



# СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРАВЛИКИ И ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Сборник тезисов докладов  
IV Всероссийского научно-практического семинара

*(г. Москва, 26 мая 2021 г.)*

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021  
ISBN 978-5-7264-2886-4

Москва  
Издательство МИСИ – МГСУ  
2021

УДК 62+378

ББК 38

С56

С56 **Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства** [Электронный ресурс] : сборник тезисов докладов IV Всероссийского научно-практического семинара (г. Москва, 26 мая 2021 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, институт гидротехнического и энергетического строительства. — Электрон. дан. и прогр. (1,9 Мб). — Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2021. — Режим доступа: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-2886-4

В сборнике содержатся тезисы докладов участников IV Всероссийского научно-практического семинара, который проходил 26 мая 2021 г.

Для научных сотрудников данной отрасли.

*Научное электронное издание*

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

© ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2021

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](mailto:iges@mgsu.ru)  
Сайт [www.mgsu.ru](http://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 23.08.2021. Объем данных 1,9 Мб.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный университет»  
129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26.

Издательство МИСИ – МГСУ.  
Тел.: + 7 (495) 287-49-14, вн. 14-23, (499) 183-91-90, (499) 183-97-95.  
E-mail: [ric@mgsu.ru](mailto:ric@mgsu.ru), [rio@mgsu.ru](mailto:rio@mgsu.ru)

## ОГЛАВЛЕНИЕ

### СЕКЦИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ И ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

<i>Крутов Д.А.</i> Методика расчетного обоснования откосных креплений на ледовые нагрузки, обусловленные колебаниями уровней воды	9
<i>Февралев А.В.</i> Проблемы гидротехнического строительства в криолитозоне в связи с глобальным изменением климата	11
<i>Зерцалов М.Г., Чунюк Д.Ю., Минин К.Е., Польшаева А.И.</i> Фибробетонные обделки безнапорных гидротехнических туннелей в скальных грунтах и расчёт их трещиностойкости	12
<i>Соломатин С.В., Козлов Д.В.</i> Методические подходы к расчетам ледовой нагрузки на гидротехническое сооружение в условиях вязкой деформации льда	13
<i>Сорока В.Б.</i> Влияние жёсткости основания на напряженно-деформированное состояние бетонного экрана каменно-набросной плотины	15
<i>Макаров К.Н., Юрченко Е.Е., Бирюкбаев Э.К.</i> Комплексное моделирование гидротехнического сооружения из электроупругих материалов	17
<i>Беляев Н.Д.</i> Применение струй от судовых движителей для решения инженерных задач	19
<i>Вялый Е.А., Макаров К.Н., Глявлиня Г.В.</i> Проницаемые конструкции искусственных островов	21
<i>Рогачко С.И., Шунько Н.В.</i> Роль современной научно-исследовательской лаборатории в решении задач морской гидротехники	23
<i>Зуев Н.Д., Шунько А.С., Шунько Н.В.</i> Физическое моделирование проектируемого морского терминала находкинского завода минеральных удобрений	24
<i>Зуев Н.Д., Шахин В.М., Шунько А.С., Шунько Н.В.</i> Исследование трансформации волн на подходе к морскому порту Тамань и в его акватории с учетом основных определяющих волнение факторов	25
<i>Анишаков А.С., Кантаржи И.Г., Зуев Н.Д., Шунько А.С., Шунько Н.В.</i> Математическое и физическое моделирование морского терминала, проектируемого в Мурманской области	26
<i>Кантаржи И.Г., Анишаков А.С.</i> Оценка влияния порта на литодинамические процессы в Геленджикской бухте	27
<i>Долгушев Т.В., Кантаржи И.Г.</i> Влияние изменений климата на условия работы портовых сооружений	28
<i>Хадла Гунуа, Кантаржи И.Г., Хайдар Амаль Сулайманн.</i> Наносы и сооружения в береговой зоне Сирии	29
<i>Давлатшоев С.К.</i> Влияние гравитационного давления на процесс релаксации самонапряженного состояния горных пород вокруг подземного помещения	30
<i>Давлатшоев С.К.</i> Оценка качества укрепительной цементации вмещающего массива песчаников в условиях растягивающих напряжений	31
<i>Толстиков В.В., Юссеф Яра.</i> Численное исследование статической работы бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС с учетом строительных швов	32
<i>Наумова Т.В.</i> Проблемы технического состояния оросительных систем юга России и переход управления орошением на новый технологический уровень	33
<i>Зверев А.О.</i> Работоспособность полимерных геомембран как противофильтрационных элементов грунтовых плотин	34

<i>Зюзина О.В., Беллендир Е.Н., Рубин О.Д.</i> Усиление железобетонных конструкций эксплуатируемых гидротехнических сооружений предварительно напряженной базальтокомпозитной арматурой	35
<i>Юрченко А.Н., Бритвин С.О., Дугинец Г.</i> Технические решения для распределенного мониторинга гидросооружений	36
<i>Ерхов А.А.</i> Декомпрессионная болезнь при подводных работах на гидротехнических сооружениях	38
<i>Корчагин Е.А., Николаев П.А., Вишняков И.Н.</i> Повышение несущей способности больверков при строительстве на слабых грунтах основания	39
<i>Корчагин Е.А., Хованов И.А., Терихов Е.М.</i> Развитие порта Темрюк с учетом природных факторов	41
<i>Корчагин Е.А., Никитин А.С., Политов И.Н.</i> Развитие порта Невельск с учетом природных факторов	43
<i>Тарек С. С. Толстиков В. В.</i> Сравнение гравитационных плотин из укатанного и тощего бетона	44
<i>Доронин Ф.Л.</i> Напряженно-деформированное состояние межсекционных швов массивно-контрфорсной плотины при сейсмических воздействиях	45
<i>Бестужева А.С., Чубатов И.В.</i> Напряженно-деформированное состояние расчетной области при адресном нагнетании	46
<i>Бестужева А.С., Абдуллоев А.Б.</i> Влияние прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин	47
<i>Анискин Н.А., Сергеев С.А.</i> Фильтрационный режим земляной плотины при сработке водохранилища	49
<i>Анискин Н.А., Шайтанов А.М.</i> Особенности влияния солнечной радиации на разогрев бетонных массивов и прогнозное моделирование старения геокомпозитных противофильтрационных экранов	50
<i>Нгуен Чонг Чык, Анискин Н.А.</i> Термонапряженное состояние приконтактной зоны возводимого бетонного массива	51
<i>Галимов И.М., Левачев С.Н., Прудникова Д.А.</i> Результаты исследования быстровозводимых дамбовых конструкций	52
<i>Филиппов В.В., Галимов И.М.</i> Мониторинг технического состояния подводной части гидротехнических сооружений посредством гидроакустических и ГНПА комплексов	53
<i>Кудрявцев Г.М.</i> Расчетное обоснование профиля сверхвысокой каменно-земляной плотины	54
<i>Учеваткин А.А.</i> Численная оценка эффективности регулируемых температурных воздействий на напряженно-деформированное состояние бетонных плотин, требующих усиления	55
<i>Маркова И.М., Фань Хань Хань.</i> Влияние гидротехнических сооружений на формирование береговой линии рек в дельте Меконга	57
<i>Галимов И.М., Левачев С.Н.</i> Международный морской канал «Евразия»	58

#### **Секция ГИДРАВЛИКА, ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО**

<i>Агафонова С.А., Банишкова Л.С.</i> Зажоры и заторы на зарегулированных участках р. Волга в современных климатических условиях	60
--	----

<i>Иваненко Ю.Г., Ткачев А.А., Гурин К.Г.</i> Применение метода характеристик для исследования процессов трансформации расходов и глубин воды в деривационном канале ГЭС при регулировании стока	61
<i>Королев В.М., Аргал Э.С.</i> Свойства водоцементных суспензий с противоморозными добавками и расчет их движения в трубах	62
<i>Дебольская Е.И., Саминский Г.А.</i> Применение математического моделирования и анализа турбулентных характеристик для выявления застойных зон водоемов (на примере Иваньковского водохранилища)	63
<i>Васильева Е.С., Глотко А.В., Беликов В.В.</i> Численное моделирование количественных параметров прохождения расходов воды через ГТС «Успенская плотина» на реке Клязьма	64
<i>Васильева Е.С., Глотко А.В., Беликов В.В.</i> Численное моделирование волны прорыва гидроузла №10 Беломорско-Балтийского канала	66
<i>Гусаров Р.Н.</i> Физическое моделирование длинных волн	68
<i>Куприн А.В., Кантаржи И.Г.</i> Влияние разжижения грунта на глубину размыва, вызываемого волнами цунами	69
<i>Гогин А.Г., Кантаржи И.Г.</i> Дифракция разнонаправленных волн на сходящихся оградительных сооружениях	71
<i>Ерхов А.А.</i> Гидравлический расчет донных порогов рыбоходов	73
<i>Гармакова М.Е.</i> Деформация русла при антропогенной нагрузке на водоток в местах пересечения его подводными трубопроводами	74
<i>Петровская О.А.</i> Связи между основными параметрами транспорта донных наносов	75
<i>Глазунова И.В., Бахитанин А.М., Карпенко Н.П.</i> Гидравлические расчеты биоинженерных сооружений с применением компьютерной программы	77
<i>Комаров А.А.</i> Газодинамические потоки при авариях, сопровождаемых огневыми шарами	79
<i>Волгина Л.В.</i> О движении двухфазного потока в коллекторной системе г. Москвы	80
<i>Волгина Л.В., Гусев И.А.</i> Экспериментальное исследование потерь напора при движении двухфазного потока в вертикальных трубах	82
<i>Кушер А.М.</i> Расходная характеристика плоского щитового затвора в открытом русле	83
<i>Ильинич В.В., Перминов А.В., Наумова А.А.</i> Оценка влияния климатических характеристик и ландшафтных изменений на максимальный сток малых водосборов	85
<i>Беднарук С.Е., Дильман Н.А., Чуканов В.В.</i> Учет экологических ограничений при разработке диспетчерского графика работы Иркутского гидроузла	87
<i>Брянская Ю.В., Игнатенко Е.В.</i> Критический анализ опытов А.П. Зегжда по исследованию гидравлического сопротивления гладких и шероховатых открытых каналов	89
<i>Брянская Ю.В., Юмашева М.А., Игнатенко Е.В., Шерстнев Д.Ю.</i> Гидравлические характеристики водного потока при продольном обтекании берегового откоса, укрепленного защитными покрытиями	90
<i>Ходзинская А.Г., Ахаев К.Д.</i> Предложения по строительству спрямляющего канала на р. Терек	91

<i>Соколова С.А., Бахитанин А.М., Беглярова Э.С.</i> Исследование процессов интенсивной плановой деформации русел	93
<i>Ангхесом Алемнгус Гебрехивот, Козлов Д.В.</i> Орошение аккумулярованными ливневыми водами (spate irrigation) и проблемы управления водными ресурсами в западных низменностях Эритреи	95
<i>Слейман Алаа, Козлов Д.В.</i> Сравнительный анализ методов прогнозирования временных рядов стока на основе моделей искусственного интеллекта и регрессии	97
<i>Брянский И.А.</i> Экспериментальное определение коэффициентов гидродинамического сопротивления и подъемной силы трубопроводных переходов при различных методах прокладки	98
<i>Щесняк Л.Е.</i> Моделирование продольно-циркуляционных течений при сопряжении с нижним бьефом в условиях высоких напоров	99
<i>Козлов Д.В., Снежко В.Л.</i> Исторические и современные исследования ледового режима устья реки Северная Двина	101
<i>Кобозев Д.Д., Снежко В.Л.</i> Гидравлические характеристики инъекционных водовыпусков	103
<i>Кулешов С.Л.</i> Двухфакторная модель прогноза образования заторов на реке Кичменьга	105
<i>Иванкова Т.В.</i> Управление безопасностью природно-технической системы бассейна малых рек (на примере реки Альма, Республика Крым)	107
<i>Гурьев А.П., Ханов Н.В., Хаек Б.А.</i> Теоретические расчёты параметров телескопического водо-выпуска мелиоративной насосной станции	110

**Секция**  
**ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ И**  
**ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ**  
**СТРОИТЕЛЬСТВО**



# МЕТОДИКА РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ОТКОСНЫХ КРЕПЛЕНИЙ НА ЛЕДОВЫЕ НАГРУЗКИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯМИ УРОВНЕЙ ВОДЫ

*Крутов Д.А.*

к.т.н., Казахстанско-Немецкий университет, Казахстан, г. Алматы

## АННОТАЦИЯ

В проектной практике оценка прочности откосных креплений при действии статической ледовой нагрузки, обусловленной подъемом и опусканием льдины, фактически не производится. Проектировщики полагаются на свой опыт, пренебрегая расчетным обоснованием принятых конструктивных решений. Сложившаяся практика обусловлена тем, что рекомендации по устройству крепления при действии таких нагрузок слабо отражены в действующих стандартах (как российских, так и международных).

При этом разрушительное действие ледовой нагрузки на откосные крепления при колебаниях уровней воды находит подтверждение при обследовании как прибрежных морских, так и речных гидросооружений. Разрушительное действие ледовой нагрузки на откосные крепления каменных дренажных banquetов грунтовых плотин в нижнем бьефе крупных ГЭС также можно отнести к исследуемому статическому случаю.

Автор предлагает упрощенный подход, который позволит оперативно оценить прочность и устойчивость откосных креплений. Идея методики моделирования ледовых воздействий при колебаниях уровня воды заключается в попытке применить ранее полученное решение задачи о взламывании льда в руслах рек для статического расчетного случая к проблеме расчетного обоснования устойчивости и прочности конструкций откосных креплений. Статический случай взламывания льда имеет место при сравнительно медленном подъеме уровня воды (например, весенний паводок, приливы). Работы, опубликованные в 1970–1980-е гг. в период интенсивного освоения рек Сибири, описывали именно такие случаи взламывания льда. При этом были определены: прогиб льдины, ширина и форма этого прогиба и величина максимально возможной нагрузки (или давление воды, действующее на нижнюю поверхность льдины).

Автор предлагает моделировать ледяное поле и примерзание его с откосным креплением методом конечных элементов, имитируя подъем и опускание льдины статическим эквивалентом в виде максимально возможной нагрузки, определяемой максимальным прогибом льдины.

Иными словами, давление воды задается на нижнюю поверхность моделируемого ледяного поля при повышении уровня воды. При понижении уровня воды нагрузка от собственного веса льдины задается на верхнюю поверхность льдины.

Итоги работы представлены:

- проектом бетонных гибких балок, сцепление которых предусмотрено по принципу зубчатого зацепления, препятствующих разрушению откосных креплений, и вместе с тем, обеспечивающих свободный отток дренажных вод из каменных банкетов в нижний бьеф и из берегоукрепительных сооружений в реку, как дрены;

- расчетной схемой, демонстрирующей предлагаемую методику расчета прочности и устойчивости откосного крепления;

- конечно-элементной моделью, созданной в программе ANSYS.

Результаты расчетов показали следующее:

- на пологом откосе (1:4), камень устойчивый к подъему/опусканию льдины толщиной 1 м, по приблизительной оценке должен обладать массой более 300 кг, что соответствует диаметру камня величиной 1.3 м. Иными словами, обеспечить надежную защиту откоса при больших толщинах льда, используя только каменное крепление, затруднительно;

- одновременное крепление откосов каменной наброской и гибкими бетонными балками наряду с более надежной защитой откосов от ледовых воздействий, чем защита только камнем, приводит к уменьшению толщины крепления;

- разработанное бетонное крепление способно выдерживать действие исследуемой ледовой нагрузки при условии, что толщина льда не превышает 1 м.

**Ключевые слова:** ремонт откосов гидросооружений, крепление откосов, ледовое воздействие при колебаниях уровней воды.

# ПРОБЛЕМЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В КРИОЛИТОЗОНЕ В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

*Февралев А.В.*

к.т.н., профессор, кафедра гидротехнических и транспортных сооружений ННГАСУ

## АННОТАЦИЯ

Приведены понятия криолитозоны и вечномерзлых грунтов; рассмотрены наблюдаемые изменения климата; показаны воздействия изменений климата на природные системы суши, многолетнюю мерзлоту, хозяйственные объекты и гидротехнические сооружения криолитозоны. Сказано о разработанной математической модели прогноза температурного режима с учетом изменения климата. Даны некоторые результаты расчетной реализации этой модели.

**Ключевые слова:** криолитозона, многолетняя мерзлота, изменения климата, гидротехнические сооружения, температурный режим.

# ФИБРОБЕТОННЫЕ ОБДЕЛКИ БЕЗНАПОРНЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТУННЕЛЕЙ В СКАЛЬНЫХ ГРУНТАХ И РАСЧЁТ ИХ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ

*Зерцалов М.Г.<sup>1</sup>, Чунюк Д. Ю.<sup>2</sup>, Минин К.Е.<sup>3</sup>, Польшаева А.И.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра механики грунтов и геотехники НИУ МГСУ

<sup>3</sup>начальник отдела расчетов конструкций подземных сооружений, ООО "Научно-инженерный центр Тоннельной ассоциации"

<sup>4</sup>инженер 2 категории, АО «Центральный Научно-исследовательский институт транспортного строительства»

## АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования трещиностойкости фибробетонных обделок гидротехнических безнапорных туннелей сводчатого очертания, возводимых в скальных грунтах горным способом на полное сечение. По результатам численного моделирования предложен, основанный на линейной механике разрушения, метод расчета трещиностойкости подобного типа обделок. Исследования выполнялись методом конечных элементов с использованием метода планирования эксперимента.

**Ключевые слова:** фибробетон, трещиностойкость, метод конечных элементов, внутренние усилия, линейная механика разрушения, коэффициент интенсивности напряжений.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАСЧЕТАМ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СООРУЖЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ВЯЗКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ЛЬДА

*Соломатин С.В.<sup>1</sup>, Козлов Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Освоение ресурсов континентального шельфа является важной задачей для Российской Федерации, при этом наибольшее количество углеводородного сырья, необходимого к промышленному освоению, находится в зонах замерзающих окраинных морей Северного Ледовитого океана. При проектировании гидротехнических сооружений (ГТС) для работы в замерзающих морях, необходимость учета ледовых нагрузок создает особую задачу для инженеров, от точности решения которой зависит как безопасность людей, экологии и оборудования, так и возможность реализации проектов с финансовой точки зрения. Целью данного исследования является формирование методического подхода определения ледовой нагрузки в условиях устойчивого припая для учета фактических параметров ледового режима и обоснования безопасных, экономически эффективных проектных решений ГТС. В ходе подготовки исходных данных для разработки методического подхода были проанализированы множественные параметры ледового режима залива Шарапов Шар Карского моря. В ходе камеральных и экспедиционных работ были определены методические требования к измерению кинематики и прочностных характеристик льда, к исследованиям морфологических особенностей льда, которые впоследствии могут быть применены к другим замерзающим акваториям для которых характерны условия устойчивого припая. Разработанная методика включает в себя комплекс требований к исследованиям ледового режима устойчивого припая, инженерным изысканиям, включая особые требования к изучению кинематики льда в течение всего периода ледовых нагрузок, а также к расчетам нагрузки в различных фазах ледового режима. Данное исследование показало перспективность учета вязкой деформации льда в условиях устойчивого ледового припая ввиду существенного снижения расчетных ледовых нагрузок на проектируемые ГТС, с учетом морфологических и кинематических особенностей акватории с устойчивым ледовым припаем. Проведенный по предлагаемой методике расчет нагрузки на гидротехническое сооружение в условиях залива Шарапов Шар позволил обосновать применение более эффективных типов ГТС, снижающих экологическую нагрузку на район строительства и повышающих финансовую эффективность перспективного проекта основания Крузенштернского газоконденсатного месторождения.

