под фундаментом сооружения при компенсационном нагнетании строительного раствора производится на основе программного комплекса «JulyS», разработанного автором на языке FORTRAN.

Материалы и методы. Программный комплекс расчета НДС сооружения совместно с грунтовым основанием в плоской постановке «JulyS» основан на конечных элементах треугольной формы с линейной аппроксимацией перемещений между узлами. Нелинейное деформирование грунтовой среды описывается моделью упруго-идеально-пластической среды с критерием разрушения Мора-Кулона. Программный комплекс обладает интерфейсом с автоматическим построением сетки МКЭ, программами визуализации исходных данных и результатов расчетов. Теоретическими основами математической модели являются: монография «Метод конечных элементов в технике» под авторством Зенкевича О., книга «Programming the finite element method» под авторством Ian M. Smith, D. Vaughan Griffiths и Lee Margetts, книга «Computational methods for plasticity : theory and applications» под авторством Eduardo de Souza Neto, Djordje Peric и David Owens.

Результаты. Для верификации программы использовались аналитические и численные решения тестовых задач из монографии Зенкевича О. «Метод конечных элементов в технике», примеры из учебного пособия д.т.н., проф. В.Г. Рекач, аналитическое решение задачи Ламе при расчёте толстостенной трубы, решение тестовой задачи в расчётном комплексе PLAXIS с использованием упругопластической модели Мора-Кулона. Полученные результаты позволяют судить об адекватной работе программы «JulyS» при линейной и нелинейной моделях грунтовой среды. Проведено математическое моделирование НДС основания при адресном нагнетании специальных растворов в грунтовую толщу, выполнен анализ эффективности его применения, получено, что положительный эффект подъёма дневной поверхности имеет место при увеличении условного диаметра расширяющейся области в 4 и более раз.

Выводы. Полученные результаты подтверждают возможность численного моделирования процесса адресного нагнетания специального раствора в грунтовую толщу с целью исследования изменения его напряженного и деформированного состояния. Численное моделирование позволяет подобрать отдельные порции по инъекторам и оценить общий объем материала, необходимого для подъема и выравнивания сооружения.

Ключевые слова: метод компенсационного нагнетания, неравномерная осадка, метод конечных элементов, выравнивание здания, подъём здания, численное моделирование, упругопластическая модель Мора-Кулона.

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ «КАМНЕБЕТОНА» В ПОДЭКРАНОВЫХ ЗОНАХ ПЛОТИН С ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫМ ЭКРАНОМ

Гадай Д.В.¹, Бестужева А.С.², Тарасов А.А.³

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

³ Гидротехнический отдел 2, АО «Мособлгидропроект».

АННОТАЦИЯ

Введение. На данный момент в мире построено более 600 плотин с железобетонным экраном, максимальная высота 7 из них уже превышает 200 м. Каменные плотины с железобетонным экраном представляются экономичными и технологичными конструкциями, имеющими преимущества перед другими типами при строительстве в сложных и суровых природно-климатических условиях, в том числе сейсмических. Следуя тенденциям последних лет для решения проблемы трещинообразования в экране, авторами предлагается устройство массивной подэкрановой зоны из «камнебетона», материала, полученного за счёт проливки щебенистой или гравийно-галечниковой отсыпки высотой до 0,5 м, цементно-песчаным раствором с добавкой пластификатора. Наличие подэкрановой зоны из «камнебетона» не только улучшает НДС экрана, но и дает возможность устройства в ней потерн, из которых можно производить ремонтно-восстановительные работы с экраном без сработки водохранилища.

Материалы и методы. Для теоретического обоснования эффективности применения «камнебетона» в конструкциях грунтовых плотин с железобетонным экраном, были произведены ряд расчётов напряженно-деформированного состояния (НДС) плотин в статических и сейсмических условиях. Статическое НДС плотины исследовалось в программном комплексе «STATDAM», в котором на основе метода конечных элементов, в сочетании с методом локальных вариаций, реализована модель грунта, разработанная профессором, д.т.н. Л.Н. Рассказовым. Расчёты сейсмостойкости плотины были проведены в программном комплексе Plaxis в расчете на однокомпонентную акселерограмму с максимальным ускорением 0,4g.

Результаты. В работе проведено исследование НДС плотины с разной шириной подэкрановой зоны, в т.ч. и без подэкрановой зоны. Убедительно показано, что упрочненный цементным материалом подэкрановая зона улучшает НДС железобетонного экрана за счет их совместной работы. Прогибы экрана при наличии широкой подэкрановой зоной

сокращаются в два раза, при этом увеличение напряжений в самой зоне не превышают предела прочности материала, а напряженное состояние экрана улучшается за счет снижения как сжимающих, так и растягивающих напряжений. Исследования НДС плотин с железобетонным экраном и подэкрановой зоной из «камнебетона» показывают в статических условиях, что наличие последней благотворно сказывается на напряженном состоянии плотины, уменьшая как максимальные сжимающие, так и растягивающие напряжения в экране. Осадки плотины с подэкрановой зоной из «камнебетона» уменьшаются примерно на 30%, что для плотины 100-метровой высоты выражается в уменьшении осадок с 41,9 см до 29,8 см, а горизонтальные смещения примерно на 40%, с 28,4 см до 16,4 см. На основе проведенных исследований рекомендуется устройство подэкрановой зоны «средней ширины», что в данной работе соответствует $1/5$ ширины основания.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что подэкрановая зона из «камнебетона» благоприятно влияет на НДС плотины, за счёт восприятия напряжений, передаваемых от экрана на упорную призму плотины в том числе и при сейсмических нагрузках, что проявляется прежде всего в снижении общих деформаций плотины, уменьшения остаточных перемещений после землетрясения.

Ключевые слова: камнебетон, железобетонный экран, каменно-набросная плотина, подэкрановая зона, напряженно-деформированное состояние плотины, сейсмическая нагрузка.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛЕНИЯ ПОДПОРНЫХ СТЕН КОМПОЗИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Лисичкин С.Е.¹, Рубин О.Д.¹, Пащенко Ф. А.²

¹Филиал АО «Институт Гидропроект» - «НИИЭС»

²АО «ПИИНИИ ВТ «Ленаэропроект»

АННОТАЦИЯ

Введение. В целом ряде случаев после длительной эксплуатации потребовалось усиление подпорных стен, в первую очередь, для предотвращения роста смещения верха стен, а также роста растягивающих напряжений в тыловой арматуре. Одним из традиционных способов такого усиления является установка анкерных тяг, закрепляющих верх стен от смещения.

Вместе с тем (при снижении величины смещений верха стен за счет включения в работу анкерных тяг) происходило качественное изменение схем работы подпорных стен. При этом растянутой становилась лицевая грань (вместо тыловой), у которой установлена конструктивная арматура, не предназначенная для восприятия значительных растягивающих усилий, возникающих на лицевой грани стен после качественного изменения схемы работы конструкции.

В свою очередь, потребовалось усиление растянутой лицевой грани подпорной стены. Учитывая, что в настоящее время широкое применение находит усиление железобетонных конструкций внешним армированием из композитных материалов (преимущественно, в промышленном и гражданском строительстве), было предложено усиление лицевой грани внешним армированием из углеродных лент.

Цель работы заключалась в исследовании влияния усиления железобетонных подпорных стен внешним армированием из композитных материалов (углеродными лентами) совместно с анкерными тягами на повышение прочности конструкций.

Материалы и методы. В этой связи были проведены экспериментальные исследования железобетонных моделей подпорных стен, включающие исследования неусиленной конструкции; конструкции, усиленной анкерной тягой; конструкции, усиленной анкерной тягой и внешним армированием из углеродной ленты.

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с методикой физического моделирования гидротехнических железобетонных конструкций.

Результаты. Сопоставление результатов экспериментальных исследований неусиленной модели и модели, усиленной анкерной тягой, показало, что в конструкции с

анкерной тягой значительно уменьшилось перемещение верха модели и снизились напряжения в тыловой арматуре стен. Вместе с тем, произошло изменение схемы работы конструкции подпорной стены. Возникло растяжение на лицевой грани стены, соответственно, значительное раскрытие верхнего и среднего горизонтальных межблочных швов на лицевой грани.

Результаты экспериментальных исследований модели, усиленной анкерной тягой, показало, что после усиления лицевой грани модели углеродной лентой, произошло повышение предельной нагрузки, уменьшение ширины раскрытия горизонтальных межблочных швов на лицевой грани.

Выводы. Изменение схемы работы подпорных стен за счет применения анкерных тяг, с одной стороны, улучшает состояние стен с точки зрения величин смещений верха стен и напряжений в тыловой растянутой арматуре; а с другой стороны – приводит к появлению высоких напряжений в лицевой арматуре и значительному раскрытию швов с лицевой стороны, что потребовало усиление лицевой грани модели углеродной лентой. Анализ результатов экспериментальных исследований железобетонной модели после усиления лицевой грани углеродной лентой показал, что произошло повышение предельной нагрузки на конструкцию, уменьшение ширины раскрытия горизонтальных межблочных швов со стороны лицевой грани. Таким образом, было экспериментально обосновано усиление подпорных стен композитными материалами.

Ключевые слова: подпорные стены гидроузлов; экспериментальные исследования; железобетонные модели; усиление анкерными тягами; усиление углеродными лентами.

ВАЖНОСТЬ СВОЕВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ БЕЗАВАРИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Козлов Д.В.¹, Юрченко А.Н.²

¹ д.т.н., заведующий кафедрой ГиГС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Основой безопасной работы гидротехнического сооружения (ГТС), всего комплекса сооружений, входящих в водохозяйственную систему любого масштаба от небольшой территории и населенного пункта до крупных городских мегаполисов и регионов являются надежность и эксплуатационная работоспособность сооружения. Существенное расширение территории г. Москвы привело к увеличению количества водных объектов различного назначения и необходимости безотлагательного обследования водных объектов и инвентаризации действующих на них гидротехнических сооружений. Потребовалась тщательная оценка их технического состояния, типизация основных видов сооружений, определение их функциональных особенностей.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач были предприняты натурные экспедиционные обследования с использованием имеющейся картографической и технической документации.

Результаты. В процессе обследования выполнен количественный и качественный анализ состояния гидротехнических сооружений, расположенных на территории Новой Москвы. Проанализированы условия их эксплуатации, оценен текущий уровень их безопасности. Выполнен анализ количества гидросооружений, которые отработали установленный срок эксплуатации. При обследовании было установлено, что значительная часть сооружений не имеет собственника и не эксплуатируется, что вызывает необходимость в реализации требований по безопасности этих сооружений и принятии оперативного решения о дальнейшей судьбе таких объектов. Показана необходимость разработки актуального плана мероприятий по обеспечению безопасности гидросооружений без оформленных прав собственности.

Выводы. Исследования показали необходимость создания и ведения единой информационной базы бесхозяйных гидротехнических сооружений с экспресс оценкой их технического состояния и уровня безопасности; сохранение этой базы в ответственной

организации. Для восстановления отсутствующей практически повсеместно исполнительной документации необходимо проведение обмерных работ и воссоздание базового комплекта документации по обследуемым гидротехническим объектам. Необходимо проведение комиссионных обследований первоочередных бесхозных ГТС с подготовкой заключений по сооружениям, представляющим потенциальную угрозу безопасности. Востребовано проведение предварительной оценки первоочередных объемов работ по приведению гидротехнических сооружений в работоспособное безопасное состояние.

Ключевые слова: водный объект, гидротехническое сооружение, безопасность, инвентаризация, обследование, плотина, водосброс.

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕМБРАН В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.
ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КОНСТРУКЦИЯХ
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Сольский С.В.¹, Быковская С.А.²

¹д.т.н., главный научный сотрудник ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева

²младший научный сотрудник ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева

АННОТАЦИЯ

Введение. В докладе освещены проблемы применения геомембран в гидротехническом строительстве на практическом примере технических и технологических нарушений при устройстве противofильтрационного элемента. Также выполнен анализ основных дефектов, встречающихся при использовании геомембран в составе конструкции противofильтрационных элементов.

Материалы и методы. Для выполнения исследования была проанализирована широко известная нормативная и техническая информация, которой руководствуются при обустройстве противofильтрационного элемента (ПФЭ) с геомембраной. Также нами выполнен анализ публикаций по практическому применению геомембран. Следует отметить, что эти источники, рассматривая частные случаи проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений с применением геомембран не дают общего представления о структуре, видах и значимости нарушений, допускающихся на этих стадиях жизненного цикла ПФЭ, а также влияния этих нарушений. Авторами доклада предпринята попытка устранить этот пробел путем выполнения анализа нарушений, встречающихся при применении геомембран в составе конструкции ПФЭ, и на его основе систематизировать основные факторы влияния на итоговое состояние ПФЭ, их виды и возможные управляющих воздействий по их недопущению. Материалами анализа являются данные, полученные нами в процессе выполнения работ по исследованию и экспертизе последствий аварийных ситуаций на крупных гидротехнических объектах, которые достаточно полно и наглядно иллюстрируют на практике основные проблемы обустройства ПФЭ с использованием геомембран.

Результаты. Рассмотрен пример аварийного гидротехнического сооружения, для которого было отмечено непроектное понижение уровней воды из-за утечек через противofильтрационный экран. Этим объектом является искусственное озеро в особой экономической зоне туристско-рекреационного типа муниципального образования

«Майминский район» Республики Алтай, которое было запроектировано и построено в 2008-2012 г.г. и предназначено для организации отдыха, туризма и рекреации. В ходе работы, специалистами отдела «Основания, грунтовые и подземные сооружения» АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева» были установлены причины возникновения утечек, выявлены участки усиленной фильтрации, разработаны рекомендации по ее устранению. Анализ подобных примеров и данных литературных источников, позволил выполнить некоторые обобщения по типовым дефектам геомембран, видам их проявления, основным причинам возникновения, а также дать рекомендации для недопущения этих нарушений.

Выводы. Проведенный анализ применения геомембран в ПФЭ показывает комплексность сопутствующих проблем. Геомембрана, сама по себе являясь прекрасным гидроизоляционным материалом, не является панацеей в роли противofильтрационного устройства без соблюдения ряда правил и условий ее использования. Проблемы применения геомембран в гидротехническом строительстве можно разделить на три основных направления: во-первых это недостаточность норм и требований для обоснования технических решений по проектированию ПФЭ с геомембранами, во-вторых недостаточность норм и требований при производстве работ по устройству таких ПФЭ и в третьих – недостаточность норм и требований для условий их эксплуатации.

Ключевые слова: геомембрана, рулонные геосинтетические материалы, гидроизоляция, противofильтрационный.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА БЕТОННОГО МАССИВА ПРИ ЕГО ВОЗВЕДЕНИИ

Анискин Н.А.¹, Нгуен Чонг Чык², Фан Хань Хань³

¹ д.т.н., директор института ИГЭС НИУ МГСУ

² аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

³ студент института ИГЭС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Введение. Применение поверхностной теплоизоляции является простым, относительно экономичным и эффективным мероприятием по регулированию температурного режима возводимых бетонных массивных плотин. Она может использоваться как в зимний период возведения, так и летом. В процессе зимнего бетонирования теплоизоляционное покрытие позволяет повысить температуру на поверхности сооружения и снизить температурный перепад между центром массива и его поверхностями. В летний период, наоборот, использование теплоизоляции позволяет предотвратить чрезмерный нагрев поверхности. Защита бетонных поверхностей от внешнего температурного воздействия необходима при длительных перерывах в бетонировании для консервации бетонных блоков.

Применение поверхностной теплоизоляции позволяет снизить разницу температуры между поверхностью и нагретым в результате экзотермии цемента центром бетонного блока. При применении этого мероприятия важно выбрать тип и материал теплоизоляции, ее толщину. Также необходимо выдерживать бетонную конструкцию под теплоизоляцией определенное время. Преждевременное удаление теплоизоляции может вызвать растрескивание поверхности сооружения. Вместе с тем, использование теплоизоляции задерживает отвод тепла и увеличивает время охлаждения конструкции, что может снизить положительный экономический эффект от ее применения. Актуальной задачей сегодня при использовании теплоизоляции является оптимизация ее конструкции и параметров исходя из требований к температурному режиму, максимальной скорости охлаждения массива и времени использования.

Целью настоящей работы является расчетная оптимизация поверхностной теплоизоляции массивного бетонного блока при различных температурных условиях.

