



ГИДРО- ТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Ежемесячный
научно-технический журнал
УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ РФ,
ОАО «РУСГИДРО»,
АССОЦИАЦИЯ «КОРПОРАЦИЯ ЕЭЭК»,
ЗАО НТФ «ЭНЕРГОПРОГРЕСС»,
НП «НТС ЕЭС»
Основан в 1930 г.

№ 5

май

2013

Содержание

Михеев П. А., Циткилов П. Я. Южнороссийская школа высшего гидротехнического и мелиоративного образования 2

Проектирование, строительство, эксплуатация

Смирнов В. В., Жалнин А. В., Парин И. И. Гидроаккумулирующие электростанции и перспективы их развития в европейской части России 9

Омельянюк М. В. Очистка гидротехнических сооружений от обрастаний и наслоений. 13

Попов В. И., Моносов Л. М. Технический надзор в проекте по завершению строительства комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений 18

Нгуен Фьонг Зунг, Буряков О. А. Влияние инфильтрации дождевых осадков на устойчивость откосов грунтовых сооружений 23

Расчеты, исследования, эксперименты

Кауфман Б. Д. Оценка проектной надёжности крепления плит водобоя при неполной информации о параметрах расчетных моделей 27

Волшаник В. В., Зуйков А. Л., Орехов Г. В., Чуринов П. С. Пропуск холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС (часть 2) 32

За рубежом

Ибрагимов К., Бровко И. С., Байболов К. С. Технико-экономическое обоснование строительства малых ГЭС в Южном Казахстане 41

Автушко П. А., Ивашечкин В. В., Веремюк В. В. Циркуляционная регенерация дренажных скважин, оснащенных затрубной системой реагентной промывки 45

Кузло Н. Т. Исследование влияния концентрации солевых растворов на силы сцепления в глинистых грунтах. 51

Российские энергетики

Слисский Сергей Митрофанович 54

Дискуссии

Епифанов А. П., Сахаров Г. Г., Дружинин А. Ю. К переизданию СТО 17330282.27.140.004-008 “Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений” 56

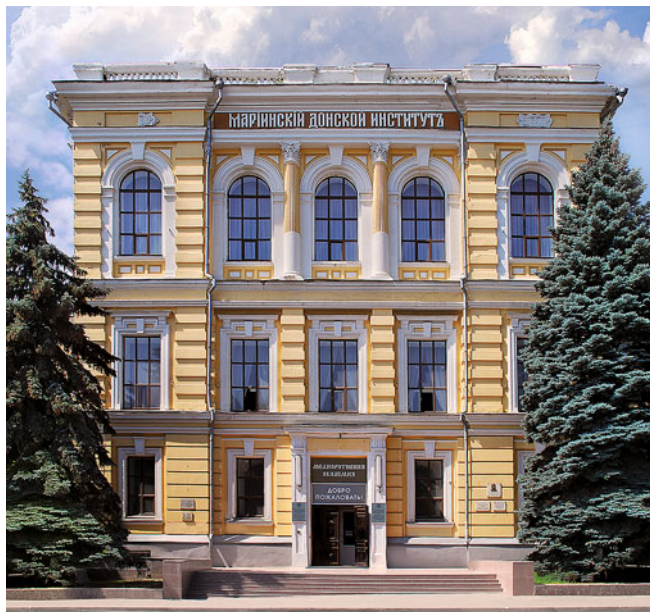
На обложке – КЭС г. Санкт-Петербург. Вывод батопорта

Южнороссийская школа высшего гидротехнического и мелиоративного образования

Михеев П. А., ректор, доктор техн. наук, Циткилов П. Я., зав. кафедрой, доктор ист. наук (Новочеркасская государственная мелиоративная академия)

Рассматриваются особенности формирования и развития южнороссийской школы высшего гидротехнического и мелиоративного образования. Показаны ее достижения, перспективы, а также взаимодействие с московской научно-образовательной школой мелиорации и гидротехнического строительства.

Ключевые слова: инженерно-мелиоративное образование, гидротехническое строительство, подготовка кадров для орошения земель, обводнения пастбищ, проведения гидротехнических работ, осуществления лесомелиораций.



Новочеркасская Государственная мелиоративная академия

Степной и засушливый регион Северного Кавказа, включая Донской край, исторически привлекал внимание ведущих государственных деятелей, практиков и теоретиков интенсификации сельского хозяйства относительно улучшения местных условий земледелия путём активных мелиоративных и ирригационных работ. Богатые южные чернозёмы при недостаточном увлажнении либо в абсолютно безводных аридных областях долгое время оставались нетронутыми, что усиливало актуальность исследований хозяйственного освоения этих земель. Деятельность в данном направлении была сопряжена с всесторонним участием государства на всех этапах преобразований — от подготовки кадров до финансирования конкретных проектов и материального обеспечения. Тем более такое положение было свойственно мелиорации, поскольку данная отрасль, как никакая другая, подчинена общему регламентирующему плану и её эффективность во многом определяется мерами государственной поддержки.

В нашей стране масштабные работы по использованию водных ресурсов в деле обводнения и ир-

ригации стали реальны лишь в пореформенный период, особенно на рубеже XIX – XX вв., когда в результате промышленного подъёма значительно возрос экономический потенциал Российской империи. Тогда же встал вопрос о профессиональном, кадровом обеспечении гидротехнических мероприятий на реках страны. При Московском сельскохозяйственном институте (МСХИ) было создано инженерное отделение, где читался обязательный курс сельскохозяйственной гидротехники (1894 г.). Кроме того, с 1905 г. при МСХИ существовала специализированная кафедра “Гидротехнические сооружения и мелиорации”, возглавляемая профессором В. В. Подаревым. В 1900/01 учебном году на инженерном отделении этого вуза обучалось 8 человек. В 1904 г. выпускникам инженерного отделения “предоставлялось право производства строительных работ по зданиям и сооружениям”. Но лишь к 1913 г. был сформирован учебный план, “соответствовавший потребностям развития водного хозяйства в России” [1]. Между тем, кафедры, относящиеся к гидротехнике, в то время никак не объединялись, включались в состав инженерного отделения МСХИ, позднее преобразованного в инженерный факультет. Лишь в июле 1930 г. они выделились в состав Московского института мелиорации и водного хозяйства.

На юге же России, в Донском политехническом институте (ДПИ), созданном в г. Новочеркасске, с 1907 г. функционировал инженерно-мелиоративный факультет. Решение о его создании было подготовлено хозяйственной практикой, ставшей реальностью для Области войска Донского (ОВД) в конце XIX — начале XX века.

Дон и его притоки со второй половины XIX в. привлекали теоретиков и практиков ирригации с тем, чтобы использовать местные плодородные угодья как объект мелиоративного улучшения. Так, в 1866 г. землевладельцы Миусского округа Донского края М. Эрикс и П. Янов, а с 1869 г. и присоединившийся к ним английский инженер-механик И. Томпсон устроили показательное хозяйство с целью популяризации идей ирригации и разработки практических мер по искусственному орошению на площади в 20 тыс. кв. десятин [2].

В 1879 г. в Усть-Медведицком округе ОВД начались работы на передовой для того времени оросительной системе под руководством А. М. Жеребцова. Накопленный опыт функционирования системы имел положительное значение для отечественной гидротехнической науки в целом. Именно здесь в 1893 г. была открыта первая в России опытно-мелиоративная станция — Михайловская. В 1893 – 1900 гг. ею руководил талантливый агроном-почвовед В. Е. Рукавишников. Кроме опытов орошения он активно занимался проблемами лесоразведения в условиях южных степей [3].

С начала XX в. при правлении ОВД существовала специальная должность инженера-гидротехника, занимавшегося исключительно вопросами интенсификации сельского хозяйства за счёт земельных улучшений. Среди проведённых тогда мероприятий можно назвать деятельность по расчистке русел рек Аксая и Тузлова, ирригационные мероприятия в юрте станицы Малодельской [4]. Другой важной стороной гидротехнической активности стали работы на реках Северский Донец и Дон. Дело в том, что судоходство на Дону и в его бассейне по большей части зависело от капризов погодных явлений — продолжительности и силы половодий, засушливости летнего периода, объёмов наносов и прочего. К концу XIX в. вывод о необходимости шлюзования, по крайней мере, двух рек области — Дона и Северского Донца — стал очевиден. Однако такой итог был следствием объёмной и долговременной работы гидрометрического характера.

Область войска Донского становилась местом привлечения большого числа высококлассных специалистов по водному хозяйству и использованию гидроресурсов, что сыграло непосредственную роль в становлении местной мелиоративной школы и водохозяйственной отрасли в целом. Накопленный опыт донских учёных в решении сложнейших задач данного направления стал одним из определяющих факторов для размещения в Новочеркаске инженерно-мелиоративного факультета, что отвечало как потребностям края, так и сложившимся реалиям времени.

История Алексеевского Донского политехнического института восходит к Варшавскому политехническому институту, перемещённому из Польши в 1907 г. в связи с революционными волнениями. В Новочеркаске этот вуз получил новую организацию. В его состав включили инженерно-мелиоративный факультет, который на тот период являлся единственным в стране [5]. Выделение инженерно-мелиоративного факультета в качестве отдельной структурной единицы свидетельствовало о неуклонном возрастании значения гидротехнической отрасли на юге страны. Среди основоположников факультета можно назвать профессоров В. И. Дейча, В. П. Зыкова, В. Ю. Гана, Д. П. Мазуренко, ин-

женеров Д. П. Кенига, А. И. Фидмана, А. С. Аксамитного и др. Удалось тогда на факультете достичь главного условия успешности подготовки кадров — совмещения практики и теоретической науки.

Первый декан инженерно-мелиоративного факультета ДПИ В. И. Дейч являлся крупным учёным своего времени. К 1907 г. им уже был опубликован ряд работ, принёсших ему известность в научных кругах: “Гидротехнические работы” (1893 г.), “Опыт регулирования и использования водной системы степей” (1898 г.). До своего назначения деканом инженерно-мелиоративного факультета В. И. Дейч возглавлял кафедру строительного искусства в Новоалександрийском институте сельского хозяйства и лесоводства, а с 1900 г. являлся деканом инженерно-строительного отделения Варшавского политехнического института.

В. Ю. Ган приобрёл известность как специалист в области сельскохозяйственного машиностроения. После В. И. Дейча и В. П. Зыкова он стал третьим деканом инженерно-мелиоративного факультета (1913 – 1917 гг.). С 1932 г. он являлся членом-корреспондентом Академии наук по Отделению математических и естественных наук (инженерная технология).

Инженер А. И. Фидман являлся главным производителем работ на возводившейся Донской шлюзованной системе (1914 – 1918 гг.). Некоторые студенты инженерно-мелиоративного факультета под его руководством проходили практику на подведомственных сооружениях. Кроме того, А. И. Фидман входил в число штатных преподавателей факультета. Таким образом, обучающиеся получали доступ к новейшим гидротехническим достижениям.

А. С. Аксамитный — один из крупнейших гидростроителей начала XX в. Он вместе с Н. П. Пузыревским участвовал в проектировании Донской шлюзованной системы, затем не раз включался в работу технических совещаний, дорабатывавших план строительства. После революции 1917 г. им были проведены крупные изыскательские работы на месте будущего Волго-Донского канала и Курмо-Маньчской впадины, представлявшей собой альтернативный вариант соединения Каспия и Чёрного моря. В 1930 г. профессор А. С. Аксамитный занимался проектированием и строительством Беломоро-Балтийского канала.

В число первых преподавателей инженерно-мелиоративного факультета ДПИ входили и некоторые крупные учёные, которые читали курсы по общеобразовательным и специальным предметам: высшая математика — профессор Д. Д. Мордухай-Болтовский, теоретическая механика — академик А. Н. Динник, строительная механика — профессор Н. А. Абрамов, гидравлика — профессор А. Я. Милович. Их участие в формировании и развитии факультета сказывалось на его престижности и авторитете среди прочих подобных на террито-

рии бывшей Российской империи, структурировавшихся немного позднее, в 1914 – 1915 гг. (МСХИ, Киевский и Омский вузы) [3].

После начала работы инженерно-мелиоративного факультета ДПИ Новочеркасск стал местом созыва мелиоративных съездов и совещаний (I Северо-Кавказский в 1914 г. и др.). Кроме того, факультет располагал и необходимыми учебно-вспомогательными структурами. Он являлся крупным учебным и научным центром. По данным на 1 января 1913 г. на факультете обучалось 184 студента, что составляло 24 % от общей численности обучающихся в вузе. Сам процесс обучения обеспечивался 61 преподавателем из бывшего состава Варшавского политехнического института и местными инженерными кадрами. 5 октября 1918 г. факультет получил новую внутреннюю организацию: он был разделён на 3 отделения — мелиорация земель, мелиорация вод (гидротехническое отделение), мелиорация населённых мест. При этом появление последнего отделения явилось следствием структурных преобразований в городском хозяйстве, его общим усложнением и разветвлением, которые затронули крупные центры нашей страны и были связаны с процессом стремительной урбанизации.

В 1910 г. в Новочеркасске были созданы Высшие женские курсы, преобразованные в 1916 г. в Высшие женские сельскохозяйственные курсы – второй вуз в городе, в котором преподавались некоторые мелиоративные дисциплины. Первым его директором стал известный учёный В. М. Арциховский. Среди прочих предметов, составлявших учебный план курсов на 1917/18 учебный год можно выделить такие, как сельхозмелиорации, сельскохозяйственное инженерное искусство и др. В 1918 г. курсы были переименованы в Донской сельскохозяйственный институт (ДонСХИИ).

После окончания гражданской войны в Новочеркасске продолжал функционировать инженерно-мелиоративный факультет ДПИ. Кроме того, был образован мелиоративный факультет в составе ДонСХИИ. Этот вуз 20 июня 1922 г. был переименован в Донской институт сельского хозяйства и мелиорации (ДИСХиМ). В его составе было два факультета: агрономический и мелиоративный. Профессорско-преподавательский состав мелиоративного факультета включал таких учёных, как В. М. Арциховский, В. В. Богачев, И. А. Велихов, Б. А. Шумаков и др. В июне 1923 г. при ДИСХиМ была открыта научно-мелиоративная станция. Она занималась вопросами мелиоративного освоения неудобных земель, распространения и популяризации знаний об интенсивных методах ведения хозяйства.