**Ключевые слова:** ледовая нагрузка, Крузенштернское газоконденсатное месторождение, вязкая деформация льда.

# ВЛИЯНИЕ ЖЁСТКОСТИ ОСНОВАНИЯ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕТОННОГО ЭКРАНА КАМЕННО-НАБРОСНОЙ ПЛОТИНЫ

*Сорока В.Б.*

аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

В последнее время ряд каменно-набросных плотин с бетонным экраном (КНПБЭ) построен на мощном слое нескальных отложений: плотины Dhauliganga, Aertash Limon, Nalan. В связи с этим актуальным является вопрос о влиянии нескального основания на напряженно-деформированное состояние (НДС) бетонного экрана каменно-набросной плотины. Этому вопросу посвящены публикации [5-8], однако он изучен недостаточно.

Нами с помощью численного моделирования было проведено исследование НДС абстрактной КНПБЭ высотой 100 м, расположенной на нескальном основании толщиной 100 м. Расчёты проводились по вычислительной программе Nds\_N. При исследованиях варьировался модуль линейной деформации каменной наброски плотины (120, 480 МПа), грунта основания (от 40 МПа до 20 ГПа), а также рассматривались случаи наличия и отсутствия в основании противофильтрационной стены, воспринимающей гидростатическое давление. Всего было рассмотрено 22 расчётных варианта с различным сочетанием конструкций и характеристик грунтов.

По результатам исследования было выявлено влияние соотношения жёсткости основания и плотины на НДС бетонного экрана.

Анализ перемещений БЭ показал, что уменьшение жёсткости и устройство ПФС не только изменяет величины перемещений экрана, но и изменяет характер деформаций его поперечного изгиба. При жёстком основании экран максимальный прогиб экрана в сторону НБ наблюдается примерно посередине высоты, а при «мягком» основании максимум смещений экрана наблюдается вблизи подошвы плотины.

Влияние устройства стены в основании на НДС БЭ выражается увеличении смещений и уменьшении осадок экрана, увеличении прогибов экрана и в выравнивании их распределения по высоте.

Анализ напряжений в верховой и низовой грани БЭ показал, что абсолютно жёстком основании нижняя часть экрана (ниже 30 м) испытывает растягивающие продольные силы, а верхняя часть – сжимающие. Изгиб увеличивает растягивающие напряжения на низовой грани нижней части экрана. Самое опасное сечение экрана располагается в самой нижней части экрана.

Рассмотрение вариантов со скальным и полускальным основанием показывает, что чем меньше модуль деформации основания, тем меньше проявляются деформации продольного

изгиба и линейные деформации экрана. Длина зоны растягивающих продольных сил с уменьшением модуля деформации основания также уменьшается.

В вариантах с нескальным основанием НДС экрана характеризуется наличием в нижней части экрана не растягивающих, а высоких сжимающих сил и напряжений. Кроме того, характерно резкое увеличение изгибающих моментов в нижней части экрана, которое во многом нивелирует положительное влияния сжимающих продольных сил.

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Деформируемость основания сильно влияет на НДС БЭ. От неё зависит характер деформация тела плотины и внутренние усилия в БЭ.

2. Основное влияние основание оказывает на продольные силы, возникающие в БЭ, которые вызваны силами контактного трения между экраном и телом плотины.

3. Наиболее благоприятное НДС БЭ наблюдается в том случае, когда деформируемость тела плотины примерно соответствует деформируемости основания. В этом случае экран начинает испытывать сжимающие напряжения.

4. Неблагоприятным случаем является строительство плотины на слабом нескальном основании. Деформации бокового расширения основания могут вызвать в экране значительные сжимающие и растягивающие продольные силы напряжения. Также возрастает изгиб нижней части экрана. В результате растягивающие продольные напряжения в БЭ могут превышать прочность бетона.



# КОМПЛЕКСНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ИЗ ЭЛЕКТРОУПРУГИХ МАТЕРИАЛОВ

*Макаров К.Н.<sup>1</sup>, Юрченко Е.Е.<sup>2</sup>, Бирюкбаев Э.К.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра строительства СГУ

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра строительства СГУ

<sup>3</sup>аспирант, кафедра строительства СГУ

## АННОТАЦИЯ

При исследовании характеристик волнового воздействия на гидротехническое сооружение (буну) применено комплексное физическое и математическое моделирование. Физические модели изготавливались из электроупругих материалов - оргстекла и пластика ABS на 3-D принтерах или ручкой. Комплексное моделирование позволяет сопоставлять данные физического моделирования с теоретическими результатами. В работе продемонстрирован процесс передачи результатов физического моделирования в качестве исходных данных и граничных условий для математического моделирования.

Цель исследований – оценка максимальных реакций сооружений на волновые воздействия при возможных резонансных явлениях. Для этого используется амплитудно-частотный спектр отклика малоразмерных моделей из электроупругих материалов, изготовленных с применением аддитивных технологий.

Задачи исследования:

- методами физического и математического моделирования определить резонансные частоты колебаний моделей бун из нескольких материалов, обладающих электроупругими свойствами, под воздействием входящего волнения;

- методом математического моделирования исследовать взаимодействие волн с моделью буны при скоростях течения воды, используемых при физическом моделировании, вычислить диссипацию энергии турбулентности, высоту заплеска воды на грани буны и скорости течения в ее нижней части.

Состав лабораторной установки следующий:

- модель буны из электроупругих материалов - оргстекла и пластика ABS, устанавливается в специальной емкости;

- электроакустический преобразователь имеет диффузор марки 10ГДН-1.4, установленный в торцевой части емкости;

- двухкаскадный микрофонный усилитель переменного тока имеет коэффициент усиления единичного каскада до 100000 раз;

- компьютер в режиме осциллографа - регистрация потенциалов производится одновременно с двух пар электродов по двум каналам.

Сигналы обрабатываются программой SpectrLab - амплитуда измерений - от единиц микровольт до десятков милливольт.

По данным физического моделирования в программе SolidWorks выполнено математическое моделирование тех же моделей сооружений. При этом были соблюдены геометрические (размеры), кинематические (время и скорость) и динамические (частоты) масштабы. Резонансные частоты определены в генераторе частотного анализа программы SolidWorks

Результаты исследования:

1. Частотный анализ при математическом моделировании показал хорошую сходимость с величинами резонансных частот, полученных при испытаниях сооружения на физической модели.

2. Использование малоразмерного 3-D моделирования из материалов 3-D принтеров и (или) оргстекла, обладающих электроупругими свойствами позволяет ускорить и удешевить процесс изготовления физических моделей.

3. Измеренные и вычисленные резонансные частоты колебаний сооружений качественно демонстрируют возможность разрушения бун при второй форме колебаний (на  $1/4$  длине) от головной части сооружения

**Ключевые слова:** физическое и математическое моделирование, резонансные характеристики сооружений, диссипация энергии турбулентности, скорость течения.

# ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙ ОТ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

*Беляев Н.Д.*

к.т.н., доцент, высшая школа гидротехнического и энергетического строительства ИСИ СПбПУ  
Петра Великого

## АННОТАЦИЯ

В работе рассматриваются некоторые возможные способы решения проблем, связанных с размывом, вызванным действием движителей судов. Струя от движителя может быть использована при размыве отложений; удалении нефти из-под льда; проведении операций по снятию судов, севших на мель. С другой стороны, для предотвращения вторичного загрязнения судовых ходов при действии такой струи необходимо введение обоснованных ограничений режима работы движителя.

Известно, что размыв дна и деформация дноуглубительных каналов, вызванные движением судов на мелководье, в определенной степени зависят от действия гребного винта. Основное внимание в предыдущих исследованиях уделялось изучению влияния струи, возникающей при работе гребных винтов, на дно и портовые сооружения. Предлагаемая в многочисленных публикациях и документах PIANC систематизированная методика позволяет определять максимальные донные скорости в струе от судового движителя. Сопоставление этих скоростей с допустимыми неразмывающими скоростями течения для материала, составляющего дно акватории или лежащего в основании портовых сооружений, позволяет с помощью предложенных методов определить местоположение и размеры участков размыва, и осуществить выбор той или иной схемы инженерных защитных мероприятий. Разработанная методика может быть использована не только для определения параметров размыва и, следовательно, для оценки опасности разрушения портовых сооружений от подмыва их опорных конструкций, но и как инструмент оценки устойчивости экологического состояния водной среды в акватории порта, на судоходных реках и городских внутренних водных путях, позволяющий уменьшать повторное загрязнение акватории путем введения ограничений на использование мощности двигателя. Еще одна возможность применения имеющейся методики – подбор скорости течения в струе от судового движителя для смыва загрязненных донных отложений, удаления нефти из-под ледяного покрова и для снятия судов, севших на мель.

Применение результатов работы в виде расчетных зависимостей и практических рекомендаций по учету параметров движительной струи и анализу результирующего размывающего воздействия на дно позволяет решать различные задачи, связанные с перемещением донных отложений при наличии струй, создаваемых гребными винтами судов.

**Ключевые слова:** судовой движитель, размыв, струя, скорость, лед, нефть, снятие с мели, загрязнение

# ПРОНИЦАЕМЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ ОСТРОВОВ

*Вялый Е.А.<sup>1</sup>, Макаров К.Н.<sup>2</sup>, Тлявлиня Г.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега»

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра строительства СГУ

<sup>3</sup>к.т.н., ОП АО ЦНИИТС «НИЦ «Морские берега»

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В настоящее время проницаемые конструкции, применяемые в гидротехнике, получают все большее распространение и интенсивно разрабатываются, однако, вопросы устойчивости и эффективности работы таких конструкций в зависимости от характеристик сооружений, природных условий участка строительства и параметров воздействующих волн разработаны недостаточно. Как правило, такие оценки получают в результате лабораторных исследований на моделях для конкретных условий. В работе рассмотрены результаты экспериментальных исследований на ряде моделей конструкций по типу проницаемых стен в целом и сквозных откосно-ступенчатых стен в частности.

**Материалы и методы.** Исходными данными для исследования являлись отчеты о научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах, выполненных в Сочинском подразделении АО ЦНИИС. В рамках работы кратко приведена классификация типов конструкций оградительных сооружений искусственных островов, выполнен обзор экспериментальных исследований на гидравлических моделях различных типов и конструкций волногасителей оградительных сооружений островов, в том числе проницаемых стен откосно-ступенчатого профиля. Экспериментальные исследования выполнялись в соответствии с общепринятыми и многократно апробированными методиками, поэтому их результаты можно считать достоверными. Методика гидравлического моделирования при этом основывается на главных положениях теории подобия, которая позволяет судить о том, при каких условиях процессы, наблюдаемые на моделях, будут подобны процессам, протекающим в натуре.

**Результаты.** Рассмотрен вопрос целесообразности применения сквозных волногасящих сооружений, применяемых для защиты тела искусственного острова от ветровых волн. В том числе опыт физического и математического моделирования, выполненного по рассматриваемой теме. Основные результаты работы:

1. Дана краткая классификация конструкций искусственных островов.
2. Рассмотрен опыт физического, математического моделирования взаимодействия штормового волнения с берегозащитными сооружениями проницаемой конструкции.

3. Обоснована эффективность работы проницаемых волногасителей в условиях штормового волнения по сравнению с другими сооружениями, применяемыми на Черноморском побережье.

4. Получены эмпирические зависимости коэффициентов отражения, прохождения волн и волногашения от ряда конструктивных параметров: сквозности, наклона стены к горизонту, относительной глубины и др.

5. Определены оптимальные величины сквозности проницаемых стен и ширины волновой камеры.

6. Сопоставлены результаты экспериментов на физических и математических моделях. По результатам калибровки математической модели дано предложение по корректировке применяемых математических моделей.

**Выводы.** Из приведенных результатов исследований взаимодействия волн с гидротехническими сооружениями могут быть сделаны следующие выводы:

1. К настоящему времени накоплен значительный объем данных экспериментальных исследований по рассматриваемой теме. Выполненные ранее экспериментальные исследования показали, что сооружения по типу сквозных откосно-ступенчатых стен более эффективны, чем сооружения традиционных типов со схожими характеристиками;

2. Более крутые (высокие) волны отражаются сильнее при равной сквозности стены;

3. Если принять за оптимальное соотношение равенство коэффициентов отражения и прохождения волн, то наилучшим является отношение ширины волновой камеры к длине волны  $b/\lambda = 0,08 - 0,10$ ;

4. При отсутствии волновой камеры равенство коэффициентов отражения и прохождения волн достигается при сквозности стены равной 0,22 и при относительной высоте волны, равной 0,75;

5. С уменьшением относительного объема волновой камеры, коэффициент отражения увеличивается, волногасящие свойства стены снижаются. При малом объеме камеры не достигается равенства коэффициентов отражения и прохождения волн – отраженная волна всегда больше прошедшей. При недостаточной ширине сооружений, то есть при малом объеме волновых камер и малом поровом объеме набросок, эффективность проницаемых волногасителей резко снижается;

6. Откалиброванные по данным гидравлического моделирования формулы могут быть рекомендованы для расчетов коэффициентов отражения и прохождения волн для сквозных стен при отсутствии волновой камеры.

**Ключевые слова:** волновая камера, волновые нагрузки, искусственный остров, коэффициент волногашения, проницаемая стена, сквозность стены.

# РОЛЬ СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ МОРСКОЙ ГИДРОТЕХНИКИ

*Рогачко С. И.<sup>1</sup>, Шунько Н. В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> д.т.н., профессор, кафедра гидротехнического строительства ОГАСА

<sup>2</sup>к.т.н., научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

## **АННОТАЦИЯ**

Изложены результаты научной деятельности Отраслевой научно-исследовательской лаборатории морских нефтегазопромысловых гидротехнических сооружений им. Н.Н. Джунковского МИСИ-МГСУ.

**Ключевые слова:** морской порт, исходные данные для проектирования, параметры волнения, физическое моделирование, ледовые образования, причал, оградительные сооружения

# ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМОГО МОРСКОГО ТЕРМИНАЛА НАХОДКИНСКОГО ЗАВОДА МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

*Зуев Н. Д.<sup>1</sup>, Шунько А. С.<sup>2</sup>, Шунько Н. В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., инженер, научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

<sup>2</sup>инженер, научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

<sup>3</sup>к.т.н., научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Изложены экспериментальные исследования распространения ветровых волн на открытой акватории проектируемого морского терминала. Представлены результаты экспериментальных исследований, проведенные на основе физического моделирования.

**Ключевые слова:** причальное сооружение, параметры волнения, волнограф, гребень волны, физическое моделирование, высота волны.



# ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ВОЛН НА ПОДХОДЕ К МОРСКОМУ ПОРТУ ТАМАНЬ И В ЕГО АКВАТОРИИ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ВОЛНЕНИЕ ФАКТОРОВ

*Зуев Н. Д.<sup>1</sup>, Шахин В. М.<sup>2</sup>, Шунько А. С.<sup>3</sup>, Шунько Н. В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., инженер, научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., ООО «Гидротехника»

<sup>3</sup>инженер, научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

<sup>4</sup>к.т.н., научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Изложены исследования и основные результаты математического и физического моделирования распространения ветровых волн на подходе к морскому порту Тамань и в его акватории

**Ключевые слова:** оградительные молы, параметры волнения, волнограф, гребень волны, математическое моделирование, физическое моделирование, дифракция, рефракция, волновой канал, причал

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОРСКОГО ТЕРМИНАЛА, ПРОЕКТИРУЕМОГО В МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

*Аншаков А.С.<sup>1</sup>, Кантаржи И.Г.<sup>2</sup>, Зуев Н. Д.<sup>3</sup>, Шунько А. С.<sup>4</sup>, Шунько Н. В.<sup>5</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., преподаватель, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>3</sup>к.т.н., инженер, научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

<sup>4</sup>инженер, научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

<sup>5</sup>к.т.н., научно-образовательный центр «Гидротехника» НИУ МГСУ

### **АННОТАЦИЯ**

Изложены результаты математического и физического моделирования распространения ветровых волн на открытой акватории проектируемого морского терминала.

**Ключевые слова:** причальное сооружение, параметры волнения, волнограф, гребень волны, математическое и физическое моделирование, высота волны.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОРТА НА ЛИТОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ГЕЛЕНДЖИКСКОЙ БУХТЕ

*Кантаржи И. Г.<sup>1</sup>, Аниаков А. С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>к.т.н., преподаватель, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## **АННОТАЦИЯ**

Целью исследований - обсуждение результатов применения модельных цепочек для оценки волнового воздействия на новое строительство, спроектированное в бухте Геленджик, побережье Черного моря, Россия, и влияния этих сооружений на процессы береговой эрозии/аккумуляции. Применяются модели с открытым исходным кодом, а также оригинальные авторские модели

**Ключевые слова:** Черное море, Геленджикская бухта, численное моделирование, волны, течения, литодинамические процессы.

# ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА УСЛОВИЯ РАБОТЫ ПОРТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Долгушев Т. В.<sup>1</sup>, Кантаржи И. Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## **АННОТАЦИЯ**

Рассмотрены основные климатообразующие факторы и ряд обратных связей в климатической системе Земли. Приведены данные о текущем состоянии уровня выбросов и дана ретроспективная их оценка в отношении диоксида углерода. Приведены значимые для морских сооружений последствия изменения климата, дана оценка оказываемого ими воздействия и влияния на эксплуатацию морских портовых гидротехнических сооружений.

**Ключевые слова:** изменения климата, гидротехническое строительство, портовые сооружения.

## НАНОСЫ И СООРУЖЕНИЯ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ СИРИИ

*Хадла Гунуа<sup>1</sup>, Кантаржи И. Г.<sup>2</sup>, Хайдар Амаль Сулайманн<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>3</sup>д.т.н., Тишрин Университет, Сирия

### АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются основные береговые гидротехнические сооружения, характеристики волнового режима и особенности движения наносов в береговой зоне Сирии. Также проведён расчёт индекса размыва берега и рассмотрено применение методов композитного моделирования для верификации результатов, полученных численным моделированием, с помощью данных спутниковых снимков.

**Ключевые слова:** индекс размыва, композитное моделирование, береговая зона Сирии, волновой режим, движения наносов.

# ВЛИЯНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПРОЦЕСС РЕЛАКСАЦИИ САМОНАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ПОДЗЕМНОГО ПОМЕЩЕНИЯ

*Давлатшоев С.К.*

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

## АННОТАЦИЯ

В работе раскрывается причина длительной конвергенции стен машинного зала и трансформаторного помещения Рогунской ГЭС. Приведены данные аномального поведения алевролита в массиве и в образцах. Приведены результаты контроля эффективности укрепительной цементации в опытном участке.

**Ключевые слова:** конвергенция стен, самонапряжённого состояния, релаксация, укрепительная цементация, опытная участка, сейсмический каротаж, песчаник, алевролит, контрольная скважина.

# ОЦЕНКА КАЧЕСТВА УКРЕПИТЕЛЬНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ ВМЕЩАЮЩЕГО МАССИВА ПЕСЧАНИКОВ В УСЛОВИЯХ РАСТЯГИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ

*Давлатшоев С.К.*

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

## **АННОТАЦИЯ**

Рассматривается вопрос контроля эффективности укрепительной цементации песчаного массива в опытном участке трансформаторного помещения Рогунской ГЭС геофизическим методом сейсмического каротажа. Приведены результаты обработки, интерпретации результатов сейсмоакустического контроля и оценке качества цементации в условиях растягивающих напряжений.