Материалы и методы. Рассматривается температурный режим возводимого бетонного массива с использованием поверхностной теплоизоляции двух вариантов по ее материалу: из полистирола и песка. Расчеты выполнены с использованием программного комплекса «Midas Civil» на основе численного метода конечных элементов. Для анализа и обработки результатов численного моделирования использована программа Matlab.

Результаты. В результате численного моделирования получены изменения во времени максимальных температур и температурных напряжений возведенного бетонного блока для варианта без использования поверхностной теплоизоляции и при ее устройстве из полистирола или песка. Исследования проведены для трех вариантов температурного воздействия окружающей среды – для температуры воздуха равной 26,5°C, 17°C и 5°C (характерные температуры для климатических условий Северного Вьетнама). Получены функции максимальной температуры для различных условий по температуре воздуха и материалу теплоизоляции. Даны рекомендации по выбору оптимальной толщины слоя теплоизоляции.

Выводы. Использование поверхностной теплоизоляции позволяет эффективно регулировать температурный режим возводимого бетонного блока в части уменьшения температурного перепада между центром блока и его верхней поверхностью. Это позволяет исключить возможность температурного трещинообразования. Для рассмотренных условий возведения получены оптимальные толщины теплоизоляционных слоев. Использование полистирольной изоляции более эффективно с точки зрения технологичности, чем использование изоляции в виде слоя песка. Толщина полистирольной изоляции, превышающей 1,5 см, обеспечит отсутствие температурного трещинообразования применительно к климатическим условиям северного Вьетнама.

Ключевые слова: температурный режим, численное моделирование, теплоизоляция, температурное трещинообразование.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖСЕКЦИОННЫХ ШВОВ БЕТОННЫХ ПЛОТИН ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Доронин Ф. Л.

к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты теоретических расчетов напряженного состояния, возникающего в межсекционных швах бетонных плотин при действии динамической импульсной нагрузки. Предложена методика расчета напряженно-деформированного состояния межсекционных швов двумя различными методами, проведено сравнение методов с данными натурных испытаний. Приведена оценка напряженного состояния швов массивно-контрфорсной плотины при действии сейсмической нагрузки.

Ключевые слова: динамическое воздействие, ударная волна, межсекционный шов, напряженно-деформированное состояние, собственная частота, бетонная плотина.

О РАБОТЕ ПЛОТИН И ПОДПОРНЫХ СТЕН ЯЧЕИСТОЙ КОНСТРУКЦИИ В ГИДРОТЕХНИЧЕСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Зимнюков В.А.¹, Зборовская М.И.¹

¹ к.т.н., доцент кафедры ГС РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. Ячеистые конструкции гидротехнических сооружений применяются практически во всех сферах водного хозяйства (плотины, здания ГЭС, наплавные блоки ГЭС, ледостойкие стационарные платформы (ЛСП), подпорные стенки; металлические, ж/б ячеистые конструкции моллов, набережных, причалов, доков и др.). Эти конструкции просты по форме, легко вписываются в любой существующий рельеф, для их заполнения применяются любые местные материалы, что ускоряет сроки строительства и удешевляет их стоимость при достаточной прочности и надёжности. Также самое широкое применение находят ячеистые конструкции в других отраслях, особенно связанных со складированием различных материалов.

Сложность объемной работы комплекса "ячеистый каркас-грунт засыпки-грунт основания" создает трудности при экспериментальном и расчетном изучении работы комплекса при статических воздействиях, на сдвиг, температурных воздействиях с учетом накопленных к настоящему моменту данных и физических предпосылок о работе таких конструкций. Но, очевидно, что решение данной задачи, пусть и постепенно, позволит лучше управлять работой ячеистых конструкций, усовершенствовать их, выявить резервы, что даст возможность сделать их более конкурентоспособными по сравнению с другими бетонными и грунтовыми плотинами.

Материалы и методы. На сегодня задача определения давления материала на дно и стенки цилиндрической ёмкости является одной из классических в механике сыпучих сред. Действующие строительные нормы и правила базируются на решении Янсена, в которое вводится ряд поправочных эмпирических коэффициентов. Для использования решения Янсена необходимы конкретные данные о величине бокового распора, причем его рекомендуемые значения варьируются в весьма широких пределах. Также обозначено довольно много факторов, влияющих на величины напряжений: порядок заполнения ячейки, деформативность ячейки, грунт основания, влажность грунта и другие. Существенное влияние влажности песка на его поведение отмечают многие авторы сегодня - преобладание сил капиллярного сцепления над другими составляющими межчастичного взаимодействия в

трехфазных системах особенно заметно для частиц диаметром более 10 мкм и вплоть до 1-2 мм и более. Мы предлагаем учесть эти силы в формуле давления грунта в ячейке Янсена и сегодня сам факт влияния влажности на давление засыпки в ячейке и на характер и величину параметров устойчивости ячеистых конструкций не вызывает сомнений.

Также много проблем выявляется и при анализе эксплуатации современных тонкостенных силосов для хранения зерна, для которых поднимаемые в статье вопросы сегодня даже более жизненны.

Результаты. В процессе эксперимента с одиночными ячейками получены данные о поведении крупнозернистого и мелкозернистого заполнителя и мелкого песка разной влажности при высыпании из ячейки, свидетельствующие о влиянии высоты ячейки и влажности песка на величину зависания засыпки на стенках ячейки. По результатам испытаний построены соответствующие графики.

Выводы. Установлено, что чем больше влажность грунта-засыпки, тем медленнее происходит процесс его высыпания из формы и при этом возрастает напряжение, вызванное взаимодействием молекул воды, содержащихся в грунте засыпки, с его частицами на боковой контактной поверхности засыпки с каркасом ячейки. Так же, благодаря проведённым опытам, может быть установлена зависимость поведения грунта различной влажности от его гранулометрического состава при его взаимодействии с ячеистыми фрагментами, отличающимися по геометрическим параметрам. Для воспроизведения работы комплекса «каркас ячейки - грунт засыпки - основание» методами численного эксперимента следует учитывать возможность постепенного отступления от допущений и условностей, принимаемых при сборе нагрузок на оболочку, а также при моделировании условий контакта оболочки с наполнителем и с грунтом основания, поскольку сравнение экспериментальных и расчетных данных указывает на несоответствие расчетных значений напряжений действительным при существующей традиционной методике компьютерного моделирования подобных сооружений. Также считаем необходимым отметить, что проведение расчётных исследований по современным программным комплексам, например MIDAS GTS NX, требует изучения характеристик грунта с учётом его пластической работы и приближения к реальным условиям строительства.

Ключевые слова: ячеистая конструкция, давление грунта засыпки, формула Янсена, поверхностное натяжение, влажность грунта засыпки, капиллярное сцепление.

РЕМОНТ НЕФТЕНАЛИВНОГО ПРИЧАЛА ДЛЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ

Котицына С.С.¹, Корчагин Е.А.²

¹ студентка института ИГЭС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящей работе приводятся результаты обследования причала №1 нефтегавани Шесхарис с целью разработки рациональных решений по восстановлению исправного рабочего состояния причала, а также условий содержания причала в процессе его эксплуатации.

Основными конструктивными элементами являются: технологическая площадка с системой стендеров-шлангоподъемников, швартовные и швартовно-отбойные палы, а также соединительная (с технологической площадкой) эстакада.

Развитие коррозионных повреждений технологической площадки происходит в первую очередь происходит на сварных стыках элементов, составляющих коробчатые балки, а также на соединениях свай с конструкциями платформы. В значительной степени коррозии подвержены конструкции служебных проходов. Отдельные элементы имеют сквозную коррозию, и их дальнейшая эксплуатация небезопасна.

Наиболее уязвимой зоной каждой сваи сооружения является зона смачивания, следовательно, в данной зоне сваи имеют наименьшую остаточную толщину. Повреждения свай швартовных и отбойных палов в подводной части практически отсутствуют, что свидетельствует об эффективной работе защиты элементов.

Материалы и методы. Используются данные толщинометрии и визуального (подводного и надводного) обследования сооружения. Толщинометрия свайного основания проводилась на каждой свае всех элементов конструкций сооружений. Точка снятия отсчёта выбиралась в зоне смачивания.

Методика определения остаточного ресурса свай швартовных палов включала следующие этапы:

- вычисление путем расчета по методу конечных элементов усилий и напряжений в сечениях свай, наиболее подверженных коррозии;
- определение предельного износа металла (остаточной толщины стенки), при котором исчерпывается несущая способность сваи по прочности;

- выбор функциональных зависимостей, описывающих процесс износа металла стенок свай (экстраполяция результатов натуральных обследований);

- определение момента времени, когда коррозия металла достигает предельного значения.

Результаты. Результаты толщинометрии показали, что статочная толщина практически всех несущих свай, за исключением швартовно-отбойных палов, составляет менее 90% от проектной толщины.

Свайное основание технологической площадки имеет показатель износа около 44%, а также отдельные элементы верхнего строения нуждаются в замене и восстановлении.

Согласно полученным результатам расчета остаточного ресурса, некоторые сваи швартовых палов А1-А8 потеряют свою несущую способность в течение 3-6 лет, следовательно, требуют капитального ремонта для восстановления несущей способности.

В состав подготовительного этапа, помимо постройки временных зданий, складов и мастерских, следует включить тщательную очистку поверхности металлических свай и покрытие её антикоррозионными материалами.

Основной этап включит в себя:

- водолазное обследование акватории причала;
- демонтаж технологической площадки;
- срезка верха эксплуатируемых свай до отметки;
- забивка свай из стали К60 Ø1320 мм внутрь эксплуатируемых;
- заполнение внутренних свай бетоном способом ВПТ;
- монтаж металлического ростверка и покрытие антикоррозионным материалом;
- проведение коммуникаций для перевалки нефти;
- установка перильных ограждений и средств пожаротушения;
- устройство защитной рубашки на сваях палов А1-А8 путем сварки «насухо»;

Выводы. Главное условие сохранения несущей способности элементов сооружения на уровне проектных требований – осуществление регулярного мониторинга состояния элементов, подверженных интенсивной коррозии, а также своевременный ремонт. При этом также регулярно должна производиться замена защитного покрытия, не допуская распространения очагов поверхностной коррозии на площади элемента свыше 25 – 30%.

Ключевые слова: рабочее состояние, несущая способность, технологическая площадка, швартовый пал, коррозионное повреждение, остаточная толщина, остаточный ресурс, толщинометрия, антикоррозионное покрытие.

ПОВЫШЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛАБЫХ ГРУНТОВ ПОРТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ

Николаев П.А.¹, Корчагин Е.А.²

¹ студентка института ИГЭС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Районы строительства портовых сооружений характеризуются сложными инженерно-геологическими условиями. Это и залегание слабых грунтов большой мощности и необходимость учёта сейсмических воздействий. Решение подобных задач традиционными нормативными методами приводит к значительным затратам и увеличению сроков строительства.

Применяемые в настоящее время методы проектирования портовых сооружений с применением компьютерных технологий и математических методов расчёта не в полной мере обеспечивают достаточно надёжную их эксплуатацию. Это связано с предпосылками, заложенными в компьютерные программы. Вместе с тем известно большое число методов расчёта причальных сооружений, применявшихся в проектировании, а реализация объектов показала достаточно надёжную их эксплуатацию (1). Ввод в толщу слабых грунтов связующего материала изменяет его физико – механические и сейсмические свойства, что сказывается на расчётных нагрузках испытываемых сооружением.

Таким образом, настоящая работа направлена на оценку сейсмических свойств закреплённого грунта и идентификации их физико-механических свойств.

Материалы и методы. Используются акустические сейсмометрические методы. Для закрепления слабых грунтов использован сульфатостойкий портландцемент. Расчёты производились одним графоаналитическим методом Блюм – Ломейера. Используются результаты испытаний илоцементных композиций на вертикальную нагрузку. Используются результаты натурных наблюдений реализованного причального сооружения.

Результаты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что закрепление слабого илистого грунта вяжущим материалом и идентификация физико-механических свойств грунта сейсмометрическими методами даёт существенное снижение расчётных нагрузок на сооружение.

Выводы. Установлено, что применимость закрепления илистых грунтов вяжущим материалом, в частности сульфатостойким портландцементом марки 400 существенно

изменяет физико-механические свойства грунта. По глубине закрепления свойства грунта изменяются. В дальнейших исследованиях целесообразно с использованием крупномасштабного моделирования определить доли снижения расчётных характеристик грунта по сравнению с нормативными их значениями, определёнными сейсмометрическими методами.

Ключевые слова: илистый грунт, портландцемент, сейсмометрический метод, натурные испытания, причальное сооружение.

ПРОТИВОПАВОДКОВЫЕ И СЕЛЕЗАЩИТНЫЕ ГРУНТОВЫЕ ПЛОТИНЫ С ФИЛЬТРУЮЩИМ ВОДОСБРОСОМ

Малаханов В.В.

к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Введение. Ливневые дожди, характерные для зон субтропического климата России на черноморском побережье Северного Кавказа, муссонные дожди на Дальнем Востоке и весенние половодья на реках России в последние десятилетия стали порождать наводнения, наносящие все более значительный экономический и социальный урон. Имеются несколько причин такого развития событий. Во-первых, это связано с глобальным потеплением, сопровождающимся изменением привычного климата во многих странах мира, во-вторых, освоением территорий вблизи рек и застройкой берегов рек в зоне воздействия паводков. В некоторых горных регионах России изменение климата сказывается и на увеличении опасности формирования оползней и схода селей.

Для решения проблемы снижения убытков от паводковых затоплений применяются различные подходы. Во-первых, это возведение больших комплексных (противопаводковых и энергетических) гидроузлов на реках, которое, однако, связано с большими капиталовложениями, длительными сроками строительства, со значительными неблагоприятными экологическими и социальными проблемами. Более рациональным является создание системы чисто противопаводковых небольших плотин в верховье реки и на ее притоках и комплексного гидроузла с меньшей аккумулирующей емкостью водохранилища, чем в случае строительства большого гидроузла на реке. Такой подход широко применяется во многих странах, где паводки охватывают значительные территории (Австралия, Индия, Испания, Китай, США и др.).

В статье рассматриваются конструкции противопаводковых и селезащитных грунтовых плотин, которые можно применять для создания водохранилищ, аккумулирующих паводки и сели в верховьях рек и на их притоках. Традиционно для сброса паводковых расходов применяют водосбросы, конструкции которых в составе гидроузлов с грунтовыми плотинами отличаются значительным разнообразием конструктивных решений: быстротокки, шахтные, башенные, вихревые и т.п. Такие традиционные конструкции водосбросов весьма трудоёмки, а их стоимость сопоставима со стоимостью плотин. Одним из экономичных типов водосбросов являются фильтрующие водосбросы, которые

обеспечивают пропуск воды путём фильтрации её через тело плотин, отсыпанного из горной массы или галечникового грунта и обладающими значительной проницаемостью.

Материалы и методы. Приводится краткий исторический обзор применения фильтрующих насыпей, дамб и плотин, в основном, на анализе работ отечественных инженеров и ученых, первыми предложившими пропускать воду через крупнозернистые грунты (горную массу, щебень, гравий), из которых возведены сооружения. Основное внимание уделено представлению конструкций грунтовых плотин с фильтрующими водобросами, запатентованными автором статьи. Основной отличительной чертой предлагаемых грунтовых плотин является совмещение их с фильтрующими водобросами. Для оценки пропускной способности фильтрующих водобросов предложен гидравлический метод расчета фильтрации через крупнозернистые грунты с турбулентным режимом фильтрации.

Результаты. Дается пример определения пропускной способности фильтрующего водоброса с водоприемником в виде уголковой подпорной стены на грунтовой плотине с экраном. Показано, как меняется удельный расход воды по мере увеличения напора на водоприемнике.

Выводы. Показаны перспективы применения фильтрующих водобросов на грунтовых плотинах из крупнозернистых материалов взамен традиционным конструкциям водобросов в виде быстотоков, шахтных, вихревых, башенных, что приводит к значительному удешевлению плотин.

Ключевые слова: паводки, грунтовые плотины, фильтрующие водобросы.