Дальнейшему развитию новочеркасской школы мелиораторов в первые годы советской власти способствовал перевод сюда Северо-Кавказской опытно-мелиоративной станции (1924 г.), изначально

размещавшейся во Владикавказе и называвшейся Северо-Кавказский гидромодульный отдел. Она была преобразована в 1920 г. в Юго-Восточную мелиоративную организацию (ЮВОМО). Главной целью данной структуры являлись осуществление метеорологических наблюдений и формирование плана проведения оросительных мероприятий на Северном Кавказе. Перемещение ЮВОМО на Дон имело целью объединение соответствующего научного потенциала региона в г. Новочеркасске, признанного в то время центром мелиоративной науки на юге страны, и создание реальных предпосылок для активизации плодотворной работы в мелиоративной отрасли.

Отдельно стоит остановиться на людях, которые формировали новый облик новочеркасской мелиоративной школы в советский период. Выдающимся её представителем был Б. А. Шумаков — крупнейший специалист-мелиоратор, новатор, практик и организатор. Став в 1921 г. профессором в ДонСХИИ, он на всю жизнь связал себя с Новочеркасском. К 1921 г. 32-летний Б. А. Шумаков, выпускник ДПИ, успел зарекомендовать себя на самых разных участках. Он заведовал низшей Тингутинской сельскохозяйственной школой Тингутинского опытно-мелиоративного участка Астраханской губернии (1913 – 1914 гг.), затем воевал на фронтах первой мировой войны (1914 – 1917 гг.), после — служба в Департаменте земледелия Министерства земледелия (1917 – 1918 гг.). В 1918 – 1920 гг. он был начальником третьей Поволжской изыскательской партии. Одновременно с этим руководил знаменитой Валуйской опытно-оросительной станцией (где тогда находился и будущий академик Е. В. Замарин). После перевода в Новочеркасск ЮВОМО и преобразования ее в Северо-Кавказскую опытно-мелиоративную станцию (СКОМС) Б. А. Шумаков стал её директором. В дальнейшем он занимал должности главного инженера в Плавстрое (г. Краснодар), Крайводхозе (г. Ростов-на-Дону), работал на Маныче, был заместителем директора по научной части в Южном НИИ гидротехники и мелиорации (ЮжНИИГиМ), созданном на базе бывшей СКОМС. Однако большую часть деятельности Б. А. Шумакова следует отнести к работе в ДонСХИИ, затем в ДИСХиМ, а после 1933 г. в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте.

Заслуги Б. А. Шумакова были отмечены орденами и медалями. Он удостоен звания Героя Социалистического Труда, награждён орденом Ленина, орденом Трудового Красного Знамени и др. В 1964 г. учёный был избран академиком ВАСХНИЛ. Его труды по мелиорации остаются актуальными до сегодняшнего дня, некоторые из них опубликованы за рубежом. Б. А. Шумаков по праву считается основоположником ширококомасштабной деятельности в сфере теории и практики строительства

оросительных систем в Северном Приазовье, Северном Кавказе, Нижнем Поволжье и Казахстане. Им были разработаны эффективные методы лиманного орошения, он активно и плодотворно занимался вопросами механизации и автоматизации мелиоративного хозяйства. Примером его практической деятельности является система орошаемых рисовых полей на Нижней Кубани.

Другим крупным исследователем и деятелем новочеркасской мелиоративной школы рассматриваемого периода по праву считается П. А. Витте. Выпускник Киевского и Московского государственных университетов, он в 1901 г. начинал свою карьеру мелиоратора на Тингутинском опытном орошаемом участке и за 13 лет превратил его в оазис. Высокую оценку деятельности П. А. Витте дали побывавшие здесь академики В. Г. Вильямс и Н. А. Костяков. В 1914 – 1922 гг. П. А. Витте руководил научной экспедицией в Монголии. В 1923 г. он возглавил Персиановскую опытную станцию ДИСХиМ. После создания Северо-Кавказского института водного хозяйства и мелиорации (1930 г.) занимал должность заведующего кафедрой растениеводства на мелиорируемых землях, которую возглавлял и в НИМИ. В сфере его научных интересов была организация и технология возделывания риса в новых регионах его выращивания — на Северном Кавказе, в Приазовье, Ростовской области, Нижнем Поволжье. Профессор П. Е. Простаков заметил, что именно с именем П. А. Витте связано продвижение культуры риса в России.

Ко времени начала первых пятилеток обнажилась проблема интенсификации сельского хозяйства. Модернизационное ускорение в экономике рассматривалось тогда как общее направление всего народнохозяйственного комплекса, в том числе и сельского хозяйства. На правительственном уровне признавалась потребность в ускоренной подготовке высококвалифицированных кадров и внесения определённых коррективов в систему их подготовки. В письме Главпрофобра от 3 марта 1928 г. утверждалось: "... развитие и организация отдельных специальностей и отделений на многих факультетах проходило вне каких-либо плановых соображений и увязки с общим планом строительства (имеются в виду годы, предшествовавшие 1928 г. — Прим. авт.). В силу того мы имеем в некоторых местах наличие ряда одних и тех же отделений и специализаций в вузах одного и того же города, параллельное существование которых вовсе не вызывается действительной потребностью ... происходит излишнее дробление сил и средств ...". Совершенно очевидно, что до 1930 г. в Новочеркасске примером такого параллелизма было сосуществование инженерно-мелиоративного факультета ДПИ и мелиоративной специальности в ДИСХиМ. Если после окончания гражданской войны, масштабной засухи 1921 и голода 1921 – 1922 гг. такое состояние образова-

тельного процесса в городе считалось допустимым, то теперь, с переходом к активной фазе хозяйственного строительства в нашей стране, требовались меры к осуществлению стройности и специализированности в деле подготовки кадров в мелиоративной отрасли.

Отраслевой принцип функционирования многих учебных заведений в конце 20-х — начале 30-х гг. становится определяющим в деле подготовки кадров высшей квалификации. Специалистов конкретной отрасли стали готовить отраслевые учебные заведения. Реорганизации вузов предшествовало постановление ЦИК и СНК "О подготовке технических кадров для народного хозяйства Союза ССР" от 13 января 1930 г., где успех в выполнении первых пятилеток связывался "с правильным разрешением проблемы подготовки новых технических кадров". Вторая часть постановления — "Перестройка работы учебных заведений, готовящих специалистов высшей и средней квалификации для всех отраслей народного хозяйства", — указывала на необходимость "расширить сеть высших индустриально-технических и сельскохозяйственных учебных заведений с резко выраженной специализацией по определённым отраслям". В русле этого решения следует рассматривать создание Северо-Кавказского института водного хозяйства и мелиорации (СКИВХиМ). Образованный по постановлению президиума Северо-Кавказского краевого исполнительного комитета от 22 мая 1930 г. на базе ДИСХиМ и инженерно-мелиоративного факультета Новочеркасского политехнического института (бывший ДПИ) СКИВХиМ решал главную задачу поставленную перед отраслью — подготовку достаточного числа квалифицированных кадров, обеспечивая государственную политику в сфере мелиораций. Тогда же преобразования затронули МСХИ, из которого был выделен Московский институт мелиорации и водного хозяйства. Подобные институты были созданы в Саратове, на Дальнем Востоке и в некоторых других регионах страны. В 1930 г. СКИВХиМ создавался с тем перечнем специальностей, которые по сей день составляют главные направления учебной деятельности Новочеркасской государственной мелиоративной академии. С присоединением в 1933 г. Института инженеров агролесомелиораций СКИВХиМ был переименован в Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт (НИМИ).

Плодотворная деятельность института в 1930-х гг. проявилась в разных направлениях. Получили становление, а затем и научное признание школы сельскохозяйственного водоснабжения профессора В. С. Оводова, гидравлики сопряжения бьефов доцента М. М. Скибы. Признание специалистов получил учебник профессора В. С. Оводова "Сельскохозяйственное водоснабжение" (1939 г.), переизданный затем трижды. Учебник "Орошаемое земледе-

лие”, написанный коллективом кафедры мелиорации НИМИ, использовался студентами многих вузов страны. Появляются новые лаборатории: гидравлическая (1930 г.), сельскохозяйственного водоснабжения и бурового дела (1932 г.), сельскохозяйственных мелиораций (1935 г.), создающие возможность для более качественной подготовки специалистов-мелиораторов.

С началом Великой Отечественной войны деятельность НИМИ не остановилась, однако с приближением к городу фашистов встал вопрос об эвакуации вуза. В ноябре 1941 г. значительная часть сотрудников и студентов института с лабораториями и оборудованием была вывезена на Алтай, в зерносовхоз Шипуновский. Однако студенты первого и второго курсов остались в Новочеркасске. Учебный процесс здесь продолжался, многие студенты и преподаватели участвовали в массовых работах по строительству оборонительных сооружений в городе. Новочеркасск на протяжении более восьми месяцев находился в прямой близости от фронта, а в июне 1942 г. был занят оккупантами. Во время войны преподаватели и студенты вуза продемонстрировали мужество и стойкость. Научная жизнь института продолжалась и в эвакуации: с 1941 по 1944 г. получили разработку вопросы интенсификации сельского хозяйства Алтая посредством мелиоративных работ за счет проведения полезационного лесоразведения.

13 февраля 1943 г. Новочеркасск был освобождён от немецко-фашистских войск, и 8 мая 1944 г. в соответствии с приказом Министерства сельского хозяйства СССР НИМИ был возвращён из эвакуации. Оккупация нанесла значительный ущерб институту. Была разграблена библиотека, большой урон нанесён лабораториям, частично было разрушено здание главного корпуса и студенческих общежитий. Гитлеровцы разгромили учебно-опытные хозяйства вуза — Донлесхоз и Персиановскую ОМС. После реэвакуации в первую очередь предстояло решить вопрос об организации учебного процесса. Тогдашним директором института И. С. Хоменко было многое сделано для возвращения к нормальной жизни студентов и сотрудников вуза, обеспечения преемственности традиций новочеркасской мелиоративной школы.

Некоторые итоги развития НИМИ в послевоенный период были подведены в докладе ректора вуза Н. К. Шульги на совещании сельхозвузов в Краснодаре в июне 1954 г. Им были обозначены основные вехи в развитии института, проблемы, стоявшие на тот момент и перспективы их решения. В вузе тогда было 26 кафедр, 18 из которых являлись специальными, 23 учебных кабинета и 18 лабораторий. При институте функционировали Персиановская опытно-мелиоративная станция, два учебно-опытных хозяйства, учебно-производственные мастерские, лесопитомник на станции Лесостепь

(Донлесхоз) и оранжерея. В институте в то время обучалось 1340 студентов. Образовательный процесс обеспечивался профессорско-преподавательским составом из 129 человек.

Коллектив НИМИ в 1950-е гг. решал четыре основные комплексные задачи, являвшиеся главными направлениями научно-исследовательской работы: содействие освоению орошаемых земель Ростовской области в связи с вводом в строй Цимлянского водохранилища (руководитель Б. А. Шумаков), научные изыскания по обводнению пастбищ и водоснабжению животноводства (руководитель В. С. Оводов), рационализация конструкций гидротехнических сооружений и методов производства работ по их устройству на оросительных системах (руководители И. К. Федичкин и П. Ф. Кононенко), совершенствование приемов и методов лесоразведения в степном крае (руководители М. П. Воскресенский и С. Ф. Бессарабов). Итогом разработки этих тем стали широкие мелиоративные мероприятия на значительной территории южных областей нашей страны. Одна только реализация плана орошения придонских степей водами Цимлянского водохранилища и Манычского каскада позволила интенсифицировать сельское хозяйство на площади 450 тыс. га и в корне изменить облик Нижнего Дона. Институт активно сотрудничал с ведущими производственными организациями региона: Ростовдонводстроем, Совхозводстроем, Южгипроводхозом, Краснодарским и Пятигорским филиалами Южгипроводхоза, Ростовским Облводхозом, Краснодарским Крайводхозом и многими другими.

Указанный выше Ростовдонводстрой, созданный в 1949 г. в Новочеркасске, стал головной организацией по производству работ на Азовской и Нижнедонской оросительных системах (ОС), одних из крупнейших на тот момент в стране. Строительство продолжалось на протяжении 50-х гг. и закончилось в 1958 г. принятием в строй Донского магистрального канала (ДМК). Приёмочную комиссию возглавлял профессор НИМИ Б. А. Шумаков. Большая группа учёных института была задействована в проектных работах на ряде ОС, созданных вдоль ДМК (Нижнедонская, Багаевско-Садковская, Мартыновская, Верхнесальская). Получили апробацию технологии возделывания риса по методикам П. А. Витте. Их активно применяли в ходе реализации плана по строительству одной из крупнейших в своём роде Пролетарской ОС в междуречье Дона и Маныча.

В 50-х гг. XX в. учёными кафедр НИМИ гидротехнических сооружений (И. К. Федичкин), гидравлики (М. М. Скиба), ГЭС (И. М. Савенко) и др. было выполнено более 40 крупных лабораторных и полевых исследований на гидротехнических сооружениях Петровско-Анастасиевской и Терско-Кумской ОС, Манычского водного пути. Была оказана помощь проектным и строительным организациям

в установлении наиболее экономичных и долговечных конструкций на мелиоративных сооружениях. Сотрудники института привлекались в тот период к конструкторской работе на Кубань-Калаусской оросительно-обводнительной системе, участвовали в строительстве гидроузла, запроектированного для водоснабжения Алтайского тракторного завода в г. Рубцовске.

Важной частью практической и научной деятельности НИМИ была работа в области лесоводства, лесных мелиораций в целом. С момента образования в вузе кафедры лесоводства под руководством профессора В. П. Веселовского были подготовлены и проведены мероприятия по осуществлению широкой программы полезащитного лесоразведения в донских и предкавказских степях. Многие лесомелиоративные мероприятия в Азово-Черноморском регионе осуществлялись при непосредственном участии профессора кафедры лесоводства А. С. Карасева.

В 60-х гг. XX в. деятельность НИМИ получила своё дальнейшее развитие. Его сотрудники, выпускники и студенты участвовали в масштабных мелиоративных работах на юге страны. Постановлением правительства СССР от 16 июня 1966 г. (№ 465) Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт был определён головным среди аналогичных по профилю институтов в вопросах подготовки специалистов в области сельскохозяйственных мелиораций, гидротехнического строительства, механизации гидромелиоративных работ и лесных мелиораций, а также в вопросах развития мелиоративной науки на юге европейской части СССР. Наряду с именами таких заслуженных деятелей мелиоративного образования, как П. А. Витте, Б. А. Шумаков, В. П. Веселовский, признание получают учёные М. М. Скиба, П. М. Степанов, Б. Б. Шумаков и др.