**Ключевые слова:** трансформаторное помещения, укрепительная цементация, опытная участка, сейсмический каротаж, контрольная скважина, геофизические исследования, растягивающие напряжения, релаксация.

# ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ БЕТОННОЙ ГРАВИТАЦИОННОЙ ПЛОТИНЫ БУРЕЙСКОЙ ГЭС С УЧЕТОМ СТРОИТЕЛЬНЫХ ШВОВ

*Толстиков В.В.<sup>1</sup>, Юссеф Яра<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>аспирантка, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Целью этой исследовательской работы является исследование напряженно-деформированного состояния и несущей способности бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС при учете работы горизонтальных строительных швов и цементируемого шва между верховым столбом из вибрированного бетона и укатанным бетоном внутренней зоны. Рассматривалась работа системы плотина – скальное основание при расчетной нагрузке и её перегрузке горизонтальной нагрузкой до момента исчерпания несущей способности. Вычисления выполнялись в программном комплексе «CRACK», разработанном на кафедре гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ. Результаты расчетов показывают, что при некачественной цементации межстолбчатого вертикального шва ухудшается НДС плотины и её несущая способность. При увеличении приложенной гидростатической нагрузки на недостаточно омоноличенную плотину, происходит исчерпание несущей способности при нагрузке на 25% меньше, чем монолитного профиля. Анализ результатов показывает, что от проведения вторичных цементационных работ для бетонной гравитационной плотины Бурейской ГЭС в будущем отказаться нельзя.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, строительные швы, коэффициент перегрузки, максимальная несущая способность.



# ПРОБЛЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ЮГА РОССИИ И ПЕРЕХОД УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ НА НОВЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ

*Наумова Т.В.*

к.т.н., в.н.с., ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

## АННОТАЦИЯ

Проведен анализ технического состояния мелиоративных систем Юга России, который показал устойчивую тенденцию увеличения процента физического износа оросительных систем в среднем с 77% в 2013 г. до 82% в 2020 г. Рассмотрены проблемы повышения эффективности эксплуатации и технического состояния оросительных систем при переходе на современный технологический уровень интегрального управления орошением. Даны предложения по совершенствованию и развитию модели управления орошением на основе сравнительного анализа отечественного и зарубежного опыта

**Ключевые слова:** оросительные системы, техническое состояние, гидротехнические сооружения, физический износ, модель управления орошением, планирование.

# РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ ГЕОМЕМБРАН КАК ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

*Зверев А.О.*

аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## **АННОТАЦИЯ**

В работе рассматриваются результаты экспериментов с геомембранами, и результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния плотин с противofильтрационным элементом из геомембраны.

**Ключевые слова:** геомембраны, напряженно-деформированное состояние, плотина, противofильтрационный элемент.

# УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЁННОЙ БАЗАЛЬТОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРОЙ

*Зюзина О.В.<sup>1</sup>, Беллендир Е.Н.<sup>2</sup>, Рубин О.Д.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>аспирант, АО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева»

<sup>2</sup>д.т.н., АО «Институт Гидропроект»

<sup>3</sup>д.т.н., Филиал АО «Институт Гидропроект» - «НИИЭС»

## АННОТАЦИЯ

Проведены экспериментальные исследования применения предварительно напряжённой базальтокомпозитной арматуры при разработке технических решений для усиления эксплуатируемых железобетонных конструкций ГТС. В работе представлены схемы усиления предварительно напряжённой базальтокомпозитной арматурой на примере сооружений подпорного типа, а также результаты экспериментальных исследований разработанных схем на моделях балочного типа. Модели изготовлены с учётом особенностей, характерных для эксплуатируемых малоармированных конструкций гидротехнических сооружений. Модели испытывались на совместное действие изгибающего момента и поперечных сил с образованием характерных наклонных трещин.

**Ключевые слова:** композитная арматура, предварительно напряжённая базальтокомпозитная арматура, АБК, ПНАБК, усиление предварительно напряжённой базальтокомпозитной арматурой, усиление эксплуатируемых железобетонных конструкций ГТС, усиление подпорных стен, восстановление несущей способности, конструкции с межблочными строительными швами.

# ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОСООРУЖЕНИЙ

*Юрченко А.Н.<sup>1</sup>, Бритвин С.О.<sup>2</sup>, Дугинец Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>директор, ООО «АИР»

<sup>3</sup>TELEMAC SAS

## АННОТАЦИЯ

При эксплуатации гидротехнических сооружений могут возникать повреждения и разрушения, влияющие на безопасность сооружения и прилегающей территории. К таким проблемам на грунтовых сооружениях можно отнести: фильтрационные проявления и повреждения, повреждения креплений напорного (верхового) и сухого низового откоса, просадочные воронки и выпор грунта на поверхности, поперечные и продольные трещины, промоины поверхностными водами, локальные оползни на откосе и в береговых примыканиях и др. Для бетонных ГТС - это образование и раскрытие трещин, фильтрация, смещение секций.

Одним из перспективных решений для оперативного обнаружения указанных нарушений, которые могут успешно использоваться, являются распределенные датчики. В датчиках подобного типа применяется технология, основанная на комбинационном рассеянии Раман и рассеянии Бриллюэна.

Распределённые датчики используют внутреннее свойство стандартных телекоммуникационных волокон, которые рассеивают крошечное количество света, который распространяется через них в каждой точке вдоль их длины. Часть рассеянного света возвращается обратно в измерительный прибор и содержит информацию о деформации и температуре, которые присутствовали в месте, где произошло рассеяние. Комбинационное рассеяние чувствительно только к изменениям температуры, а рассеяние Бриллюэна может обнаруживать как деформацию, так и температуру.

Распределенные датчики деформации чувствительны в каждой точке своей длины к деформации и изменениям температуры. Такой датчик способен регистрировать одномерные поля деформаций и может быть установлен по всей длине протяженной конструкции (оползень, зона провала, туннель и т. д.). Он обеспечивает контроль целостности и обнаружение, характеристику (включая распознавание, локализацию и количественную оценку), а также отчет о местных изменениях деформации, деформациях и перемещениях.

Применяется указанная технология для возможности выявления дефектов сооружений и протечек (утечек) воды для протяженных сооружений (дальностью до 40 км) плотин, защитных

дамб, каналов в насыпи, дорожных насыпей (автомобильных и железнодорожных), водоводов, трубопроводов и т.д.

Существенными достоинствами указанной технологии являются: устойчивость к внешним воздействиям, таким как молнии, электромагнитные поля, радиочастоты и микроволны; меньший размер и минимальные помехи для самого сооружения; возможность измерений на больших расстояниях (несколько км); невосприимчивость к коррозии и влажности; достаточно высокая точность и отличная долговременная стабильность.

Распределенная технология мониторинга широко используется в сооружениях за рубежом. В частности волоконно-оптический сенсорный кабель использовался для мониторинга деформаций участка водовода ГЭС (Швейцария), протяженностью 120 метров с помощью 4 нитей DiTeSt SMARTProfile кабеля прикрепленного к внутренней поверхности трубы. Распределенный кабель для измерения деформации и температуры был установлен вдоль смотровой галереи бетонной плотины Плавинской ГЭС (Латвия) для обнаружения любого аномального смещения, которое могло бы возникнуть в результате нарушения секционных стыков.

При использовании протяженных опто-волоконных датчиков длиной в десятки километров становится возможным получать необходимую информацию о деформационном и температурном распределении в сооружении. Эта технология особенно подходит для применения в протяженных сооружениях, таких как плотины, геологические опасности и защитные дамбы, мосты и трубопроводы. Благодаря технологии распределенного зондирования становится возможным в короткие сроки точно локализовать с метровой точностью местоположение нежелательных событий и проявлений, таких как утечки, трещины, провалы, аномальные движения секций и внутреннюю эрозию.

# ДЕКОМПРЕССИОННАЯ БОЛЕЗНЬ ПРИ ПОДВОДНЫХ РАБОТАХ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

*Ерхов А.А.*

к.т.н., доцент, кафедра строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения,  
РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, МГРИ

## АННОТАЦИЯ

Движение – работа человека физиологически связана с внешней средой. Такая зависимость индивидуальна, но в целом среднее рабочее давление, температура, влажность, освещённость, прозрачность – экзогенные предпосылки того, насколько интенсивно и сколь продолжительно, а также в какой степени рассудочно и разумно человек выполняет работу, в том числе в экстремальных условиях (которыми, фактически и юридически, являются подводные). Вопросы создания оптимальных условий труда под водой решены, но требуют более совершенных ответов. В работе рассматриваются наиболее важные проблемы – давления.

**Ключевые слова:** воздух, азот, дыхание, сердце, лёгкие, сосуд, кровь, альвеолярная мембрана, давление, сопротивление, расход, пульс, число Рейнольдса, диффузия, декомпрессия, перфторуглерод, аммиак.

# ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БОЛЬВЕРКОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ НА СЛАБЫХ ГРУНТАХ ОСНОВАНИЯ

*Корчагин Е.А.<sup>1</sup>, Николаев П.А.<sup>2</sup>, Вишняков И.Н.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>магистр, институт ИГЭС НИУ МГСУ

<sup>3</sup>главный инженер, АО «Акватик»

## 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 нормированными 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 способствует реализации запасов прочности. Это связано с достоверностью, закладываемых в расчёт исходных данных. Вместе с тем известно большое число методов расчёта больверков, которые позволяли обеспечивать достаточно надёжную эксплуатацию сооружения. Ввод в толщу слабых грунтов связующего материала изменяет его физико–механические свойства, что сказывается на расчётных нагрузках испытываемых сооружением.

Таким образом, настоящая работа направлена на оценку свойств, закреплённого грунта и идентификации их физико-механических свойств для конкретного района строительства.

**Материалы и методы.** Используются акустические сейсмометрические методы. Для закрепления слабых грунтов использован сульфатостойкий портландцемент. Расчёты производились единым методом. 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.



## РАЗВИТИЕ ПОРТА ТЕМРЮК С УЧЁТОМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ

*Корчагин Е.А.<sup>1</sup>, Хованов И.А.<sup>2</sup>, Терихов Е.М.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>магистр, институт ИГЭС НИУ МГСУ

<sup>3</sup>бакалавр, институт ИГЭС НИУ МГСУ

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Район строительства порта Темрюк характеризуется сложными инженерно-геологическими и гидрологическими условиями. Это и залегание слабых грунтов большой мощности, необходимость учёта сейсмических воздействий, стеснённость акватории порта и сильная заносимость подходного судоходного канала. Заносимость канала обусловлена большим объёмом твёрдого стока, поступающего из реки Кубань. Наблюдениями было установлено, что за сравнительно короткое время (5-10 лет) после удлинения оградительного наносоудерживающего мола с внешней стороны образовалась территория, сложенная мелкозернистым песком с ракушей с углом внутреннего трения  $22^\circ$ . Конструкция удлинения мола была выполнена по экономическим соображениям в облегчённом и укороченном варианте. Недостаток длины мола был компенсирован устройством подводной ловушки. За 25 лет эксплуатации появилась необходимость ремонта, реконструкции и удлинения на 480 м наносоудерживающего мола. В данном исследовании рассматриваются вопросы естественного намыва территории порта и придания оградительному наносоудерживающему молу многофункционального назначения.

**Материалы и методы.** Используются акустические сейсмометрические методы. Для закрепления грунтов используется глубинная стабилизация. Расчёты производились нормированным методом. Используются результаты испытаний илоцементных композиций на вертикальную нагрузку. Используются результаты натурных наблюдений и обследований реализованного наносоудерживающего сооружения.

**Результаты.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что оградительный мол, выполненный из взаимозаанкерowanego шпунта может использоваться как причал для большегрузов, территория которого будет образована частично естественным путём и частично за счёт грунта от дноуглубления. Это существенно снизит затраты на создание нового района порта Темрюк.

**Выводы.** Использование естественных природных факторов позволяет существенно снизить затраты на создание нового района порта Темрюк, что будет обеспечиваться максимальным использованием местных материалов и очередностью ввода сооружения в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** оградительное сооружение, илистый грунт, натурные наблюдения, причальное сооружение, наносы, территория порта.

## РАЗВИТИЕ ПОРТА НЕВЕЛЬСК С УЧЁТОМ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ

*Корчагин Е.А.<sup>1</sup>, Никитин А.С.<sup>2</sup>, Политов И.Н.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>бакалавр, институт ИГЭС НИУ МГСУ

<sup>3</sup>бакалавр, институт ИГЭС НИУ МГСУ

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Район строительства порта Невельск характеризуется высоким залеганием скальных грунтов, необходимостью учёта сейсмических воздействий, стеснённой акватории порта. Назначение порта – рыбный порт. Конструкция причальных сооружений выполнена в виде массивовой кладки на каменной постели. Произошедшее землетрясение в обозримом прошлом существенно повредило причальные сооружения и территорию порта. Вместе с тем на достаточно большом удалении от причального фронта образовался протяженный риф Нага. Риф расположился почти параллельно причальному фронту, образовав естественную защиту причального фронта от волнения. Отметки верха рифа не по всей длине достаточны для эффективной защиты от волнения. Учитывая эти обстоятельства рассматриваются следующие варианты реконструкции порта. Производится разборка причальных сооружений из массивовой кладки. Обыкновенные массивы, в зависимости от состояния, используются частично в качестве волнозащитной наброски, а частично для возведения причалов с внутренней стороны рифа. В качестве восстановления разрушенных причалов рассматриваются уголкового типа стенки предпочтительно с лицевой стенкой из металлического шпунта.

**Материалы и методы.** Используются результаты натурных обследований рифа и причальных сооружений. Расчёты производились нормированными методами. Для возведения сооружений повторно используются в максимальном объёме материалы, образовавшиеся при разборке разрушенных сооружений.

**Результаты.** Полученные результаты свидетельствуют о том, что оградительный мол, выполненный из массивной наброски путём усиления поперечного сечения образовавшегося рифа может использоваться как волнозащитное сооружение, а с другой стороны как причальное сооружение. В качестве причальных сооружений предпочтительно использовать облегчённые гравитационные конструкции. Это существенно снизит затраты на реконструкцию порта Невельск.

**Выводы.** Использование естественных природных факторов позволяет существенно снизить затраты на реконструкцию порта Невельск, что будет обеспечиваться максимальным повторным использованием материалов, образующихся при разборке разрушенных сооружений.

**Ключевые слова:** оградительное сооружение, натурные наблюдения, причальное сооружение, территория порта, сейсмическое воздействие.

# СРАВНЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПЛОТИН ИЗ УКАТАННОГО И ТОЩЕГО БЕТОНА

Тарек С. С.<sup>1</sup>, Толстиков В. В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>аспирант, НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** С момента изучения проблемы плотины из укатанного бетона был применён подход в части технологии распределения и уплотнения бетона как при строительстве земляных насыпных плотин. При наличии плохого основания или в условиях высокой сейсмичности традиционное треугольное очертание гравитационной плотины не является оптимальным. Альтернативной конструкцией можно применить трапецеидальный профиль плотины из тощего бетона, в которых содержание вяжущего вещества можно выбирать в зависимости от имеющихся типов заполнителя. Концепция плотин симметричного трапецеидального очертания заключается в проектировании бетонной гравитационной плотины возведённой полностью из особо тощего укатанного бетона (CSG), удовлетворяющего требованиям по прочности и устойчивости.

В статье приводится сравнение гравитационной плотины традиционного профиля из укатанного бетона (RCC) и гравитационной плотины трапецеидального профиля из особо тощего укатанного бетона (CSG). В докладе отмечены различия между материалами тела плотин, прописаны основные преимущества и недостатки укатанного бетона и тощего бетона. Проведены сравнительный анализ изменения распределения напряжений в теле плотины, и в основании. Расчёты на основное и особое сочетание нагрузок проводились в программном комплексе «CRACK», реализующем метод конечных элементов в прочностной постановке и позволяющем моделировать различные нарушения сплошности швы, трещины, контакты. На основе сопоставления вариантов был сделан выбор в пользу плотины, основной объём тела, которой будет занимать укатанный бетон со сниженными требованиями к подбору заполнителей, подготовке строительных швов и минимальном содержании вяжущего.

**Материалы и методы.** В исследованиях рассматривались 2 варианта плотин. Вариант 1: Трапецеидальный профиль (заложение откосов  $0,4 \div 0,6$ ) – плотина, основной объём тела, которой составляет тощий бетон.

Вариант 2: Профиль с вертикальной напорной гранью с заложением  $0,8$  и напорной -  $0,1$  – плотина из пластичного укатанного бетона.

Расчётная сейсмичность района строительства – 9 баллов.

Результаты исследования показали, что:

- 1) Для плотины трапецеидального профиля (CSG) высотой 140 м характер распределения напряжений в теле плотины и в основании более благоприятный, чем плотины классического профиля из укатанного бетона (RCC).
- 2) Коэффициенты устойчивости на основное и особое сочетание нагрузок в плотине из тощего бетона выше, чем в плотине из укатанного бетона.
- 3) Сокращение сроков строительства в  $\square 1,5$  раза.
- 4) Симметричные плотины из особо тощего укатанного бетона обладают лучшей сейсмостойкостью и технико-экономической эффективностью по сравнению с обычными плотинами из укатанного бетона.

**Ключевые слова:** Гравитационная плотина, Укатанный бетон (RCC), «твёрдая насыпь (CSG)», Симметричный профиль, Коэффициенты, устойчивости, напряженно-деформированное состояние «CRACK».

# НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МЕЖСЕКЦИОННЫХ ШВОВ МАССИВНО-КОНТРОФОРСНОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.

*Доронин Ф.Л.*

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

## АННОТАЦИЯ

Представлены результаты теоретических расчетов напряженного состояния, возникающего в межсекционных швах массивно-контрфорсной плотин при действии сейсмической импульсной нагрузки, приведены результаты натурных испытаний по определению относительных смещений соседних секций плотины. Приведена оценка напряженного состояния в межсекционных швах массивно-контрфорсной плотины.

**Ключевые слова:** сейсмическое воздействие, ударная волна, межсекционный шов, напряженно-деформированное состояние, собственная частота, массивно-контрфорсная плотина.

# НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РАСЧЁТНОЙ ОБЛАСТИ ПРИ АДРЕСНОМ НАГНЕТАНИИ

*Бестужева А.С.<sup>1</sup>, Чубатов И.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Производится численное моделирование метода компенсационного нагнетания при адресной подаче инъекционного раствора. Проводятся исследования влияния объема нагнетания цементного раствора и глубины заложения инъекционной манжеты на величину подъема подошвы фундаментной плиты гидротехнического сооружения и полезный объем. В исследовании предполагается, что манжетные колонны располагаются горизонтально под фундаментом сооружения. Под манжетой подразумевается одно манжетное отверстие манжетной колонны. Рассматривается нагнетание в несколько манжет расположенных друг над другом по вертикали. В результате исследования создаются зависимости объема нагнетания и полезного объема от высоты требуемого подъема дневной поверхности в интервале от 0.0 до 1170 мм.

**Ключевые слова:** гидротехнические сооружения, грунт основания, компенсационное нагнетание, адресная подача инъекционного раствора, подъем фундамента сооружений, напряжённо-деформированное состояние грунта, метод конечных элементов, полезный объем.