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТНЫХ И ИНЕРЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОЛНОВЫХ НАГРУЗОК ПРИ ОЦЕНКЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Жарницкий В.Я.¹, Андреев Е.В.²

¹д.т.н., профессор кафедры Сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

²к.т.н., доцент кафедры Сельскохозяйственного строительства и экспертизы объектов недвижимости, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. При эксплуатации гидротехнических сооружений они непрерывно испытывают воздействие различных нагрузок. Одним из наиболее постоянных видов воздействия на гидротехнические сооружения являются воздействия набегающего волнового потока. Влияние такого рода нагрузок может быть контролируемым процессом при условии наличия эксплуатирующей организации и регулярных мероприятий по мониторингу Эксплуатационного состояния гидротехнического сооружения. Поэтому для обеспечения контроля таких показателей ещё на стадии проектирования гидротехнических сооружений учитываются особенности воздействия волн в эксплуатационный период.

При рассмотрении рекомендаций общепринятых стандартов и применив эти понятия к гидротехническим сооружениям можно выразить понятие надёжности, как сложное свойство как системы в целом, так и её отдельных элементов, которые должны соответствовать определённым параметрам в заранее установленных пределах скажем за известные временной период времени. При рассмотрении таких понятий как долговечность и безотказность применительно к гидротехническим сооружениям их разница становится очевидной ввиду того, что плотины эксплуатируются непрерывно и в отличие от отдельно взятых технических систем их нельзя в одночасье вывести из эксплуатации для проведения регламентных работ.

Результаты. При рассмотрении эксплуатационных показателей, сохраняющих свои свойства, и параметров в заданных границах в определённый период времени, такие показатели можно принять как некий стандарт качества, при котором остаточный ресурс гидротехнического сооружения можно выразить в виде характеристики качества, которая может меняться во времени. Кроме этого ввиду небольшого воздействия параметров на форму волны, высоту наката на гидротехническое сооружение можно принимать равной

возвышению гребня волны η над расчётным уровнем. Справедливость таких предположений очевидна при условии $d/\lambda \leq 0,2$ (здесь: d - линейная величина характерного размера поперечного сечения конструктивного элемента гидротехнического сооружения), при $d/\lambda \geq 0,2$ уже возникает необходимость учёта интерференции и дифракции волн, при этом требуется провести дополнительные гидродинамические расчёты. Для варианта $d/\lambda \leq 0,2$ определение воздействия волн на обтекаемые преграды, в основном, происходит с использованием теории Морисона, предположение которой основано на том, что нагрузка от набегающего волнового потока раскладывается на две части. Связь второй части более отчётливо просматривается с наличием граничного слоя на обтекателе гидротехнического сооружения и образующегося вслед за ним вихревым потоком. Определить данную часть возможно с помощью установления скоростного напора и коэффициента сопротивления преграды.

Выводы. Выражаются устойчивые показатели влияния волновых нагрузок на обтекаемые преграды водохозяйственных объектов в зависимости от скоростных и инерционных критериев, а также от геометрических характеристик самих преград, такие как скоростные показатели нагрузок, образующихся в результате набегания волн на обтекаемые препятствия водохозяйственных объектов в достаточной степени, отличаются от гармонической функции; соотношение между скоростными и инерционными показателями зависимо от отношения диаметра препятствия водохозяйственного объекта D к высоте ударяющихся об него волн h , таким образом при небольших D и больших h значительным будет влияние скоростного критерия, а с увеличением значения D будет увеличиваться значение инерционного показателя; между показателями P_i и P_v чётко прослеживается сдвиг по фазе на $\pi/2$, одновременно с этим наибольшие суммарные воздействия образуются в различной фазе в соответствии с значениями показателей скоростных и инерционных критериев.

Ключевые слова: волновые нагрузки, эксплуатационная надёжность, период наблюдений за гидротехническим сооружением, степень износа, безопасность сооружения, долговечность сооружения, эксплуатация гидротехнических сооружений.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ УСТОЙЧИВОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ ДАМБЫ ХВОСТОХРАНИЛИЩА С УЧЕТОМ СЕЙСМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Тер-Мартиросян А. З.¹, Сергеев С.А.², Ермошина Л.Ю.³

¹ д.т.н., профессор кафедры МГиГ НИУ МГСУ

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

³ аспирант кафедры МГиГ НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена расчету устойчивости откосов ограждающей дамбы хвостохранилища с учетом сейсмического воздействия. Приведено сопоставление расчетных коэффициентов устойчивости, полученных инженерным (ПК «Откос») и численным (ПК PLAXIS 2D) методами. Дополнительно был определен коэффициент устойчивости откосов дамбы прямым динамическим методом с учетом порового давления.

Ключевые слова: устойчивость, сейсмическая нагрузка, грунтовая плотина, инженерные методы расчета, численные методы расчета.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕСТНЫХ ПОЛИМИНЕРАЛЬНЫХ ГЛИН В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СПОСОБОМ «СТЕНА В ГРУНТЕ»

Собкалов Ф.П.

научный сотрудник ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева

АННОТАЦИЯ

Введение. В последнее время все большую актуальность приобретает проблема экологической реабилитации техногенно-нагруженных территорий в разных регионах Российской Федерации.

В этой связи все более востребованным становится технологичный способ «стена в грунте», который применяется для создания траншейных противодиффузионных завес (ПФЗ) с целью инженерной защиты подземных и поверхностных вод от попадания в них загрязненного фильтрата.

В большинстве случаев в технологии производства работ на первом этапе создания траншейных ПФЗ безальтернативно используются дорогостоящие бентонитовые глины для приготовления тиксотропных растворов, выполняющих ряд важнейших функций при создании стен в грунте: создание противодействия на стенки траншеи и предотвращение обрушения стенок в процессе проходки траншеи; образование глинистой корки на стенках траншеи; вынос выбуренной породы из скважин с помощью эрлифта или насосов при проходке траншей буровфрезерными машинами; удержание выбуренной породы во взвешенном состоянии.

Для решения актуальной проблемы инженерной защиты территорий большой площади, которые требуется оградить от вредных воздействий накопителей отходов, экономически оправдано использовать местные полиминеральные глины из месторождений, расположенных в районе возведения ПФЗ, для создания тиксотропных растворов и качественных противодиффузионных материалов-заполнителей траншеи.

В данной работе проведена оценка эффективности разработанной автором методики комплексного использования местных полиминеральных глин (МПГ) для завес большой протяженности, создаваемых способом «стена в грунте», в рамках разработки проекта рекультивации четырех накопителей высокотоксичных отходов бывшего «Средне-Волжского завода химикатов» (АО «СВЗХ») в городе Чапаевск Самарской области.

Материалы и методы. Апробация инновационной методики комплексного использования МПГ осуществлялась с использованием глин и глинистых грунтов местного Преображенского карьера, расположенного вблизи АО «СВЗХ» и включала в себя: 1. Предварительную оценку качества глинистого сырья из карьера; 2. Разработку рецептур тиксотропных растворов на основе МПГ и управление показателями эксплуатационных параметров растворов; 3. Разработку рецептур противofильтрационного материала-заполнителя траншеи и улучшение его качественных характеристик.

Оценка эффективности «работы» противofильтрационной завесы, созданной способом «стена в грунте» по методике комплексного использования МПГ, была осуществлена на численной геofильтрационной модели с помощью Processing Modflow.

Результаты. Исходные характеристики «чистого» раствора на основе глин Преображенского карьера в соответствии с методикой были доведены до нормативных (по СП45.13330.2017) показателей с помощью химической обработки глинистого раствора добавкой КМЦ. Разработанный на основе глин и глинистых грунтов Преображенского карьера материал-заполнитель траншейной завесы, показал в ходе экспериментальных исследований в лабораторных условиях качественные противofильтрационные характеристики – коэффициент фильтрации - до 10^{-5} м/сут. Показателем эффективности проектных решений по созданию ПФЗ на численной геofильтрационной модели явилось исключение из фильтрационного потока участков с реализованной противofильтрационной защитой.

Выводы. На конкретном примере показана экономическая эффективность методики комплексного использования местных полиминеральных глин в строительстве способом «стена в грунте», составившая только на уменьшении стоимости тиксотропного раствора 250 млн. рублей

В перспективе разработанная методика может стать основой для создания отдельного нормативного документа, регламентирующего использование местных полиминеральных глин в технологии строительства способом «стена в грунте», значительно повысив его конкурентоспособность в строительной практике.

Ключевые слова: противofильтрационная завеса, противofильтрационные материалы, тиксотропный раствор, комплексное использование местных полиминеральных глин, бентонитовые глины, местные полиминеральные глины, качество глин, способ стена в грунте, комовая глина, рекультивация.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЛИННЫХ ВОЛН НА БЕРЕГОВЫЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

Кантаржи И.Г.¹, Губина Н.А.², Гусаров Р.Н.³

¹д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

²к.т.н., директор ИДО НИУ МГСУ

³аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

В докладе рассматриваются основные направления изучения и моделирования волн-цунами, а также более подробно разберем физическое моделирование воздействия данных волн на береговые гидротехнические сооружения. При изучении такого явления, как цунами, физическое моделирование дает дополнительную информацию о взаимодействии волн с различными берегозащитными сооружениями и помогает выявить слабые места, даже у самых сложных и укрепленных конструкций.

Ключевые слова: цунами, физическое моделирование волн цунами, береговые гидротехнические сооружения.

РАЗРУШЕНИЯ В ПОРТУ, ПРОИЗВОДИМЫЕ ВОЛНАМИ ЦУНАМИ

Котицына С.С.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ студентка института ИГЭС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Цунами – крупные волны, порождаемые мощным воздействием на всю толщу воды в океане или другом водоеме. Самая распространенная причина данного явления – подводное землетрясение, во время которых происходит резкое смещение участка морского дна. Таким образом, Великое восточно-японское землетрясение, произошедшее 11 марта 2011 года и ставшее четвертым по силе за всю историю сейсмических наблюдений в мире, вызвало сильное цунами, которое в свою очередь произвело массовые разрушения на северных островах японского архипелага.

Катастрофический ущерб был нанесен портам префектур Иватэ, Мияги и Фукусима. Волноломы, спроектированные по опыту прошлых бедствий, были полностью разрушены, в результате чего произошло затопление восточного побережья острова Хонсю.

Материалы и методы. Во многих портах восточного побережья острова Хонсю были проведены полевые работы, целью которых являлись выявление дефектов и разрушений, образовавшихся в результате цунами, обнаружение следов распространения цунами и фиксирование их высотных отметок. Также было выполнено численное моделирование распространения волны по побережью с целью выявления факторов, влияющих на распространение и высоту цунами.

Выводы. Было установлено, что разрушенные и поврежденные волноломы, безусловно, не спасли территории портов и прилегающие к ним земли от затопления, однако, они значительно уменьшили высоту цунами. Также обследования акватории портов показали, что сильными донными течениями, образованными волной цунами, был существенно изменен рельеф дна портов, что в свою очередь привело к разрушению подводной части причальных сооружений, и, как следствие, произошли значительные просадки, а также крен верхнего строения причальных сооружений.

Что касается прилегающих к портам территории, было обнаружено, что на высоту цунами влияют географические особенности побережья и место расположения порта.

Однако, в клинообразных бухтах во время прилива возникает не менее опасное явление, называемое бором, - волна или водный поток, характеризующийся наличием почти вертикального переднего фронта.

Явления крупных волн, таких как цунами и бора, наносят катастрофический ущерб причальным и оградительным сооружениям, либо же полностью их разрушают, следовательно, исследования, направленные на объективный и правильный учёт воздействия данных волн актуален. Также требуется дальнейшая разработка нормативной документации для проектирования зданий и сооружений на цунамиопасной территории. Кроме того, при проектировании зданий и сооружений на цунамиопасной территории следует не только производить дополнительные расчеты на устойчивость, но и учитывать географические особенности ближайшего побережья.

Ключевые слова: волнолом, высота волн цунами, бухта, следы распространения цунами, против-волновая дамба, прибойная набережная, причальное сооружение.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ТЕЧЕНИЯ И ВОЛН

Гогин А.Г.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Трубопроводный транспорт является одним из наиболее стратегически важных для России с наибольшим грузооборотом транспортируемого сырья. Часто трасса трубопровода пересекает водные преграды, в связи с чем возникает необходимость прокладки трубопровода по дну. Проектирование морских подводных трубопроводов является сегодня одной из актуальных инженерных задач с большим спектром поднимаемых вопросов, требующих научного обоснования и сопровождения. Одной из главных проблем, возникающих при укладке трубопровода под воду, является его положительная плавучесть. Большое влияние на устойчивость трубопровода, уложенного на морское дно, оказывает также неоднородность этого дна, его прочностных и деформационных характеристик, а также внешние природные факторы – течение, волны (для относительно небольших глубин) и движение ледовых образований. Часто для защиты от внешних воздействий подводный трубопровод укладывают в траншею и впоследствии засыпают грунтом. В этом случае важным вопросом является определение необходимой и достаточной глубины заглубления трубопровода в грунт, которая будет технологически возможна и экономически оправдана. Для оценки устойчивости подводного трубопровода, который должен быть проложен в море, необходима оценка ожидаемых нагрузок, которые будут возникать в процессе укладки и эксплуатации трубопровода. Устойчивость трубопровода на дне имеет особое значение на мелководье (т. е. на участках берегового примыкания, где волновая нагрузка и нагрузка от течений особенно высока). Работа содержит общие идеи, положения и методы расчета нагрузок на трубопровод от течения и волн, применяемые как в отечественной практике, так и в зарубежной, и может быть полезна в качестве обзора современного проектирования и оценки безопасности эксплуатации подводных трубопроводов.

Материалы и методы. Для описания морских волн в контексте воздействия на трубопровод обычно используются две основные теории волн: линейная волновая теория (теория Эйри) и волновая теория, разработанная Стоксом, которая часто встречается с указанием порядка вплоть до пятого. Нагрузка на подводный трубопровод от волн зависит, в

первую очередь, от скорости волнового движения частиц воды вблизи морского дна. Поэтому для определения нагрузок от волн на трубопровод проще всего использовать линейную волновую теорию, для которой получаемые скорости движения частиц воды вблизи дна имеют удовлетворительную сходимость с измеренными данными. Однако волновые теории более высокого порядка могут дать более точный результат.

Результаты. В работе проанализированы обе основные методики расчета нагрузок от волн и течений на подводный морской трубопровод, получены выражения для определения устойчивости трубопровода на дне. Проведено сравнение полученных выражений с отечественными и зарубежными нормативными документами. Рассмотрены следующие основные расчетные случаи положения трубопровода на дне, в которых трубопровод будет по-разному устойчивым: трубопровод в открытой траншее; трубопровод в засыпанной траншее; трубопровод, уложенный на морское дно, но пригруженный дополнительно каменными призмами. Кроме этого, рассмотрен случай прокладки двух ниток подводных трубопроводов в одной траншее.

Выводы. Установлено, что отечественная нормативная документация на сегодняшний день не является полной с точки зрения анализа горизонтальной (от сдвига) и вертикальной (от всплытия) устойчивости трубопровода, что вынуждает обращаться к зарубежным нормам. Из-за чего возникает путаница в применяемых теориях, обозначениях и формулировках, что может приводить к ошибкам проектирования.

2. Актуальной задачей является разработка базы понижающих коэффициентов гидродинамических нагрузок, действующих на расположенный в открытой траншее трубопровод, для их использования в качестве справочного материала.

3. Вследствие вероятности разжижения грунтов под действием волн и колебаний самого трубопровода, следует проверять устойчивость трубопровода на всплытие в разжиженном грунте в любом случае, а не только при расположении трассы в сейсмически опасных районах.

4. Дальнейшего более подробного рассмотрения с точки зрения гидродинамического взаимодействия требует случай расположения двух ниток трубопроводов в одной траншее.

Ключевые слова: морской подводный трубопровод, устойчивость трубопровода, нагрузки на трубопровод от течения и волн

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА ТОПЛИВА В ПОРТУ

Круковец А.Е.¹, Кантаржи И.Г.²

¹ студентка института ИГЭС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Строительство на Черноморском побережье яхтенной марины для приема и стоянки яхт международного класса призвано развивать яхтенный и круизный туризм. Режим работы яхтенной марины - круглогодичный, круглосуточный. Для оценки влияния проектируемых сооружений на состояние водной среды выполнено моделирование процессов водообмена акватории марины с открытым морем при расчетных гидрометеорологических условиях. Проведено моделирование гипотетического аварийного сброса топлива в акваторию проектируемой марины города Сочи.