М. М. Скиба был воспитанником кафедры гидравлики и гидромашин, основанной в 1920 г. в составе ДонСХИН профессором А. Я. Миловичем. Он внёс значительный вклад в развитие отечественной инженерной гидравлики. О его трудах в одном из отзывов академик ВАСХНИЛ Е. А. Замарин писал, что они делают честь отечественной науке. Под руководством М. М. Скибы были проведены исследования более 85 гидротехнических сооружений Северного Кавказа, в том числе гидроузлов на реках Терек и Кубань — Каргалинского, Невинномысского, Шапсугского, Терско-Кумского, Краснодарского, Федоровского, Садковского аварийного сброса и дюкера на Донском магистральном канале, водозабора из р. Дон и др.

Профессор П. М. Степанов был учеником М. М. Скибы, занимался вопросами сопряжения бьефов, теорией гидравлического прыжка, разработкой рекомендаций по совершенствованию конструкций гидротехнических сооружений. Огром-

ный вклад П. М. Степанов внёс в развитие вуза в качестве ректора (1967 – 1985 гг.). Благодаря его усилиям и организаторским способностям были построены три новых учебных корпуса, научно-исследовательская гидротехническая лаборатория, два новых студенческих общежития, физкультурный комплекс, столовая. При нем было открыто шесть новых факультетов и специальностей.

В 1960-е гг. в стенах НИМИ начиналась научно-исследовательская деятельность Б. Б. Шумакова, сына Б. А. Шумакова. Выпускник мелиоративного факультета 1956 г., он в 1960 – 1961 гг. проходил обучение в целевой аспирантуре Ташкентского института ирригации и механизации сельского хозяйства. После защиты кандидатской диссертации Борис Борисович возвратился в Новочеркасск, где занял должность доцента кафедры мелиорации. Он создал одну из первых в СССР изотопную лабораторию для исследования различных состояний воды и почв. В 1967 г. Б. Б. Шумаков был назначен проректором по научной работе НИМИ, а в 1971 г. защитил докторскую диссертацию на тему “Лиманное орошение”, получившую высокую оценку академика С. Ф. Аверьянова. В 1971 – 1973 гг. он возглавлял ЮжНИИГиМ, в 1973 г. его избрали членом-корреспондентом ВАСХНИЛ и одновременно академиком-секретарём Отделения гидротехники и мелиорации. В 1978 г. он был избран академиком.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт в 1960 – 70-е гг. становится центром подготовки кадров для крупнейших на юге страны научных и проектных мелиоративных объединений — ЮжНИИГиМа и Южгипроводхоза. Вуз тесно контактировал с этими организациями в решении самых разнообразных вопросов, касавшихся расширения мелиорируемых земель в регионе. На тот период приходится основной этап в строительстве крупнейших оросительных систем страны. Среди них следует отметить Федоровский гидроузел на Кубани, строительство Кубань-Калаусской, Самур-Дербентской, Лабинской оросительных систем, Терско-Кумского и Кумско-Манычского каналов, Отказненского и Чограйского водохранилищ.

Важный вклад внесли сотрудники НИМИ в строительство Краснодарского водохранилища, что особо отмечено в акте государственной приёмочной комиссии. В то же время продолжалось расширение уже созданных комплексов — вдоль Донского магистрального канала (“Романовский” и “Большовский” рисосовхозы), увеличились площади Пролетарской и Петровско-Анастасиевской оросительных систем. По оценке Б. Г. Штепы, директора Южгипроводхоза тех лет, активное участие НИМИ (от изыскательских до консультационных мероприятий) на рубеже 60 – 70-х гг. XX в. охватывало 60 % орошаемых хозяйств РСФСР. Научный потенциал вуза привлекался при проектировании и строительстве гидротехнических сооружений —

Новочеркасской и Али-Байраминской ГРЭС, водозаборного сооружения Краснодарской ТЭЦ, узла сооружений на р. Байлдыр (Южный Казахстан) и др.

Выпускники НИМИ сумели проявить себя не только в научной (академики РАСХН И. П. Кружлин, М. С. Григоров, В. И. Петров, В. Н. Щедрин), проектной, но и в организаторской деятельности. В разное время посты заместителей министра мелиорации и водного хозяйства СССР и РСФСР занимали И. И. Бородавченко, В. П. Логинов, Н. С. Черепашин, Н. Н. Михеев. Первым министром строительства предприятий нефтяной и газовой промышленности СССР стал Герой Советского Союза, выпускник вуза А. К. Картунов. Многие выпускники вуза занимали руководящие посты областных (краевых) водохозяйственных организаций: Г. П. Браун, К. К. Карп, П. Д. Евтеев, И. У. Эльканов, Л. Н. Макаренко, А. И. Докин и др.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт занимался подготовкой инженерных кадров и научных работников для Азербайджанской, Казахской, Узбекской, Грузинской ССР, республик, краёв и областей Северного Кавказа и Нижнего Поволжья. В 1940 – 50-е гг. обучение в вузе проходили студенты из Албании, Болгарии, Китая и Монголии, тесные связи поддерживались с Вьетнамом и Алжиром. Преподаватели вуза участвовали в организации профильных мелиоративных учебных заведений за рубежом либо оказывали помощь в реализации планов строительства конкретных хозяйственных объектов в Ираке, Иране, Сирии, Йемене, Бирме, Сомали, Анголе, Лаосе, Бангладеш, Мозамбике, Гвинее, Мали, Мадагаскаре и др.

Начиная с 80-х гг. XX в. коллектив НИМИ включился в разработку такой важной сферы мелиоративной отрасли, как обеспечение природоохранной и экологической составляющей проектной, строительной деятельности. Появляются специализированные научные школы, призванные решать сложные исследовательские задачи: русловой гидротехники профессора В. С. Лапшенкова, рыбохозяйственной гидротехники профессора В. Н. Шкуры, лесомелиорации песков профессора Н. Ф. Кулика, растительных мелиораций ландшафтов профессоров В. М. Ивонина и В. М. Бабушкина и др.

После распада СССР мелиоративное дело в нашей стране оказалось в непростом положении, а НИМИ, как и многие другие вузы России, испытал проблемы недофинансирования, уменьшения научных заказов, потери хозяйственных связей и др. Тем не менее, вуз, руководимый профессором Г. А. Сенчуковым, сумел сохранить ведущие позиции в деле подготовки кадров в области мелиорации. В 1994 г. на долю НИМИ приходилось более четверти (26,2 %) общего контингента студентов страны, обучавшихся по специальностям мелиора-

тивного профиля. По каждой из специальностей контингент студентов в НИМИ в 2 раза и более превышал среднее количество студентов в других вузах, готовивших специалистов такого профиля.

На рубеже XX – XXI вв. в стенах НИМИ, а с 1995 г. — Новочеркасской государственной мелиоративной академии (НГМА) под руководством тогдашнего ректора профессора В. Н. Шкуры многое делалось для расширения профиля вуза. Были открыты новые специальности строительного, лесопаркового, управленческого и социального блока.

В настоящее время НГМА остаётся признанным лидером мелиоративного и гидротехнического образования на юге страны. В вузе функционируют крупные, исторически сложившиеся научные школы не только мелиорации и водного хозяйства, но и экономики природопользования, механизации мелиоративных работ, защиты почв от эрозии. Получили развитие вопросы теории и практики социальной работы, профессионального обучения.

В трудах учёных академии получили развитие основные направления научного профиля вуза. Известными специалистами соответствующих отраслей мелиоративного знания сегодня являются профессор В. Н. Шкура, В. И. Ольгаренко, В. М. Ивонин, А. Е. Косолапов, Г. А. Сенчуков, Н. А. Иванова, В. А. Волосухин, Е. В. Полуэктов, Н. Б. Сухомлинова, Ю. Г. Иваненко и др.

Новочеркасская государственная мелиоративная академия является крупным научным и образовательным центром юга России в сфере мелиорации и водного хозяйства. Истоки вуза уходят в более чем столетнюю историю зарождения и развития инженерно-мелиоративного образования, которое в то время в основном было сосредоточено в Москве и Новочеркасске. Эти два города с их уникальными научно-образовательными школами и сегодня вносят важнейший вклад в решение проблемы исследовательского и кадрового обеспечения развития мелиораций и гидротехнического строительства. Уважительное отношение к нашим историческим традициям — залог успеха в возрождении мелиоративного дела в нашей стране.

Список литературы

1. *Калустьян Э. С.* Из истории высшего гидротехнического и мелиоративного образования в России // Гидротехническое строительство. 2010. № 6.
2. *Пасиков Ю. А.* Сельскохозяйственные мелиорации в Области войска Донского в XIX — начале XX в. // История мелиораций. Новочеркасск, Ростов н / Д., 2002.
3. *Маслов Б. С., Колганов А. В., Гулюк Г. Г., Гусенков Е. П.* История мелиорации в России. М. Т. I. 2002.
4. *Государственный архив Ростовской области (ГАРО).* Ф. 301, оп. 11, д. 333. ЛЛ.2 – 3 (оборот). О смете расходов инженера-гидротехника области войска Донского на 1914 год см.: ГАРО. Ф. 301, оп. 11, д. 908. ЛЛ. 19 – 19 (оборот).
5. *Кислицын С. А., Кислицына И. Г.* История Ростовской области. Ростов н / Д, 2008.

Гидроаккумулирующие электростанции и перспективы их развития в европейской части России

Смирнов В. В., Жалнин А. В., Паринов И. И.

(ОАО “Московский областной институт “Гидропроект”)

Анализируются мировые тенденции развития рыночных отношений в электроэнергетическом секторе. Приводится опыт использования гидроаккумулирующих электростанций в энергетических структурах развитых стран. Приведены примеры реализованных проектов высоконапорных ГАЭС, сопоставлены мировые тенденции развития энергетики с перспективами развития Единой энергосистемы России. Рассмотрены различные варианты для аккумулирования электроэнергии в европейской части России, представлена концепция альтернативной высоконапорной гидроаккумулирующей электростанции с подземным бассейном.

Ключевые слова: энергосистема, электроэнергетический сектор, гидроаккумулирующая электростанция (ГАЭС), гидроаккумулирующая электростанция с подземным бассейном (ГАЭС ПБ), гидроэлектростанция (ГЭС), возобновляемые источники энергии.

Чтобы определить перспективы развития гидроаккумулирующих электростанций (ГАЭС) в европейской части России, необходимо оценить роль ГАЭС в энергетических структурах развитых стран и сопоставить мировые тенденции развития энергетики с перспективами развития Единой энергосистемы России.

Мировой опыт использования гидроаккумулирующих электростанций в целях регулирования электрических режимов показывает, что ГАЭС являются не только генерирующими источниками, но и источниками оказания системных услуг, способствующих как оптимизации суточных графиков нагрузок, так и повышению надёжности и качества электроснабжения.

Необходимая и достаточная доля ГАЭС в общей установленной мощности конкретной энергосистемы определяется объемами и структурой электропотребления, требованиями к надёжности и качеству электроснабжения, структурой и маневренностью генерирующих источников, необходимой величиной резервов мощности, развитостью электрических связей и другими факторами.

Во многих технологически развитых странах мира ГАЭС являются не только эффективным источником покрытия пиковых потребностей в электроэнергии, но и стратегическим инструментом регулирования энергетического рынка для системного оператора. Значительная часть преимуществ ГАЭС может быть связана с накоплением энергоресурсов и с оказанием вторичных услуг. Финансовые поступления от потребления в период пиков и гидроаккумулирующего резервирования в значительной степени зависят от рыночных механизмов, поэтому собственники действующих гидроаккумулирующих электростанций в развитых странах заинтересованы в разукрупнении и отмене государственного регулирования.

Существует проблема оценки эффективности инвестиций в строительство новых гидроаккумулирующих электростанций как при наличии рыночных механизмов регулирования производства электрической энергии и мощности и оказания системных услуг, так и при доминирующем влиянии на развитие энергетики государства. В этой связи показателен пример европейских стран. Эффективность гидроаккумулирующих электростанций в Австрии и Швейцарии возросла при активном освоении альтернативных возобновляемых источников энергии в Германии, стимулируемом государством. Солнце и ветер — довольно нестабильные источники электроэнергии, а альпийские страны обладают большим потенциалом гидроаккумуляции, обеспечивающим гарантированное потребление электроэнергии, производимой на возобновляемых источниках, и ее сбыт потребителям в требуемом ими режиме. Либерализация электроэнергетического сектора в Европе позволила запустить рыночные механизмы, при которых роль ГАЭС в энергосистемах возросла, и инвесторы стали вкладывать средства в строительство новых гидроаккумулирующих электростанций. Но надо учитывать, что в этом процессе большую роль играют государственные программы развития энергетического сектора в целом.

По данной проблематике интересен доклад D. Surla (эксперта TDF Hydro Engineering Center) “Влияние структуры рынка на установленные мощности ГАЭС”, опубликованный в 2009 г. на сайте 32-й международной конференции International Association of Exhibitions and Events (IAEE) [1]. В докладе, в частности, говорится: “В течение последних десятилетий ожидания от реформ и либерализации электроэнергетического сектора были в целом аналогичны во всех странах. В частности, реформы ставили своей целью формирование на-

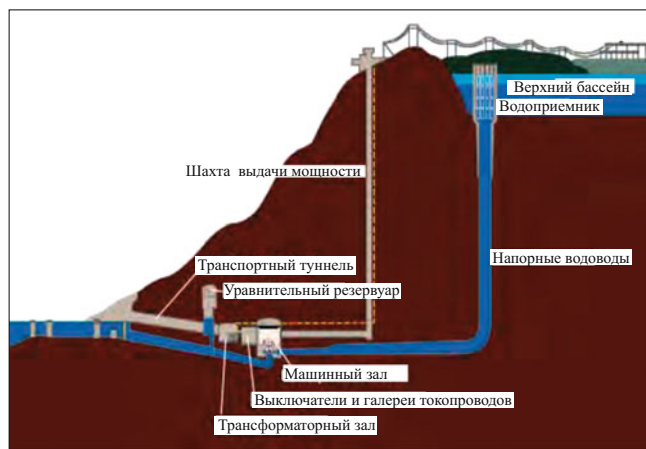


Рис. 1. Схематическое изображение высоконапорной гидроаккумулирующей электростанции



Рис. 2. Верхний бассейн гидроаккумулирующей электростанции The Taum Sauk, США

дежных, эффективных и конкурентоспособных рынков для достижения более низких издержек, ценовой стабильности и привлечения новых инвестиций. В большинстве стран с традиционными институциональными механизмами электроэнергетический сектор имел вертикальную интеграцию, централизованные линии электропередач, централизованное планирование и государственную собственность. В результате национальные, монополистические электроэнергетические компании доминировали в электроэнергетическом секторе до недавнего времени в большинстве стран.