# ВЛИЯНИЕ ПРОЧНОСТНОЙ АНИЗОТРОПИИ В РАСЧЕТАХ УСТОЙЧИВОСТИ ОТКОСОВ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

Бестужева А.С.<sup>1</sup>, Абдуллоев А.Б.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Проведены экспериментальные исследования прочностной анизотропии гравийно-галечникового грунта в большом трехосном приборе. Получено, что для гравийно-галечниковых грунтах в отличии от деформационной анизотропии где  $E_x > E_y$ , угол сдвига по направлению слоистости ниже чем поперек оси слоистости  $\phi_x < \phi_y$  (рис. 1).

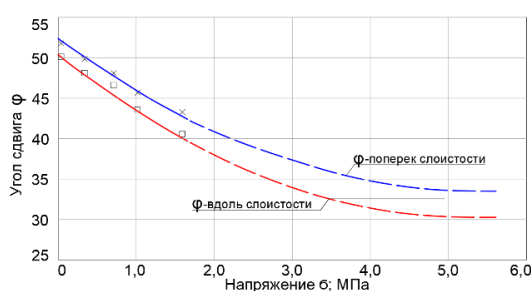


Рисунок 1 - Зависимость угла сдвига с ростом действующих напряжений  $\phi=f(\sigma)$ .

Существуют очень мало работ, посвященных расчетным методикам учета анизотропии в расчетах устойчивости склонов. Однако, прочностные анизотропные свойства грунтов в теле каменных и каменно-земляных плотин зависят от характера распределения главных напряжений под влиянием гидростатического давления. В связи с этим, разработана собственная методика учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости грунтовых плотин. Зная граничные значения углов сдвига, когда вектор главных напряжений направлены по оси слоистости или поперек оси слоистости, пересчитаем значения  $\phi$  в любой точке расчетной области в зависимости от угла между вектором главных напряжений и оси слоистости согласно закону эллипса по выражение:

$$\phi = \sqrt{\frac{a^2 \cdot b^2}{(b^2 \cdot \cos^2 \alpha + a^2 \cdot \sin^2 \alpha)}} \quad (1)$$

Решены задачи устойчивости откосов с учетом и без учета анизотропии для плотин различных конструкций и высоты (рис.2 и рис.3) и по соотношению  $K_y^{\text{с аниз.}}/K_y^{\text{без аниз.}}$  получены корректирующие коэффициенты. Для учета прочностной анизотропии в расчетах устойчивости откосов грунтовых плотин из гравийно-галечникового грунта можно воспользоваться формулой:

$$K_{н.}^{\text{ан.}} = K_{н.} \cdot K_{ан.} \quad (2)$$

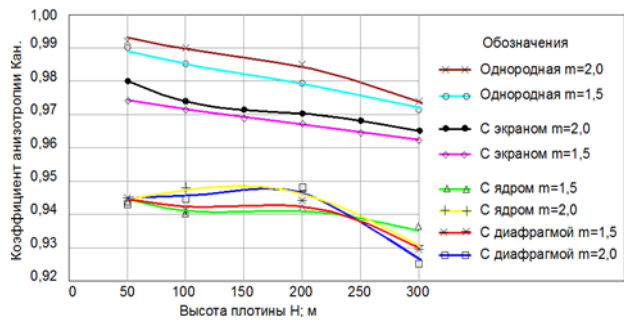


Рисунок 2 – Зависимость  $K_{ан.}=f(H, \text{Тип плотины})$  для верхового откоса

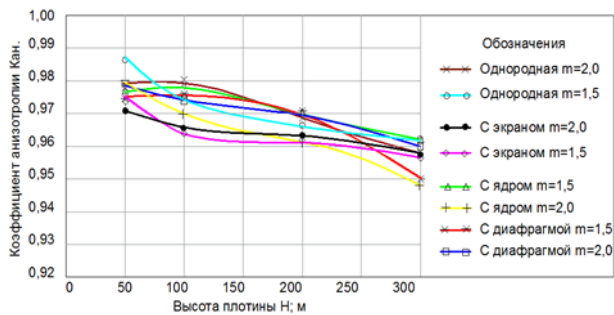


Рисунок 3 – Зависимость  $K_{ан.}=f(H, \text{Тип плотины})$  для низового откоса

**Ключевые слова:** деформационная анизотропия, прочностная анизотропия, гравийно-галечниковые грунты, трехосные эксперименты, грунтовые плотины, устойчивость откосов.



# ФИЛЬТРАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ПРИ СРАБОТКЕ ВОДОХРАНИЛИЩА

*Анискин Н.А.<sup>1</sup>, Сергеев С.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Рассматриваются изменения фильтрационного режима земляной плотины при быстрой сработке водохранилища. Рассмотрено влияние нескольких факторов на параметры фильтрационного потока: скорости сработки водохранилища, коэффициента фильтрации грунтов плотины, заложения верхового откоса плотины. В качестве параметров фильтрационного потока рассмотрены положение депрессионной поверхности, скорость ее снижения при сработке, величины фильтрационных градиентов и скоростей фильтрации. Проведена оценка безопасности сооружения и сформулированы рекомендации по регулированию процесса сработки. Исследования выполнены с использованием численного метода конечных элементов по программному комплексу Plaxis 2D.

**Ключевые слова:** сработка водохранилища, фильтрационный поток, откос земляной плотины, депрессионная поверхность, градиент фильтрации.

# ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА РАЗОГРЕВ БЕТОННЫХ МАССИВОВ И ПРОГНОЗНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРЕНИЯ ГЕОКОМПОЗИТНЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ

*Анискин Н.А.<sup>1</sup>, Шайтанов А.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Рассматривается влияние солнечной радиации на температурный режим и термонапряженное состояние бетонной гравитационной плотины, возводимой из малоцементного бетона. Приводится методика оценки воздействия солнечной радиации и результаты расчетов применительно к створу возведения плотины Пскемского гидроузла (республика Узбекистан). Проведен анализ влияния на термонапряженное состояние некоторых действующих факторов: термичность и расход используемого цемента, высота укладываемого слоя и время перерыва между укладкой слоев, сезонность начала бетонирования и т.д. На основе полученных результатов сформулированы рекомендации по их выбору.

Для решения проблемы с фильтрации в гравитационной плотине из укатанного малоцементного бетона предлагается устройство геокомпозитного экрана. Рассматривается методика и результаты прогноза старения этого элемента. Сделаны выводы по обоснованию и надежности конструкции.

**Ключевые слова:** солнечная радиация, малоцементный бетон, гравитационная плотина, геокомпозитный экран.

# ТЕРМОНАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРИКОНТАКТНОЙ ЗОНЫ ВОЗВОДИМОГО БЕТОННОГО МАССИВА

*Нгуен Чонг Чык<sup>1</sup>, Анискин Н.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>PhD, lecturer, Le Quy Don Technical University, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Рассматривается процесс формирования во времени температурного режима и термонапряженного состояния возводимого бетонного массива. Особое внимание уделено зоне вблизи контакта конструкции с основанием. Выполнен анализ влияния на термонапряженное состояние приконтактной зоны жесткости основания. Рассмотрено несколько вариантов с различными соотношениями модуля упругости основания и бетонного массива и степени тепловыделения цемента. Проведено сравнение результатов по возникающим напряжениям. Получены математические выражения для прогноза максимальных растягивающих напряжений, возникающих в приконтактной зоне. Исследования выполнены с использованием численного метода конечных элементов по программному комплексу MIDAS.

**Ключевые слова:** бетонный массив, температурный режим, термонапряженное состояние, приконтактная зона, жесткость основания.

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ ДАМБОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Галимов И.М.<sup>1</sup>, Левачев С.Н.<sup>2</sup>, Прудникова Д.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>3</sup>студентка, институт ИГЭС НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Объектом научного исследования является дамбовый полимер-контейнер (далее – ДПК), результаты исследования которого дают обоснования возможности его применения в реальных условиях для защиты территории гражданских и промышленных объектов от воздействия водной стихии.

**Ключевые слова:** дамбовый полимер-контейнер, паводок, работоспособность конструкции.

# МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНОЙ ЧАСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ И ТНПА КОМПЛЕКСОВ

*Филиппов В.В.<sup>1</sup>, Галимов И.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО НПИ «Гидротехника»

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

В статье отражены современные методы обследования гидротехнических сооружений с использованием инновационных приборов и технологий, которые позволяют достаточно качественно, с минимальными трудозатратами, оценить техническое состояние отдельных элементов и сооружений в целом.

**Ключевые слова:** гидроакустические и тнпа комплексы, обследование, техническое состояние ГТС.

# РАСЧЁТНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОФИЛЯ СВЕРХВЫСОКОЙ КАМЕННО-ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

*Кудрявцев Г.М.*

старший преподаватель, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Сверхвысокие каменно-земляные плотины являются уникальными сооружениями, и их профиль требует тщательного расчётного обоснования.

Для каменно-земляной плотины высотой 330 м было выполнено исследование устойчивости откосов по двум методикам. Низовой откос плотины имеет заложение 2, верховой – переменное заложение (2,4 и 2,0). Расчёты были выполнены для двух сочетаний нагрузок: основного и особого, включающего сейсмические нагрузки интенсивностью 9 баллов. Оценка устойчивости откосов осуществлялась по двум методикам расчёта, основанным на методе круглоцилиндрических поверхностей скольжения. Первая методика – это методика Терцаги, в которой силы сопротивления грунта сдвигу определяются только через вертикальные нормальные напряжения. Вторая методика учитывает при определении сил сопротивления сдвигу все компоненты тензора напряжений. Эта методика основана на использовании метода конечных элементов. Она включает в себя следующие расчёты: расчёты напряжённо-деформированного состояния плотины, расчёты сейсмических сил по линейно-спектральной методике с определением частот и форм собственных колебаний, расчёты устойчивости откосов.

Сравнение результатов расчёта по двумя методикам показало, что учёт характера распределения напряжений оказывает существенное влияние на устойчивость откосов сверхвысокой плотины. При использовании второй методики изменение значения коэффициента устойчивости составило около 5 % для основного сочетания нагрузок и около 10 % для особого сочетания нагрузок. При этом при основном сочетании нагрузок происходит повышение коэффициента устойчивости, а при особом – снижение. Тем не менее, для рассмотренного профиля плотины коэффициенты устойчивости оказались выше нормативных.

**Ключевые слова:** каменно-земляная плотина; устойчивость откосов; сейсмические нагрузки; напряжённо-деформированное состояние; численное моделирование; сопротивление сдвигу; коэффициент устойчивости.

# ЧИСЛЕННАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕГУЛИРУЕМЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БЕТОННЫХ ПЛОТИН, ТРЕБУЮЩИХ УСИЛЕНИЯ

*Учеваткин А.А.*

соискатель, НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Опыт эксплуатации высоконапорных бетонных плотин, расположенных в климатических зонах с высокой сезонной амплитудой температурных колебаний показывает, что температурное воздействие является весьма значимым фактором, определяющим картину напряженно-деформированного состояния и перемещения ключевых точек напорного фронта. Данный тезис подтверждается также и результатами расчетных исследований, проводимых для арочных плотин Чиркейской, Ингурской, Саяно-Шушенской гидроэлектростанций и гидроузла Кырджали В.И. Бронштейном. В частности, установлено, что температурные прогибы плотины в несколько раз могут превышать прогибы, обусловленные действием гидростатической нагрузки; радиальные перемещения гребня плотины, связанные с сезонными колебаниями температур внешней среды, в два раза больше перемещений, обусловленных колебаниями горизонта уровня воды в водохранилище. Вопросам регулирования температурного воздействия на этапах строительства и эксплуатации также посвящен ряд исследовательских и конструкторских работ А.П. Епифанова, В.П. Ягина.

Таким образом, с учетом актуальности вопроса о необходимости усиления конструкций отдельных высоконапорных бетонных плотин, находящихся в эксплуатации, представляется целесообразным провести численную оценку эффективности регулируемого температурного воздействия на их напряженно-деформированное состояние. В частности, оценить возможность увеличения сжимающих напряжений на верховой грани для исключения зон растягивающих напряжений, которые, с учетом цикличности нагрузок и воздействий, могут негативно сказаться на монолитности конструкции.

**Материалы и методы.** В настоящей работе, для достижения поставленных задач по оценке эффективности регулируемых температурных воздействий на напряженно-деформированное состояние бетонных плотин, требующих усиления, используется современный конечно-элементный программный комплекс с реализацией стационарной задачи теплопроводности. 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 комплекс расчетов по исследованию влияния дополнительных регулируемых температурных воздействий показал, что отдельное увеличение температуры нагрева низовой грани на  $1^{\circ}\text{C}$  приводит к увеличению сжимающих напряжений на верховой грани на  $0,07$  МПа, а при  $23^{\circ}\text{C}$  – на  $1,5$  МПа.

**Выводы.** С учетом численного подтверждения эффективности предлагаемого метода усиления эксплуатируемых высоконапорных бетонных плотин (путем регулирования температуры нагрева низовой грани), представляется целесообразным продолжить работу в данном направлении и рассмотреть вопрос о разработке системы регулирования напряженно-деформированного состояния бетонных плотин путем оптимизации соотношения действующих нагрузок и воздействий.

**Ключевые слова:** безопасность гидротехнических сооружений, регулируемые температурные воздействия, расчет стационарной задачи теплопроводности, усиление эксплуатируемых бетонных плотин.



# ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ РЕК В ДЕЛЬТЕ МЕКОНГА

*Маркова И.М.<sup>1</sup>, Фань Хань Хань<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## **АННОТАЦИЯ**

Дельта реки Меконг - третья по величине дельта в мире, один из наиболее важных регионов Юго-Восточной Азии. Строительство гидротехнических сооружений в верхнем течении реки привело к изменению гидравлических характеристик и русловых процессов, а также к снижению объемов твердого стока в нижнем течении, что негативно отразилось на формировании дельты Меконга.

**Ключевые слова:** Дельта реки Меконг, гидротехнические сооружения, твердый сток, наносы, русловые процессы

## МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОРСКОЙ КАНАЛ «ЕВРАЗИЯ»

*Галимов И.М.<sup>1</sup>, Левачев С.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>к.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

### **АННОТАЦИЯ**

Реализация проекта «Канал "Евразия"» позволит существенно сократить время доставки грузов, в том числе нефти, из Каспийского моря и из стран Средней Азии в Азовское и Черное моря. В докладе отражены технические решения проекта воднотранспортного соединения между Каспийским морем и Азовским и Черными морями.

**Ключевые слова:** канал «Евразия», воднотранспортное соединение, трасса канала, судоходные шлюзы.

**Секция**  
**Гидравлика, инженерная гидрология и**  
**водное хозяйство**

## **ЗАЖОРЫ И ЗАТОРЫ НА ЗАРЕГУЛИРОВАННЫХ УЧАСТКАХ Р. ВОЛГА В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

*Агафонова С. А.<sup>1</sup>, Банищикова Л. С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.г.н., кафедра гидрологии суши, географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

<sup>2</sup>к.г.н., с.н.с., отдел научно-технической информации (ОНТИ), ФГБУ «ГГИ»

### **АННОТАЦИЯ**

В работе показаны изменения характеристик гидроклиматических условий формирования заторов и зажоров на зарегулированных участках р. Волга. Материалами исследования послужили данные наблюдений на гидрологических постах и метеостанциях, а также литературные источники.

**Ключевые слова:** заторы льда, опасные ледовые явления, ГЭС, изменение климата.

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСФОРМАЦИИ РАСХОДОВ И ГЛУБИН ВОДЫ В ДЕРИВАЦИОННОМ КАНАЛЕ ГЭС ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ СТОКА

*Иваненко Ю.Г.<sup>1</sup>, Ткачев А.А.<sup>2</sup>, Гурин К.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, НИМИ имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской  
государственный аграрный университет»

<sup>2</sup>д.т.н., доцент, НИМИ имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный  
аграрный университет»

<sup>3</sup>к.т.н., доцент, НИМИ имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный  
аграрный университет»

## АННОТАЦИЯ

Составлен алгоритм численного решения задачи, основанный на методе характеристик. Выполнен гидравлический расчет изменения расходов и глубин воды в зависимости от длины деривационного канала при неустановившемся режиме течения.

**Ключевые слова:** метод характеристик, гидравлический расчёт, деривационный канал, дифференциальное уравнение, расход, глубина.

# СВОЙСТВА ВОДОЦЕМЕНТНЫХ СУСПЕНЗИЙ С ПРОТИВОМОРОЗНЫМИ ДОБАВКАМИ И РАСЧЁТ ИХ ДВИЖЕНИЯ В ТРУБАХ

*Королёв В. М.<sup>1</sup>, Аргал Э.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>заведующий испытательной строительной лабораторией, ООО «СПИИ «Гидроспецпроект»

<sup>2</sup>д.т.н., консультант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Рассказано об исследованиях на опытно-производственной установке с трубами различных диаметров изменения во времени параметров водоцементных суспензий с противоморозными добавками, используемых для инъекционных работ в строительстве. Кроме измерения плотности, подвижности, водоотделения и статического напряжения сдвига суспензий определяли прочность получаемого из них цементного камня. Показано, что введение оптимального количества комплексных противоморозных добавок позволяет отрегулировать подвижность и живучесть водоцементных суспензий в требуемых пределах. Приведены эмпирические и обобщенные формулы, которые можно использовать для гидравлического расчёта транспортирования водоцементных суспензий.

**Ключевые слова:** суспензия, противоморозная добавка, структурная вязкость, статическое напряжение сдвига, кривая течения.

# ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ТУРБУЛЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАСТОЙНЫХ ЗОН ВОДОЕМОВ (НА ПРИМЕРЕ ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА)

*Дебольская Е.И.<sup>1,2</sup>, Саминский Г.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>д.т.н., в.н.с., лаборатория динамики русловых потоков и ледотермики ИВП РАН

<sup>2</sup>д.т.н., профессор кафедры ГГиВБ НИУ МГСУ

<sup>3</sup>к.г.н., м.н.с., лаборатория динамики русловых потоков и ледотермики ИВП РАН

## **АННОТАЦИЯ**

Рассмотрен способ определения условий возникновения и факторов развития неблагоприятных с экологической точки зрения застойных зон на основе анализа турбулентной структуры водоема, получены оценочные критерии. Объект исследования – Иваньковское водохранилище (Московское море). Метод исследования – натурные измерения и математическое моделирование с помощью трехмерной модели GETM. Показано, что условие мелководья не является необходимым для возникновения зон пониженного турбулентного обмена. Такие области могут возникать на границах между системой противоположно направленных крупномасштабных вихрей, формирование которых обусловлено морфометрией водоема и ветровым воздействием. Эти области могут распространяться на существенную глубину и являться потенциально опасными с экологической точки зрения.

**Ключевые слова:** внутренние водоемы, турбулентная структура, математическое моделирование, экологически опасные зоны.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОЖДЕНИЯ РАСХОДОВ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ГТС "УСПЕНСКАЯ ПЛОТИНА" НА РЕКЕ КЛЯЗЬМА

*Васильева Е.С.<sup>1</sup>, Глотко А.В.<sup>2,3</sup>, Беликов В.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>инженер, лаборатория численного гидродинамического моделирования ИВП РАН

<sup>2</sup>к.т.н., с.н.с., лаборатория численного гидродинамического моделирования ИВП РАН

<sup>3</sup> к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>4</sup>д.т.н., г.н.с., лаборатория численного гидродинамического моделирования ИВП РАН

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Объектом исследования являлось ГТС "Успенская плотина" на реке Клязьма, располагаемое в Московской области, г. Ногинск. Напорный фронт образуют железобетонный водосброс и грунтовая плотина. Особенность гидроузла – пропуск расходов редкой повторяемости с выходом воды на пойму.