Материалы и методы. Для моделирования гидродинамических полей внутри и в области вокруг порта Сочи использована трехмерная численная модель на неструктурированных сетках SELFE, предназначенная для расчета гидродинамических полей в озерах, эстуариях и прибрежных зонах морей. Рассчитаны трехмерные поля течений до и после реконструкции порта для трех сценариев гидрометеорологических условий: слабый ветер - 5м/с, умеренный - 10м/с, сильный ветер - 15м/с. Направление ветровых течений ЮЮВ.

Влияние стратификации и крупномасштабной циркуляции Черного моря на течения внутри и вокруг порта марины не учитывалось, направление ветра совпадало с направлением основного Черноморского течения.

Для моделирования аварийного разлива дизельного топлива использована модель распространения нефти и нефтепродуктов OILTOX. Рассмотрены три сценария распространения топлива в компоновке сооружений до и после реконструкции порта.

Результаты. Течения в гавани порта до и после реконструкции имеют трехмерную структуру. Максимальные скорости у поверхностных течений направлены по ветру, глубинные - противоположно направлены. Средние по глубине течения образуют вихревые структуры внутри марины. Поля течений внутри марины в различных конфигурациях портовых сооружений отличаются незначительно. Течения на глубине образуют круговороты и застойные зоны со слабой вентиляцией.

По результатам моделирования аварийного разлива дизельного топлива, сооружение волнолома напротив входа в марину замедляет скорость распространения нефтепродуктов и изменяет траекторию движения пятна, однако загрязнение берега остается примерно одинаковым. Во всех сценариях дизельное топливо полностью выносится на берег в течение 2-х часов после начала разлива. В случае сценария с вдольбереговым ветром 15 м/с, все дизтопливо оказывалось на берегу через 20 мин при старой конфигурации порта и через 30 мин при наличии волнолома

Выводы. 1. На стадии проектирования возможно прогнозировать изменение качества воды в акваториях полузамкнутых водоемов, выполнять проектирование и эксплуатацию сооружений с учетом минимизации негативных процессов.

2. Проектируемая яхтенная гавань – марина в акватории порта Сочи не вызывает опасений с точки зрения ухудшения качества воды в акватории при выполнении рекомендаций по эксплуатации марины и проведении ПЭМ. Сценарии аварийных загрязнений являются маловероятными событиями. Их учет позволяет гарантировать обеспечение качества воды в акватории марины. Разработанные модели могут применяться для прогнозирования опасных тенденций по данным мониторинга качества морской воды.

3. Течения в гавани порта Сочи до и после реконструкции имеют сложную трехмерную структуру. Поверхностные течения в основном направлены по ветру, течения на глубинах направлены в противоположную сторону. При этом возникают круговороты и застойные зоны в угловых областях гаваней.

4. С помощью модели распространения нефти и нефтепродуктов OILTOX и по результатам расчета течений для трех сценариев гидрометеорологических ситуаций в районе порта Сочи рассчитано распространение пятна дизельного топлива в порту Сочи (до и после реконструкции), образовавшегося в результате гипотетической аварийной ситуации на выходе из проектируемой марины.

5. Пятно дизельного топлива переносится ветром и при слабом ветре растекается под действием сил плавучести и поверхностного натяжения. Ввиду небольшого размера марины пятно достигает мола через 40 мин при слабом ветре (5 м/с), через 10 мин при сильном ветре (15 м/с). Наряду с наличием средств сбора нефтепродуктов с поверхности воды необходимо предусмотреть средства очистки молов и причалов.

6. Временные масштабы процессов испарения не существенны в бюджете разлива (6-7%). Остальное топливо налипает на берег в течение 30-90 мин.

Ключевые слова: акватория проектируемой марины, самоочищающаяся способность водоема, аварийный разлив дизельного топлива, численное моделирование сценариев.

ПОНИЖЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ВОЛН У ПРИЧАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ, ТИПА БОЛЬВЕРК

Зуев Н. Д.¹, Шунько А. С.¹, Шунько Н. В.²

¹ инженер НОЦ «Гидротехника», НИУ МГСУ

² к.т.н., руководитель НОЦ «Гидротехника», НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Введение. Гидротехнические сооружения, подвергающиеся силовому воздействию ветровых волн, различаются по функциональному назначению и конструктивным признакам. При подходе таких волн к сооружению, их взаимодействие происходит по-разному, в зависимости от вида сооружения, представляющего собой преграду того или иного типа. В случае сооружения, типа больверк, представляющего собой вертикальную стенку - его поперечные размеры в направлении движения фронта волны, превышают его длину. При подходе ветровых волн к таким сооружениям, будет происходить их полное отражение. В случае фронтального подхода ветровых волн к вертикальной преграде, отраженные от нее волны будут двигаться навстречу, вновь подходящим волнам, образуя с ними новую систему волн: стоячие волны – с удвоенной высотой, при их неизменной первоначальной длине. При строительстве морских портов, часто используют конструкции сооружений с вертикальной стенкой, так как их устройство позволяет оптимизировать рабочее пространство акватории. К ним относятся оградительные сооружения, защищающие акваторию порта от проникающего волнения (молы, волноломы), искусственные острова, образованные из массивов-гигантов, причальные сооружения.

Недостатком такой конструкции является необходимость увеличения высотной отметки подобного сооружения. Чтобы к этому не прибегать, разрабатываются различные конструкционные элементы, позволяющие гасить энергию результирующей волны у стенки сооружения. Оценка эффективности таких конструкций, в плане снижения их высотной отметки, в данной статье, будет проводиться, используя понятие коэффициента отражения волн.

Материалы и методы. Опыты проводились с применением метода физического моделирования. Исходными материалами для исследования эффективности варианта конструкции причального сооружения, являлись: проектные чертежи причала, возводимого в районе Кольского залива и дорабатываемые различными волногасящими элементами в процессе проведения экспериментов; сведения о гидрометеорологической обстановке в

районе строительства, необходимые для определения наиболее опасного расчетного шторма, а также, сведения о классе капитальности сооружения.

Результаты. Данные экспериментальных исследований по изучению работы четырех вариантов конструкции причального сооружения. Подтверждена эффективность работы установки по определению коэффициента отражения волн на основе измерительного оборудования фирмы HR Wallingford (Великобритания).

Выводы. На основании анализа результатов проведенных экспериментальных исследований по изучению эффективности конструкций причальных сооружений с вертикальной сплошной свайной стенкой, сформулированы следующие выводы:

- применение у причальных сооружений с вертикальной сплошной свайной стенкой волногасящих камер с каменной отсыпкой и уменьшением шага установки таких камер: от значений $S/\lambda = 2,7$, до значений $S/\lambda = 0,8$, позволяет уменьшить коэффициент отражения волн - со значений 0,7, до значений 0,4;

- понижение значений коэффициента отражения волн у передних вертикальных стенок причальных сооружений, позволит уменьшить высоту ростверка причала, снизить его высотную отметку и, следовательно, оптимизировать стоимость возведения такого сооружения.

Ключевые слова: причальное сооружение, больверк, коэффициент отражения волн, параметры волнения, волнограф, гребень волны, физическое моделирование, волногасящая камера.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОФИЛЯ И ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТНЫХ ШПУНТОВЫХ СВАЙ ШК-150 УМ

Галимов И.М.¹, Левачев С.Н.², Немолочнов А.Г.³

¹ к.т.н., преподаватель кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

³ к.т.н., инженер АО «Акватик»

АННОТАЦИЯ

Введение. В настоящее время композитные шпунтовые сваи различных профилей в гидротехническом строительстве применяются как в зарубежной, так и в отечественной практике в составе подпорных стен, причальных, ограждающих, берегоукрепительных сооружений, противofильтрационных элементов и т.д. Несмотря на то, что опыт применения композитных шпунтовых свай уже имеется, достоверные данные по фильтрационным свойствам замковых соединений на момент исследования отсутствовали, кроме того необходимо было провести испытания подпорной стенки из композитных свай с усовершенствованным профилем.

Материалы и методы. Методика исследования заключалась в проведении комплекса теоретических, а также экспериментальных исследований в лабораторных условиях на натурной модели в грунтовом секторе. Теоретические методы связаны с планированием экспериментов, традиционными статистическими методами обработки информации, аналитическими расчетами. Практические методы с учетом специфики исследования включали в себя: осуществление экспериментов по проверке фильтрационных и деформационных свойств шпунта.

Результаты. На основе выполненных экспериментов получены фильтрационные характеристики шпунтовых свай ШК-150 УМ, а также определены горизонтальные перемещения подпорных стен из данных свай для двух схем: заанкерванный и безанкерный больверк.

Выводы. На основании анализа результатов проведенных экспериментальных исследований сформулированы следующие выводы:

- о работоспособности конструкции безанкерного больверка из композитного шпунта ШК-150 УМ;
- о наличии фильтрации через замковые соединения шпунтовых свай ШК-150 УМ.

Ключевые слова: композитный шпунт, сваи, испытание, бьольверк, подпорная стенка, фильтрация, грунтовый лоток.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЕТА ВЯЗКОПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЬДА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Соломатин С.В.

аспирант (соискатель) кафедры ГиГС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Введение. Вид, надёжность и экономичность морских нефтегазопромысловых сооружений в существенной мере определяется достоверностью методов оценки внешних воздействий и, в первую очередь, ледовых. Для проектирования таких сооружений первостепенной задачей является сбор исходных данных по ледовым условиям для последующего выбора модели и расчёта ледовой нагрузки на сооружение. Спектр возможных воздействий льда на сооружение включает в себя в первую очередь такие виды как: нагрузка от ровного льда; нагрузка от тороса; ударное воздействие; динамическое воздействие (автоколебания); истирающее воздействие льда. Крузенштернский лицензионный участок в недалеком будущем станет объектом масштабных геологоразведочных работ по выявлению запасов углеводородного сырья бурением в заливе Шарапов Шар. Условия залива Шарапов Шар, такие как малая глубина (около 3 м), сложные инженерно-геологические условия и короткий межледовый период не позволяют использовать полупогружные или самоподъёмные буровые установки и ставят перспективную задачу по строительству ледостойкого нефтегазопромыслового гидротехнического сооружения.

Материалы и методы. Исходными материалами для выполненных исследований послужили архивные данные о гидрометеорологической и ледовой обстановках в заливе Шарапов Шар. Анализ исходной информации показал важную особенность ледовых условий района исследований, а именно наличие устойчивого ледового припая по всей площади залива и на протяжении всего периода максимальных ледовых нагрузок. Средняя дата становления припая – 11 ноября. Максимальная толщина льдов зимнего нарастания формируется к первой половине мая и в разные годы изменяется от 1,1 м до 1,8 м. С целью уточнения кинематических параметров для учета пластических деформаций льда были проведены экспедиционные исследования в заливе Шарапов Шар, показавшие, что моментальные подвижки припая не превышают погрешности измерений, при этом, общий характер мгновенных подвижек льда подтвердил значения величин, полученных при

длительных измерениях в соответствующей точке. По результатам полевых длительных и мгновенных измерений выявлены подвижки ледового припая с максимальной скоростью 2,5 мм/ч ($6,9 \times 10^{-6}$ м/с), а в целом припаю были характерны подвижки порядка 10...15 см за декаду.

Результаты. Основываясь на факторе снижения расчётного сопротивления льда в фазе длительной ползучести можно сделать вывод о соответствующем снижении ледовой нагрузки от значений ISO 19906 в 4,5 и 9.0 раз для скоростей подвижки ледового поля 10^{-3} м/с и 10^{-4} м/с соответственно. Таким образом, ледовая нагрузка для условий залива Шарапов Шар на искусственное островное сооружение в соответствии с данными ISO 19006 составляет 346 МН, в то время как с учётом снижения прочности льда в фазе длительной ползучести при скорости 10^{-3} м/с – 77 МН.

Выводы. Обоснование возможности учета вязкопластических свойств льда и включение их в расчет ледовой нагрузки является важным при оптимизации проектных решений гидротехнических сооружений, создаваемых в зоне устойчивого ледового припая. Учитывая преобладающую величину ледовых нагрузок для сооружений, проектируемых в условиях окраинных морей Северного Ледовитого океана, снижение расчетной нагрузки до 9.0 раз позволит существенно уменьшить экологическую нагрузку и стоимость сооружений при сохранении их соответствия всем требованиям надежности и безопасности. Залив Шарапов Шар, как потенциальное место создания гидротехнического сооружения, показывает необходимость дальнейшей проработки методики расчета ледовой нагрузки в условиях устойчивого припая.

Ключевые слова: пластическая деформация льда, залив Шарапов Шар, ледовая нагрузка.

**СЕКЦИЯ ГИДРАВЛИКИ, ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОЛОГИИ И ВОДНОГО
ХОЗЯЙСТВА**

О ГИДРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ «НЕСУРАЗНОСТЯХ» В ИЗУЧЕНИИ РЕК СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Анахаев К.Н.^{1,2}, Беликов В.В.³

¹ д.т.н., главный научный сотрудник ИПМА КБНЦ РАН

² д.т.н., ведущий научный сотрудник ИВП РАН

³ д.т.н., главный научный сотрудник ИВП РАН

АННОТАЦИЯ

Возникновение большинства опасных стихийных склоновых явлений на горных и предгорных территориях Северного Кавказа (таких, как сели, оползни, размывы берегов, наводнения и др.) связано с воздействием поверхностных и подземных вод.

Введение. Возникновение большинства опасных стихийных склоновых явлений на горных и предгорных территориях Северного Кавказа (таких, как сели, оползни, размывы берегов, наводнения и др.) в определяющей степени связано с эрозионно-гидродинамическим воздействием на покровные грунтовые массивы склонов водных (поверхностных и подземных) потоков. Указанное предопределяет одну из важных и актуальных проблем этих территорий - необходимость обеспечения безопасности жизнедеятельности населенных пунктов и объектов экономики, в том числе путем создания противоселевых защитных сооружений. Надежность и работоспособность таких сооружений в значительной мере зависят от полноты и достоверности исходных гидрогеофизических характеристик водосборных бассейнов селевых русел, используемых при их проектировании, что обуславливает высокий уровень требований к их обоснованности.

Материалы и методы. Однако, в последнее десятилетие целый ряд работ по селевым бассейнам Северного Кавказа (например: Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Разумов В.В. и др. Кадастр селевой опасности юга европейской части России. 2015. -148 с.; - Кондратьева Н. В., Залиханов М.Ч., Аджиев А.Х., Разумов В.В. и др. Способ оценки единовременного максимально возможного объёма твердых селевых выносов в селевое русло реки при сходе селя // Патент № 2618494. 2017. Бюл. №13; - Залиханов М.Ч., Кондратьева Н.В., Аджиев А.Х., Разумов В.В. Учёт генезиса селеобразования при предварительной оценке максимального объёма твёрдых отложений селя на территории Северного Кавказа// ДАН. 2016. Т. 470. № 2. С. 212-214; и др.) не соответствует требованиям по достоверности и обоснованности приводимых в них данных.

Результаты. В вышеуказанных работах (и ряде других) под видом «научных» исследований во множестве представлены различные гидрогеофизические «несуразности», такие как:

- Базовый гидрологический параметр речного русла «длина реки» подменяется необъяснимой, многократно превышающей её величину «*суммарной длиной основного русла реки и всех его боковых притоков*», что приводит к соответствующему занижению среднего уклона реки и т.д. Например, истинная длина превышена для реки Гунделен (КБР) в 3 раза, а для реки Ачипсе-Лаура (Красная Поляна) в 8 (?) раз, достигнув физически нереального («нелепого») значения в 160 км.

- Рекомендации физически несостоятельных и ошибочных формул по определению объемов максимальных селевых выносов, погрешность которых достигает более 3-4 тысяч %. Кроме этого, указанные формулы дают также расчетные (якобы, реальные) объемы селевых выносов даже при *нулевых* значениях длины селевого русла, водосборной площади, уклона русла (т. е. при отсутствии объекта исследования - самих селевых бассейнов). При этом, для водотоков Мидагербиндон и Цитадон (Северная Осетия) расчетные значения объемов выносов занижены, соответственно, в 43 и 23.5 раза (!).