Либерализация электроэнергетического сектора, как предполагалось, должна была повысить конкурентную борьбу между несколькими генерирующими предприятиями, поставщиками и конечными потребителями, используя регулирование объединенных линий электропередач. Основная цель либерализации рынков — повысить эффективность путем поощрения конкуренции и выбора, что позволяет участникам рынка принимать свои собственные решения и идти на риски при инвестициях, создает стимулы для эффективных действий” [1].

Далее автор подробно анализирует рыночные механизмы в разных странах и этапы реформ, в ходе которых происходит постепенная либерализация электроэнергетического сектора. Из доклада можно сделать вывод, что это сложный и длительный процесс, в ходе которого формируются рыночные отношения при сохранении государственного регулирования всего энергетического сектора экономики. Рыночные отношения складываются постепенно, а сроки либерализации электроэнергетического сектора зависят от сложившейся структуры конкретной энергосистемы и перспектив ее развития, от общих условий экономического развития отдельно региона и страны в целом.

В Российской Федерации рыночные отношения в электроэнергетическом секторе экономики запу-

щены с 2001 г. и к 2012 г. финансовые инструменты электроэнергетического рынка начали работать в полном объеме. Однако этот факт практически не повлиял на объемы инвестиций в строительство новых гидроаккумулирующих электростанций, хотя их доля в генерирующих мощностях ЕЭС России и составляет менее 1 %. В России эксплуатируется только одна крупная ГАЭС — Загорская-1 установленной турбинной мощностью 1200 МВт.

В то же время в мире эксплуатируется более 300 крупных ГАЭС, а в стадии проектирования и подготовки к строительству находится более сотни гидроаккумулирующих электростанций. Наибольшее количество эксплуатируемых и строящихся ГАЭС сосредоточено в Японии, США, Германии, Австрии и Швейцарии. Несколько меньше таких станций в Италии, Франции и Испании.

Сейчас во многих технологически развитых странах мира интерес к гидроаккумулирующим электростанциям возрос. Это связано с тем, что доля нетрадиционных возобновляемых источников энергии в генерирующих мощностях с каждым годом возрастает. При этом доля гидроэлектростанций (ГЭС), которые, как и ГАЭС, предназначены по большей части для покрытия пиковых потребностей в электроэнергии, сокращается из-за того, что гидроэнергетический потенциал в этих странах практически полностью освоен.

Рыночное государство не должно развивать и модернизировать производство электроэнергии, оно может только создать благоприятные условия для его развития. Чтобы частный капитал, в том числе иностранный, вложил свои средства в строительство ГАЭС, наряду с другими видами генерации, государство должно разработать генеральную линию развития энергетической отрасли на более длительную перспективу и выработать такие правила игры в электроэнергетике, которые позволили бы государству сохранить контроль над отраслью и были бы достаточно привлекательны для инвесто-

ров. При этом правила не должны меняться на протяжении всего периода возврата инвестиций и получения запланированных прибылей.

Минэнерго России утверждена схема и программа развития Единой энергосистемы России на период с 2012 по 2018 г. [2]. Документ включает прогноз спроса на электрическую энергию по территориям субъектов РФ, а также содержит прогноз требуемого увеличения генерирующих мощностей для удовлетворения спроса на электрическую энергию. Прогноз учитывает такие показатели, как прогнозные максимумы нагрузки потребителей, saldo экспорта и импорта мощности, нормативный резерв мощности, ограничения установленной мощности электростанций, а также мероприятия по вводу, демонтажу, модернизации и реконструкции действующего генерирующего оборудования.

Детальный анализ условий работы централизованной части ЕЭС России при предусмотренной программой структуре генерирующих мощностей показал тенденцию к образованию значительных некомпенсированных избытков мощностей в периоды ночных провалов электропотребления.

Учитывая, что ГАЭС являются не только генерирующими источниками, но и источниками оказания системных услуг, способствующих оптимизации суточных графиков нагрузок и повышению надёжности и качества электроснабжения, в перспективные программы развития электроэнергетики целесообразно включать определение необходимой доли и роли ГАЭС на каждом этапе развития Единой энергосистемы России.

Если доходы ГАЭС зависят в основном от регулирующих рынков механизмов и структуры генерирующих мощностей, то затраты на строительство гидроаккумулирующих электростанций зависят в первую очередь от перепада высот. С увеличением напоров и уклонов местности сокращаются необходимые полезные объёмы аккумулирующих бассейнов и протяженность трубопроводов, соответственно сокращаются площади земельных участков под их размещение. При этом затраты на строительство ГАЭС будут значительно меньше, если в качестве одного из аккумулирующих бассейнов используется естественный водоём. Как показывает мировая практика, использовать естественные водоёмы в качестве бассейнов суточного регулирования без причинения экологического ущерба возможно, если колебания уровней воды в них незначительны.

В промышленно развитых странах в первую очередь реализуются проекты высоконапорных ГАЭС. Такие станции располагаются в горной местности и используют преимущества имеющихся природных условий для создания значительных перепадов между бассейнами. Напорные туннели и водоводы, отводящие туннели высоконапорных ГАЭС зачастую располагаются под землей, а ма-

шинный зал может располагаться на поверхности (наземный тип), но чаще под землей (подземный тип), обеспечивая тем самым необходимые отметки заглубления обратимых гидроагрегатов. Типовой эскиз такой схемы приведён на рис. 1. Там, где нельзя использовать естественные водоёмы под верхние бассейны ГАЭС, создают искусственные водоёмы, которые стараются вписать в существующий ландшафт местности (рис. 2).

В связи с зависимостью высоконапорных ГАЭС от топографических, гидрогеологических и экологических условий их зачастую приходится удалять от главных потребителей электроэнергии, что приводит к увеличению затрат на сетевое строительство. Суммарные затраты могут быть оптимизированы, если в единую энергосистему входят страны с различными топографическими условиями. Современным примером такой схемы является использование ГАЭС Норвегии в качестве накопителей электроэнергии ветропарков Германии, расположенных в Северном море [3]. Использование ГАЭС Австрии для компенсации базовых режимов работы АЭС Германии насчитывает уже не один десяток лет.

Основные технические показатели некоторых высоконапорных ГАЭС Европы с подземным расположением машинного зала приведены в таблице.

Основные технико-экономические показатели высоконапорных ГАЭС можно оценить на примере станции Копс-II (Австрия), которая была принята в эксплуатацию в 2008 г. [4]:

мощность турбинная/насосная — 450/510 МВт;
три гидроагрегата по 150 МВт (трехмашинная схема);

напор 798 м;

расход в турбинном/насосном режиме — 80/56 м³/с;

подводящие туннели длиной 5,5 км, диаметром 4,9 м;

напорные водоводы (вертикальные шахты) длиной 1,2 км, диаметром 3,8 м;

подземный машинный зал с габаритами $H = 61$ м, $B = 31$ м, $L = 88$ м;

общий срок строительства — 5 лет и 3 месяца;

затраты на строительство станции — 706 евро за 1 кВт мощности.

На данном этапе развития энергетического сектора в европейской части России необходимо создавать новые ГАЭС. Для эффективной работы энергосистемы доля гидроаккумулирующих станций в структуре генерирующих мощностей неуклонно должна возрастать — это объективная необходимость.

В центре европейской части России, где концентрация электропотребления максимальна, практически отсутствуют по условиям рельефа возможности для сооружения высоконапорных ГАЭС. Низконапорные ГАЭС менее эффективны, но затраты на

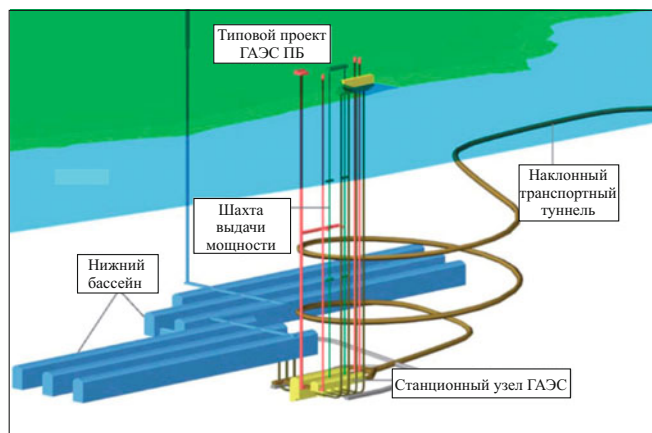


Рис. 3. Схема основных сооружений типового проекта гидроаккумулирующей электростанции с подземным бассейном (The Wiscasset project, США)

их возведение сопоставимы с затратами на строительство средненапорных ГАЭС в аналогичных условиях. При этом воздействие ГАЭС на окружающую среду значительно меньше, чем воздействие, оказываемое аналогичными по мощности ГАЭС.

Если учитывать мировые тенденции развития электроэнергетического сектора, которые указывают, что альтернативные возобновляемые источники энергии в этом развитии уже не перспектива, а реальность, то необходимо уже сейчас искать дополнительные варианты для аккумулирования электроэнергии в европейской части России, включая ее северо-западные, южные и восточные территории с более выраженным вертикальным рельефом местности. В этом случае, если рассматривать перспективу развития электроэнергетического сектора европейской части России по аналогии с Европой, выбор перспективных площадок под строительство высоконапорных ГАЭС нужно вести в первую очередь на Северном Кавказе, сопровождая его выбором трасс мощных линий электропередач.

Но это не единственный вариант для гидроаккумулирования электроэнергии в европейской части России. В США, а в свое время и в Советском Союзе, долго велись исследования по разработке концепции высоконапорной ГАЭС с подземным бассейном [5]. Данный тип гидроаккумулирующих электростанций предполагает, что значительные

напоры можно получить не только на природных перепадах высот. Их можно получить также, если расположить нижний бассейн и машинный зал станции на большой глубине в прочном кристаллическом скальном массиве [6].

В докладе П. Рейнолдса, опубликованном в 2009 г., говорится, что компания “Riverbank Power Corporation” разработала концепцию типового проекта гидроаккумулирующей станции с подземным бассейном, что позволит государству добиться повышения надежности электросетей при интеграции в неё до 3 ГВт мощности ветровой энергии к 2020 г. Оптимальные параметры станции мощностью 1000 МВт, рассчитанной на 6 ч работы в турбинном режиме, были определены после рассмотрения целого ряда переменных, в том числе затрат на строительство, и оценок экономической эффективности. Экономический расчет учитывает различные дополнительные услуги и платежи за мощность, но предельная эффективность по каждому проекту для заказчика будет зависеть от того, где находится станция и где она подсоединяется к энергосистеме. Типовой проект (рис. 3) имеет сметную стоимость 2 млрд. долл. США. Предполагается, что период строительства займет четыре года [7].

Компания “Riverbank Power Corporation” рассмотрела под проект более 50 возможных строительных площадок в Северной Америке и выбрала 15 строительных площадок, которые отвечают всем критериям отбора. Основные критерии, используемые при определении приоритетов, — геология, гидрология, расстояние до сетей электропередач и экологические аспекты [7].

Аналогичную концепцию гидроаккумулирующей электростанции с подземным расположением нижнего бассейна (ГАЭС ПБ) по заданию ОАО “РусГидро” разработал институт “Мособлгидропроект” совместно с зарубежными фирмами “Амберг”, “Фойт Гидро”, “Херренкнехт” и “АББ”. В концепции при рассмотрении различных вариантов компоновок подземного комплекса сооружений определены основные критерии, технические аспекты и предварительные технико-экономические показатели ГАЭС ПБ, которые необходимо дорабо-

ГАЭС	Голдисталь, Германия	Зеккинген, Германия	Круахан, Англия	Динорвик, Англия	Гранд Мезон, Франция	Сан-Фиорано, Италия
Мощность станций, МВт	1060	360	460	1800	1200	560
Напор, м	325	411	442	541	955	1480
Глубина заложения машинного зала, м	...	420	300	300	...	200
Породы в месте расположения машинного зала	...	Граниты, гнейсы	Диориты	Сланцы	Слоистые песчаники и сланцы	Гнейсы

тать на следующих стадиях предпроектных исследований. Высоконапорные гидроаккумулирующие электростанции с подземным нижним бассейном предполагается разместить в скальном кристаллическом массиве в европейской части России. Технико-экономические показатели и основные технические решения данного проекта сопоставимы с проектом компании “Riverbank Power Corporation”, но есть и отличия [8]. В концепции предлагается проходку нижнего бассейна осуществлять на глубине около 1000 м туннельно-проходческими механизированными комплексами компании “Херренкнехт”. Для продолжения предпроектных проработок необходимо предварительно выполнить инженерно-геологические исследования скальных пород в районе предполагаемого размещения ГАЭС ПБ с целью изучения свойств, структуры и напряженно-деформированного состояния скального массива.

Выводы

1. Перспективы развития гидроаккумулирующих электростанций в европейской части России напрямую связаны с перспективами развития Единой энергосистемы России.

2. В центральной части России нет благоприятных топографических условий для строительства

высокоэффективных ГАЭС и отсутствуют пока выгодные правила для инвестирования в них.

3. Увеличение доли ГАЭС в структуре генерирующих мощностей европейской части России должно стать показателем гармоничного развития Единой энергосистемы нашей страны.

Список литературы

1. *David Surla*. Influence of the market structure on the installed capacity of PSPP - benchmarking analysis. 2009. Сайты 32-й конференции International Association of Exhibitions and Events (IAEE).
2. *Утверждена* схема и программа развития Единой энергосистемы России до 2018 года, 17 августа 2012 // SmartGrid.ru.
3. *Ветропарки* Германии соединят с норвежскими ГАЭС морским кабелем. 27.06.2012. Bellona, <http://bellona.ru/news/news/2012/1340788901.57>.
4. *Kopswerk II* Underground Power House, Montafon, Austria, September 2006, www.tunnelbuilder.com.
5. *Подземные* гидроаккумулирующие станции. Обзор. М.: Информэнерго, 1976.
6. *Вопросы* проектирования, исследования и эксплуатации ГАЭС // Труды Гидропроекта. 1978.
7. *Report by Patrick Reynolds*. Investigating Aquabank, December 2009, International water power & dam construction.
8. *Концепция* и пилотный проект ГАЭС на территории России с подземным расположением машинного зала и нижнего бассейна: Проектный отчет. Этап 1. Voith Hydro-2011.

Очистка гидротехнических сооружений от обрастаний и наслоений

Омельянюк М. В., кандидат техн. наук

(Кубанский государственный технологический университет)

Рассмотрены вопросы животного и растительного обрастания подводных частей гидротехнических сооружений, трубопроводов и морских платформ. Изложены негативные последствия обрастания, отслоения защитных покрытий, процессов коррозии. Проанализированы применяемые методы подводной очистки от обрастаний, отложений и покрытий. Представлены результаты собственных экспериментальных и аналитических исследований гидродинамического кавитационного метода очистки бетона и металлов от различных обрастаний, отложений и покрытий, а также результаты внедрения опытного образца установки в производство.