Целями исследования было: определение пропускной способности водосброса в различных режимах пропуска расходов весеннего половодья, дождевых паводков различной расчетной обеспеченности, а также расходов летней и зимней межени; разработка схем маневрирования затворами. Исследования выполнялись методами численного гидродинамического моделирования с применением отечественного программного комплекса STREAM 2D CUDA, в последней версии которого реализован алгоритм, распараллеленный на графическом процессоре NVIDIA с использованием технологии CUDA.

Построение численной модели объекта исследования. Выбор размера участка моделирования определялся общей протяженностью имеющихся топографических данных и границами максимально возможного затопления. Детальная трехмерная цифровая модель рельефа (ЦМР) строилась в виде единой триангуляционной поверхности (TIN). Основу ЦМР составили топографические карты различных масштабов, батиметрические данные участка р. Клязьма, чертежи сооружений Успенской плотины, космические снимки Google.map и фотографии объекта исследования.

Применялась расчетная сетка нерегулярной структуры из треугольных и четырехугольных ячеек, адаптированная под плановые очертания рельефа и конструктивные элементы ГТС. Общее количество ячеек около 40 тыс. с длинами сторон от 0,5 м до 10 м. Значения коэффициентов шероховатости ( $n$ ) назначались из опыта расчетов других объектов. Для русла р. Клязьма –  $n=0,03$ , для бетонных частей плотины –  $n=0,025$ , на пойме  $n=0,04-0,05$ .

Расчеты и результаты. Калибровочные расчеты проводились на постоянные расходы в диапазоне 5-460 м<sup>3</sup>/с при полностью открытой плотине (безнапорный режим) до установления



течений в верхнем и нижнем бьефах. Получено удовлетворительное совпадение результатов калибровочных расчетов с проектными и натурными данными. В итоге построены зависимости  $Q=f(H)$  для верхнего и нижнего бьефов Успенской плотины.

Численное моделирование показало, что пропуск расходов весеннего половодья осуществляется с выходом на пойму. Большая часть из общего расхода проходит через створ водосброса, а меньшая пропускается по левобережной пойме. Распределение по пролетам водосброса расходов и глубин на пороге при работе в безнапорном режиме неравномерное.

Выводы и рекомендации. При работе в напорном режиме рекомендовано поднимать все затворы на одинаковую высоту. Выполненное моделирование показало допустимость работы водосброса в напорном режиме для расходов менее 120 м<sup>3</sup>/с. Для определения расхода реки по водомерным рейкам в верхнем и нижнем бьефах рекомендовано пользоваться соответствующими зависимостями  $Q=f(H)$ , построенными по результатам моделирования.

В напорном режиме мгновенный расход воды через Успенскую плотину может быть рассчитан в зависимости от величины напора  $H=УВБ-122,8$  м, средней по всем затворам величине открытия  $a$  (в м) и длине водосливного фронта  $B=24$  м, по формуле  $Q=63,8 \cdot a \cdot H^{0,5}$ . Тогда по обратной ей формуле  $a=0,0156 \cdot Q/H^{0,5}$  можно определить необходимую величину открытия в зависимости от расхода и требуемого УВБ.

Зависимость  $Q=f(H)$  для нижнего бьефа можно использовать для контроля возможного подтопления сооружений, расположенных на пойме ниже Успенской плотины, перенося значения уровней с учетом среднего уклона реки.

**Ключевые слова:** гидротехническое сооружение, водосбросная плотина, паводок, межень, численное моделирование.

# ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛНЫ ПРОРЫВА ГИДРОУЗЛА №10 БЕЛОМОРСКО-БАЛТИЙСКОГО КАНАЛА

*Васильева Е.С.<sup>1</sup>, Глотко А.В.<sup>2,3</sup>, Беликов В.В.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>инженер, лаборатория численного гидродинамического моделирования ИВП РАН

<sup>2</sup>к.т.н., с.н.с., лаборатория численного гидродинамического моделирования ИВП РАН

<sup>3</sup> к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>4</sup>д.т.н., г.н.с., лаборатория численного гидродинамического моделирования ИВП РАН

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В рамках работ по научному обоснованию проекта реконструкции Шаваньской плотины на Беломорско-Балтийском канале (ББК) были выполнены расчеты волны прорыва напорного фронта вышерасположенного гидроузла №10, задачей которых являлось моделирование динамики прохождения волны прорыва по Воицкому озеру и оценка возможности пропуска этой волны гидроузлом №11 (Шаваньским).

**Методы.** Исследования выполнялись методами численного гидродинамического моделирования с применением отечественного программного комплекса STREAM 2D CUDA, в последней версии которого реализован алгоритм, распараллеленный на графическом процессоре NVIDIA с использованием технологии CUDA.

**Объект исследования.** Гидроузел № 10 расположен на реке Нижний Выг в Сегежском районе Республики Карелия. Напорный фронт гидроузла №10 образуют: шлюз № 10, водосливная плотина № 21, дамба № 57 и русловая дамба № 56.

Нижерасположенный гидроузел № 11 размещается на острове Шавань на участке между озерами Воицкое и Шавань. Напорный фронт гидроузла №11 образуют: судоходный двухкамерный шлюз №11, водосбросная плотина №23 (Шаваньская), сопрягающаяся с дамбами № 62 и №63, плотина №24 с дамбой №64, дамбы №61, №65, проектируемый аварийный водосброс. Навигационные уровни воды для верхнего бьефа гидроузла №11 должны лежать в пределах: максимальный (ФПУ) – 77,60 м, минимальный – 76,05 м. Суммарная пропускная способность гидроузла №11 после реконструкции должна составить 856 м<sup>3</sup>/с при ФПУ.

**Численная гидродинамическая модель.** Протяженность численной модели составила около 11,5 км, включая участок верхнего бьефа (оз. Выгозеро) и подводящий канал, водосливную бетонную плотину №21, отводящий канал, нижний бьеф (оз. Воицкое).

Детальная трехмерная цифровая модель рельефа (ЦМР) строилась в виде единой триангуляционной поверхности (TIN). Основу ЦМР составили топографические карты, батиметрические данные, проектные чертежи сооружений гидроузлов №10 и №11.

Расчетная сетка гибридная треугольно-четырёхугольная нерегулярной структуры, адаптированная к плановому очертанию рельефа расчетного участка и сооружениям гидроузлов. Общее количество ячеек около 46 тыс. с длинами сторон от 1 до 50 м.

Сценарии и результаты расчетов. Рассматривалось два сценария гидродинамической аварии на водосливной плотине № 21: наиболее вероятный, происходящий при нормальных условиях эксплуатации, и наиболее тяжелый – на фоне паводка. В обоих сценариях происходит разрушение трех пролетов, включая бычки, с одномоментным (мгновенным) образованием прорана шириной 40,3 м, низ которого соответствует отметке порога, равной 84,0 м. До момента аварии в верхнем и нижнем бьефе идет пропуск расхода 20 м<sup>3</sup>/с, уровни воды соответствуют НПУ Выгозерского и Воицкого водохранилищ, в отводящем канале плотины №21 устанавливаются уровни воды с учетом уклона.

При сценарии №1 в течение четырех часов через образовавшийся проран устанавливается постоянный излив с расходом, равным 723 м<sup>3</sup>/с, а через гидроузел №11 (Шаваньский) – спустя сутки от начала аварии. При сценарии №2 постоянный излив через проран устанавливается в течение 30 часов с расходом, равным 829 м<sup>3</sup>/с, а через гидроузел №11 (Шаваньский) – через 32 ч.

**Выводы.** В обоих сценариях максимальные расходы пропускаются через створы плотины №23 и проектируемого аварийного водосброса без превышения максимально допустимого уровня Воицкого озера 77,6 м. Сброс через аварийный водосброс превышает расход Шаваньской плотины на 3%.

**Ключевые слова:** численное моделирование, цифровая модель рельефа, волна прорыва.

## ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИННЫХ ВОЛН

*Гусаров Р.Н.*

аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

### АННОТАЦИЯ

В представленной статье будут разобраны наиболее используемые методы физического моделирования воздействий волн цунами, подробно рассмотрен один из самых перспективных методов создания волн цунами в лабораторных условиях – метод пневматического цунамигенератора, а также описаны первые экспериментальные исследования по воздействию волн цунами на гидросооружения в лабораториях НИУ МГСУ с применением данного типа цунамигенератора.

**Ключевые слова:** физическое моделирование, волны цунами, волновые воздействия.

# ВЛИЯНИЕ РАЗЖИЖЕНИЯ ГРУНТА НА ГЛУБИНУ РАЗМЫВА, ВЫЗЫВАЕМОГО ВОЛНАМИ ЦУНАМИ

Куприн А. В.<sup>1</sup>, Кантаржи И. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Существуют две основные причины разжижения грунта: одна — это сдвигающая сила, создаваемая потоком на поверхности дна, а другая — это избыточное поровое давление в грунте, когда уровень воды падает. С одной стороны, первая причина является важным фактором при анализе эрозии, вызванной крупномасштабными цунами с сильными течениями, и учитывается во многих исследованиях цунами. С другой стороны, существует незначительное количество исследований второй причины, посвященных феномену цунами, потому что размыв, вызванный цунами, чрезвычайно сильный и при таких условиях сложно оценить влияние разжижения. Поскольку трудно проанализировать явление размыва с помощью закона подобия, остается неясным, может ли разжижение происходить в больших масштабах, таких как огромное цунами, потому что в настоящее время метод оценки не разработан.

**Материалы и методы.** Проанализировано по опубликованным данным из открытых источников влияние разжижения грунта на процесс размыва от волн цунами. Приведен метод оценки влияния разжижения грунта на глубину размыва вызываемого волнами цунами.

**Результаты.** По результатам расчетов максимальная глубина размыва в прибрежной зоне будет менее 3 м (у береговой линии). Размыв, вызываемый поровым давлением, не происходит дальше, чем на  $x = -300$  м вглубь суши. Максимальная глубина размыва составляет 6,2 м на расстоянии 450 м от берега. Это означает, что любые морские прибрежные сооружения (волноломы, молы, нефтегазовые терминалы) могут быть уязвимы для размывов, вызванных разжижением. Влияние порового давления остается значительным на расстоянии более 1,2 км от берега. Результаты также предполагают, что значительное количество отложений у берега может быть вымыто в море во время процесса отката.

**Выводы.** Значительная нестабильность почвы возникает, когда параметр усиления размыва  $\Lambda$  превышает значение  $v$  ( $\Lambda \geq 0,5$ ). Параметр  $\Lambda$  может использоваться для оценки областей, где мгновенное разжижение может быть ответственно за размыв и движение наносов, и дальнейшего пересчёта глубин размыва, полученных без учёта разжижения. Рассмотренная модель продемонстрировала, что мгновенное разжижение может произойти во время фазы отката. Морская зона более подвержена разжижению, особенно вблизи места максимального

опускания уровня воды. Расчетная глубина размыва, примерно 6 м в прибрежной зоне и менее 3 м в прибрежной зоне, что хорошо согласуется с прошлыми полевыми наблюдениями.

**Ключевые слова:** размывы от волн цунами, разжижение грунта, воздействие волн цунами на сооружения, параметр усиления размыва.

# ДИФРАКЦИЯ РАЗНОНАПРАВЛЕННЫХ ВОЛН НА СХОДЯЩИХСЯ ОГРАДИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЯХ

Гогин А.Г.<sup>1</sup>, Кантаржи И. Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>аспирант, кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедры гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Дифракция волн на оградительных сооружениях наблюдаются практически в акватории каждого порта. Прогнозированию дифракции волнового поля уделялось много внимания. Были разработаны как аналитические методы расчета высот волн, так и численные. Однако сегодня представляет интерес верификация результатов решения некоторых задач дифракции с помощью новых численных волновых моделей.

В работе рассматриваются процессы дифракции волн на параллельных берегу сходящихся оградительных сооружениях, расстояние между которыми составляет 3 длины подходящих волн.

**Материалы и методы.** Для проведения исследования используется две численные модели MIKE 21: спектральная волновая модель Spectral Waves и волновая модель, основанная на уравнениях типа Буссинеска, Boussinesq Waves. В работе применены и исследованы два вида подходящих к сооружениям волн: регулярного характера (монохромные) и случайного (нерегулярного) характера (аппроксимирующий спектр JONSWAP). Кроме этого, для всех разнонаправленных волн используется два различных угловых распределения – условно узкое и широкое. Таким образом, в работе рассмотрено 8 численных волновых моделей: 4 спектральных (2 – с активированной функцией коррекции дифракции и 2 – без нее) и 4 модели Буссинеска (2 – с однонаправленными волнами и 2 – с разнонаправленными).

Сравнение результатов, получаемых на численных моделях, проведено с экспериментальными данными, полученными Завьяловым В.К., с результатами аналитического расчета, выполненным Крыловым Ю.М., и с результатами, полученными по нормативной методике. Для этого были посчитаны коэффициенты дифракции в 17 контрольных точках на защищаемой акватории. Для сравнения результатов применено среднеквадратическое отклонение (СКО) по наборам данных в точках.

**Результаты.** Наименьшие значения СКО и, следовательно, наилучшее совпадение результатов с данными аналитического расчета и экспериментов получилось на волновых моделях Буссинеска с нерегулярными разнонаправленными волнами – для них СКО составило 0,09. Напротив, модели Буссинеска с регулярными и нерегулярными однонаправленными волнами показывают неудовлетворительные результаты, но практически одинаковые. Также близкие значения СКО показали обе спектральные модели с активированной функцией

коррекции дифракции – 0,10. Спектральные модели без активации этой функции показывают плохую сходимость, что предполагалось.

#### **Выводы.**

1. Численная модель, основанная на решении уравнений типа Буссинеска, может быть рекомендована как наилучшая для решения задачи дифракции за сходящимися оградительными сооружениями.

2. Спектральная волновая модель, которая требует гораздо меньших вычислительных затрат, представляется хорошей альтернативой для решения задач дифракции с вводом новой функцией коррекции дифракции/рефракции волн на мелководье.

3. Решение задачи дифракции методами, рассматривающими только регулярные волны, не может применяться для корректной оценки волн за оградительными сооружениями. Этот вывод экстраполируется также на физическое моделирование.

**Ключевые слова:** дифракция волн, ветровые волны, численное моделирование, DHI MIKE 21.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90169.



# ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ДОННЫХ ПОРОГОВ РЫБОХОДОВ

*Ерхов А.А.*

к.т.н., доцент, кафедра строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения,  
РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, МГРИ

## АННОТАЦИЯ

Расчёт конструктивных элементов искусственной шероховатости можно проводить по расходу и геометрическим характеристикам водотока.

**Ключевые слова:** молодь рыб, рыбоход, сопротивление, шероховатость.

# ДЕФОРМАЦИЯ РУСЛА ПРИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКЕ НА ВОДОТОК В МЕСТАХ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ ЕГО ПОДВОДНЫМИ ТРУБОПРОВОДАМИ

*Гармакова М. Е.*

аспирант, кафедра ГТСБЭ, НГАСУ (Сибстрин)

## АННОТАЦИЯ

Приведены результаты численного моделирования при различной схеме расположения цилиндров, имитирующих подводные трубопроводы. Цилиндры, расположенные на песчаном дне прямоугольного канала, обтекались в поперечном направлении турбулентным потоком со свободной поверхностью. Численное моделирование выполнено в программном комплексе ANSYS на основе полных моделей механики гетерогенных сред с учетом реальной трехмерной геометрии, многофазности, турбулентности и гранулярности дискретной фазы.

**Ключевые слова:** подводные трубопроводы, русловые деформации, программный комплекс ANSYS.

# О СВЯЗИ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТРАНСПОРТА ДОННЫХ НАНОСОВ

*Петровская О. А.*

к.т.н., ФГБУ «ГГИ»

## АННОТАЦИЯ

Анализ существующих методов расчета расхода донных наносов (РДН), в том числе позднейших публикаций, позволяет выделить два важнейших параметра транспорта донных наносов: число Фруда  $Fr$  и гладкость потока  $\frac{H}{d}$ . Настоящая работа посвящена исследованию связи этих параметров. Основой исследования служит база данных ГГИ.

Построение связи  $\ln(Fr) = f\left(\ln\left(\frac{H}{d}\right)\right)$  дало следующую зависимость:

$$Fr = 1.97 \left(\frac{H}{d}\right)^{-0.27}. \quad (1)$$

Высокий коэффициент детерминации связи ( $R^2 = 0.93$ ) позволяет утверждать, что эти параметры существенно связаны между собой.

Исходя из этого, была проверена гипотеза о «взаимозаменяемости» данных параметров в расчетах РДН.

Были рассмотрены 4 формулы РДН, рекомендуемые ГГИ для разных гидравлических условий: Г.И. Шамова (1952) А.Ф. Кудряшова, В.Н. Лазарева и Ф.М. Чернышова (1974) и В.Ф. Талмазы (1963). Каждая из этих формул содержит или относительную шероховатость потока  $\frac{d}{H}$ , или  $Fr$  в раскрытом виде. Для этих формул получены модификации т.о., что  $Fr$  заменено формулой (1), а  $\frac{d}{H}$  формулой

$$\frac{d}{H} = 0.08 Fr^{3.7}. \quad (2)$$

Погрешности расчета по оригинальным и модифицированным вариантам формул отличаются на 1-15%. Погрешности расчета по модификации сравнительно с результатом по оригиналу во всех формулах, кроме Кудряшова (77%), составляют 15-17%. Таким образом, гипотеза о взаимозаменяемости  $Fr$  и  $\frac{H}{d}$  в расчетах РДН частично подтвердилась.

Эта же гипотеза была проверена построением зависимостей для скорости гряд

$\frac{C_D}{V} = f(Fr)$  (повторение вывода формулы Б.Ф. Смищенко и З.Д. Копалиани) и

$\frac{C_D}{V} = f\left(\frac{H}{d}\right)$ . Они получили вид:

$$C_D = 0.018VFr^{2.9}, \quad (3)$$

$$C_D = 0.14V\left(\frac{H}{d}\right)^{-0.8}, \quad (4)$$

Коэффициенты детерминации этих связей имеют близкие значения:  $R^2 = 0.94$  и  $R^2 = 0.89$  соответственно.

Взаимозаменяемость этих параметров и обязательное присутствие одного или другого из них почти во всех формулах расхода донных наносов, основанных на учете скорости потока, говорит об их существенной роли для транспорта донных наносов.

Так как зависимость (1) основана на использовании среднего размера частиц донных отложений, которые при данных гидравлических условиях вовлечены в движение как донные наносы, она позволяет при отсутствии соответствующих измерений рассчитывать приблизительный средний размер донных наносов. Выражение для средней крупности донных наносов, получаемое из формулы (1), имеет вид

$$d = 0.08HFr^{3.7}, \quad (5)$$

Средняя ошибка расчета крупности донных отложений по формуле (5), оцененная по данным, на которых она получена, составляет 73%. Преимуществом формулы является ее работоспособность в широких гидравлических условиях.

Все полученные в работе результаты и выводы требуют дальнейшей проверки и уточнения на основе новых надежных данных измерений.