- Наличие недопустимых («запредельных») гидрогеофизических противоречий в разных работах одних тех же авторов. Например, для рек Закан и Санчаро (КЧР) принимаются значения параметров различающиеся - по водосборной площади (более 2 раз), по длине реки (до 4 раз), по уклону реки (более 100 раз), либо приводятся неподтверждаемые заявления о выявлении *новых* 20 (а в другой работе этого же года 40 ?) селевых бассейнов в окрестности г. Тырнауз и др.

- Необоснованная «максимализация» масштабов опасных природных явлений с распространением опасности селевого русла на *всю* водосборную площадь селевого бассейна (вместо действительно локально-опасных ее участков площадью < 10-15 %), что не позволяет дифференцированно выделять селеопасные очаги (зоны) и ограничивает возможности для разработки локальных противоселевых рекомендации на отдельных селеопасных участках. По такой (неверной, на наш взгляд) методике значительные площади безопасных земель республик Северного Кавказа необоснованно отнесены к селеопасным: - по Дагестану 25 %; - по Северной Осетии 25 %; - по КБР 39 %; - по КЧР 17 % . Также «нелепым» является заявление о 82.4 % паводкоопасной территории КБР (при её действительном значении менее 1 %).

Выводы. Отсутствие должной критики со стороны научного сообщества ряда «несуразных» работ по водотокам Северного Кавказа способствует все большему их

распространению и использованию, в том числе государственными органами (Минприроды, МЧС, Минстрой и др.), как при рассмотрении природоохранных проблем, так и для защиты населенных пунктов. Указанное может привести к неверной оценке сложившейся селеопасной ситуации и созданию нерациональных (и ненадёжных) защитных сооружений – снижению безопасности жизнедеятельности населения как в настоящем, так и в будущем (на протяжении десятилетий).

В докладе приведены также отдельные положительные примеры успешной реализации противоселевых мероприятий (развития селеведения), в том числе по созданию противоселевой защиты важнейших олимпийских объектов «Сочи-2014» на Красной Поляне.

Ключевые слова: горные водотоки, селевые бассейны, водосборная площадь, длина реки, уклон русла, селевая опасность, гидрологические параметры, селевые кадастры.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ В ТУРБУЛЕНТНОМ ПОТОКЕ

Игнатенко Е.В.¹, Брянская Ю.В.²

¹аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

Введение. Изучение гидравлических характеристик водных потоков требуется для решения задач водоснабжения и водоотведения, инженерных задач гидротехники, регулирования русловых процессов и экологического мониторинга водных объектов. Характеристики турбулентности равномерного и неравномерного потока нуждаются в уточнении, которое будет возможно благодаря изучению теоретических основ гидравлики и гидродинамики.

Несмотря на использование современных компьютерных технологий, создание актуальной теории турбулентности до сих пор не завершено. Разделение движения жидкости на молярное и основное привело к незамкнутой системе уравнений турбулентного движения, что притормозило дальнейшее продвижение в поисках решения течения турбулентного потока.

Материалы и методы. Наибольшее распространение получила полуэмпирическая теория турбулентности Л. Прандтля, основанная на феноменологическом подходе, связывающем турбулентность с характеристиками осредненного течения.

Использование современной техники позволило получить новые экспериментальные данные, которые требуют анализа и обобщения.

Результаты. Проведено сопоставление разработанных на основе различных феноменологических моделей расчетных зависимостей для распределения скоростей, в том числе известных логарифмических профилей Л. Прандтля, с данными измерений. Произведено сопоставление расчетов распределения скоростей по различным зависимостям с данными измерений. Выявлено значительное количественное, а иногда и качественное, расхождение расчётных зависимостей друг с другом и с экспериментальными данными.

Выводы. Расхождение результатов расчёта распределения скоростей по различным зависимостям требует дополнительного критического анализа точности и достоверности экспериментальных данных других авторов и выполнения экспериментальных исследований в различных условиях по взаимосогласованной методике.

Малая результативность рассмотренных статистических подходов приводит к необходимости разработки новых подходов, представляющих собой комбинацию некоторых теоретических представлений и опытных данных.

Ключевые слова: профиль скорости, распределение скоростей, турбулентное течение, теория турбулентности Л. Прандтля.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ ПО ГЛУБИНЕ ПОТОКА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТРУБОПРОВОДНОГО ПЕРЕХОДА

Брянский И.А.¹, Боровков В.С.²

¹аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

Введение. Подводные трубопроводные переходы, проложенные через реки, подвергаются силовому воздействию внешнего потока на протяжении всего срока эксплуатации. Данное воздействие негативно влияет на состояние трубопровода и дна. Из-за изменения гидравлических характеристик потока в зоне перехода дно размывается, а трубопроводный переход может всплыть и порваться. В статье рассматривается вариант защиты трубопровода гибкими бетонными матами.

Материалы и методы. Для понимания воздействия подобных конструкций на изменение гидравлических характеристик потока были проведены модельные испытания такой конструкции в зоне трубопроводного перехода. В статье описано оборудование, использованное при проведении опытов, приведена методика проведения экспериментальных исследований. Эксперимент проводился с использованием лазера, реализующего метод PIV визуализации двумерных векторных полей скорости потока путем цифровой обработки изображений, введенных в поток частиц. Рассмотрены параметры эксперимента, необходимые для соответствия гидравлическим условиям реальных рек.

Результаты. В результате проведенных исследований были получены мгновенные профили скоростей. Представлены эпюры распределения скоростей по глубине потока, полученные с использованием PIV-технологий. Из полученных мгновенных распределений скоростей видно, что в центральной части модели, над препятствием создается зона с повышенными скоростями, а непосредственно за моделью образуется зона с пониженными скоростями и образованием вихрей. Появление такой преграды, особенно при больших относительных диаметрах трубопроводного перехода, приводит к подпору в русле и перераспределению поля скоростей.

Выводы. Появление в потоке трубопроводного перехода с шероховатой поверхностью приводит к возникновению следа за трубопроводом, области с обратными токами жидкости, со специфическим распределением скоростей и их пульсационных составляющих, отличающихся от характеристик невозмущенного потока.

Ключевые слова. Скорость турбулентного потока, распределение скоростей, трубопроводный переход, обтекание препятствий, гибкие защитные бетонные покрытия.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ЧАСТИЧНО ЗАИЛЕННОГО ТРУБОПРОВОДА

Брянская Ю.В.¹, Джумагулова Н.Т.², Тен А.Э.³

¹д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

²к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

³аспирант кафедры ВиВ НИУ МГСУ

Введение. Гофрированный трубопровод АСО Qmax был разработан в качестве дренажной системы для отвода поверхностного стока. Широкое распространение в практике гофрированных труб, обладающих существенно большей шероховатостью, чем технически гладкие, вызвало необходимость выполнения ряда расчетов, учитывающих особенности их гидравлической работы.

Цель работы – сравнение пропускной способности трубопровода при частичном заиливании в пределах гофра и при его отсутствии.

Материалы и методы. Ввиду сложной структуры внутренней поверхности сопротивление описанного полимерного трубопровода возможно определить только опытным путем. Экспериментальным путем в лаборатории гидравлики и гидромеханики НИУ МГСУ определены гидравлические характеристики для гофрированного трубопровода АСО Qmax с частичным заиливанием.

Результаты. Эксперименты проводились при следующих режимах:

При расходах Q (от 13,9 до 79,1 м³/ч) и уклоне дна лотка $i=0,005$;

При расходах Q (от 14 до 89,1 м³/ч) и уклоне дна лотка $i=0,01$.

По полученным экспериментальным данным рассчитывались значения коэффициента гидравлического сопротивления, коэффициента Шези, шероховатости по Маннингу, средней скорости течения. Проведено сравнение шероховатости, полученной в «чистом» и частично заиленном трубопроводе.

Выводы. По результатам проведенных экспериментальных исследований сделан вывод о том, что частичное заиливание трубопровода в пределах гофра лотковой части практически не оказывает влияния на его гидравлическое сопротивление. Сравнение экспериментальных значений средних скоростей течения в заиленном и незаиленном трубопроводе показывает, что они практически не различаются. Таким образом, полученные значения коэффициента шероховатости можно принять для данного трубопровода постоянными.

Ключевые слова: средняя скорость потока, расход воды, уклон, глубина потока, гидравлический радиус, заиливание, коэффициент гидравлического сопротивления, коэффициент эквивалентной шероховатости.

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОНЦЕВОГО УЧАСТКА НАПОРНОГО ВОДОПРОПУСКНОГО СООРУЖЕНИЯ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ВЫХОДОМ ПОТОКА

Михайлец Д. П.¹, Бахтин Б. М.², Беглярова Э. С.³, Шаблий Л. С.⁴

¹аспирант кафедры ГС РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

²д.т.н., профессор кафедры ГС РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

³к.т.н., профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики
РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

⁴к.т.н., доцент, кафедра теории двигателей летательных аппаратов, Самарский
национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

АННОТАЦИЯ

Введение. Постановка гидравлического эксперимента с развитием мощностей вычислительных машин и совершенствования программного обеспечения в настоящее время всё чаще сводится к численному моделированию. Разумное сочетание физических и математических методов моделирования – наиболее распространённый путь решения практических задач. Гибридное моделирование применялось и при исследовании концевого участка напорного водопропускного сооружения с вертикальным выходом потока. Концевой участок включает сектор-отражатель, расположенный над выходным отверстием вертикально восходящего водовода и опирающийся на направляющие стенки. Принцип работы такого концевого участка следующий – поступающий из выходного сечения вертикально восходящего водовода поток соударяется с сектором-отражателем, растекаясь по его нижней поверхности. При этом на сходе с сектора формируется струя, расширяющаяся в соответствии с углом раструбности (углом роспуска потока) отражателя. Основной задачей данного исследования являлось определение величины давления от восходящего потока и его распределение по поверхности сектора-отражателя при различных скоростях в напорном водоводе. Полученные результаты необходимы для выполнения прочностных расчетов конструкции на стадии проектирования.

Материалы и методы. Исследования концевого участка проводились с помощью физического моделирования в лаборатории и численного моделирования в Ansys Fluent. Результаты исследования сравнивались по серии экспериментов направленной на определение зависимости распределения давления на сектор по продольной оси от скорости потока в выходном сечении вертикально восходящего водовода. Давление на физической

модели определялось с помощью пьезометров, установленных на нижней поверхности сектора. Давление на численной модели было получено с помощью программы пост-обработки. Расчеты выполнялись в решателе Pressure-Based основанным на решении уравнений для давления и с использованием стандартных моделей турбулентности: k -epsilon (k - ϵ) и k -omega (k - ω).

Результаты. Графики во всех случаях сравнения имеют схожую форму, прослеживается подобие областей положительного и отрицательного давлений, за исключением одного существенного недостатка. При скоростях потока в водоводе более 4,5 м/с (в перерасчете на «натуру») на физической модели происходит отлёт струи за пределы сектора, что на графиках прослеживается в виде повышения давления до нуля у кромки сектора-отражателя, когда между струёй и поверхностью сектора при её отрыве начинает попадать воздух. На численной же модели, во всех 4-х случаях падение струи происходит в пределах сектора-отражателя. Сопоставление результатов, полученных на физической и численной моделях, показало, что несмотря на расхождения в значениях величин до 115% численное решение с позиции качественной оценки во многом имеет сходства с гидравлическим экспериментом, проводимом в лаборатории.

Выводы. Стандартная модель турбулентности k -omega из опробованных моделей даёт наиболее приближенные к физической модели результаты. Возможными причинами расхождений между численными и физической моделями могут быть как несоответствия физики моделей турбулентности в *ANSYS Fluent*, так и недочеты допущенные в ходе численного моделирования (например, недостаточная детальность расчетной сетки или недостаточно обоснованный выбор модели турбулентности).

Ключевые слова: концевой участок, напорное водопропускное сооружение, вертикальный выход потока, отражатель потока, гаситель энергии потока, гидравлический эксперимент, численное моделирование ANSYS Fluent.

ОБЩЕЕ И ОСОБЕННОЕ В ФОРМИРОВАНИИ ВОЛНЫ ПРОРЫВА И ТЕЧЕНИИ ЗА ЕЕ ФРОНТОМ ДЛЯ РАЗНЫХ СЛУЧАЕВ РАЗРУШЕНИЯ ПЛОТИНЫ

Гусев А.А.

к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Представлен анализ результатов экспериментальных исследований волны прорыва на разных моделях разрушения плотины гидротехнического сооружения.

Ключевые слова: общее и особенное, волна прорыва, разные модели разрушения плотины, наличие воды в нижнем бьефе, анализ экспериментов.

ГИДРАВЛИКА МАСЛЯНОЙ ВАННЫ ПОДПЯТНИКА ГЕНЕРАТОРА ВЕРТИКАЛЬНОГО ГИДРОАГРЕГАТА

Зуйков А.Л.

д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ, профессор кафедры гидравлики МАДИ (ТУ)

Разработана аналитическая модель циркуляционного движения масла в масляной ванне подпятника и направляющего подшипника гидрогенератора. Выполнены расчеты движения масла в масляной ванне подпятника генератора вертикального гидроагрегата. Даны рекомендации по исключению возникновения аварийных режимов, связанных с переливом масла через обечайку масляной ванны, отделяющую её от вала гидрогенератора.

Ключевые слова: обечайка масляной ванны, втулка подпятника гидрогенератора, циркуляционное движение масла, распределение скоростей и форма свободной поверхности масла.

ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ МОДУЛЯ NAM MIKE 11 ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДОЖДЕВОГО СТОКА В МАЛОИЗУЧЕННОМ РЕЧНОМ БАССЕЙНЕ ЗАСУШЛИВОГО РЕГИОНА ЭРИТРЕИ

Гебрехивот Ангхесом Алемнгу¹, Козлов Д.В.²

¹ аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Традиционные задачи инженерной гидрологии связаны с предвычислением реакции гидрологической системы на изменение: (1) внешних воздействий, например, климатических условий; (2) внутренних, например, характеристик водосбора; (3) одновременно, и тех и других условий.

В связи с быстрым развитием компьютерных технологий математическое моделирование гидрологических процессов в речных системах с середины XX века широко применяется в решении задач управления водными ресурсами и охраны окружающей среды.

Применяемые технологии последних десятилетий: (1) «перенос» математических моделей в пространстве – от бассейнов, освещенных данными наблюдений, на бассейны с недостатком или отсутствием этих данных (2003-2012 гг.: Prediction in Ungauged Basins, PUB); (2) «перенос» моделей во времени – в изменившиеся климатические условия (2013-2022 гг.: Panta Rhei).

Необходимость моделирования гидрологических процессов обусловлена, в том числе, сложностью гидрологических систем, а также недостаточностью данных из-за отсутствия или малочисленности инструментальных наблюдений. С недавнего времени реанализ климатических данных, полученных ведущими метеорологическими центрами мира, достаточно успешно используется в регионах с дефицитом инструментальной информации. Таким образом, настоящая работа направлена на оценку применимости данных реанализа климата для моделирования дождевого стока («осадки-сток») в малоизученном речном бассейне на территории Эритреи.

Материалы и методы. Использованы данные реанализа системы климатических прогнозов (CFSR) Национального центра прогнозирования окружающей среды (США). Также для определения границ водосборов и формирования модели речной сети в рамках таких инструментов как MIKE и GIS использовалась топографическая информация высокого разрешения, полученная в ходе реализации международного исследовательского проекта

SRTM. Кроме того, процессы калибровки и валидации (оценивания) гидрологической модели (качество моделирования) выполнялись с использованием критерия эффективности Нэша-Сатклиффа, коэффициента детерминации и среднеквадратичной ошибки корня объемных и пиковых расходов.

Результаты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что заметное завышение количества осадков в массиве данных реанализа, которые, в свою очередь, оказывают существенное влияние на другие переменные, такие как потенциальная эвапотранспирация, приводит к значительному несоответствию между смоделированным и наблюдаемым гидрографами и водным балансом.