Ключевые слова: обрастание, наслоение, отложение, очистка, кавитация, насадок, установка.

Континентальный шельф Российской Федерации является самым крупным в мире, его территория превышает 6,2 млн. км², из них 4 млн. км² являются перспективными на нефть и газ. Начальные извлекаемые ресурсы российского шельфа превышают 100 млрд. т условного топлива. Геологические исследования показывают, что количество жидких углеводородов в наиболее доказанной части ресурсной базы примерно такое же, как по России в целом [1].

Морские стационарные платформы (МСП) — “искусственные рифы”, вокруг которых увеличивается биомасса пелагической и бентосной гидрофауны, а вокруг опор морских элементов МСП появля-

ются многочисленные колонии двухстворчатых моллюсков, служащие природной лабораторией по очистке морской воды от углеводородного загрязнения и биоиндикатором загрязнения [2].

Подводные части судов, поверхности гидротехнических железобетонных и металлических сооружений обрастают животными и растительными организмами, металлические поверхности подвержены отслаиванию краски и процессам коррозии. Для морских судов и гидротехнических сооружений процессы коррозии протекают значительно быстрее, чем для сооружений и плавсредств, эксплуатируемых в пресных водах. Соленая вода обладает



Рис. 1. Комплекты гидродинамических генераторов кавитации

высокой проводимостью, создающей возможность электрохимической коррозии [3].

На подводные железобетонные и металлические гидротехнические сооружения, подводные трубопроводы различного назначения, водовыпуски и водозаборы в зависимости от их вида оказываются различного рода механические воздействия: течение, волны, поверхностный и донный лед, переформирование дна водоемов, воздействие якорей, волокуш и др. Ремонт подводных частей любых гидротехнических сооружений, трубопроводов и плавсредств представляет собой сложную, дорогостоящую и ответственную с точки зрения экологии и безопасности работу.

Для обеспечения надежной и безаварийной эксплуатации гидротехнических железобетонных и металлических сооружений, морских стационарных платформ и подводных трубопроводов, для своевременного принятия решения о времени и виде ремонта необходимо периодически выполнять обследования подводных поверхностей, основная цель которых заключается:

для трубопроводов — в определении оголенных и размытых участков, в оценке состояния защитного и изоляционного покрытий;

для железобетонных гидротехнических сооружений — в определении участков с механическими повреждениями судами и участков с корродировавшим бетоном и арматурой, в оценке состояния фундамента и пр.;

для плавсредств и металлических гидротехнических сооружений — в определении наличия и масштаба растительного и животного обрастания, состояния лакокрасочного покрытия, наличия прокорродировавших участков, макротрещин и т.д.

Для определения состояния гидротехнических сооружений и трубопроводов, выполнения ремонтных работ требуется удалить обрастания, продукты коррозии, старое лакокрасочное или изоляционное

покрытие. Стоимость водолазных ремонтных работ очень высока, и снижение затрат времени на ремонтные работы путем повышения эффективности применяемого вспомогательного оборудования является актуальной задачей. Не менее актуально и повышение качества очистки железобетонных сооружений перед последующим повторным бетонированием, а металлических — перед повторной окраской.

Величины прочности и адгезии для различного рода наслоений и обрастаний отличаются в разы и на порядки, в результате удаление непрочных обрастаний, например растительных, зачастую не вызывает сложностей, в то время как удаление усоногих раков вызывает значительные сложности. По данным “National Geographic”, затвердевшее клейкое вещество усоногих раков не может быть растворено сильными кислотами, щелочами или органическими растворителями, а также непроницаемо для бактерий и противостоит температурам свыше 200 °С.

Анализ технологий очистки гидросооружений.

В мировой практике широко применяется механизированная подводная водолазная очистка гидротехнических сооружений, стационарных платформ, а также плавсредств без постановки в док [4]. Эта работа выполняется водолазами с помощью скребков или механических щеток (“Brush Cart”) с производительностью очистки от 5 до 200 м² в час, элементы винто-рулевой группы дополнительно подвергают подводной полировке [5]. Однако методы механической очистки эффективны при очистке плоских поверхностей, их применение при очистке профильных фигурных поверхностей менее эффективно. При удалении твердых наслоений и обрастаний, характеризующихся высокой адгезией к поверхностям, применяют металлические щетки



Рис. 2. Процесс удаления рыхлого корродировавшего бетона ($P = 28,0$ МПа)

(“Soft Steel Brushes”, “Hard Steel Brushes”), использование которых негативно для лакокрасочного покрытия. При очистке железобетонных сооружений перед повторным бетонированием механическая очистка щетками не обеспечивает качественного удаления рыхлого бетона, полного удаления обрастаний и загрязнений из углублений и т.п., что снижает адгезию бетонного раствора и старой основы.

В отечественной и зарубежной практике удаления отложений, обрастаний и наслоений, разрушения различных материалов применяются методы высоконапорной гидродинамической очистки поверхностей и резки материалов [4, 6, 7]. При этом в случае проведения работ под водой помимо гидродинамического воздействия на обрастания и наслоения положительно используется эрозионный эффект кавитации, возникающий при истечении

высоконапорных затопленных струй [6, 7, 8]. Экспериментальными исследованиями установлено, что этот метод также эффективен для очистки подводных продуктопроводов различного назначения от ленточной и битумной изоляции при ремонтных работах, поверхностей гидротехнических сооружений от корродировавшего бетона, отслоившегося лакокрасочного покрытия, продуктов коррозии и обрастаний.

В работе [7] представлены результаты экспериментальных исследований зависимостей производительности очистки (ширины зоны очистки) аналогов отложений от параметров давления рабочей жидкости, расстояния от насадка до очищаемой поверхности, частоты и радиуса вращения кавитаторов. Использовались относительно низкие величины давления рабочей жидкости 5,2 – 21 МПа, ис-

Технологические параметры очистки при использовании экспериментальной установки, $N_{\text{прив}} = 90$ кВт, $P_{\text{max}} = 63$ МПа

Тип удаляемых обрастаний, наслоений и материалов	Производительность очистки, м ² /ч, при перепаде давления на кавитаторе, МПа				
	10 – 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	50 – 60
Растительное обрастание	100 – 2000	–	–	–	–
Растительные и животные обрастания с низкой прочностью и адгезией к поверхности	100 – 1000		–	–	–
Животные обрастания с высокой прочностью и адгезией к поверхности	–	–	30 – 100		
Рыхлый корродировавший бетон (удаление поверхностного слоя глубиной 5 – 10 см ²)	–	–	20 – 40 в зависимости от состояния бетона		
Гидротехнический бетон М500 (удаление поверхностного слоя глубиной 5 – 10 см ²)	–	–	–	–	10
Битумная изоляция трубопровода	–	–	–	10 – 20	
Ленточная изоляция трубопровода (трехслойное покрытие)	–	–	–	6 – 10	
Продукты коррозии (рыхлые, толщина 3 – 5 мм)	Свыше 100		–	–	–



Рис. 3. Разрез, выполненный гидродинамической струей ($P = 47,0$ МПа) на бетоне М500

следования проводились на аналогах отложений, а не в натуральных условиях.

Результаты проведенных исследований.

Для определения оптимальных параметров гидродинамического кавитационного воздействия на различные материалы для их частичного или полного разрушения были проведены аналитические и экспериментальные исследования. В качестве объектов исследования использовались: гидротехнический бетон с обрастаниями, кирпич, металл с растительными и органическими обрастаниями и продуктами коррозии, трубопровод с ленточной изоляцией, трубопровод с битумной изоляцией. Проведенный комплекс экспериментальных исследований позволил установить оптимальные расходно-напорные характеристики струйного гидродинамического кавитационного воздействия при очистке гидротехнического бетона и металлических сооружений от обрастаний, резке бетона, очистке трубопроводов от изоляционного материала различных марок. Комплекты разработанных экспериментальных гидродинамических насадок и генераторов гидродинамической кавитации представлены на рис. 1.

По материалам исследований была разработана, спроектирована и изготовлена экспериментальная установка для гидродинамической кавитационной очистки подводных поверхностей от различных обрастаний и отложений, в натуральных условиях проверена ее эффективность. Опытно-промышленные исследования проводились при удалении биологических обрастаний и рыхлого бетона с железобетонных контрфорсов шлюзовой системы Балаковской ГРЭС перед повторным бетонированием. На рис. 2 представлен процесс удаления рыхлого корродировавшего бетона (в надводных условиях), на



Рис. 4. Ротационное гидродинамическое устройство

рис. 3 — разрез, выполненный гидродинамической струей на бетоне.

Разработанная установка позволяет очищать с различной производительностью сложные фигурные поверхности, гибко регулировать эрозионное воздействие при различных прочности и толщине обрастаний путем изменения расходно-напорных характеристик (таблица).

Для очистки больших поверхностей целесообразно использовать не гидродинамический пистолет, а ротационные устройства с активными и реактивными соплами, если поверхности металлические — с колесами из неодимовых магнитов. Большая часть воды через кавитаторы направляется на очищаемую поверхность, а меньшая — в реактивные насадки, обеспечивающие движение устройства. Водолаз регулирует скорость движения (производительность очистки), обеспечивает изменение направления движения.

При очистке трубопроводов от трехслойной ленточной изоляции при давлении 40 – 60 МПа полностью удалялось ленточное покрытие, но клеевая основа удалялась частично. Идентичный результат наблюдался и при очистке металла от лакокрасочного покрытия: удалялись только непрочные держащиеся участки, зачастую при наличии очагов коррозии. Для полной очистки трубопроводов от клеевой основы до металла, а также удаления прочного лакокрасочного покрытия при данных параметрах потребовалось использование гидроабразивного метода, недостатком которого является удаление оксидного слоя с металла трубопровода. Для гидродинамической очистки трубопроводов до белого металла без добавки абразивов эффективно использование насосов с рабочим давлением свыше 200 МПа.

Для очистки внутренних поверхностей трубопроводов различного назначения разработаны роторные устройства, обеспечивающие как равномерную гидродинамическую очистку внутренней поверхности, так и продвижение внутри трубопровода за счет реактивного усилия насадков, направленных назад. За счет того что насадки устанавливаются сменными, можно производить гибкое регулирование степени очистки, реактивного усилия, требуемого для продвижения очистного роторного устройства и высоконапорного шланга. Установлено, что разработанной установкой можно производить очистку трубопроводов длиной до 100 м, расположенных в горизонтальной плоскости. Один из вариантов разработанного роторного устройства представлен на рис. 4.

Гидродинамическим пистолетом (и ротационным устройством) возможно регулирование величины рабочего давления. Поддержание давления в заданных пределах осуществляется либо механическим регулированием байпасного типа на выходе из насоса (недостаток — снижение объемного КПД насоса), либо использованием на насосном агрегате системы поддержания выходного давления (управление оборотами приводного электродвигателя сигналом с датчика давления, установленного в напорной линии насоса).

Выводы

Эффективность гидродинамической кавитационной технологии удаления обрастаний и наслоений заключается в следующем:

удаление ленточной и битумной изоляции, обрастаний биологического происхождения, поврежденного бетона осуществляется струей воды высокого давления без добавления абразива, что позволяет проводить очистку без повреждения поверхностей, лакокрасочного покрытия, удаления оксидного слоя металла и т.п.;

установка практически не требует расходных материалов, может осуществляться как оперативная водолазная очистка, так и очистка с дистанционным управлением без участия водолазов;

используемая рабочая жидкость — отфильтрованная забортная вода, т.е. использование данной технологии является экологически чистым;

устройство для очистки (пистолет или ротационное устройство) и высоконапорные рукава дополняются пенополистиролом или аналогом для получения нулевой плавучести, что облегчает работу водолаза;

пистолет содержит помимо активных (рабочих) насадков реактивные для компенсации усилия. Реактивные насадки комплектуются защитным кожухом и диспергирующими сетками, предотвращающими возможность травмирования водолаза реактивной высоконапорной струей;

уменьшается затрачиваемая на очистку энергия, так как удаление наслоений и обрастаний происходит на границе очищаемой поверхности; обрастания толщиной 100 – 200 мм удаляются кусками без измельчения. При использовании щеток удаление обрастаний значительной толщины производят последовательно, удаляя их за несколько проходов с измельчением.

одной установкой путем изменения расходно-напорных характеристик можно осуществлять различные работы, начиная с очистки железобетонных и металлических поверхностей от непрочно держащихся осадков (с рабочим давлением 10 – 20 МПа), продолжая удалением рыхлого бетона или продуктов коррозии (с рабочим давлением 30 – 40 МПа), и заканчивая гидродинамической резкой железобетона, грунта и т.п. (с давлением свыше 50 МПа).

Результаты проведенных исследований и опытный образец установки подводной водолазной гидродинамической очистки железобетонных и металлических гидротехнических сооружений внедрены в производство филиала “Подводречстрой-7” ФГУ “Подводречстрой”.

Список литературы

1. Пономаренко Д. В., Ушивцев В. Б., Водовский Н. Б., Яценко В. // <http://www.neftapixel.ru/download/Oktopus3.pdf>.
2. Безродный Ю. Г., Векилов Э. Х. Проблемы и пути защиты морской среды в условиях интенсификации хозяйственного освоения Каспия // Нефтяное хозяйство. 2008. № 6. С. 70 – 74.
3. Коррозия. Справочное издание: Пер. с англ. / Под ред. Л. Л. Шрайера. — М.: Металлургия, 1981. 632 с.
4. Brush Technology, High Pressure Water Jet Technology / HISMAR News Report No. 2. 2008 // [http://hismar.ncl.ac.uk/public/docs/News Reports/News%20Report%20No2 UNEW.pdf](http://hismar.ncl.ac.uk/public/docs/NewsReports/News%20Report%20No2%20UNEW.pdf).
5. Underwater Propeller polishing // http://www.submarineservices.com/html/ship_husbandry.html.
6. Эванс А., Рафф А., Видерхорн С. и др. Эрозия: Пер. с англ. / Под ред. Прис К. — М.: Мир, 1982. 464 с.
7. Kalumuck K. M., Chahine G. L., Frederick G. S., Aley P. D. Development of a dynajet cavitating water jet cleaning tool for underwater marine fouling removal // 9th American Waterjet Conference, August 23 – 26, 1997: Dearborn, Michigan. P. 541 – 554.
8. Materials erosion testing / Dynaflo, Inc, 22.10.2008 // <http://www.dynaflo-inc.com/Products/Jets/Jets.htm>.