**Ключевые слова:** расход донных наносов, число Фруда, гладкость потока, скорость гряд, размер донных отложений.

# ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ БИОИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ

*Глазунова И. В.<sup>1</sup>, Бахитанин А.М.<sup>2</sup>, Карпенко Н. П.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>3</sup>д.т.н., доцент, кафедра гидрологии гидрогеологии и регулирования стока РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Поиск и разработка новых методов очистки воды от органических и неорганических загрязнений является актуальной задачей. Интенсификация процессов самоочищения вод от различных видов загрязнений с помощью высшей водной растительности (ВВР) в симбиозе с другими звеньями экосистемы в большинстве случаев является экономичным и эффективным методом. Выделяя органический кислород и аэрируя воду, ВВР способствует окислению органических загрязнений бактериями, одновременно используя полученные продукты распада для своей жизнедеятельности. В некоторых случаях степень удаления органических примесей с помощью макрофитов выше, чем при использовании промышленных методов очистки воды в аэротенках. Для эффективной работы биоинженерных сооружений необходимо создать условия гидравлики русла, при которых обеспечиваются необходимые эксплуатационные скорости течения воды при различных материалах дна, фильтрующей подготовки и откосов канала биоинженерного сооружения (БИС). Для облегчения выбора материала русла канала БИС составлена программа (Excel) гидравлических расчетов по обоснованию режима скоростей в разных материалах и построены номограммы для русловых БИС.

**Материалы и методы исследований.** При устройстве биоинженерных сооружений необходимо выполнять гидравлические расчеты для обоснования материалов засыпки на дне сооружений из условия неразрывности и методом влекущей силы. Составлена программа в Excel, позволяющая выполнять данные расчеты для каналов биоинженерных сооружений, имеющих различные параметры. В связи со сложной геометрией заросшего русла водотока, в них имеются участки как равномерного, так и неравномерного течения. В связи с этим гидравлические расчеты проводятся, по возможности, для более коротких участков русла, в пределах которых изменением скоростей сечения от сечения к сечению можно пренебречь. Для выполнения расчетов за основу принята формула Гауклера – Маннинга – Штриклера, которая

хорошо зарекомендовала себя для таких условий. Скорости течения воды в любом водотоке имеют наименьшие значения у дна. Причинами такого распределения скоростей по вертикали являются: наличие на дне шероховатости; действие около дна еще одной силы – влекущей, которая вызывает перемещения частиц фильтрующей засыпки на дне сооружения и эрозию поверхности засыпки. При проектировании и строительстве гидротехнических сооружений с использованием инженерно-биологических методов чрезвычайно важно уметь определять значения влекущей силы расчетным способом, что способствует повышению точности расчетного обоснования конструкций рассматриваемых объектов. Для расчета влекущей силы применялась формула Дюпюи.

**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.** При использовании программы компьютерных расчетов гидравлических параметров биоинженерных сооружений построены номограммы обоснования материала засыпки в биоинженерных сооружениях (русловое биоплато) при различных глубинах воды в сооружении и при разных уклонах дна. Так как глубина воды в биоинженерных сооружениях определяется высотой высших водных растений, то в качестве материалов фильтрующей засыпки в биоплато при выращивании осоки можно использовать – гравий с глиной, кладку из дерна и галечник кварцевый: при выращивании в биоплато роголистника – кладку из дерна и галечник кварцевый, а при выращивании тростника – гравий кварцевый. В диапазон рекомендуемых материалов отнесены – крупный галечник, гранулированный сорбент Сорбэкс и песок гравелистый.

**Ключевые слова:** биоинженерное сооружение, русловое биоплато, гидравлический расчет, скорость воды, уклон дна, материал засыпки, влекущая сила.

# ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ПОТОКИ ПРИ АВАРИЯХ, СОПРОВОЖДАЕМЫХ ОГНЕВЫМИ ШАРАМИ

*Комаров А. А.*

д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Крупные пожары достаточно часто сопровождаются огневыми шарами, которые создают значительные тепловые нагрузки. Настоящая публикация посвящена изучению физических аспектов, связанных с влиянием газодинамических потоков на процесс формирования и распространения огневых шаров. В статье приводятся методы расчета газодинамических потоков, возникающих при авариях, сопровождаемых огневыми шарами.

Описаны приближенная и численная методологии определения поражающих факторов огневых шаров с учетом их кинематики. Приводятся примеры использования изложенных методологий.

На основании выполненных и приведенных в статье расчетов показано, что изменение газодинамических потоков приводит к значительному изменению поражающих факторов огневых шаров, которые формируются при пожарах и аварийных ситуациях.

Расчетными методами обосновано следующее утверждение: определенные инженерные и технические мероприятия позволяют управлять газодинамическими потоками, что оказывает существенное влияние на кинематику огневых шаров и на их поражающие характеристики.

Приведенная методология позволяет достаточно подробно и точно определять максимальные значения тепловых нагрузок, сопровождающих аварийные ситуации с огневыми шарами, и оценивать эффективность защитных мероприятий, направленных на снижение ущерба от огневых шаров.

**Ключевые слова:** газодинамические потоки, огневой шар, тепловые нагрузки, численный расчет, уравнения сохранения, сплошная среда.

# О ДВИЖЕНИИ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В КОЛЛЕКТОРНОЙ СИСТЕМЕ Г.МОСКВЫ

*Волгина Л. В.*

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

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Коллектор – закрытый искусственный водоток (труба), отводящий в заданную точку поверхностные или подземные воды, либо принимающий в себя частично или весь речной поток. Коллекторы относятся к малым водопропускным гидротехническим сооружениям, протяженность всех водопропускных труб внутри московского коммуникационного коллектора значительно, и составляет 752 км. Жидкость,двигающаяся в коллекторах, практически всегда, является двухфазным потоком (жидкая фаза - вода, твердая - песок, глина, камни, ил и т.д.), обладающим необходимым уровнем энергии, достаточным для переноса твердых частиц. При снижении этой энергии твердые частицы оседают и на дне водотока и образуется слой заиления («плохо» проходимая часть живого сечения потока). Объем или площадь заиления оказывает влияние на эффективность работы системы в целом, и отдельных гидротехнических сооружений в частности. Для расчета площади заиления оценивается расход потока (средний и максимальный), скорость (средняя и максимальная), характеристики твердых частиц, и неразмывающая скорость (средняя скорость при которой происходит перенос твердых частиц потоком).

**Материалы и методы.** Анализ базы данных коллекторных систем г. Москвы позволил выделить наиболее характерные параметры потока в коллекторной системе. Для моделирования выбран трубопровод круглого сечения,  $d=1,6$  м., движение безнапорное, равномерное, уклон дна, постоянный  $i=0,005$ , коэффициент шероховатости равен  $n=0,013$  (железобетонная труба). Произведена оценка средних скоростей, которые могут наблюдаться при безнапорном режиме, рассматриваемого трубопровода. При известном значении глубины потока воды в трубе, определяется средняя скорость и расход потока. Для этого круглое сечение разделяется на 8 частей, соответствующие глубине, определяется их площадь, по формуле Шези находится скорость и расход. Таким образом, рассчитываются все возможные наполнения трубы. Показано, что при заданном уклоне средняя скорость потока находится в диапазоне от 1,5 до 3,6 м/с, максимум средней скорости достигает 3,6 м/с.

**Результаты.** Движение в коллекторах, в основном безнапорное, таким образом полное живое сечение работает очень редко. Напорные потоки наблюдаются только в период половодья и могут приводить к образованию заболачивания и образования временных прудов и размыва защищаемой территории. При снижении глубины потока – снижается энергия потока, и образуется слой заиления. Расчеты показали, что для твердых частиц, диаметром от 0,16 до 5мм,



неразмывающая (донная скорость) находится в диапазоне от 0,5 до 1 м/с. При глубине потока менее 20 см, твердые частицы, рассмотренных диаметров, будут двигаться по дну коллекторной трубы, что необходимо подтвердить в дальнейшем, натурными исследованиями. Анализ базы данных показал, что слой заиления встречается в 63 % из всех рассмотренных водотоков. На дне коллектора скапливается крупный мусор, куски бетона, камни, люки, обломки лестниц и т.д., что также свидетельствует о периодах, когда поток обладает большой энергией.

**Выводы.** Проведена классификация коллекторов в системе подземных рек г. Москвы по типам гидротехнических сооружений, характерным формам живого сечения, материалам облицовки, типам твердых частиц, слагающих донные отложения. Создана база данных из 153 крупных водотоков, отмечены коллектора, содержащих на дне камни и труднопроходимые (заиленные) участки. Для выбранной модели коллекторной трубы, рассчитаны средние скорости и расход. Оценен разброс средних скоростей и расходов в зависимости от сезонности. Произведена оценка неразмывающих скоростей и определены этапы дальнейшего исследования.

**Ключевые слова:** двухфазный поток, коллектор, гидротехническое сооружение, область заиления.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОТЕРЬ НАПОРА ПРИ ДВИЖЕНИИ ДВУХФАЗНОГО ПОТОКА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ ТРУБАХ

*Волгина Л. В.<sup>1</sup>, Гусев И. А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра пожарной техники в составе УНК ПАСТ Академия ГПС МЧС России

## **АННОТАЦИЯ**

Проведены экспериментальные исследования потерь напора при подаче двухфазного потока в виде смеси воды и абразивных частиц по вертикали, получены экспериментальные данные и произведен расчет коэффициента гидравлического сопротивления, который необходимо учитывать при проведении теоретических расчетов.

**Ключевые слова:** двухфазные потоки, гидросмесь, потери напора, коэффициент гидравлического трения, потери по вертикали.

# РАСХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЛОСКОГО ЩИТОВОГО ЗАТВОРА В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ

*Кушер А. М.*

ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова

## АННОТАЦИЯ

**Предмет исследования:** в работе рассмотрено влияние геометрии и гидравлических параметров подводящего потока на расходомерные свойства плоского щитового затвора в открытом русле с использованием методов вычислительной гидродинамики. Существующие теоретические и численные методы расчета расхода через щитовой затвор ввиду большого числа влияющих факторов обеспечивают лишь грубую оценку расхода без учета гидравлических и геометрических параметров подводящего русла. Известные эмпирические формулы в недостаточны для объективной оценки достоверности метрологических характеристик и границ применимости гидрометрических конструкций.

**Цели:** исследование влияния шероховатости стенок русла и поля скоростей потока на расход воды и определение условий независимости расходной характеристики щитового затвора в открытом русле от кинематической структуры подводящего потока. Разработка аналитической формулы для расходной зависимости щитового затвора предложенной конфигурации, позволяющей уменьшить зависимость расхода от гидравлики потока в подводящем канале.

**Материалы и методы:** в качестве инструментария для анализа гидравлики потока через щитовой затвор использован программно-вычислительный комплекс DisCo для расчета гидрометрических сооружений, основанный на численном решении уравнений Навье-Стокса в трехмерной постановке [1,2]. Достоверность результатов численного моделирования подтверждена сравнением с известными данными для щитового затвора в канале с плоским дном.

**Результаты:** исследовано влияние кинематической структуры подводящего потока на гидрометрические характеристики щитового затвора. Предложена конфигурация элементов сооружения, обеспечивающая уменьшение зависимости расхода от гидравлики потока в подводящем канале. Разработана аналитическая формула расходной зависимости плоского щитового затвора с предложенной конфигурацией элементов и разбросом вычисленных расходов в диапазоне отношений высоты отверстия к глубине относительно нижнего края отверстия  $H_g / H < 0.3$  не более 2-3% независимо от кинематической структуры подводящего потока.

**Выводы:** расход воды через щитовой затвор в открытом русле зависит от поля скоростей потока в подводящем русле. Рассмотренная конфигурация элементов и предлагаемая аналитическая формула для расходной зависимости позволяют уменьшить погрешность измерения расхода через щитовой затвор за счет независимости результатов измерений от кинематической структуры подводящего потока.

**Ключевые слова:** вычислительная гидродинамика, численное моделирование, гидрометрическое сооружение, расходная характеристика, щитовой затвор.

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК И ЛАНДШАФТНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ НА МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК МАЛЫХ ВОДОСБОРОВ

*Ильинич В.В.<sup>1</sup>, Перминов А.В.<sup>2</sup>, Наумова А.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., профессор, кафедра метеорологии и климатологии РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидрологии гидрогеологии и регулирования стока РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>3</sup>старший преподаватель, кафедра гидрологии гидрогеологии и регулирования стока РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

## АННОТАЦИЯ

Проведённые исследования в течение последних десятилетий констатируют, что во многих регионах мира и, в частности, в российских регионах, имеется тенденция к повышению интенсивности ливневых дождевых осадков, что приводит к повышению нормативных максимальных расходов воды, на которые рассчитываются гидротехнические сооружения.

В большей степени повышение максимальных дождевых расходов за счёт повышения максимальных суточных осадков может быть выражено на малых водосборах. Повышение максимальных расходов может также происходить из-за изменения ландшафта при урбанизации территории. Спутниковая информация и ГИС могут отражать изменения ландшафта во времени. Учитывая выше изложенное в настоящем исследовании в качестве основной цели была поставлена проверка гипотез относительно конкретного малого водосбора: о повышении интенсивности ливневых осадков в последние десятилетия и изменении ландшафтных характеристик; о возможности оценки влияния этих процессов на расчётные максимальные расходы воды для гидротехнических сооружений.

Соответственно решались следующие задачи:

- оценка увеличения максимального количества осадков за последние десятилетия относительно конкретного малого речного бассейна;
- оценка изменений его ландшафта за последние десятилетия с использованием геоинформационной системы;
- оценка степени влияния обоих выше приведённых факторов на увеличение расчётных максимальных расходов воды для гидротехнических сооружений.

Материалы исследования подтвердили гипотезы об увеличении значений ливневых осадков и об изменении ландшафтных характеристик в последние десятилетия по отношению к исследуемому объекту.

Полученные результаты показали, что более короткие временные ряды наблюдений за ливневыми осадками за последние десятилетия (по сравнению с полным длительным временем

наблюдения) дают более реальное представление об опасном квантиле распределения случайных величин ( $P= 1\%$ ), которая используется для проектирования объектов строительства и оценки возможного затопления территории.

В целом, по результатам исследований следует сделать вывод о том, что гидротехнические сооружения, построенные как во второй половине XX-го века на малых водосборах во многих регионах, так и в последующие годы при использовании действующих строительных правил, не имеющих должной актуализации - утратили изначальную надежность для своей степени ответственности (класса) сооружений.

В связи с наблюдающейся тенденцией изменения климатических и ландшафтных характеристик малых водосборов необходимо актуализировать нормативно-техническую документацию, используемую в расчётах паводкового дождевого стока для проектирования гидротехнических сооружений.

## УЧЁТ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ДИСПЕТЧЕРСКОГО ГРАФИКА РАБОТЫ ИРКУТСКОГО ГИДРОУЗЛА

*Беднарук С.Е.<sup>1,2</sup>, Дильман Н.А.<sup>1</sup>, Чуканов В.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ИВП РАН

<sup>2</sup>информационно-аналитический центр регистра и кадастра РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

Ход уровня воды в водохранилище является одним из важнейших факторов, определяющих состояние его экосистемы. В первую очередь он влияет на состояние рыбных запасов, так как оказывает непосредственное влияние на условия нереста. Кроме того, с режимом сработки и наполнения водохранилища связаны условия гнездования водоплавающих птиц и жизни околородных животных.

Ввиду сложности и исключительно большого размера экосистемы Байкала и, обусловленного этим размером, недостатка объективных данных наблюдений, до настоящего времени не дано достоверной оценки влияния колебаний уровня озера на состояние населяющих его популяций.

Существует мнение, что для экологического благополучия озера его режим должен быть максимально приближен к естественным условиям, имевшим место до начала наполнения водохранилища в 1958 г. В естественных условиях колебания уровня озера Байкал характеризовались существенной изменчивостью. При средней годовой амплитуде изменения уровня 0,8 м, размах колебаний составлял около 2 м. Длительные периоды стояния на низких отметках сменялись достаточно быстрым подъемом в многоводные годы. При этом маловодные периоды были благоприятны для одних видов, населяющих Байкал, а многоводные – для других видов, что формировало уникальную экосистему озера и её богатое биологическое разнообразие.

Для обеспечения возможности корректного сравнения расчетных и естественных режимов был рассчитан восстановленный ход уровня воды за период с 1903/04 по 2019/20 гг. Расчет осуществлялся на имитационной модели Байкала, использующей уравнение водного баланса, реализованной на базе программного комплекса VOLPOW. В качестве граничных условий использовалась связь уровней и расходов воды в истоке р. Ангары в условиях отсутствия подпора и многолетний ряд расходов притока в озеро.

Для разработки диспетчерского графика Иркутской ГЭС с учетом экологических требований было предложено использовать сравнение рассчитанного режима хода уровня воды в озере Байкал с «естественным» (восстановленным) режимом. Для количественной оценки соответствия восстановленному режиму было предложено использовать квадратичное отклонение на 1 мая, 1 июня, 1 октября. Это позволяет выполнять проверку по срокам

достижения минимальных и максимальных отметок, интенсивности наполнения в мае-июне, сброски в октябре - апреле, годовой амплитуды колебания уровня.

Методика была испытана на расчетных уровнях воды, полученных для разных вариантов диспетчерского графика работы Иркутского гидроузла. Наиболее далеким от экологических требований оказался режим, рассчитанный по диспетчерскому графику, обеспечивающего выполнение постановление Правительства РФ от 26.03.2001 г. №234 «О предельных уровнях воды в озере Байкал» в максимально возможном количестве лет. Это ещё раз подтвердило, что ограничения на предельные уровни Байкала, установленные указанным постановлением, являются для озера противоестественными.

После успешного испытания методики она была применена для разработки диспетчерского графика Иркутской ГЭС, позволившего приблизить режим Байкала к естественным условиям без существенного снижения показателей её отдачи. Исключение составила зимняя мощность обеспеченностью  $P=90\%$  снизившаяся примерно на 14% по сравнению с другими вариантами регулирования.



# КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОПЫТОВ А.П. ЗЕГЖДА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЛАДКИХ И ШЕРОХОВАТЫХ ОТКРЫТЫХ КАНАЛОВ

*Брянская Ю.В.<sup>1</sup>, Игнатенко Е.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> д.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup> аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Несмотря на принципиальные отличия потоков в напорных трубопроводах и открытых руслах, во многих расчетных случаях считается, что гидравлическое сопротивление можно рассчитывать по зависимостям, предложенным И. Никурадзе. В значительной мере основанием для такого рода выводов являются опыты А.П. Зегжда по гидравлическому сопротивлению открытых потоков. В статье проведен анализ опытов А.П. Зегжда по исследованию гидравлических сопротивлений открытых потоков. Показано, что обеспечение динамической идентичности потоков в напорном трубопроводе и открытом канале возможно только при существенно различающемся распределении скоростей.

**Ключевые слова:** профиль скорости, распределение скоростей, турбулентное течение, коэффициент гидравлического сопротивления, параметр Кармана.

# ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДНОГО ПОТОКА ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ОБТЕКАНИИ БЕРЕГОВОГО ОТКОСА, УКРЕПЛЕННОГО ЗАЩИТНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

*Брянская Ю.В.<sup>1</sup>, Юмашева М.А.<sup>2</sup>, Игнатенко Е.В.<sup>3</sup>, Шерстнев Д.Ю.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> д.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup> к.т.н., кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>3</sup> аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>4</sup> магистр, институт ИГЭС НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** При строительстве различных сооружений, подверженных воздействию водного потока, предъявляются повышенные требования к их надежности и безаварийной работе. В связи с этим необходимо решение ряда технически сложных задач: защита опор мостов; укрепление откосов, насыпей, склонов; защита трубопроводных переходов; водоотвод из оврагов и кюветов и др. Одним из вариантов решения данных задач является применение защитных покрытий. Гибкие защитные бетонные покрытия достаточно часто применяются для крепления береговых откосов каналов, речных русел, дорожных насыпей и пр. Для надежности работы и предотвращения смещения защитного покрытия необходимо провести анализ его работы в условиях взаимодействия с набегающим потоком.