Выводы. Установлено, что применимость модели NAM для моделирования стока в малоизученном в гидрологическом отношении речном бассейне засушливого и (или) полузасушливого региона, такого как бассейн реки Мереп-Гаш в Эритрее, с использованием матрицы данных реанализа CFSR является неочевидной. Показатели оценки качества модели указали на ее неудовлетворительную эффективность, противоречащую выводам предыдущих исследований. Несовместимость пространственных и временных вариаций исходных данных реанализа и наземных наблюдений, несомненно, является основной причиной неудовлетворительного результата моделирования. Данные реанализа, полученные из CFSR, заметно завышали значения осадков, что, в свою очередь, повлияло на соответствующие входные значения в модели. Учитывая высокую ресурсоемкость данных реанализа, с одной стороны, и недостаток надежной информации о результатах наземных наблюдений, с другой стороны, необходимо исследовать другие механизмы (или инструменты), которые могут дать более точные прогнозы. На следующем этапе работ необходимо исследовать эффективность применения данных реанализа CFSR в других гидрологических моделях (например, SWAT), с последующей оценкой результатов моделирования в условиях малоизученных речных бассейнов засушливых (аридных) и полузасушливых регионов, таких как Эритрея.

Ключевые слова: реанализ системы климатического прогноза, гидрологическое моделирование, гидрологический модуль MIKE 11-NAM, осадки - сток.

СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОМЕРНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОЦЕНКЕ ОПАСНЫХ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Снежко В.Л.¹, Козлов Д.В.², Лагутина Н.В.³

¹д.т.н., заведующая кафедрой информационных технологий в АПК РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

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

³к.т.н., доцент кафедры экологической безопасности и природопользования РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. В речных бассейнах может наблюдаться девять видов опасных гидрологических явлений: заторы, зажоры, половодья и паводки, очень большие и очень малые расходы воды (повторяемостью менее 10%), сели, низкая межень и раннее ледообразование на судоходных реках, озерах и водохранилищах. В условиях многообразия поражающих факторов опасных гидрологических явлений с учетом колоссального масштаба территории России остается актуальной задача своевременного выявления и прогнозирования негативных процессов, влияющих на возникновение и развитие чрезвычайных ситуаций на водных объектах (реках, водохранилищах), а также разработку и реализацию мер по предотвращению опасных последствий этих процессов. Целью исследований стала классификация субъектов (как административных территорий) Российской Федерации по спектру опасных гидрологических явлений с зафиксированным материальным ущербом, статистическая оценка многолетней динамики этих явлений и заблаговременности их прогнозов в каждом из регионов.

Материалы и методы. Материалом исследований стали официальные сведения о неблагоприятных условиях погоды и опасных гидрометеорологических явлениях, нанесших социальные и экономические потери на территории России за период 1991-2019 гг., предоставленные ФГБУ ВНИИГМИ-МЦД Росгидромета. Для выявления специфики распределения опасных гидрологических явлений по структуре использовались методы математической статистики и экспертные оценки. Построение карты районирования территории России по типам опасных гидрологических явлений с зафиксированным материальным ущербом выполнялось картографическим моделированием средствами ГИС-технологий.

Результаты. Рассмотрено пространственное распределение опасных гидрологических явлений, выполнены оценка подверженности воздействию опасных гидрологических явлений и районирование территории России по типам этих явлений с зафиксированным материальным ущербом. Получена актуальная систематизированная статистическая информация о распределении опасных гидрологических явлений по субъектам федерации для всей территории страны.

Выводы. Полученная статистическая и картографическая информация позволяет оценить территориальные риски, обусловленные опасными гидрологическими явлениями, и своевременно выявить негативные процессы, возможное проявление которых может повлиять на возникновение и развитие чрезвычайных ситуаций на водных объектах и прилегающих территориях. Совместное использование ГИС-технологий и методов многомерного анализа (в том числе кластерного анализа) позволило провести районирование территории Российской Федерации по преобладающим видам опасных гидрологических явлений и оценить степень подверженности субъектов федерации их воздействию. Результаты выполненных исследований могут использоваться учреждениями и организациями, уполномоченными по проведению мониторинга окружающей среды, при определении региональных перечней и критериев опасных природных явлений, подготовке информации об угрозе возникновения таких явлений, при сборе сведений о последствиях воздействия и мониторинге опасных явлений на территориях.

Ключевые слова: опасное гидрологическое явление, статистическая информация, методы многомерного анализа, ГИС-технологии, районирование территории.

ИНЖЕКЦИОННЫЕ РЕГУЛЯТОРЫ РАСХОДА ДЛЯ НАПОРНЫХ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Снежко В.Л.¹, Бенин Д.М.²

¹д.т.н., заведующая кафедрой информационных технологий в АПК РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

²к.т.н., доцент кафедры информационных технологий в АПК РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. По данным Мелиоративного Кадастра Российской Федерации в состав мелиоративных систем входит более 1,6 млн. гидротехнических сооружений. Сетевые сооружения оросительных систем, в том числе низконапорные водопропускные гидротехнические сооружения, являются наиболее массовыми. Их неудовлетворительное состояние приводит к тому, что до 50% забираемой в источниках орошения воды теряется в оросительных каналах. Повышение технического уровня оросительных систем требуется более чем на 2 млн. га земель.

На магистральных каналах с расходами, превышающими 30 м³/с, как правило, применяются сложные средства автоматизации электрического действия. На малых каналах с расходами от 1 до 10 м³/с, где использование электроэнергии экономически неэффективно, устанавливаются средства гидравлической автоматизации водоподачи. Трубчатые водовыпуски, как правило, оборудуются затворами автоматического действия: кольцевыми, щитовыми, шторными, конусными, ступенчатыми коробчатыми щитами различных модификаций. Подвижные механические части снижают средний срок службы этих сооружений, который составляет не более 8-10 лет. Разработка надежных в эксплуатации регуляторов расхода, совмещенных с водопропускными гидротехническими сооружениями на оросительных каналах, является одной из актуальных задач технического перевооружения мелиоративных систем.

Трубчатые водовыпуски, использующие для регулирования расхода свойства сливающихся потоков и обратную гидравлическую связь между уровнем воды в нижнем бьефе сооружения и его пропускной способностью называются гидродинамическими регуляторами расхода. Первые из сооружений были разработаны для открытых оросительных каналов с расходом до 2м³/с. Регуляторы могли быть получены при реконструкции трубчатых водовыпусков и дооборудовании их выходного сечения

диффузором с высокой степенью расширения. Основные зависимости для определения пропускной способности регуляторов рассматривали узел слияния потоков как вытяжной тройник. Это вызывало ряд сложностей при гидравлическом расчете и необходимости увязки теоретических и экспериментальных данных с помощью поправочных зависимостей, погрешностям при расчете уровней бьефов и т.д. Цель исследований: разработка новых теоретических зависимостей для определения основных гидравлических параметров водовыпусков-регуляторов с их последующей верификацией по данным физического и численного эксперимента.

Материалы и методы. Вывод теоретических зависимостей для определения величин сливающихся в регуляторе расходов базировался на законах гидродинамики и теории струйных насосов. Верификация расчетных зависимостей выполнена по данным физического эксперимента и численного моделирования течения в пакете STAR-CCM+.

Результаты. Полученная теоретическая зависимость сливающихся в регуляторе расходов имеет вид:

$$Q_1 = F_1 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H_1 \cdot B^2 - 2 \cdot A \cdot C + \sqrt{(2 \cdot A \cdot C - 2 \cdot g \cdot H_1 \cdot B^2)^2 + 4 \cdot C^2 \cdot (B^2 - A^2)}}{2 \cdot (B^2 - A^2)}}$$

$$Q_0 = F_0 \sqrt{\vartheta_1^2 - 2 \cdot g \cdot H_1}$$

где Q_0 – расход, равный снижению водопотребления в нижнем бьефе и забираемый из регулирующей емкости над диффузором (инжектируемый); Q_1 – расход, подаваемый водовыпуском из верхнего бьефа в канал (инжектирующий); H_1 – напор между верхним бьефом и уровнем воды в регулирующей емкости; $\vartheta_1 = Q_1/F_1$; A , B и C – константы, зависящие от исполнения проточной части регулятора.

Эксперимент проводился в зеркальном гидравлическом лотке при числах Рейнольдса свыше $1.3 \cdot 10^5$ на модели регулятора из органического стекла с эквивалентной гидравлической шероховатостью $\Delta_s=0,03$ мм. Масштаб моделирования 1:10.

Выводы. Данные расчета показали удовлетворительное совпадение с экспериментальными данными. Численное моделирование подтвердило правомерность рассмотрения начального участка камеры смешения как сопла с коэффициентом сжатия 0,86. Обеспечение точности регулирования должно производиться из условий создания в регулирующей емкости необходимого уровня воды.

Ключевые слова: регуляторы расхода, водопропускные гидротехнические сооружения, автоматизация

МЕСТНЫЕ И ОБЩИЕ РАЗМЫВЫ, ВЫЗЫВАЕМЫЕ ВОЛНАМИ ЦУНАМИ

Куприн А.В.¹, Новаков А.Д.¹, Губина Н.А.², Кантаржи И.Г.³

¹ студент института ИГЭС НИУ МГСУ

²к.т.н., директор ИДО НИУ МГСУ

³д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Введение. Мега-цунами, такие как цунами 2004 года в Индийском океане и Тохокское цунами 2011 года, редки. Поскольку теперь возможно предупреждать о таких событиях, основной стратегией уменьшения опасности цунами является эвакуация. Следовательно, большая часть усилий должна быть направлена на разработку эффективных систем предупреждения, карт наводнений и оповещения о цунами. Однако разрушения, наносимые инфраструктуре, приводят не только к экономическому ущербу, но также вызывают дополнительные опасные ситуации и угрожают жизни людей. Ускорение темпов строительства инфраструктуры в прибрежной зоне требует надежной методологии проектирования конструкций, устойчивых к цунами. Причины разрушения конструкций, подверженных цунами, можно разделить на три группы: 1) гидродинамические силы, 2) огонь, распространяемый плавающими материалами (в том числе горячей нефтью), и 3) размыв и опрокидывание фундамента. Настоящая работа посвящена последней категории разрушений, то есть вызванному цунами размыву у сооружений.

Материалы и методы. Проанализированы по литературным данным крупнейшие цунами последнего времени и их последствия, рассмотрены характеристики размывов от волн цунами. Указаны способы защиты, в том числе от последствий, связанных с эрозией.

Результаты. Полученные результаты свидетельствуют о том, что доступные данные наблюдений не включают в себя достаточное количество информации о канализированных или общих размывах для проверки методов прогнозирования, специфичных для этих типов размыва. Поэтому, в основном, исследования фокусируются на анализе локальных размывов, включая общие характеристики данных всех типов размывов. Разрушение грунта происходит вследствие увеличения напряжения сдвига τ и / или уменьшения нормального напряжения σ_n .

Выводы. Такие события, как цунами в Индийском океане 2004 года и Японское цунами 2011, несмотря на их трагические последствия, также предоставляют возможности для формирования условий использования и защиты береговой линии и повышения

устойчивости населения к будущим разрушительным событиям. Такие события навсегда останутся в истории человечества, поскольку они послужат примерами хорошей практики для других, находящихся под угрозой регионов в Японии или где-либо еще.

Анализ цунами-риска позволяет оценить безопасность любой отдельно взятой цунамиопасной территории. Вместе с разработанными сценариями бедствий проводится ранжирование цунамиопасных территорий по уровню индивидуального цунами-риска на региональном и федеральном уровнях, что в свою очередь выявляет зоны с недопустимыми цунами-рисками.

Классификация на события уровня 1 или 2 не обходится без проблем. Например, для береговой линии Риа в Тохоку, многие из защитных сооружений от цунами были построены с учетом глубины затопления от цунами 2-10 м, и совершенно очевидно, что для этой береговой линии цунами было меньше, чем эта высота. Событие 1 уровня. Однако некоторые районы Японии (такие, как побережье Санрику или части префектуры Иватэ), подвержены ударам со стороны больших волн цунами, и, следовательно, даже большие волны будут представлять собой событие уровня 1 только из-за частоты, с которой они происходят.

Маловероятно, что остаточное разжижение является основной причиной чрезмерного размыва цунами, поскольку цунами имеют только несколько длительных колебаний. Тем не менее, во время фазы отката при цунами, может быть создан вертикальный градиент избыточного порового давления, который может привести к механизму разрушения, подобному мгновенному разжижению, которое незначительно влияет на устойчивость сооружений, но способствует усилению размыва вокруг них.

Ключевые слова: размывы от волн цунами, разжижение грунта, воздействие волн цунами на сооружения, меры защиты.

РОЛЬ ТЕЧЕНИЙ И ВОЛНЕНИЯ В ПЕРЕМЕЩЕНИИ НАНОСОВ В ОКРЕСТНОСТИ БЕРЕГОВЫХ ГТС

Хадла Гунуа¹, Аниаков А.С.², Кантаржи И.Г.³

¹аспирантка кафедры ГиГС НИУ МГСУ

²к.т.н., кафедра ГиГС НИУ МГСУ

³д.т.н., профессор кафедры ГиГС НИУ МГСУ

В статье рассматриваются условия заносимости подходного канала и углубленной акватории терминала порта «Утренний». Основным фактором заносимости подходного канала является перемещение илистых наносов приливными течениями и экстремальными штормовыми волнениями. Заносимость углубленной акватории терминала определяется поступлением как песчаных наносов, так и илистых осадков, транспортируемых волновыми течениями.

Ключевые слова: подходной канал, заносимость, течения, наносы, экстремальный шторм.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПРОГНОЗ ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ ЛЬДА НА РЕКЕ КИЧМЕНЬГА

Кулешов С.Л.¹, Козлов Д.В.²

¹к.т.н., кафедра информационных технологий в АПК РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Весенние заторы льда, относящиеся к опасным гидрологическим явлениям, характерны для большинства рек бассейна Северной Двины. Причина возникновения заторов – замерзание рек снизу вверх и вскрытие сверху вниз по течению. По мере того, как волна половодья нагоняет кромку льда, возрастает высота подъема воды и увеличивается затороформирующий расход, вследствие чего в реках, текущих на север, заторный максимум уровня и максимум весеннего половодья совпадают во времени.

Для большинства крупных и средних рек бассейна Северной Двины, заторы на которых образуются ежегодно, разработаны модели прогноза возникновения заторов, максимальных заторных уровней и подъемов воды. В местах постоянного образования заторов интенсивность подъема уровней воды до начала заторных явлений (возможно с учетом температуры воздуха в период вскрытия) является достаточной характеристикой для прогноза. Предсказание вероятности возникновения затора на р. Неман у г. Каунаса, сделанное Л.Г. Шуляковским в 1947 году, базировалось на характерных для участка реки факторах заторообразования: интенсивности подъема уровня воды за время от начала подъема за сутки до начала подвижек льда. Для ряда участков реки Северной Двины Г.В. Андреевой был применен этот же метод прогноза образования заторов. Для малых рек с эпизодическим возникновением заторов в пределах конкретных участков русла прогнозных моделей крайне мало, поэтому вопросы разработки прогнозов до настоящего времени являются достаточно актуальными.

Материалы и методы. Река Кичменьга (приток р. Юг) протекает по территории Вологодской области и имеет площадь водосбора 2330 км². Для ледового режима характерны устойчивый ледостав с середины ноября и вскрытие реки ото льда в период с середины до конца апреля. Заторы формируются на расстоянии 15..25 км от устья. За 1960-2015 годы был зарегистрирован 21 затор, что соответствует частоте заторов 0,38. Посредине участка в 20 км от устья расположен гидрологический пост, данные наблюдений которого использовались при составлении прогноза.

Для исключения в разрабатываемой модели нестационарных факторов были проверены на однородность многолетние ряды наблюдений за характеристиками зимнего режима р. Кичменьга. Оценка значимости тренда производилась по действующей методике Государственного гидрологического института: коэффициент корреляции линейного уравнения регрессии сравнивался со случайной средней квадратической ошибкой. Статистически неоднородными как на 5% уровне, так и на 1% уровне значимости оказались только даты начала ледостава.

Результаты. Анализ гидрологических факторов для участка реки Кичменьга позволил выявить основной фактор заторообразования: градиент роста расхода между датами максимальной толщины льда и подвижек льда, вычисляемый по формуле:

$$\nabla_Q = \frac{Q_p - Q_{л.макс}}{D_p - D_{л.макс}} \quad (1)$$

где Q_p – расход на дату подвижек льда D_p ; $Q_{л.макс}$ расход на дату максимальной толщины льда $D_{л.макс}$.