Технический надзор в проекте по завершению строительства комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений

Попов В. И., руководитель службы технического надзора, кандидат техн. наук,
Монососов Л. М., главный инженер-резидент, кандидат геогр. наук
(ЗАО “Генинжконсалт”)

Представлен опыт организации и проведения независимого технического надзора в проекте по завершению строительства Комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений. Показана структура команды по техническому надзору и эффект ее работы.

Ключевые слова: технический надзор, Заказчик, служба Инженера, Подрядчик, дамба, туннель, мост, багатпорт, судопропускное и водопропускное сооружения, автоматизированные системы управления.

Особенности района строительства

С момента своего основания г. Санкт-Петербург ежегодно подвергается воздействию наводнений (за 309 лет зарегистрировано более 311 подъемов уровня воды в устье р. Невы выше 160 см над ординаром). Как показывает практика, наводнения происходят практически во все месяцы года, но наиболее вероятны они в осеннее-зимний период. Природой наводнений являются атмосферные вихри (циклоны), проходящие по оси восточной части Финского залива и формирующие “длинную волну”, вызывающую подъем уровня воды в устье р. Невы. Наиболее катастрофические наводнения происходили в 1777 г. (3,21 м Б. С.), 1824 г. (4,21 м Б. С.), 1924 г. (3,80 м Б. С.). Помимо этого было около 20 больших наводнений, когда вода поднималась от 2,5 до 3 м Б. С. (15.10.1955 г. — 2,93 м; 29.09.1975 г. — 2,81 м; 30.11.1999 г. — 2,62 м).

Во время нагонных подъемов уровня воды до 2 м Б. С. затоплению подвержено 6,5 % площади центра города, до 3 м — 17,1 %, до 4 м — 23,9 %, до 5 м — 30 %. Это означает, что в зону затопления попадает вся историческая часть Санкт-Петербурга с бесценными сокровищами музеев, памятниками архитектуры, ценнейшими парками, общественными зданиями, включая здание Конституционного Суда и Морскую резиденцию Президента, а также предприятия, научные центры, станции метро. Создается реальная угроза жизни сотням тысяч жителей, их домам и имуществу. Поэтому создание Комплекса защитных сооружений (КЗС) является настоящей необходимостью существования города.

Особенностью невских наводнений является их внезапность, сложность прогнозирования, наличие в осенне-зимний период в акватории восточной части Финского залива тяжелой ледовой обстановки. В период зимних наводнений происходят взлом и подвижка всей массы льда акватории восточной части Финского залива с образованием навалов льда высотой до 9 – 12 м [1].

Как показывают приближенные расчеты, ущерб только от предотвращенных КЗС наводнений декабря 2011 г. мог бы составить около 25 млрд. руб.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что действие КЗС экономит значительные бюджетные средства, ранее использовавшиеся для ликвидации последствий наводнений.

Состав проекта КЗС

В разработке проекта КЗС можно выделить два основных периода:

интуитивно-практический (1703 – 1924 гг.), когда использовались традиционные способы — подъем суши, отвод воды, при этом точный прогноз подъема уровня воды подменялся предсказаниями;

научно-практический (1925 – 2012 гг.), когда использовались достижения научной и технической мысли, возросшие материальные возможности общества, что в итоге привело к реализации грандиозного проекта КЗС.

Началом строительства КЗС является 1 октября 1980 г. После приостановки работ в 1987 г. строительство было продолжено в 2002 г.

Комплекс защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений является крупнейшим и единственным в мире протяженным морским гидротехническим сооружением, расположенным в суровых климатических условиях северо-запада России. Общая протяженность комплекса — 25,4 км, а по акватории замерзающего Финского залива — 22,2 км.

В состав КЗС входят одиннадцать каменнонабросных дамб шириной 80 м, высотой по гребню 6,5 м над уровнем моря, протяженностью 23,4 км, а также шесть водопропускных сооружений, включающих 64 сегментных затворов шириной по 24 м, два судопропускных сооружения шириной 200 (С1) и 100 м (С2), шестиполосная автомобильная дорога по гребню дамбы, замыкающая кольцо вокруг города, автодорожный мост с вертикально подъемным пролетным строением над судопропускным соору-

жением С2 и автодорожный глубоководный туннель, проходящий на глубине 28 м по дну нового морского канала под судопропускным сооружением С1.

В рамках проекта успешно реализован целый комплекс уникальных и новейших строительных технологий, позволяющих считать КЗС инновационным проектом России XXI века. В частности, был применен наплавной метод возведения и доставки в створ крупных железобетонных блоков водопропускных сооружений В2 и В4 (каждый блок размером 132 × 51 × 11 м и осадкой 4,5 м), подтвердивший возможность и экономическую целесообразность строительства протяженных морских гидротехнических сооружений блоками, которые сооружаются в промышленных центрах и доставляются морским путем в труднодоступные створы. При этом была доказана практическая возможность создания с помощью наплавного метода промышленных приливных электростанций протяженностью до нескольких километров в труднодоступных акваториях Баренцева, Белого и Охотского морей [2].

Все технологические и инфраструктурные процессы на КЗС автоматизированы; обеспечена автоматическая система управления всеми технологическими процессами (АСУ ТП) маневрирования затворами судо- и водопропускных сооружений для выполнения основных функций комплекса технических средств физической защиты; внедрена АСУ жизнеобеспечения и безопасности глубоководного автодорожного туннеля С1, состоящая из 47 различных систем; разработана и действует система предупреждения угрозы наводнений (СПУН), которая за 60 ч до наступления наводнения (превышение уровня воды отн. 1,60 м Б. С.) реализует программу закрытия и открытия всех судо- и водопропускных сооружений КЗС и ежечасно проводит ее уточнение.

Организация службы Инженера

Служба Инженера на проекте КЗС была развернута непосредственно в зоне строящихся объектов. Резиденция Инженера располагалась на о. Котлин, где был расположен штаб строительства, в котором находился офис представителя Заказчика — Дирекции по строительству. На о. Котлин размещались и офисы подрядчиков, принимавших участие в строительстве. Концентрация офисов Заказчика, подрядчиков и Инженера в одном месте давала возможность оперативно решать все производственные вопросы. Общая схема взаимодействия Инженера с Заказчиком и подрядчиками типична для контрактов, подготовленных на основе стандартных документов ФИДИК (рисунк).

В составе службы Инженера компания ЗАО “Тенинжконсалт” являлась лидером, и все контакты с подрядчиками проводились через эту компанию. Менеджер проекта (руководитель службы Инженера) был представителем этой компании.

Специалисты фирмы “Royal Hasconing” (Нидерланды) на первых этапах строительства выполняли ключевые функции в службе Инженера, поскольку обладали наибольшим опытом управления работами и технического надзора за строительством дамб с судопропускными и водопропускными сооружениями. Инженеры-резиденты по всем контрактам были из Нидерландов.

ЗАО “Институт “Стройпроект” в консорциуме было представлено опытными инспекторами и в начальные годы реализации проекта делегировало главного инженера-резидента.

Результаты работы службы Инженера в проекте

Проект КЗС осуществлялся по нескольким контрактам, которые были заключены на разных этапах ведения работ. При этом основные объемы работ были сосредоточены в контрактах, подготовленных на основе документов ФИДИК, что в значительной степени способствовало наиболее эффективному ведению работ по проекту в целом. В отличие от контрактов, финансируемых только из российского бюджета, контракты ФИДИК давали возможность по мере появления дополнительных и непредвиденных работ включать процедуру оформления изменений к контрактам и при согласовании этих изменений в Европейском банке реконструкции и развития (ЕБРР) достаточно быстро продолжить финансирование работ без задержек, которые могли быть при использовании процедур, предусмотренных российским законодательством [3].

Инженер не контролировал работу контрактов, которые были заключены по российским стандартам. Эти контракты были заключены на основе национальных торгов и включали объемы работ по устройству автомобильной дороги по дамбе, наружного освещения, четырех пешеходных мостов, двух транспортных развязок и некоторых инфраструктурных объектов. Все остальные объемы работ по объектам КЗС были реализованы по контрактам ФИДИК. Всего было заключено семь таких контрактов, первый из которых был подписан в 2004 г., а последний — в 2010 г. Подрядчиками по этим контрактам были крупные российские компании ОАО “Метрострой”, ЗАО “Инжиниринговая корпорация “Трансстрой”, ЗАО “Атомстройэкспорт”, а также известные зарубежные компании “Boskalis” (Нидерланды) и “Hochtif” (Германия).

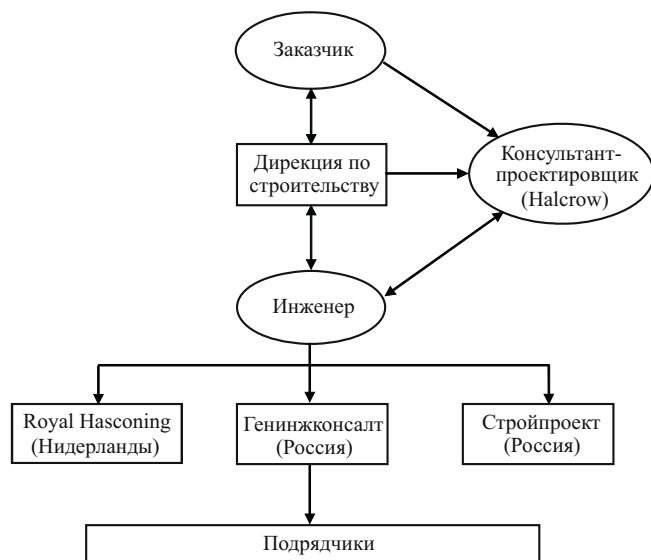


Схема взаимодействия службы Инженера с Заказчиком и подрядчиками

Отметим наиболее важные стороны работы службы Инженера по данному проекту и полученные результаты.

В структуре службы Инженера была предусмотрена группа технических специалистов разных профилей, которые рассматривали подготовленную подрядчиками рабочую и технологическую документацию: рабочие чертежи, проекты производства работ, программы и регламенты проведения испытаний оборудования и конструкций. Эти же специалисты проверяли качество и полноту исполнительной документации.

Другая группа специалистов постоянно находилась на объектах и контролировала качество и приемку выполненных работ.

В рамках проекта были успешно реализованы крупные технические задачи, решению которых способствовала и работа службы Инженера. В первую очередь следует отметить большой объем работ по замене слабых грунтов в основании дамбы ДЗ, расположенной на продолжении южной ramпы подводного туннеля, а также гидронамыв котлована за южной ramпой туннеля. Эти работы были выполнены голландской компанией "Boskalis". Из-за задержек в работе смежного подрядчика намыв грунта в котлован пришлось выполнять в осенний период 2010 г.

В конце ноября 2011 г. температурный режим района строительства характеризовался низкими отрицательными температурами воздуха и наличием устойчивого ледостава в акватории, что не позволило продолжать гидронамыв, и работы по заполнению котлована были завершены подсыпкой сухого песчаного грунта. Общий объем уложенного в котлован песчаного грунта составил около 700 тыс. м³.

Служба Инженера в период проведения земляных работ вела ежедневный контроль уплотнения намываемого грунта, показатель плотности которого по действующим нормативам должен быть не менее 0,95, а под проектируемыми фундаментами технологических зданий — не менее 0,98. Указанные требования по плотности, а также по гранулометрическому составу грунта были обеспечены, что является одним из условий безопасности и надежности возводимых сооружений на намывных территориях [4].

Другой важной задачей являлся монтаж 124 элементов двух плавучих затворов (батопортов) судопропускного сооружения С1 (общая длина сварных швов 105 км) и двух шаровых опор крепления затворов для перекрытия морского канала шириной 200 м. Параметры каждого батопорта: высота 23,3 м, ширина 8,3 м, длина 121,4 м, радиус движения 130 м, глубина максимального погружения 16 м, объем отсеков плавучести 3500 м³, время посадки на порог 25 мин, масса 2500 т.

Для российских специалистов данная задача представлялась уникальной, так как до этого подобных конструкций в стране не возводили. По ходу выполнения работ конструкторам и инженерам ЦКБ МТ "Рубин" и ООО "Сименс" пришлось столкнуться с необходимостью создать масштабную плавучую конструкцию, которая должна была работать в сложных гидрометеорологических и волновых условиях [5].

Как показала статистика, угроза развития наводнения сохраняется в течение всего осеннее-зимнего периода (зимние наводнения составляют 51 % общего их количества) и поэтому необходимо было учесть тот факт, что работа батопортов будет проходить продолжительный период с устойчивыми отрицательными температурами и значительно осложняться образованием тяжелой ледовой обстановки в акватории КЗС.

Специалисты из службы Инженера осуществляли тщательный контроль качества сварочных работ, защиты металлоконструкций от коррозии, установки батопортов в устойчивое положение в доковых камерах на опорные устройства после вывода в рабочее положение. Были проведены испытания батопортов в различных гидрологических и волновых условиях, в том числе при наличии ледяного покрова, при этом специалисты службы Инженера внесли много предложений, которые обеспечили создание надежной плавучей конструкции.

Надо отметить значительный совместный вклад российских и голландских специалистов, работавших в составе группы технического надзора. Большой вклад во ввод в эксплуатацию плавучих затворов внесли специалисты ОАО "Ордена Трудового Красного Знамени Треста "Спецгидроэнергомон-

таж”, с которыми инженеры технического надзора находились в постоянном контакте.

Значительную проблему для вывода в створ наплавных затворов создает лед, образующийся перед воротами доковых камер и попадающий в доковые камеры после заведения в них плавающих затворов. Проектная документация не учитывала разработку каких-либо мер по устранению указанных осложнений. Службой Инженера было предложено несколько технических решений, одно из которых было согласовано с консультантом-проектировщиком (“Halcrow Group”, Великобритания) и одобрено Заказчиком. Это решение заключалось в устройстве так называемого “барботажа”, при котором образованию льда перед сегментными воротами доковых камер препятствует подача воздуха снизу, сопровождающаяся непрерывно образующимися пузырьками воздуха. Однако полностью решить данную проблему в настоящее время не удалось и при заведении батопорта в доковую камеру набивается значительное количество льда.

Проблема зимней эксплуатации наплавных затворов судопропускного сооружения С1 требует комплексного подхода, учитывающего обобщение опыта, применение современных методов борьбы с обмерзанием конструкции в сочетании с разработкой эффективных устройств, позволяющих обеспечить безопасное и надежное выведение в створ, посадку на порог и заведение в доковую камеру батопортов в условиях низких температур и сложной ледовой обстановки.