**Материалы и методы.** Поскольку гибкие бетонные защитные маты представляют собой бетонные блоки, соединенные между собой, процесс их обтекания достаточно сложный. В связи с этим выполнялись экспериментальные гидравлические исследования защитных покрытий двух модификаций, установленных на боковом откосе при продольном обтекании их водным потоком.

**Результаты.** Получены диаграммы изменения глубины потока над защитным покрытием, а также эпюры скорости на подходе к защитному покрытию, вдоль покрытия и в донных зазорах между отдельными элементами защитного покрытия при выходе потока.

**Выводы.** Результаты измерений показывают увеличение скоростей вдоль защитных покрытий. При этом скорости течения вблизи дна имеют достаточно высокие значения, что может вызвать размыв грунтов под защитным покрытием.

**Ключевые слова:** защитные покрытия, береговой откос, профиль скорости, распределение скоростей, турбулентное течение, моделирование.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ СПРЯМЛЯЮЩЕГО КАНАЛА НА Р. ТЕРЕК

*Ходзинская А.Г.<sup>1</sup>, Ахаев К.Д.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., доцент, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>ф-л Дагводресурсы Росводресурсов

### АННОТАЦИЯ

Рассматривается современное состояние р. Терек в нижнем течении, изменившееся после повышения уровня Каспийского моря и причины наводнений: разрушение береговых дамб, находящихся в неудовлетворительном состоянии на отдельных участках и недостаточная пропускная способность русла. Предложены варианты проведения мероприятий по изменению ситуации. Даны конкретные предложения по укреплению береговых дамб и проектированию канала-спрямления.

**Введение.** На территории республики Дагестан река Терек течет в обвалованном русле, так как дно и берега быстро заиливаются и пропускная способность русла сокращается. Повышенные расходы воды во время паводков 2002 и 2005 годов, когда расходы воды были близки максимальным, привели к прорывам дамб обвалований и значительным наводнениям.

**Материалы и методы.** Вообще для борьбы с возможными наводнениями применяются следующие мероприятия:

строительство или увеличение емкости вышерасположенных водохранилищ; углубление и регулирование участков русла;

расчистка русла и сооружение и укрепление дамб обвалования;

строительство каналов-спрямлений русла на отдельных участках.

При усиливающейся неравномерности стока под влиянием изменения климатических условий (увеличением максимальных расходов) весьма эффективным в случае Терека, но требующим детального рассмотрения является первое мероприятие, так как оно позволяет решить проблему наиболее кардинально. Предлагается рассмотреть возможность таких решений.

Углубление и защита русла на некоторых участках реки Терек проводится регулярно и планомерно, но во время наводнений этих мероприятий, очень возможно, может быть недостаточно. Значительное разрушение берега на разных участках связано с его подмывом и фильтрационным давлением, связанным с быстрым изменением уровня воды в реке.

Такая мера, как усиление дамб обвалования успешно применяется в нижнем течении реки Кубань. Там широко используются конструкции гибких быстровозводимых дамб из

высокопрочных композитных материалов. Этот опыт, безусловно, можно применить на р. Терек.

Строительство каналов-спрямлений было уже использовано для решения проблем, имеющих на некоторых участках р. Тереке. Это дает уменьшение расхода, проходящего по руслу реки, что однозначно эффективно для предотвращения наводнений и положительно влияет на устойчивость берега.

**Результаты.** Даны конкретные предложения по креплению и увеличению высоты ограждающих дамб, как традиционные:

засыпка камнем подмытых потоком участков; уполаживание склонов (при низкой воде);

использование растительности (сплошное травосеяние, посадка влаголюбивого кустарника, облесение);

искусственное уплотнение и закрепление грунтов с помощью цементации или другим способом;

так и сравнительно новые:

применение георешеток (геоячеек);

использование быстровозводимых дамб, в которых используют грунтонаполняемые и грунтоармированные конструкции, а также водонаполняемые оболочки из армированных резиновых тканей или из поливинилхлорида (ПВХ), которые обладают большой прочностью на разрыв и стойкостью к изгибу.

Даны рекомендации по приведению неэффективных в настоящее время конструкций сборных железобетонных тетраэдров в рабочее состояние.

Даны предложения по строительству канала-спрямления русла на участке ПК722-ПК745. Строительство предлагается осуществлять методом, использующим саморазмыв. Даны предложения по расчету пионерного канала с учетом задания скорости, превышающей неразмывающее значение.

#### **Выводы.**

1) Даны рекомендации по креплению дам-обвалований.

2) Канал- спрямление целесообразно выполнить с учетом его доработки потоком с учетом превышения скорости потока неразмывающих значений и с учетом рекомендаций по его плановому трассированию.

3) При установлении неразмывающей скорости следует учитывать мутность реки.

**Ключевые слова:** взвесенесущий поток, дамбы обвалования, канал-спрямление,

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАНОВОЙ ДЕФОРМАЦИИ РУСЕЛ

*Соколова С.А.<sup>1</sup>, Бакиштанин А.М.<sup>2</sup>, Беглярова Э.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>к.т.н., кафедра комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup>к.т.н., доцент, кафедра комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>3</sup>к.т.н., профессор, кафедра комплексного использования водных ресурсов и гидравлики РГАУ - МСХА имени К.А. Тимирязева

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В представленных материалах приведена гидравлическая схема образования и развития процесса интенсивной плановой деформации русла, его связь с общей руслоформирующей деятельностью потока. Доказана возможность предсказания этого явления и управления им. Обобщены методы борьбы с интенсивным обрушением берегов рек, организации и технологии строительства с точки зрения экономической эффективности, надежности и экологической чистоты. При устройстве спрямляющей прорези на реках главным условием успешной работы являются: наименьший угол подхода динамической оси основного потока, наибольшее падение отметок начала и конца прорези, короткая и прямая трасса его и минимальный объем земляных работ. Дана оценка влияния плановой деформации на устойчивость русла, представлена формула для расчета глубины размыва, безразмерные критерии, определяющие возможность образования размывов для различных ситуаций, что позволило выбрать типы и конструкции берегозащитных сооружений.

**Материалы и методы исследований.** Условия формирования русел не одинаковы из-за различного геологического строения, рельефа местности и гидрологического режима рек, однако есть и общие закономерности. Современная теория объясняет русловой процесс как непрерывное взаимное приспособление потока и формы русла. В русловом потоке с неизменным гидравлическим режимом устойчивыми могут быть те русла, которые в процессе образования и развития стабилизируют структуру потока, что способствует динамике этих форм. Основная причина местного размыва при плановых деформациях русел кроется в образовании и медленном движении крупных скоплений песка – гряд. Именно при медленном движении гряд создаются условия для изменения скоростной структуры потока и размыва берега. Интенсивность подмыва и обрушения зависит от величины гряды.

**Результаты.** При выборе мероприятий по локализации деформации русла учитывались следующие соображения. Основной задачей разрабатываемых мер должно быть коренное изменение гидравлики потока в районе деформации, а именно: ликвидации свала потока к берегу

в начале образования деформации русла; ликвидация водоворотных течений в самом русле; создание благоприятных условий для отложения транзитных наносов воронке деформации русла или направление донных потоков в его сторону и поверхностных – к оси канала. Сооружения должны быть легкими, подвижными, маневренными и недорогими для удобства их перемещения на другое место, что позволит изменять конструктивные параметры таких сооружений.

**Выводы.** Рекомендации позволят предсказать образования интенсивной плановой деформации русел и вести борьбу с ней. Решение этой хозяйственной проблемы необходимо для разработки большого числа инженерных задач русловой гидротехники в процессе проектирования, строительства и эксплуатации водохозяйственных, мелиоративных и энергетических объектов в аридной зоне. На базе рассмотренных комплексных исследований плановых деформаций русел раскрыты внутренние закономерности кинематической структуры взвесенесущего потока, установлено наличие непосредственной связи этого явления с общей с общей руслоформирующей деятельностью потока, выявлены составляющие факторов, управляющие этими явлениями. Для ликвидации обрушения берегового массива требуется коренное изменение кинематики потока. Для борьбы с плановыми деформациями могут быть использованы струенаправляющие плавучие сооружения, используя энергетические возможности самого потока.

**Ключевые слова:** плановая деформация русла, глубина размыва, местная скорость, неразмываемая скорость, диаметр частиц грунта, берегозащитные сооружения.

# ОРОШЕНИЕ АККУМУЛИРОВАННЫМИ ЛИВНЕВЫМИ ВОДАМИ (SPATE IRRIGATION) И ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ В ЗАПАДНЫХ НИЗМЕННОСТЯХ ЭРИТРЕИ

*Ангхесом Алемнгус Гебрехибот<sup>1</sup>, Козлов Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Продовольственная безопасность, экономика и энергетика страны, устойчивость экосистем зависят от водных ресурсов и, следовательно, уязвимы к последствиям изменения климата. Колебания климата влияют на доступность, качество и количество воды. Гидрологические изменения, вызванные изменением климата, создают дополнительные проблемы для управления водными ресурсами. Значительная часть последствий изменения климата проявляется в тропических регионах (например, в Африке к югу от Сахары) мира. В странах Африки к югу от Сахары (включая Эритрею) водные ресурсы подвержены высокой изменчивости климата как в пространстве, так и во времени и являются ключевым фактором, сдерживающим дальнейшее экономическое развитие региона. Поэтому адаптация к изменению климата и смягчение его последствий посредством управления водными ресурсами имеют решающее значение для устойчивого развития в условиях дефицита воды. В засушливых низменностях и полупустынных агроэкологических зонах Эритреи в среднем ежегодно выпадает 200-400 мм осадков, что является недостаточным для сельскохозяйственного производства, если не использовать орошение. Таким образом, увеличение сельскохозяйственного производства может быть достигнуто, в том числе за счет совершенствования существующих ирригационных систем в потенциально орошаемых районах. Поэтому цель настоящего исследования состоит в том, чтобы изучить особенности орошения аккумулярованными ливневыми водами или поливного орошения (поверхностным стоком), определить потенциал развития и существующие проблемы орошения аккумулярованными ливневыми водами в западных низменных районах Эритреи, а в конечном итоге предложить методологию преодоления этих проблем.

**Материалы и методы.** Для достижения вышеуказанных целей использовались качественные и количественные, описательные и аналитические методы исследований. Активно применялись методы опроса (анкетирование, интервью, беседа) с целевой группой лиц, которые участвовали в осуществлении различных проектов по орошению аккумулярованными ливневыми водами и других проектов в области управления водными ресурсами, что позволило выявить существующие проблемы и их решения. Также использовались вторичные данные, полученные в результате анализа документации из различных министерств и ведомств. Кроме того, для

повышения степени гидрологической и водохозяйственной изученности исследуемого региона в условиях недостаточного информационного обеспечения, использовались общедоступные глобальные и региональные базы данных.

**Результаты.** Бассейны рек Сетит и Мереб-Гаш, низовья которых находятся в Западной низменности, обладают наибольшим потенциалом для развития орошения аккумулярованными ливневыми водами. По состоянию на 2013 год суммарная посевная площадь за счет орошения аккумулярованными ливневыми водами составляла 33,6% от общего потенциала орошаемых земель, что указывает на существенные возможности для развития орошаемого земледелия в исследуемом регионе. Анализ результатов проведенного анкетирования и интервьюирования специалистов водного хозяйства, показал наличие ошибочных управленческих решений, а также эксплуатационных и технических проблем в работе существующих водоотводных и водозаборных гидротехнических сооружений, связанных, в том числе с неправильными гидрологическими оценками речного стока.

**Выводы.** Западные низменности Эритреи, несомненно, обладают большим потенциалом для развития орошаемого земледелия. В последние десятилетия были предприняты значительные усилия по разработке и внедрению водохозяйственных проектов с целью укрепления продовольственной безопасности, экономики и создания благоприятных социально-экономических условий для местных общин. Однако ни один из этих проектов, реализованных на территории водосборных бассейнов, недостаточно обеспеченных данными непосредственных измерений, еще не достиг своих намеченных целей. Исследование показало, что основными причинами низкой эффективности действующих мелиоративно-водохозяйственных комплексов являются проблемы проектирования и строительства гидротехнических сооружений, их эксплуатации и технического обслуживания, а также в целом управления водными ресурсами. Очевидно, что решение указанных проблем требует многофакторных и междисциплинарных подходов. Результаты исследования подтвердили предположение о том, что отсутствие или недостаточность надежных гидрологических данных является одной из основных причин низкой эффективности систем орошения аккумулярованными ливневыми водами. В этих условиях при проектировании сооружений мелиоративно-водохозяйственных комплексов для получения более надежных и физически обоснованных оценок изменения стока следует использовать массивы данных глобального реанализа климата, а также физико-географические и геоморфологические характеристики водосборов в физико-математических моделях формирования стока в исследуемых речных бассейнах.

**Ключевые слова:** дефицит воды, аккумулярованные ливневые воды, поливное орошение, водосбор, речной бассейн, западные низменности Эритреи.



# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ СТОКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И РЕГРЕССИИ

*Слейман Алаа<sup>1</sup>, Козлов Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Водные ресурсы имеют особое значение, которое может превосходить другие сырьевые и экономические ресурсы, поскольку они являются основополагающими для развития различных видов сельскохозяйственной, промышленной и социально-экономической деятельности. Речной сток является одним из наиболее важных компонентов гидрологического цикла. Целью данного исследования является сравнение моделей искусственных нейронных сетей (ANN), системы нечеткого логического вывода (FIS) и статистической регрессии для оценки данных о речном стоке на гидрометрической станции Аль-Джавадия с использованием только информации о стоке на станции Аль-Джавадия и дополнительными данными о расходах воды, измеренных на станции Аль-Амири на сирийско-ливанской границе. Было проведено множество экспериментов и обучено большое количество искусственных нейронных сетей с изменением количества скрытых слоев, количества нейронов и алгоритмов обучения до тех пор, пока не была достигнута наилучшая сеть в соответствии с критериями регрессии и среднеквадратичным отклонением между наблюдаемыми и прогнозируемыми значениями стока. Также было реализовано несколько моделей нечеткого вывода с изменением количества и типа функций отклика до момента достижения в этом процессе наиболее точной модели. Кроме того было построено несколько регрессионных моделей с изменением количества записей и их временной задержки (лаг). Сравнение показало, что лучшее согласие существует между оценками с использованием ANN и FIS. Результаты численных экспериментов оценки речного стока на исследуемой территории показали достаточно высокую надежность как модели искусственной нейронной сети, так и модели системы нечеткого вывода, а сравнение полученных результатов подтвердило их лучшую сходимость для обеих моделей с небольшим предпочтением системы нечеткого вывода. Данное исследование показало возможности использования моделей искусственного интеллекта для оценки и прогнозирования не только стока, но и других элементов климата, так как это поможет сформировать более полные наборы гидрологических и климатических исходных данных, необходимых для построения точной гидрологической модели исследуемого водосбора.

**Ключевые слова:** сток, оценка, искусственные нейронные сети, система нечеткого вывода, статистическая регрессия.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОДЪЁМНОЙ СИЛЫ ТРУБОПРОВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДАХ ПРОКЛАДКИ

*Брянский И.А.*

<sup>1</sup>аспирант, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

## АННОТАЦИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований силового воздействия потока на модели трубопроводных переходов. Определены величины коэффициентов гидродинамического сопротивления и подъёмной силы для трубопроводов, проложенных по дну под различными углами к набегающему потоку, проложенных с различной степенью заглубления в дно, с защитой гибкими бетонными покрытиями. Проведен анализ результатов опытов по исследованию силового воздействия турбулентного потока на различные виды трубопроводных переходов.

**Ключевые слова:** турбулентное течение, трубопроводный переход, коэффициент гидродинамического сопротивления, коэффициент подъёмной силы, обтекание препятствий, гибкие защитные бетонные покрытия.

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДОЛЬНО-ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЙ ПРИ СОПРЯЖЕНИИ С НИЖНИМ БЬЕФОМ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ НАПОРОВ

*Щесняк Л.Е.*

аспирант, Российский университет дружбы народов (ФГАОУ ВО РУДН)

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** Современный этап развития гидротехнического строительства характеризуется значительным ростом скоростей и напоров в крупных гидротехнических сооружениях. Высокие скорости потоков приводят к размывам русла и берегов рек, подмывам конструкций самих гидротехнических сооружений, а также к возникновению кавитации на поверхностях сооружений.

Одним из путей решения негативных явлений является гашение избыточной энергии потока с помощью продольно-циркуляционных течений. Исследованиям закрученных потоков посвящены работы многих известных отечественных и зарубежных ученых. Однако проблемы сопряжения закрученных потоков с нижним бьефом изучены недостаточно полно.

**Материалы и методы.** Закрученный поток представляет собой сложное течение, характеризующее непрерывным изменением поля скоростей и давлений. Используя уравнения, описывающие сопряжение закрученных струй с нижним бьефом по различным схемам проведено сопоставление численного решения уравнений с экспериментальными данными.

**Результаты.** Получено уточненное решение дифференциальных уравнений распространения закрученных турбулентных струй, выпускаемых в неподвижное пространство, заполненное той же жидкостью, а также в спутный и сносящий потоки. Разработана методика гидравлического расчета закрученных турбулентных струй, выпускаемых из вихревых водосбросов под уровень нижнего бьефа, а также закрученной струи, отбрасываемой в воздух. Получены экспериментальные данные по распределению скорости в потоке нижнего бьефа при сопряжении с слабо закрученными турбулентными струями, выпускаемыми из вихревого водосброса.

**Выводы.** Полученные результаты позволяют определить необходимые параметры потока, требуемые при оценке условий сопряжения рассматриваемых сооружений с верхним и нижним бьефом. Разработанные вычислительные модели позволяют выполнять моделирование распространения закрученных потоков вихревых водосбросов в установившихся потоках нижних бьефов и выполнять проектирование сопряжений шахтных водосбросов с нижним бьефом с учетом минимизации отрицательных воздействий на конструкции гидротехнических сооружений и берегов рек.

**Ключевые слова:** закрученная струя, сопряжение бьефов, распределение скоростей, турбулентное течение, математическое моделирование.

# ИСТОРИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА УСТЬЯ РЕКИ СЕВЕРНАЯ ДВИНА

*Козлов Д.В.<sup>1</sup>, Снежко В.Л.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> д.т.н., профессор, кафедра гидравлики и гидротехнического строительства НИУ МГСУ

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, кафедра информационных технологий в АПК РГАУ–МСХА имени К.А.