На реке подвижки льда наблюдаются практически ежегодно. За период 1960-2015 гг. подвижек не было только в 2-х случаях (3%). При использовании формулы (1) при отсутствии подвижек льда следует использовать расход на дату вскрытия реки. Критическим значением градиента роста расхода реки ∇_Q , при превышении которого образуется затор, является значение $\nabla_{Q.крит} = 1,18$. Из 56 лет наблюдений за ледовым режимом реки Кичменьга только в 9-ти случаях (16%) это условие не выполнялось: в 4-х случаях затор возникал при более низких значениях градиента, в 5-ти случаях при превышении градиентом критического значения затора не было. Для составления заключения о вероятности затора на реке Кичменьга у д. Захарово в 84% всех случаев достаточно учитывать лишь значение градиента роста расхода между датами максимальной толщины льда и подвижек льда.

Полученные данные не противоречат сложившейся в инженерной гидрологии практике. Так, например, И.Я. Лисер при составлении заключения о вероятности образования затора на р.Енисей у г.Красноярск (1967 год) отмечал, что в 75% всех случаев достаточно учитывать данные только об уровне воды в период замерзания. В остальных 25% случаев следует учитывать сроки начала весеннего ледохода

Ключевые слова: ледовый режим, затор льда, опасные гидрологические явления, прогноз.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПОТОКА

Юмашева М.А.¹, Брянская Ю.В.²

¹преподаватель кафедры ГиГС НИУ МГСУ

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

Введение. В настоящее время в целях защиты дна каналов от размывов в местах водоотводов из оврагов и дорожных кюветов зачастую применяются универсальные гибкие защитные бетонные маты (УГЗБМ).

В процессе эксплуатации защитные покрытия под воздействием набегающего потока теряют свою устойчивость. Для оценки устойчивости блоков первого ряда к опрокидыванию необходимо знать подъемную силу, вес и продольную составляющую силы сопротивления.

Материалы и методы. В лаборатории НИУ МГСУ «Гидравлика и гидромеханика» были проведены экспериментальные исследования гидравлических характеристик потока в зоне влияния защитных покрытий двух модификаций – УГЗБМ и УГЗБМ-С. В качестве дополнительной проверки полученных результатов были проведены поверочные эксперименты в аэродинамической дозвуковой трубе с незамкнутым контуром.

Результаты. Силовое воздействие потока на элементы защитных матов создается гидростатическим и гидродинамическим давлением, а также трением потока о граничную поверхность блоков. По итогам экспериментальных исследований были определены значения коэффициента подъемной силы и величины подъемной силы.

Измерения мгновенного распределения скоростей потока в зоне влияния защитных покрытий, полученных с использованием PIV технологий, показали, что вблизи первого ряда защитного покрытия и над ним векторы скорости набегающего потока направлены вертикально вверх, что способствует потере устойчивости и опрокидыванию блоков первого ряда защитного покрытия.

Выводы. Коэффициент подъемной силы для защитных матов модификации УГЗБМ-С оказался больше по величине, таким образом, защитные покрытия модификации УГЗБМ устойчивее к опрокидыванию.

Расчеты показали, что опрокидывание блоков первого ряда матов без учета их крепления к основанию, может происходить при скорости потока над поверхностью блоков превышающей 1,7 м/с, что сопоставимо со скоростями половодья равнинных и предгорных

рек. Для повышения устойчивости блоков мата к опрокидыванию следует разработать более надежное крепление мата к грунтовому основанию.

Ключевые слова: защитные покрытия, коэффициент подъёмной силы, гидравлические характеристики потока, моделирование.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ДОСТОВЕРНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕСТНЫХ РАЗМЫВОВ ОТБРОШЕННОЙ СТРУЁЙ

Гурьев А.П.¹, Козлов Д.В.², Ханов Н.В.³, Абидов М.М.⁴, Верхоглядова А.С.⁵

¹д.т.н., профессор кафедры инженерных конструкций РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

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

³д.т.н., заведующий кафедрой гидротехнических сооружений РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

⁴к.т.н., ведущий инженер гидротехнического отдела №2 АО «Институт Гидропроект»

⁵старший преподаватель кафедры инженерных конструкций РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. Достоверная оценка работы водосбросного сооружения на модельной установке возможна только при воспроизводстве всех режимов его работы в натуральных условиях.

При решении задач получения характеристик потока и деформаций русла при гашении энергии отбросом струи используют экспериментальные расчётные зависимости для исследований на модельных установках, где схематизировались свойства грунтов и методика проведения исследований. По формулам различных авторов были выполнены расчёты глубин размыва грунта в зоне падения отброшенной струи для водосброса №2 Богучанской ГЭС на реке Ангара и Сангтудинской ГЭС-1 на реке Вахш в Таджикистане. Расхождение в глубине размыва в обоих случаях между максимальным и минимальным расчетными значениями достигало 4-х раз.

Материалы и методы. В докладе приводится подборка наиболее часто используемых зависимостей при расчете размывов в нижнем бьефе гидроузла. Выполнены расчёты глубин размыва грунта в зоне падения отброшенной струи для водосброса №2 Богучанской ГЭС и Сангтудинской ГЭС-1

Были проведены модельные исследования глубин размыва нижнего бьефа при различных схемах работы водосброса №1 и водосброса №2 Богучанской ГЭС. Аналогичные модельные гидравлические исследования проводились для Сангтудинской ГЭС-1 в НИИЭС.

Результаты. Общая картина размыва вдоль потока в натуральных условиях, показывает, что глубина размыва непосредственно у концевых участков водосброса значительно меньше расчетных значений и основной размыв сдвинут вниз по руслу реки. Эксплуатация гидроузла

Сангтудинской ГЭС-1 выявила наличие больших боковых водоворотов, правый из которых привел к размыву берега вместе с участком служебной дороги, левый водоворот сформировал бар из продуктов размыва, создавший подпор нижнего бьефа ГЭС величиной до 30 см.

Выводы. Для обеспечения надежности исследований следует проводить эксперименты до стабилизации параметров зоны размыва по глубине и в плане. Размывы скального и крупнообломочного грунта желательно моделировать щебенистым материалом. В легкоразмываемых грунтах желательно использовать плоские носки-трамплины без принудительного расширения струи в плане, что уменьшит боковые водовороты и соответственно размывы вблизи сооружений гидроузла.

Ключевые слова: моделирование, скальный грунт, отброс струи.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСИ В РУСЛАХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ (ЛАБОРАТОРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ)

Дебольская Е.И.^{1,2}, Иванов А.В.³, Остякова А.В.^{4,5}

¹д.т.н., ведущий научный сотрудник ИВП РАН

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

³к.т.н., научный сотрудник, Туринский политехнический университет

⁴к.т.н., старший научный сотрудник ИВП РАН

⁵к.т.н., доцент кафедры ГГиВБ НИУ МГСУ

Актуальность проблемы загрязнения речных бассейнов криолитозоны обусловлена усилением деградации вечной мерзлоты вследствие современного потепления климата, что влияет не только на гидрологический цикл, но и на качество воды. Увеличивается время пребывания грунтовых вод в почве, усиливается вымывание микроэлементов из мерзлой почвы в поверхностные воды. Вещества, до сих пор сохранявшиеся в мерзлой почве, могут высвободиться в процессе оттаивания берегов и увеличения размеров таликов и переноситься водными потоками. Кроме наблюдений за деформациями речных берегов и усиления мониторинга экологического состояния речной сети необходимо развивать прогнозирование этого состояния, что невозможно без применения математического моделирования. Оно в свою очередь должно опираться не только на данные дорогостоящих наблюдений, но и на лабораторные эксперименты.

В работе рассматривается **задача** моделирования переноса загрязнений потоками в деформируемых руслах в условиях криолитозоны при изменении температуры окружающей среды. Цель работы заключается в выявлении значимых параметров внешнего термического воздействия, морфометрии русла, гидродинамики потока, характеристик руслообразующего грунта на процесс распространения примеси в деформируемом под влиянием термоэрозии русле. Новизна исследования определяется тем, что до сих не была отслежена очевидная связь разрушения берегов под действием термоэрозии с транспортом взвешенного и растворенного вещества, освобождаемого при разрушении.

Основные методы исследования – лабораторное и математическое моделирование.

В работе представлены разработанные двух- и трехмерные математические модели для случая, когда в береговом склоне находятся мерзлые включения в виде пластов льда или замерзшего грунта (гетерогенная модель) и для случая, когда весь берег состоит из мерзлого

грунта (гомогенная модель). Модели состоят из гидродинамического, термического, деформационного блоков и блока переноса примеси.

Получены зависимости скорости и характера распространения примеси от температуры воды и грунта, поперечного сечения потока, продольного уклона русла и деформаций русла, вызванных как воздействием водного потока, так и таянием мерзлых составляющих берегового склона. Проведено сравнение с распространением примеси в аналогичном потоке без мерзлых включений.

Результаты численных расчетов, верифицированные по данным лабораторных экспериментов, не противоречивы, но свидетельствуют о том, что модели нуждаются в дальнейшем усовершенствовании.

Начаты работы по исследованию распространения примеси на криволинейных участках русел и влияния фильтрации.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОЧИЩЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД В АДМИНИСТРАТИВНОМ ОКРУГЕ КЕРБЕЛ ИРАКА ДЛЯ ИРРИГАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ

Джумагулова Н.Т.¹, Абдуламир Лейс Саид Абдуламир²

¹к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

²аспирант кафедры ГиГС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Введение. Целью исследования является оценка целесообразности повторного использования городских очищенных сточных вод в административном округе Кербел в Ираке для сельскохозяйственного орошения. Дефицит водных ресурсов в этом регионе наиболее негативно отразилось на сельском хозяйстве, особенно на орошаемом земледелии. Сокращение пахотных земель в регионе в дальнейшем приведет к проблеме продовольственной продукции. Одним из гарантированных альтернативных источников воды в сложившихся условиях являются очищенные городские сточные воды.

В работе проведен количественный анализ существующих источников водоснабжения для города Кербела за период с 2014 по 2019 годы, потребление воды населением в течение года. Определен период и количество нехватки воды для орошения сельскохозяйственных земель. Произведена комплексная оценка возможности использования очищенных сточных вод очистных сооружений города Кербела для ирригационных целей.

Материалы и методы. Исследования, проведенные в данной работе основаны на данных из Управления водных ресурсов в провинции Кербела за период с 2014 по 2019 годы. В работе использовались аналитические методы исследования. В результате были проанализированы годовой сток реки Аль-Хуссайния, потребление воды населением в течение года и количеством дефицита воды на орошение земель в вегетативный период. Изучены альтернативные источники пополнения запасов воды за счет использования очищенных сточных вод города для полива земель. Произведен прогнозируемый расчет увеличения количества орошаемых вод в ходе поэтапного внедрения очистных сооружений по районам города.

Результаты. Для решения данной проблемы были рассмотрены варианты использования подземных вод. Уровень залегания артезианских вод на глубине ниже 500 метров и удаленность от местонахождения орошаемых земель не позволили применить такой подход из-за нецелесообразности с экономической точки зрения.

Далее была произведена оценка фактического количества образующихся сточных вод, также планируемых к вводу в будущем очистных сооружений.

Выводы. 1. После использования очищенных сточных вод в городе Кербела дефицит воды сократится в среднем на 15% от общего водопотребления. После канализования всего города количество очищенных сточных вод увеличится в среднем в 2- 2,5 раза (30-35%), что в целом может решить проблему орошаемого земледелия.

2. Очищенные сточные воды могут использоваться для ограниченного орошения в соответствии с иракскими стандартами на качество воды для полива сельскохозяйственных земель.

3. Для исключения деградации земель в процессе полива земель очищенными сточными водами необходимо дальнейшее изучение состояния почв и улучшение качества очистки воды. Для обеспечения комплексной оценки качества воды для орошения следует учитывать агрономические, технические и экологические критерии.

Ключевые слова: дефицит воды, очищенные сточные воды, расход воды, орошаемое земледелие, водоснабжение, водопотребление.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ РЕЧНОЙ И АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Вербицкий В.С.¹, Ходзинская А.Г.²

¹с.н.с., ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

²к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Для общего описания речной и атмосферной турбулентности как единого целого предлагается достаточно наглядная и простая модель, в которой совместно рассматривается турбулентность в атмосфере, в равнинных реках и в лабораторных лотках. Это позволяет использовать некоторые характеристики, полученные в водных потоках (временной и пространственный масштабы средней скорости, теоретическое значение придонной константы Кармана) для воздушных потоков.

Ключевые слова: теория турбулентной диффузии, пограничный слой, диссипация энергии, коэффициент турбулентной вязкости

ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ АТМОСФЕРНОЙ ТУРБУЛЕНТНОСТИ

Вербицкий В.С.

с.н.с., ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

АННОТАЦИЯ

Введение. В предлагаемой модели атмосферной турбулентности параллельно рассматривается турбулентность в водных потоках (в равнинных реках и лабораторных лотках) и в воздушных потоках в атмосфере. На воздушный поток перенесены некоторые характеристики, полученные в водных потоках.

Материалы и методы. Предложено моделирование атмосферной турбулентности открытым потоком с инерционным интервалом спектра с разделением пульсаций скорости на четыре компоненты. Для десяти характеристик спектра получены и представлены на графике сорок структурных масштабов, частично подтвержденных натурными и лабораторными данными. Введено понятие постоянной памяти атмосферы, определяющей длительность достоверного прогноза погоды.

Результаты. Гидравлическая модель атмосферной турбулентности основана на представлении течения в атмосфере как гигантского равномерного открытого потока и использовании средней по глубине диссипации ε , равной $2,5 \text{ см}^2/\text{с}^3$. На основе этого значения ε определены десять основных зависимостей инерционного спектра как продолжение и развитие первичной зависимости Ричардсона для коэффициента диффузии.

В рамках гидравлической стилизации атмосферной и речной турбулентности предложено деление пульсаций скорости и соответствующих структурных образований на микро, мезо, макро и мегакомпоненты. Даны теоретические оценки средних и максимальных линейных и временных масштабов отдельных структур, а также линейных границ между структурами.

Для спектра горизонтальной скорости ветра, полученного Ван дер Ховеном, показано согласие микрометеорологического максимума с временным мезомасштабом; мезометеорологического минимума с макрокомпонентой; синоптического максимума с временным мегамасштабом, равным релаксационному масштабу и времени полного перемешивания по вертикали. На этой физической основе определена постоянная памяти атмосферы, равная 4,63 суток (немного отличающаяся от синоптического максимума).

Введены понятия асимптотических масштабов инерционного спектра: минимальный – колмогоровский, максимальный – релаксационный. Даны опытные минимальные и максимальные границы инерционного спектра.

На основании большого объема теоретических и опытных данных построен сводный график десяти физических зависимостей инерционного интервала атмосферной турбулентности совместно с сорока соответствующими масштабами отдельных структур. Данный график продолжает первоначальный график Ричардсона и позволяет представить основные параметры атмосферной турбулентности, как единого физического целого.

Выводы. На основе теоретического значения постоянной памяти атмосферы найден принципиальный средний и максимальный пределы длительности достоверности численного прогноза погоды ($5 \div 15$ дней). В физическом плане максимальный предел определен неотъемлемым внутренним свойством атмосферы - ее турбулентным перемешиванием. Этот предел не может быть превзойден ни с помощью увеличения количества наземных и морских пунктов наблюдения, ни усложнением и уточнением физико-математических моделей численных прогнозов, ни увеличением быстродействия суперкомпьютеров.

Ключевые слова: микро-, мезо-, макро- и мегаструктуры, коэффициент турбулентной диффузии; лагранжево: время, длина, ускорение, колмогоровские и релаксационные масштабы.

НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНЫХ ГРУНТОВ В РУСЛАХ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Ходзинская А.Г.¹, Абрамова Л.В.², Кудрявцев Г.М.³

¹к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

²студентка института ИГЭС НИУ МГСУ

³старший преподаватель кафедры ГиГС НИУ МГСУ

Введение. Просадка уровней по сравнению с прежними их значениями при тех же расходах, особенно заметная в маловодные периоды, в основном связана с разработкой песчаных и гравийных карьеров на многих реках и продолжается в настоящее время.

Материалы и методы. По литературным источникам детально рассмотрены последствия добычи НСМ в реках. Приводятся схемы защиты русла от неблагоприятных факторов при добыче в русле и на пойме. На основе анализа приводится зависимость и порядок определения годового стока наносов.