Объемные работы по строительному контролю были осуществлены службой Инженера при завершении строительно-монтажных работ в подводном автодорожном туннеле судопропускного сооружения С1. В рамках проекта необходимо было закончить бетонирование подводных секций туннеля и двух рамповых участков с северной и южной стороны. При устройстве рампового участка с южной стороны туннеля дополнительные геологические изыскания залегающих в основании грунтов показали их недостаточную несущую способность, что потребовало предусмотреть большое свайное поле под лотковой частью обделки. В целях ускорения графика работ устройство буронабивных свай диаметром 1,2 м вели по всей площади ростверка почти одновременно несколькими установками. Работы выполняли компании “Boskalis” (Нидерланды), ОАО “Метрострой” (Россия) и “Hochtif” (Германия).

Специалисты службы Инженера осуществляли контроль качества уплотнения бетонной смеси свай, несущей способности и геометрического положения свай. Несущую способность забетонированных свай проверяли натурными испытаниями некоторых из них. Около 20 % общего объема всех

испытаний подрядчиками материалов осуществлял Инженер.

Специфическими были работы, связанные с монтажом и отладкой систем жизнеобеспечения автодорожного глубоководного туннеля судопропускного сооружения С1, которые были объединены в автоматизированную систему с управлением из центрального пункта. Создание автоматизированной системы управления элементами жизнеобеспечения туннеля, открытием и закрытием батопортов и затворов водопропускных сооружений потребовало разработки единых требований, предъявляемых к оборудованию, используемому в разных контрактах.

Ведущую роль в разработке и создании инженерных систем в туннеле и в проекте в целом сыграли российские компании “Бизнес Компьютер Центр (ВСС)” и “Эдванс”. Необходимую стыковку разных контрактов осуществлял Заказчик с активным участием Инженера.

Следует отметить, что, поскольку опыта эксплуатации подобных уникальных сооружений в России нет, предстоит большая работа в гарантийный период эксплуатации КЗС по отработке единого интерфейса управления всеми системами безопасности глубоководного автодорожного туннеля и всей АСУ ТП, выполнения технических регламентов обслуживания всех установленных систем и механизмов.

Работа технического надзора не могла быть эффективной без постоянного взаимодействия службы Инженера с Минрегионразвития РФ и Дирекцией КЗС. Ежедневно Заказчик (Минрегионразвития РФ) и его представитель на строительстве (Дирекция КЗС) проводили производственные совещания, на которых специалисты рассматривали текущие вопросы реализации проекта, а также выявленные недостатки и принимали оперативные решения по их устранению.

КЗС, являясь крупнейшим многофункциональным строительным объектом, не мог обойтись без научного сопровождения и активного участия таких ведущих научно-исследовательских и проектных институтов России как ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”, ОАО “Ленгидропроект”, ОАО “Ленморниипроект”, ЦКБ МТ “Рубин”, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Российский государственный гидрометеорологический университет. Все нестандартные технические решения, с которыми пришлось столкнуться группе технического надзора, в обязательном порядке обсуждались с научными сотрудниками, что в немалой степени способствовало правильной оценке целесообразности вносимых изменений.



Испытания бадопорта

В целом технический надзор на проекте КЗС обеспечил высокое качество всех строительных и монтажных работ и способствовал созданию крупнейшего в стране протяженного морского гидротехнического комплекса, оказывающего значительное влияние на социально-экономическое развитие Санкт-Петербурга, Кронштадта и всего Северо-Западного региона России.

Организация и осуществление технического надзора международным консорциумом на крупном проекте показали эффективность совместных усилий специалистов разных стран, направленных на достижение единой цели.

Накопленный опыт международного сотрудничества свидетельствует о том, что возведенный уникальный Комплекс защитных сооружений г. Санкт-Петербурга от наводнений может эффективно использоваться в качестве международного научного центра по обобщению опыта и исследованию проблем морского гидротехнического строительства в суровых климатических условиях. В частности, он может служить уникальным полигоном для проведения научных исследований в области создания новых строительных материалов, эффективных методов борьбы с обмерзанием конструкций, испытаний в натурных условиях опытных кон-

струкций нетрадиционных возобновляемых источников энергии (ветровой, волновой, приливной). Работы в области использования энергии ветра в сочетании с неукоснительным соблюдением требований экологии района могут дать значительный экономический эффект для обеспечения собственных потребностей в электроснабжении КЗС, г. Кронштадта и объектов строительства ОАО «Объединенная судостроительная корпорация».

Список литературы

1. *Моносов Л. М., Моносов М. Л., Павлихин Н. В.* Ледовые условия зимних наводнений // Сборник работ Ленинградской ГМО. 1981. Вып. 12. С. 102 – 108.
2. *Usachev I., Danilov A., Likhomanov V., Karlin L., Monosov L., Demidenko N.* Maintaining reliable marine energy structures under heavy ice conditions in Russia // Hydropower & Dams-ISSN 1352 – 2523. Marine Energy Supplement. 2009.
3. *Попов В. И.* Технический надзор в транспортном строительстве. — М.: МАДИ, 2011. 128 с.
4. *Василевский А. Г.* Мировой опыт развития гидроэнергетики, инженерно-технических решений в области плотиностроения и обеспечения безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство. 2003. № 4. С. 49 – 55.
5. *Беляев Б. В., Миронов М. Е.* Оценка ветрового волнения в створе КЗС и волновых нагрузок на затвор судопропускного сооружения // Гидротехническое строительство. 2007. № 12. С. 46 – 53.

Влияние инфильтрации дождевых осадков на устойчивость откосов грунтовых сооружений

Нгуен Фьонг Зунг (СПбГПУ), Буряков О. А.
(ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева), аспиранты

На примере обрушившегося откоса котлована ГЭС Хуа-На (Вьетнам) рассмотрено влияние инфильтрации дождевых осадков и изменения прочностных характеристик грунтов на устойчивость откосов. С использованием имеющихся данных о геометрии призмы обрушения и проектных значениях физико-механических характеристик была проведена серия расчетов устойчивости откоса различными методами и при различном положении границы области проникновения осадков. Были сделаны выводы о необходимости использования в расчетах устойчивости откосов изменения влажности грунтов при проникновении осадков с соответствующим изменением прочностных характеристик.

Ключевые слова: устойчивость откосов, зависимость прочностных характеристик грунта от влажности, коэффициент устойчивости, метод Моргенштерна — Прайса, метод снижения прочности.

На устойчивость откосов влияют такие факторы, как наличие тектонических нарушений и грунтовых вод, геометрические параметры откоса, прочностные характеристики грунтов и их реологические свойства, наличие статических и динамических нагрузок. Одним из наиболее значимых является положение уровня грунтовых вод.

В данной статье рассмотрено влияние инфильтрации дождевых осадков и вызванного этим процессом изменения прочностных характеристик грунтов на устойчивость откосов. По мере проникновения влаги в грунт меняется его влажность, а следовательно, удельный вес и другие физико-механические характеристики. Это явление рассмотрено на примере обрушившегося откоса котлована ГЭС Хуа-На (СРВ) (рис. 1). С использованием имеющихся данных о геометрии призмы обрушения и проектных значениях физико-механических характеристик грунтов была проведена серия расчетов устойчивости аварийного откоса по методике, описанной в [1 – 11]. Задача данной работы заключалась в определении возможности заранее спрогнозировать эту аварию, имея данные на период начала строительства и используя описанную в [5, 6] методику расчета устойчивости.

Характерный разрез откоса представлен на рис. 2. Его заложение изменяется от 1:2 у гребня до 1:1,5 в нижней части. На откосе имеется четыре бермы шириной 3 м. Геологическое строение откоса представлено четвертичными отложениями и коренными породами магматического генезиса (риолит). Четвертичные отложения простираются до глубины 7 – 18 м, а на глубинах более 18 м разрез представлен трещиноватыми риолитами. По данным проекта в глубине основания залегает мощная толща IIА и IIВ отложений, выше нее находится менее мощный слой IIВ. Поверхностные отложения (IA1 и IA2) представлены супесями и суглинками с включениями дресвы и щебня.

После продолжительных ливневых дождей 2010 г. на поверхности откоса в пределах отметок

168 – 198 м были обнаружены трещины, после чего произошел оползень. Проведенные в октябре 2010 г. исследования по определению положения поверхности обрушения показали, что она проходит сначала через берму на отметке 198 м, а затем через ослабленную зону на отметках 168 – 198 м. На бортовом участке откоса поверхность обрушения, по видимому, близка к круглоцилиндрической. Исследования были проведены стандартным методом испытания грунтов на пенетрацию, при котором ударным способом осуществляется непрерывное внедрение зонда в грунт и через каждые 0,45 м определяется значение показателя N_{30} .

В качестве основной причины обрушения откоса была названа сосредоточенная фильтрация в его трещинах. На основании имеющихся данных построен инженерно-геологический разрез участка оползня до и после обрушения (рис. 2). Кроме того, в лаборатории были определены прочностные характеристики грунтов (φ и c) и их весовая влажность W для грунта IA₁. Образцы нарушенной структуры различной плотности и влажности были исследованы на плоский сдвиг в неконсолидированно-недренированных условиях. Результаты испытаний в виде зависимостей угла внутреннего трения φ и удельного сцепления c с грунта от влажности представлены на рис. 3.

Для предварительных расчетов приняты следующие значения физико-механических характеристик грунта: $\varphi = 35,75^\circ$ и $c = 1,04$ кгс/см² (при нулевом водонасыщении).

На основании имеющегося инженерно-геологического разреза в программе “SLOPE/W” была построена численная модель, которая, помимо самого откоса, включает в себя элементы для отвода поверхностных вод и участок котлована гидроэлектростанции.

Инфильтрация осадков со свободной поверхности откоса характеризуется интенсивностью q , которая в расчетах была принята равной 0,2 м³/с/п.м.



а)



б)

Рис. 1. Откос котлована ГЭС Хуа-На после обрушения (а); перекрытие поверхности откоса плёнками перед сезоном дождей (б)

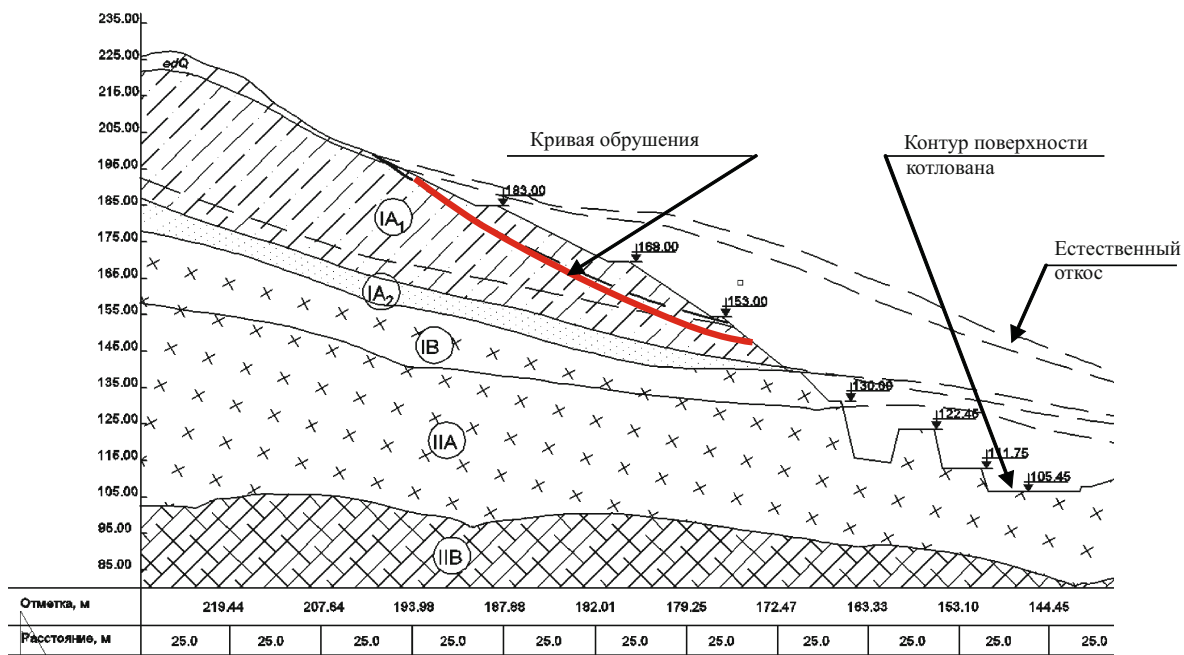


Рис. 2. Инженерно-геологический разрез участка оползня

Результаты расчета устойчивости откоса в программах “SLOPE/W” и “PLAXIS”

Время t , сут.	Коэффициент устойчивости	
	“SLOPE/W”	“PLAXIS”
1	1,134	1,020
2	1,248	1,044
3	1,123	1,021
4	1,124	0,995

Отрезок времени, на котором проводился расчет, разбивался на временные шаги, на каждом из них задача принималась стационарной. Данный метод расчета достаточно полно описан в [5].

Расчет инфильтрации с поверхности откоса котлована ГЭС и соответственно расчет устойчивости проводились для четырех расчетных моментов времени, каждая стадия которых имеет разные начальные условия. На первой стадии задавалась интенсивность инфильтрации q , в результате чего были получены линии равных степеней водонасыщения

вблизи поверхности откоса. Прочностные характеристики грунтов были приняты по результатам лабораторных испытаний, в ходе которых была определена их зависимость от степени водонасыщения G (рис. 3).

Из рис. 4 видно, что спустя 4,5 дня нижняя граница фильтрационного потока достигла уровня грунтовых вод. Результаты расчетов свидетельствуют о том, что в нижней части области объемная влажность достигает 0,125 (что соответствует степени водонасыщения $G = 35,7\%$).

График на рис. 3 свидетельствуют о том, что при увеличении объемной влажности прочностные характеристики грунтов снижаются. Наименьшие их значения соответствуют полному водонасыщению. Это обстоятельство учитывалось в расчетах. В работе для оценки устойчивости откоса с учетом изменения прочностных характеристик грунтов при изменении влажности значения угла внутреннего трения и удельного сцепления были приняты соответственно $29,2^\circ$ и $0,5 \text{ кгс/см}^2$, что соответствовало полному водонасыщению.