Тимирязева

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В связи с усилившимися процессами глобального потепления сегодня правомерность концепции стационарности многолетних колебаний гидрометеорологических величин поставлена под сомнение. Рост среднегодовой температуры в г.Архангельске в последние десятилетия XX века составил  $0,6^{\circ}\text{C}$ , повышение температуры со скоростью  $1^{\circ}\text{C}$  за 100 лет происходило преимущественно в холодный период года. Следствием изменения температурного режима стало изменение ледового режима Северной Двины. Даты установления ледостава сместились на более поздние сроки, а даты очищения ото льда – на более ранние. Для предотвращения заторов и связанных с ними наводнений в городе с 1915 года проводятся ледокольные работы, с 1922 года по 1970 – бомбометание, с 1954 года используется радиационный метод ослабления льда, с 1962 года и до настоящего дополнительно используются направленные взрывы. Заблаговременный спуск льда в устье реки стал мощным антропогенным фактором, влияющим не только на возникновение заторов, но и на протекание весенних ледовых явлений. Ледоход в районе Архангельска стал наступать на несколько дней раньше. На ледовый режим устья реки стали влиять сбросы теплых сточных вод городского хозяйства, промышленных предприятий и крупнейшей в области Архангельской ТЭЦ, заработавшей в 1971 году. Разграничить степень антропогенного влияния и влияния изменений климата на характеристики ледового режима в устье Северной Двины по гидрологическим данным позднее 1915 года проблематично. Цель исследований: оценка в исторической ретроспективе изменчивости ледового режима устьевое участка Северной Двины, исключая влияние антропогенных факторов.

**Материал и методы.** Для устьевое участка Северной Двины непрерывные данные по срокам установления ледостава и полного очищения реки ото льда, столь важным для судоходства, известны с 1734 года. Информационной основой для исследований послужили архивные сведения М.А. Рыкачева за 1734-1879 г., дополненные данными П.Н. Орлова за 1880-1915г г. В основу исследований положен многомерный анализ данных и методы математической статистики.

**Результаты.** Анализ наблюдений за датами замерзания и вскрытия Северной Двины в г.Архангельске за 182 года был выполнен с целью поиска трендов. Проверка значимости тренда выполнялась по рекомендациям Государственного гидрологического института. Расчеты выявили, что почти за два века (с 1734 по 1915 гг.) ряд дат вскрытия реки ото льда имел тренд в сторону более ранних сроков, а ряд дат замерзания тренд в сторону более поздних сроков. Однако, оба этих тренда статистически не значимы даже на уровне 5%.

**Выводы.** Полученные результаты могут быть полезны для анализа длительных региональных и глобальных изменений климата. Анализ ретроспективных данных позволил исключить влияние техногенных и антропогенных факторов на оценку изменчивости ледового режима устьевого участка реки Северная Двина. Выявленные тенденции свидетельствуют о возможном потеплении климата в северных широтах. Аналогичные выводы о сдвигах сроков вскрытия и замерзания рек Средней Сибири были сделаны по результатам ретроспективного анализа двухсотлетних наблюдений.

**Ключевые слова:** ледовый режим, гидрология, реки, изменение климата

# ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНЖЕКЦИОННЫХ ВОДОВЫПУСКОВ

*Кобозев Д.Д.<sup>1</sup>, Снежко В.Л.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ассистент, кафедра информационных технологий в АПК РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева

<sup>2</sup> д.т.н., профессор, кафедра информационных технологий в АПК РГАУ–МСХА имени К.А.

Тимирязева

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** После кризиса 1990-х годов многие мелиоративные системы Российской Федерации и бывших союзных республик не имели должного обслуживания из-за дефицита финансовых средств и смены собственников. Это привело к тому, что около половины воды, забираемой из источников орошения, терялось в оросительных каналах. Повышение технического уровня оросительных систем базируется на автоматизации работы как всей системы в целом, так и отдельно расположенных водопропускных гидротехнических сооружений. Это позволит избежать значительных потерь воды, подаваемой на орошение и предотвратить дефицит воды при недостаточной дисциплине водопользователей. На малых оросительных каналах при большой площади орошаемого массива экономически целесообразно устанавливать средства гидравлической автоматизации водоподачи. Первые конструкции инжекционных регуляторов для водопропускных сооружений разработаны недавно, поэтому гидравлические режимы течения воды в пределах их проточной части требуют проведения экспериментальных исследований.. а форма проточной части регуляторов – совершенствования.

**Материалы и методы.** Теоретические зависимости для определения гидравлических параметров регулятора получены из условий рассмотрения его работы как водоструйного аппарата, размещенного под грунтовой перемычкой в створе перегораживающего сооружения. Основой расчетов стал закон сохранения импульсов и квазиодномерная теория N. Sanger. В качестве сопла в регуляторах расхода выступает инжектируемый поток. Предельную границу его раздела с инжектирующим потоком предложено определять теоретически методом «источник-сток» с верификацией по данным эксперимента. В водоструйных насосах эффективны конструкции с длиной камеры смешения порядка 6-ти ее диаметров. В проточную часть регулятора впервые предложено включить призматическую камеру смешения длиной 3 диаметра трубы водовыпуска. Гидравлические характеристики модифицированного регулятора изучены в зеркальном гидравлическом лотке на модели из органического стекла масштаба 1:10 при числах Рейнольдса  $2,1..2,4 \cdot 10^5$ .

**Результаты.** Экспериментальные данные подтвердили правомерность расчета площади сопла по линии предельного тока. Площадь сопла для модифицированной конструкции равна 80% площади трубы водовыпуска (в существующих регуляторах – 86%). Внесение камеры

смешения увеличивает рост относительного коэффициент расхода более чем в 2 раза по сравнению с аналогичными конструкциями. Инжектирующая способности регулятора выше, следовательно, в пределах низовой части проточного тракта циркулирует больший объем излишков воды. Теоретические и экспериментальные данные по напорам и расходам инжектора совпали с точностью до погрешности.

**Выводы.** Внесение призматической камеры смешения за отверстием для впуска инжектируемого потока изменяет гидравлические характеристики регулятора: при высоких горизонтах нижнего бьефа увеличивает пределы регулирования и величину циркулирующего расхода.

**Благодарности.** Работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках соглашения № 075-15-2020-905 от 16.11.2020 г. о предоставлении гранта в форме субсидий из федерального бюджета на осуществление государственной поддержки создания и развития научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

**Ключевые слова:** гидравлика, гидросооружения, ирригация, оросительные каналы



# ДВУХФАКТОРНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗА ОБРАЗОВАНИЯ ЗАТОРОВ НА РЕКЕ КИЧМЕНЬГА

*Кулешов С.Л.*

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

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В связи с усилившимися процессами глобального потепления сегодня правомерность концепции стационарности многолетних колебаний гидрометеорологических величин поставлена под сомнение. Рост среднегодовой температуры в г.Архангельске в последние десятилетия XX века составил  $0,6^{\circ}\text{C}$ , повышение температуры со скоростью  $1^{\circ}\text{C}$  за 100 лет происходило преимущественно в холодный период года. Следствием изменения температурного режима стало изменение ледового режима Северной Двины. Даты установления ледостава сместились на более поздние сроки, а даты очищения ото льда – на более ранние. Для предотвращения заторов и связанных с ними наводнений в городе с 1915 года проводятся ледокольные работы, с 1922 года по 1970 – бомбометание, с 1954 года используется радиационный метод ослабления льда, с 1962 года и до настоящего дополнительно используются направленные взрывы. Заблаговременный спуск льда в устье реки стал мощным антропогенным фактором, влияющим не только на возникновение заторов, но и на протекание весенних ледовых явлений. Ледоход в районе Архангельска стал наступать на несколько дней раньше. На ледовый режим устья реки стали влиять сбросы теплых сточных вод городского хозяйства, промышленных предприятий и крупнейшей в области Архангельской ТЭЦ, заработавшей в 1971 году. Разграничить степень антропогенного влияния и влияния изменений климата на характеристики ледового режима в устье Северной Двины по гидрологическим данным позднее 1915 года проблематично. Цель исследований: оценка в исторической ретроспективе изменчивости ледового режима устьевое участка Северной Двины, исключая влияние антропогенных факторов.

**Материал и методы.** Для устьевое участка Северной Двины непрерывные данные по срокам установления ледостава и полного очищения реки ото льда, столь важным для судоходства, известны с 1734 года. Информационной основой для исследований послужили архивные сведения М.А. Рыкачева за 1734-1879 г., дополненные данными П.Н. Орлова за 1880-1915г г. В основу исследований положен многомерный анализ данных и методы математической статистики.

**Результаты.** Анализ наблюдений за датами замерзания и вскрытия Северной Двины в г.Архангельске за 182 года был выполнен с целью поиска трендов. Проверка значимости тренда выполнялась по рекомендациям Государственного гидрологического института. Расчеты

выявили, что почти за два века (с 1734 по 1915 гг.) ряд дат вскрытия реки ото льда имел тренд в сторону более ранних сроков, а ряд дат замерзания тренд в сторону более поздних сроков. Однако, оба этих тренда статистически не значимы даже на уровне 5%.

**Выводы.** Полученные результаты могут быть полезны для анализа длительных региональных и глобальных изменений климата. Анализ ретроспективных данных позволил исключить влияние техногенных и антропогенных факторов на оценку изменчивости ледового режима устьевого участка реки Северная Двина. Выявленные тенденции свидетельствуют о возможном потеплении климата в северных широтах. Аналогичные выводы о сдвигах сроков вскрытия и замерзания рек Средней Сибири были сделаны по результатам ретроспективного анализа двухсотлетних наблюдений.

**Ключевые слова:** ледовый режим, гидрология, реки, изменение климата.

# УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ БАССЕЙНА МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ АЛЬМА, РЕСПУБЛИКА КРЫМ)

*Иванкова Т. В.*

ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова»

## АННОТАЦИЯ

**Введение.** В марте 2014 г. после перекрытия Украиной Северо-Крымского канала, снабжавшего днепровской водой Крымский полуостров, основным потребителем которой являлось сельское хозяйство, объем водопотребления уменьшился в 33 раза. Территория Республики Крым относится к субъектам РФ с низкой водообеспеченностью местным речным стоком, меньше, чем в среднем по России в 64 раза. По территории Республики Крым протекает 314 рек, 99 % из которых являются малыми. На малой р. Альма расположено два комплекса водного хозяйства (русловое Партизанское и наливное Альминское водохранилища) и 73 пруда. Река берет начало на северном склоне Главной гряды Крымских гор, пересекает Внутреннюю и Внешнюю гряды и впадает в Черное море. Протяженность реки – 79 км, площадь водосборного бассейна – 635 км<sup>2</sup>. Средний многолетний годовой сток составляет 1,2 м<sup>3</sup>/с. В бассейне реки в 23 поселках и селах проживает 21 тыс. чел. местного населения. На реке расположены 17 автомобильных, три пешеходных и один железнодорожный мост. Плотность проживающего населения в водоохранной зоне реки – 2 тыс. чел/км<sup>2</sup>. Коэффициент использования водных ресурсов реки за 2015-2020 гг. составлял не ниже 69,3%. В предгорной и равнинной частях реки, составляющих 65,8% ее длины, экологический сток в отдельные периоды года отсутствовал полностью, что ведет к ее деградации.

**Материалы и методы.** Работа основана на фактическом материале, собранном автором в 2015–2020 гг. при полевых исследованиях в бассейне р. Альма. В процессе работ детально изучены гидрология и геоэкология бассейна р. Альмы. Проведен анализ строительной и эксплуатационной проектной документации Партизанского и Альминского водохранилищ и выполнена оценка их конструктивных элементов. Проведена оценка технического состояния и безопасности длительно эксплуатирующихся сооружений с учетом изменившихся условий природно-технической системы (ПТС) бассейна р. Альма.

**Результаты.** Река практически на всем своем протяжении протекает через неканализованные села и сельскохозяйственные (сады и виноградники) территории, с которых принимает значительный объем загрязненных хозяйственно–бытовых вод с частных домовладений и сельскохозяйственных полей, а также стоки с двух очистных сооружений, расположенных в селах Приятное Свидание и Скалистое. Качество воды по длине меняется от 2–

го («чистая») до 6-го класса («экстремально грязная»). Характерными загрязняющими веществами являются соединения меди, свинца, кальция и магния. Многофакторным исследованием Партизанского водохранилища установлены многочисленные недостатки. Выявленные дефекты позволяют оценить текущее состояние безопасности ГТС согласно действующим сводам и правилам: по СП 39.13330, 2012 – не соответствует; по СП 58.132330, 2012 – соответствует не в полной мере. При исследованиях Альминского водохранилища в 2015–2017 гг. выполнялись комбинированные визуальные наблюдения, которыми устанавливалась общая характеристика водного объекта и состав основных ГТС. По результатам исследования необходимо произвести реконструкцию ГТС Альминского водохранилища с целью недопущения возникновения аварийной ситуации и угрозы затопления территории, расположенной в нижнем бьефе. Выполненная оценка водного баланса бассейна реки выявила проблемы управленческих решений экологической безопасности бассейна в части: много спрямленных участков при строительстве сооружений, мостов; большая освоенность поймы дорогами, коммуникациями, постройками; сток зарегулирован с превышением предельно допустимого объема регулирования почти в 4 раза при осуществлении экологической проточности 60% от среднегодового стока ( $40,94 > 11,78$  млн. м<sup>3</sup>). Допустимый отбор поверхностного стока составляет не более 12 млн. м<sup>3</sup>.

**Выводы.** Впервые для территории водосборного бассейна р. Альма:

- разработаны критерии экологической безопасности природно-технической системы реки на разных участках бассейна для разных лет водообеспеченности, с учетом обеспечения рационального изъятия воды из русла, позволяющие наиболее эффективно управлять природно-технической системой реки, используя в бассейне реки водоохранные, водозащитные, водоочистные, водопреобразующие, водовосстановительные технологии;

- разработана база данных строительных объектов городского хозяйства (мостовые переезды) по всей протяженности русла реки, с оценкой их технического состояния и уровня безопасности, отличающаяся тем, что она позволяет осуществлять мониторинг негативных воздействий эксплуатируемых сооружений, подтверждена свидетельством о регистрации базы данных;

- выполнена комплексная экодиагностика бассейна, отражающая защищенность природной среды от негативных воздействий, учитывающая возводимые и уже эксплуатируемые строительные объекты. Составлена карта антропогенной нагрузки М 1:50000;

- осуществлена оценка экологической безопасности объектов водохозяйственного комплекса и городского хозяйства природно-технической системы, отличающаяся тем, что на основе качественных и количественных показателей анализа рисков, позволяет предотвратить техногенные и природные катастрофы.

**Ключевые слова:** природно-техническая система, водохранилище, малая река, экодиагностика, антропогенная нагрузка, бассейновый подход.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ РАСЧЁТЫ ПАРАМЕТРОВ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ВОДОВЫПУСКА МЕЛИОРАТИВНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

*Гурьев А.П.<sup>1</sup>, Ханов Н.В.<sup>2</sup>, Хаек Б.А.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>д.т.н., профессор, кафедра инженерных конструкций, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева*

*<sup>2</sup>д.т.н., профессор, кафедра гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева*

*<sup>3</sup>аспирант, кафедра гидротехнических сооружений, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева*

## АННОТАЦИЯ

Водовыпускное сооружение мелиоративной насосной станции (НС) является одним из важнейших устройств мелиоративной НС.

В его функции входят:

1. Обеспечить удовлетворительный гидравлический режим сопряжения потока напорного трубопровода с потоком отводящего канала.
2. Обеспечить надёжную защиту от возникновения обратного тока воды в напорном трубопроводе в случае аварийного прекращения питания электроэнергией насосного агрегата.
3. Обеспечить минимальные потери энергии НС во всём диапазоне возможных колебаний уровня воды в отводящем канале.

За более чем вековую историю проектирования, строительства и эксплуатации мелиоративных насосных станций разработаны десятки вариантов водовыпускных устройств. Такое большое количество конструкций водовыпусков свидетельствует о наличии проблем с созданием конструкции, которая удовлетворяла бы одновременно всем требованиям, предъявляемых к ней. По этой причине в основу проектирования водовыпускных устройств мелиоративных НС за основное требование принимается гарантирование обеспечения надёжности защиты напорного трубопровода от возникновения обратного тока воды при прекращении электроснабжения.

В настоящее время наибольшее распространение имеют два типа конструкций водовыпускных сооружений мелиоративных НС:

1. Сифонные водовыпуски, на которых осуществляют срыв вакуума при возникновении обратного тока воды.
2. С установкой на конце напорного трубопровода обратного клапана, автоматически закрывающегося при возникновении обратного тока воды.

Сифонные водовыпуски обладают низкими гидравлическими потерями, но являются самыми дорогостоящими конструкциями водовыпускных устройств. Кроме того, при значительных колебаниях уровня воды в водоприёмном канале возможен срыв вакуума и периодическое отключение его работы.

Недостатком водовыпусков с обратными клапанами является изначально их большие гидравлические потери, которые со временем растут из-за облитерации шарнирных узлов, при которой коэффициент гидравлических потерь может достигать десятков единиц скоростного напора в напорном трубопроводе.

Величина потерь в ежегодных издержках на компенсацию гидравлических потерь в обратных клапанах могут быть определены по зависимости:

$$\Delta \mathcal{E}_r \approx \sum 13,5 \cdot h_{o.k.} \cdot Q_t \cdot t = 13,5 \cdot h_{o.k.} \cdot \sum Q_t \cdot t = 13,5 \cdot h_{o.k.} \cdot W$$

где: 13,5 – коэффициент затраты энергии насосным агрегатом при его расчётном К.П.Д.=75%;

$h_{o.k.}$ , м – гидравлические потери обратного клапана;

расчётный расход за период  $t$  полива с-х культур;

$t$ , часы – время подачи расхода  $Q_t$ , м<sup>3</sup>/с.

Умножив и разделив на 3600 произведение  $Q \cdot t$ , получим:

$$\frac{3600 \cdot Q_t \cdot t}{3600} = \frac{W}{3600},$$

с учётом чего получим затраты электроэнергии на преодоление гидравлических потерь на обратном клапане

$$\Delta \mathcal{E}_r \approx \frac{13,5 \cdot W}{3600} \cdot h_{o.k.} = 0,00375 \cdot W \cdot h_{o.k.}$$

Особенностью насосных станций мелиоративного назначения является их объём подачи воды, который за оросительный сезон может составить сотни млн. м<sup>3</sup>. Так, для орошения одного из Южных массивов Алеппских земель (САР) площадью 65000 га требуется подача 7000 м<sup>3</sup>/га, что требует подачи за один оросительный сезон 455 млн м<sup>3</sup>, и для преодоления гидравлических потерь потребуется расход энергии  $\Delta \mathcal{E}_r = 0,00375 \cdot 455 \cdot h_{o.k.} = 1,7 \cdot h_{o.k.}$

Гидравлические потери даже нового обратного клапана с коэффициентом сопротивления  $\xi_{o.k.} = 3 \dots 4$ , чему соответствуют гидравлические потери  $h_{o.k.} > 1$  м, что требует перерасход энергии более 1,7 квтч/сезон.

Для снижения гидравлических потерь энергии  $h_{o.k.}$  и снижения строительной стоимости водовыпускного сооружения на кафедре ГТС РГАУ МСХА разработан водовыпуск телескопического типа, который выполнен в виде двух коробов, один из которых неподвижно прикреплен к основанию, а второй выполнен с возможностью телескопического перемещения вдоль неподвижного короба. Для обеспечения постоянства положения гребня подвижного

короба относительно уровня воды в отводящем канале, он выполнен в виде полого цилиндра. При этом концевой участок напорного трубопровода выполнен вертикальным и установлен в центре основания неподвижного короба. При такой конструкции концевого участка напорного трубопровода он будет работать как сопло струи фонтана. Для установления расчётных зависимостей работы такого водовыпуска, последовательно рассмотрена его работа при свободном изливе воды, подтопленном и затопленном режиме.

Настоящий доклад посвящён теоретическому изложению работы водовыпуска при свободном изливе.