Результаты. В малых реках при добыче нерудных строительных материалов (НСМ) с учетом ряда ограничений, которые излагаются в статье, после завершения разработки карьеров возможны компенсационные мероприятия.

Выводы. Разработка в руслах НСМ приводит к явным и скрытым неблагоприятным последствиям для реки и водной среды обитания. При решении вопроса выбора формулы для определения твердого расхода рекомендуется зависимость, дающая хорошее совпадение с измерениями.

Для небольших рек можно уменьшить неблагоприятные последствия, придерживаясь определенных вышеперечисленных правил.

При больших изъятиях НСМ из достаточно крупных рек единственным способом восстановления является строительство низконапорных гидроузлов, которое целесообразно осуществлять при наличии нескольких заинтересованных в строительстве участников.

Ключевые слова: песчаные и гравийные грунты, русловые и пойменные карьеры, донные наносы

ОСОБЕННОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО ПРОЛИВА ОПАСНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Комаров А.А.

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

АННОТАЦИЯ

Введение. При аварийных проливах жидкостей одним из параметров, характеризующих их опасность, является характерный размер зеркала пролива, с которого происходит последующее испарение жидкости, что приводит к заражению местности (при проливе ядовитых веществ) или взрыву и последующему факельному горению (при проливе горючих жидкостей). Поэтому для выработки мероприятий по ликвидации последствий такого рода аварий необходимо знать максимальные размеры зеркала пролива, которое может сформироваться при аварии. Имеющиеся нормативные рекомендации по определению параметров пролива топлива, являющегося легковоспламеняющейся жидкостью (ЛВЖ), не могут быть применены к проливам значительных объемов, что представляет наибольший практический интерес применительно к крупным авариям.

При аварийных ситуациях, связанных с проливом значительных объемов топлива, время от начала формирования зеркала пролива до его воспламенения относительно мало. Поэтому для определения параметров взрыва и последующего факельного горения, которые зависят от размеров зеркала пролива, необходимо рассмотреть гидравлическую задачу о растекании жидкости по плоской поверхности с заданным гидравлическим сопротивлением. При этом движение жидкости происходит по «сухому» руслу, что значительно осложняет задачу.

Материалы и методы. Для расчета параметров растекания топлива использовался численный метод, основанный на численном интегрировании уравнений сохранения, что позволяет проводить расчет распространения жидкости по «сухому» руслу. В основу численного метода положен известный метод Годунова, основанный на распаде произвольного разрыва. Метод Годунова с успехом применяется при расчетах распространения воздушных ударных волн и нестационарных потоков газа с начальными и граничными условиями, содержащими разрывы.

Задача о распаде произвольного разрыва применительно к жидкости со свободной поверхностью сводится к системе нелинейных уравнений относительно глубины потока и скорости жидкости в точке распада разрыва. Данные величины определяют потоки массы

и импульса, которыми обмениваются соседние расчетные ячейки. Расчет глубины потока и скорости жидкости для следующего момента времени производится через значения глубины и скорости для предыдущего момента времени по явной разностной схеме, аппроксимирующей систему уравнений сохранения.

Результаты. Приведены результаты численного расчета процесса растекания аварийного выброса топлива с начальным объемом 240 м^3 , что соответствует запасу топлива тяжелого коммерческого самолета (типа Airbus A380).

Полученные численным методом мгновенные положения свободной поверхности пролива с определенным шагом по времени после аварийного выброса позволили получить временные зависимости параметров пролива: его среднюю толщину (глубину); площадь пролива и его эквивалентный диаметр, который находится, исходя из площади пролива.

Получено, что при значительных объемах пролива темп растекания жидкости значительно замедляется при толщине пролива, меньшей 4-5 см. Данное значение можно использовать при оценках площади пролива.

Рассмотрена ситуация, когда сразу после аварии происходит воспламенение топлива. Кроме этого, рассмотрено влияние препятствий на процесс растекания пролива, что может существенно исказить процесс формирования пролива и размеры факельного горения.

Выводы. Рассмотрены общие принципы гидравлического расчета динамических параметров аварийного разлития опасных жидкостей. Приведен пример расчета динамических параметров аварийного пролива топлива, происшедшего при крушении тяжелого коммерческого самолета, что позволяет определить последствия подобных аварий. Показано, что при аварийном проливе значительных объемов жидкости толщина разлития будет не менее 4-5 см, что существенно больше значений, рекомендуемых нормативными документами. Соответственно и реальные размеры зеркала пролива будут значительно меньше. Показано, что различные препятствия, присутствующие на месте аварии и имеющие размеры, сопоставимые с проливом, практически не влияют на процесс формирования зеркала пролива и, соответственно, не влияют на факельное горение, сопровождающее аварию.

Ключевые слова: опасные жидкости, аварийное разлитие, зеркало пролива, толщина разлития, динамические параметры пролива, численные расчеты.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРО-ГЭС С СИФОННЫМ ВОДОПОДВОДОМ

Крылов А.П.¹, Бакишанин А.М.², Беглярова Э.С.³

¹аспирант кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

²к.т.н., доцент, заведующий кафедрой комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

³к.т.н., профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. Малая гидроэнергетика важна для отдаленных, труднодоступных и изолированных энергодефицитных районов, а также для локального водоснабжения изолированных поселений. Одним из возможных вариантов реализации проектов в малой гидроэнергетике, является установка энергоблоков на существующие гидроузлы. В ходе экспериментальных работ на Хоробровском гидроузле в Ярославской области были проведены испытания портативной микро-ГЭС с сифонным водоподводом и ортогональной турбиной с пятилопастным рабочим колесом установленной мощностью 30 кВт. В результате испытаний были получены характеристики гидросилового оборудования в располагаемых диапазонах напоров и расходов. Выполнен цикл теоретических и натурных исследований по использованию свободно-поточных ортогональных турбин в малой гидроэнергетике, рассмотрены возможные компоновочные решения подобных микро-ГЭС. Были проанализированы результаты испытаний ортогональной турбины опытной микро-ГЭС, определен её КПД, а также режимы работы гидросилового оборудования, при которых возникают кавитационные явления.

Материалы и методы. Исходными материалами для выполненных исследований послужили разработки с использованием ортогональных турбин в приливной и малой гидроэнергетике. В качестве обоснования методики измерения расхода в колене были использованы следствия из развития центробежной силы в колене водовода. Для проведения испытаний рабочей установки и получения её гидроэнергетических параметров, были проведены предварительные испытания на геометрически подобной модельной установке в гидравлической лаборатории АО «НИИЭС».

Стенд представлял собой геометрически подобную модель микро-ГЭС, выполненной в масштабе 1:2,5. В процессе проведения исследований для измерения расхода воды, использовался водослив с тонкой стенкой треугольного очертания, изготовленный и установленный по всем требованиям международных стандартов. На рабочей установке был проведен ряд гидроэнергетических испытаний.

Результаты. Основываясь на результатах испытаний, было выявлено, что уменьшение кривизны переходного участка сифонного водовода, ведет к увеличению пропускной способности турбины, при этом значение К.П.Д. турбины практически не изменялось. Испытания экспериментальной микро-ГЭС доказали возможность использования подобных энергоустановок на существующих гидроузлах без вмешательства в существующую конструкцию. Был определен наиболее оптимальный режим работы энергоустановки. Использование усовершенствованной конструкции пристанного направляющего аппарата в турбинном тракте, позволило увеличить показания К.П.Д. ортогональной турбины в сравнении с аналогами.

Выводы. В ходе испытаний, была разработана и апробирована методика измерения расхода в турбинном тракте, которая показала точность измерений и работоспособность в условиях эксперимента на рабочей установке. Также в ходе экспериментов были получены и проанализированы основные гидроэнергетические показатели энергоустановки и турбины и на основании полученных данных определен оптимальный режим работы турбины. В целом эксперимент доказал работоспособность микро-ГЭС, установленной на существующем гидроузле с сифонным водоводом и ортогональной турбиной в качестве рабочего агрегата.

Ключевые слова: Микро-ГЭС, сифонный водоприемник, ортогональная турбина, микро-гидроэнергетика, расход, напор, пьезометр, контрольно-измерительная аппаратура.

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ПРИМЕРЕ ЧАСТНЫХ ВОДОСБОРОВ РЕК ЛИХОБОРКА И ЖАБЕНКА

Беглярова Э.С.¹, Соколова С.А.², Бакиртанин А.М.³

¹к.т.н., профессор кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

²к.т.н., доцент кафедры комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

³к.т.н., заведующий кафедрой комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

АННОТАЦИЯ

Введение. Основная цель данной работы заключается в исследовании изменения содержания загрязняющих веществ в поверхностном стоке при проведении строительных работ по прокладке инженерных коммуникаций. В качестве объекта исследования выбрана территория города Москвы с водосборами рек Лихоборка и Жабенка. При проведении строительных работ помимо механического загрязнения, происходит изменение содержания взвешенных веществ, тяжелых металлов и нефтепродуктов. Содержание взвешенных веществ определяет значения таких показателей как БПК, ХПК, наличие свободного кислорода, и в тоже время они являются источником загрязнения водоемов и водотоков. Поверхностный сток вызывает плоскостную эрозию, интенсивность которой определяется по уровню деградации почвенного покрова. Территория Москвы относится к зоне умеренно деградированных почв со средним смывом почв 0,7 т/га в год, что соответствует слою почв 0,07 мм/год. Наибольшая активность поверхностного смыва отмечается на стройплощадках, где она может возрасть более чем в 10 раз.

Материалы и методы исследований. Долины малых рек подвержены наибольшему влиянию в результате хозяйственной деятельности человека, поэтому основной задачей исследований стало изучение загрязненности поверхностного стока, а также особое внимание следует уделять состоянию водосборов, береговой линии и самим водотокам. Данные были получены путем анализа информации из различных источников и нормативных документов. Прогноз степени загрязнения поверхностного стока основывается на балансовых расчетах величин стока и содержания в нем основных загрязнителей. Рассматривается методика расчета дождевого и талого стока, динамика содержания

взвешенных веществ и нефтепродуктов в поверхностном стоке на разных этапах развития территории: существующие условия, в период строительства и период эксплуатации.

Результаты. В результате проведенных расчетов были получены обобщенные данные динамики трансформации содержания основных загрязняющих веществ в поверхностном стоке рек Лихоборка и Жабенка, формирующемся в различные периоды освоения территории. По сравнению с существующими условиями изменение содержания загрязняющих веществ в стоке р. Лихоборка будет следующее: в период строительства произойдет увеличение содержания взвешенных веществ на 21%, нефтепродуктов уменьшится на 4%; в период эксплуатации в результате строительства очистного сооружения произойдет снижение содержания взвешенных веществ и нефтепродуктов более чем в 3 раза. По стоку р. Жабенка произойдет увеличение содержания взвешенных веществ на 4% только в период строительства, содержание нефтепродуктов на всех этапах развития территории останется на прежнем уровне.

Выводы. На основании проведенного анализа и расчетных работ, можно сделать вывод, что реализация проектных решений и строительства очистных сооружений в пределах частного водосбора бассейна р. Лихоборки и Жабенки не приведет к ухудшению качественного состава поверхностного стока. При проектировании и строительстве система дождевой канализации, согласно постановлению Правительства Москвы, должна подключаться к коллектору с использованием современных технологий очистки стока, и тогда характеристика поверхностного стока на участках её водосбора будет соответствовать показателям в существующих условиях.

Ключевые слова: поверхностный сток, водосбор, загрязняющие вещества, дождевые и талые воды, взвешенные вещества, нефтепродукты, строительные работы.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ СЕЛЕВЫХ ПОТОКОВ С УЧЕТОМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

Волгина Л.В.¹, Сергеев С.А.¹

¹к.т.н., доцент кафедры ГиГС НИУ МГСУ

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена расчету средней скорости селевого потока. Сель, с точки зрения теории двухфазных потоков представляет собой неравномерное движение с высокой концентрацией твердых частиц. Поскольку основные характеристики (глубина, ширина, концентрация твердых частиц, средневзвешенный диаметр твердых частиц) селевого потока изменяются по направлению движения, такой поток необходимо рассматривать в виде динамической системы, а само движение разделить на участки, соответствующие этапам «жизненного цикла». Традиционно, в практике селеведения основной осредненной кинематической характеристикой является средняя скорость, для определения которой предложен ряд эмпирических формул. Однако принцип расчета средней скорости должен изменяться для каждой фазы жизненного цикла. Сопоставление расчетных формул и поиск наиболее близких к измеренным позволил сформулировать рекомендации расчета средних скоростей в любой момент времени существования селевого потока.

Ключевые слова: селевой поток, двухфазный поток, средняя скорость селя, жизненный цикл селя

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕСТАЦИОНАРНОГО ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА (НА ПРИМЕРЕ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ПЕРЕМЫЧЕК)

Заборова Д.Д.¹, Петриченко М.Р.², Мусорина Т.А.¹

¹аспирант Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства СПбПУ
Петра Великого

²д.т.н., профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства
СПбПУ Петра Великого

В данной статье рассматривается нестационарная фильтрация воды через песчаную прямоугольную перемычку. Эксперименты проводились в лабораторных условиях на щелевом лотке, заполненном мелкозернистым песком. Найден мгновенный расход для перемычек разной длины ($L/H=0.8, 1, 1.33$), положение депрессионных кривых, и промежутки высачивания. Доказано, что чем длиннее перемычка, тем дольше устанавливается стационарный режим фильтрации и уменьшается высота промежутка высачивания.

Ключевые слова: фильтрация, пористая среда, песчаная перемычка, депрессионные кривые, промежутки высачивания

ТРУБОПРОВОДЫ С ЗАСОРЕНИЕМ И ИХ ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Локтионова Е.А.¹, Мифтахова Д. Р.², Ярославцева Е. Ю.³

¹к.т.н., доцент Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства СПбПУ
Петра Великого

²аспирант Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства СПбПУ
Петра Великого

³студент Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства СПбПУ Петра
Великого

АННОТАЦИЯ

Введение. Снижение пропускной способности трубопроводов в процессе их эксплуатации приводит к необходимости поиска критериев для возможного прогноза этих изменений. На стадии проектирования трубопроводов и их систем предполагается турбулентный режим движения жидкости и, чаще всего, область квадратичного сопротивления. В процессе эксплуатации трубопроводов вследствие коррозии, засорения и других причин меняется состояние внутренней поверхности трубопроводов вплоть до изменения области сопротивления и даже режима движения жидкости. Таким образом, вопрос влияния износа и засорения в ходе эксплуатации инженерных сетей на истинную пропускную способность трубопроводов, является важной практической задачей.

Материалы и методы. Были проведены экспериментальные исследования трубопроводов, засоренных искусственным образом наполнителем из керамзита. Были исследованы участки трубопроводов с различным начальным суммарным сопротивлением при одинаковом отношении длины к диаметру, а также участки трубопроводов с одинаковым гидравлическим сопротивлением, но при различном отношении длины к диаметру.

Результаты. Получен график зависимости коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса. Проанализирована зависимость характера изменения числа Рейнольдса от отношения длины к диаметру, гидравлического уклона и начального гидравлического сопротивления. Дано обоснование перехода от традиционных коэффициентов гидравлического сопротивления к коэффициентам фильтрации и проницаемости. Рекомендована зависимость относительного коэффициента фильтрации от степени засорения

как универсальный параметр для оценки пропускной способности бывших в эксплуатации трубопроводов.

Выводы. Коэффициенты фильтрации и проницаемости могут рассматриваться как дополнительные параметры при оценке состояния внутренней поверхности трубопровода в процессе его эксплуатации. Переход от коэффициентов сопротивления к коэффициентам фильтрации и проницаемости позволяет сделать ориентировочный прогноз засорения трубопровода с известным типом засора. При малых степенях засорения проницаемость трубопровода снижается значительно быстрее, чем при последующем засорении. Для трубопроводов, имеющих одинаковое начальное сопротивление изменение их гидравлических свойств при последующем засорении мало зависит от отношения длины к диаметру.

Ключевые слова: напорный трубопровод, степень засорения, коэффициент сопротивления, коэффициент фильтрации, коэффициент проницаемости, относительный коэффициент фильтрации, пропускная способность трубопровода.