Расчеты устойчивости выполняли методом снижения прочности (реализован в программе "PLAXIS") и методом Morgenштерна — Прайса с оптимизацией критической поверхности обрушения [6] (программа "SLOPE/W"), после чего выполняли сравнение полученных результатов. Метод Morgenштерна — Прайса основан на принципе предельного равновесия, при котором призма обрушения разбивается на отсеки, для каждого из них составляются уравнения равновесия моментов и сил взаимодействия с соседними отсеками. Коэффициент устойчивости откоса определяется итераци-

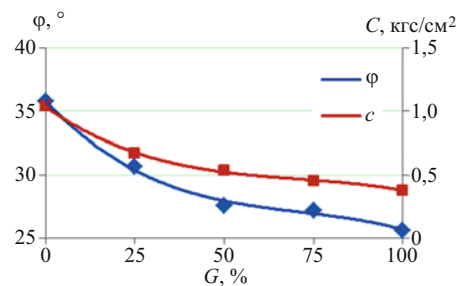


Рис. 3. График зависимости ϕ и c от степени водонасыщения G

ционно таким образом, чтобы коэффициенты устойчивости, полученные из уравнений равновесия моментов и сил взаимодействия, были равны. Метод снижения прочностных характеристик предполагает пропорциональное снижение характеристик ϕ и c до тех пор, пока не произойдет обрушение откоса. Отношение исходных значений характеристик к сниженным и будет являться коэффициентом устойчивости.

До момента выпадения осадков коэффициент устойчивости откоса был равен 1,242.

Результаты серии расчетов, в которых по мере проникновения осадков в тело откоса изменяются характеристики его грунтов, приведены в таблице. Из них следует, что сначала коэффициент устойчивости падает, затем немного возрастает и на третьи сутки с момента начала выпадения осадков снова падает. Меньшее значение коэффициента устойчивости откоса в первые сутки по сравнению со вторыми можно объяснить формой поверхности обрушения: в первые сутки она более плоская.

Результаты расчетов, полученные в программе "SLOPE/W", были сопоставлены с результатами,

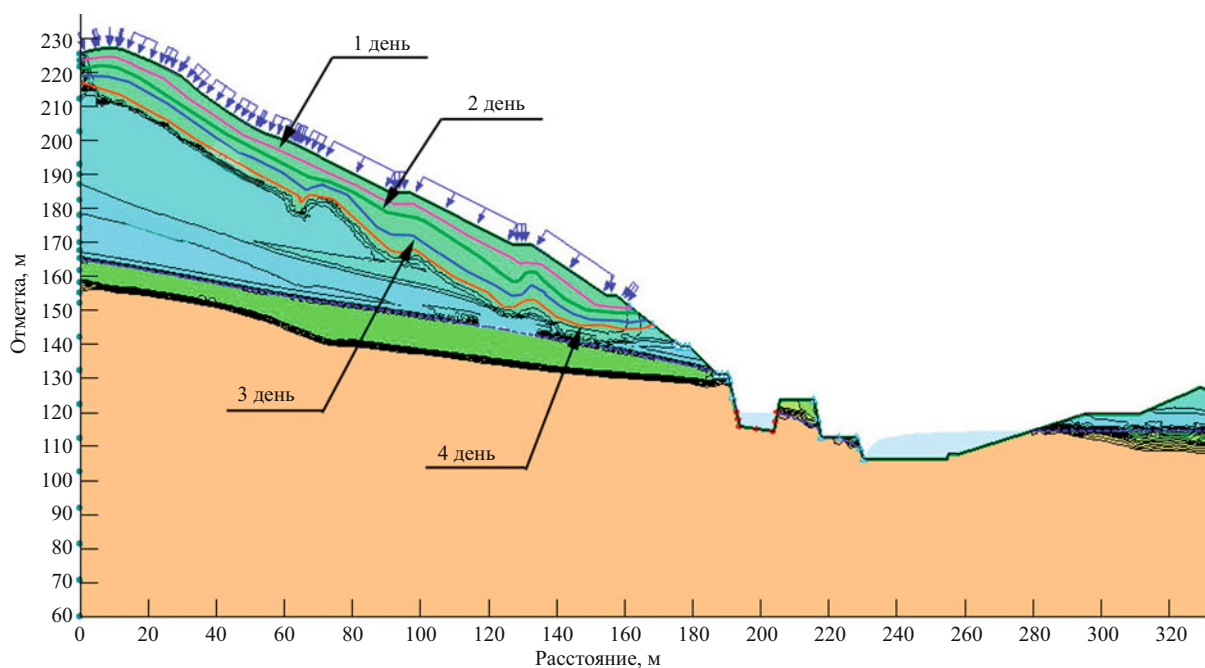


Рис. 4. Положение границы области проникновения осадков спустя 4 дня с момента начала их выпадения

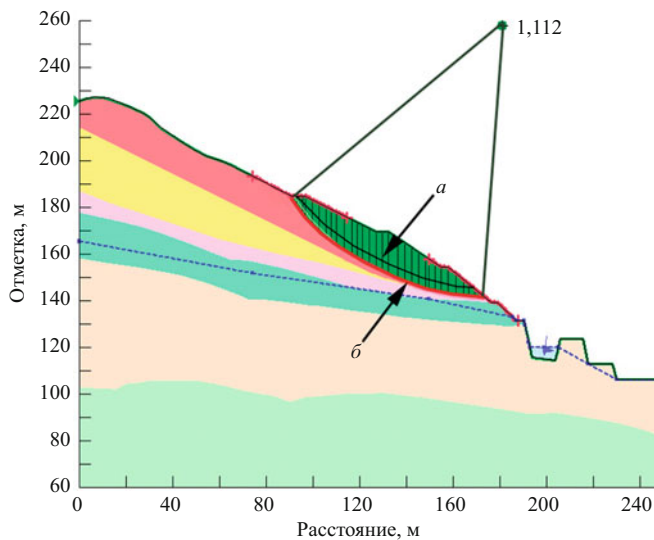


Рис. 5. Поверхность обрушения по натурным данным (а); кривая обрушения откоса на 4 день по расчету в программе “SLOPE/W” (б)

полученными по программе “PLAXIS”. Из таблицы видно, что обрушение откоса происходит на четвертые сутки интенсивных осадков (коэффициент устойчивости 0,992).

Результаты расчетов по программе “SLOPE/W” свидетельствуют о том, что положение наиболее опасной поверхности приблизительно совпадает с фактической поверхностью скольжения. Однако коэффициент устойчивости равен 1,112 после 4,5 дней, т.е. он имеет еще 10 % резерв. Значение коэффициента устойчивости по “PLAXIS” для этого момента времени меньше 1, что соответствует потере устойчивости.

Выводы

1. Сравнение результатов расчетов с натурными данными позволяет сделать вывод об их удовлетворительном совпадении.

2. Продолжительные осадки достаточно сильно влияют на устойчивость откосов, предсказать поведение которых сложно.

3. При определении прочностных характеристик грунтов необходимо учитывать их влажность.

Использование в расчетах значений характеристик при полном водонасыщении приведет к получению наименьшего запаса устойчивости, но не позволит отследить изменение устойчивости во времени.

4. Использование в расчетах изменения влажности грунтов при проникновении осадков и изменения прочностных свойств позволяет реально оценить устойчивость откосов.

5. Положение границы области проникновения осадков влияет на форму поверхности обрушения.

6. В данной работе результат расчете по “SLOPE/W” дает кривую обрушения откоса, совпадающую с реальной кривой обрушения, но расчет по “PLAXIS” дает более удовлетворительный коэффициент устойчивости.

Список литературы

1. Терцаги К. Теория механики грунтов. — М.: ГСИ, 1961. 507 с.
2. Маслов Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. — М-Л.: Госэнергоиздат, 1955. 468 с.
3. Ничипорович А. А. Расчет устойчивости откосов земляных плотин с учетом гидродинамических сил. — М.: ВОДГЕО, 1959. 48 с.
4. Мироненко В. А., Шестаков В. М. Основы гидрогеомеханики. — М.: Недра, 1974. 296 с.
5. Krahn J. Seepage Modeling with SEEP / W. An engineering Methodology. First edition, May 2004.
6. Krahn J. Stability Modeling with SLOPE / W. An engineering Methodology. First edition, May 2004.
7. Баранов И. В. и др. Определение момента потери устойчивости при расчете склонов и откосов // Инженерная геология. 1989. № 5. С. 76 – 80.
8. Пепоян В. С. Некоторые примеры оценки надежности откосов грунтовых гидросооружений // Изв. ВНИИГ. 1989. № 214. С. 60 – 63.
9. Бухарцев В. Н., Нгуэн Хьу Ан. Расчет устойчивости грунтовых откосов по поверхности сдвига, образованной двумя плоскостями // Изв. вузов: Строительство и архитектура. 1985. № 7. С. 83 – 86.
10. Бухарцев В. Н. Пути совершенствования оценки устойчивости грунтовых откосов по предельным состояниям // Материалы конференций и совещаний по гидротехнике. — Л.: ВНИИГ, 1981. С. 99 – 102.
11. Бухарцев В. Н. и др. Опыт использования вариационного подхода в расчетах устойчивости откосов и склонов // Гидротехническое строительство. 1990. № 4. С. 46 – 48.

Оценка проектной надёжности крепления плит водобоя при неполной информации о параметрах расчетных моделей

Кауфман Б. Д., кандидат техн. наук (ОАО «ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева»)

Представлена методика оценки надёжности крепления плит водобоя в условиях неполной информации о нагрузках и параметрах расчетных моделей, основанная на использовании теории возможностей. Полученные интервальные оценки надёжности отдельной плиты и системы плит сопоставлены с вероятностными оценками.

Ключевые слова: водобой, плита крепления, система плит, надёжность, теория вероятностей, теория возможностей, интервальная оценка.

Крепление дна нижнего бьефа водопропускных сооружений является важным элементом большинства гидроузлов. Конструкции водобоя отличаются большим разнообразием в зависимости от напора, схемы сопряжения бьефов и типа основания. Эти сооружения относятся к объектам с экономической ответственностью, их стоимость составляет существенную часть в общей стоимости гидроузла. Поэтому характеристики надёжности (проектной и эксплуатационной) таких объектов подлежат наиболее точной и корректной оценке. В понятие надёжности крепления входят его безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость [1]. Под отказом понимается нарушение работоспособности крепления, и основным количественным показателем надёжности служит вероятность безотказной работы. Единая количественная оценка надёжности крепления как сложной системы со стохастическими связями может быть получена на основе системного подхода [1, 2, 3]. При этом, согласно данным об авариях [4], одной из основных проблем является обеспечение надёжности крепления плит.

Повреждение крепления может быть вызвано рядом причин. Кавитация и наличие твердых включений (мусор, бревна и т.п.) в потоке приводят к появлению каверн и нарушению местной прочности бетона. В результате экстремального понижения случайной силы давления на верхнюю поверхность плиты выталкивающая сила (разность сил давления на низовую и верховую поверхности) может превзойти удерживающее усилие (в случае безанкерного крепления это вес плиты), вследствие чего она приподнимется и может быть вынесена из гнезда. Отказ плиты возможен также при развитии частичной (приводящей к снижению собственного веса) или сквозной эрозии. Таким образом, надёжность крепления плит зависит от целого ряда случайных и неопределенных факторов, что предопределило переход от детерминистических к вероятностным методам её оценки [1, 2, 5]. Однако далеко

не всегда мы располагаем удовлетворительным по качеству и количеству статистическим материалом, позволяющим обоснованно применять методы теории вероятностей.

В последние десятилетия в ряде областей техники (связь, авиа и ракетостроение, компьютеры) для решения задач надёжности в условиях неполной информации применяется теория возможностей [6]. В отличие от теории вероятностей, оперирующей случайными величинами, в теории возможностей используются нечеткие переменные, свойства которых описываются функциями распределения возможностей (ФРВоз). В результате применения теории возможностей получается интервальная оценка надёжности, которая сужается по мере поступления дополнительных данных. Другой способ сужения интервала оценки надёжности — использование комбинированного метода, при котором, в зависимости от информационной обеспеченности, одни переменные рассматриваются как случайные (в терминах теории вероятностей), другие — как нечеткие (в терминах теории возможностей).

Рассмотрим алгоритм оценки вероятности отказа крепления блока на скальном основании, использованный в работе [2]. Устойчивость блоков обеспечивается сцеплением бетона со скалой. Критерий отказа формулируется в виде неравенства $|\sigma| > |\sigma_{кр}|$, а условная вероятность отказа

$$P(|\sigma| > |\sigma_{кр}|), \quad (1)$$

где σ — напряжение на контакте плиты со скалой; $\sigma_{кр}$ — его предельное значение.

Для решения используется математическая модель, разработанная С. М. Мищенко [7]. В ней блок рассматривается как упругая балка, жестко защемленная в основание (рис. 1), совершающая вынужденные изгибно-сдвиговые колебания под воздействием потока. Считается, что блоки разделены между собой температурно-усадочными швами, гер-

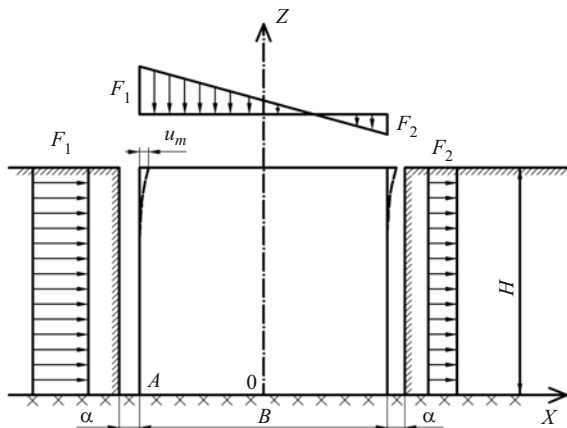


Рис. 1. Расчетная схема изгибно-сдвиговых колебаний блока

метизация которых не предусмотрена. В пределах каждого шва по его длине в горизонтальном направлении выполнено осреднение давлений и скоростей. Колебания в плоскостях XOZ и YOZ рассматриваются раздельно. Для определенности будем рассматривать колебания в плоскости XOZ. В расчетах учитывается одна форма колебаний, которая аппроксимируется упрощенной зависимостью. В качестве обобщенной координаты принято горизонтальное перемещение верхней точки блока U .

При $\sigma < \sigma_{кр}$ имеем возможность безотказной работы $R = 1$ и возможность отказа $Q = \alpha_*$. Из рис. 2 видно, что значение отказа Q остальных точек блока имеет вид

$$U_z = U \varphi\left(\frac{z}{H}\right), \quad (2)$$

где вид функции φ принят таким, каким он будет в условиях статической сдвиго-изгибной деформации под действием эпюры давлений, показанной на рис. 1:

$$\varphi(\xi) = \frac{1}{3\alpha} [(\xi^4 - 4\xi^3 + 6\xi^2) + \beta^2(-3\xi^2 + 4\xi)], \quad (3)$$

$$\text{где } \xi = \frac{z}{H}, \beta = \frac{B}{H}, \alpha = 1 + \frac{\beta^2}{3}.$$

Уравнение колебаний блока имеет вид

$$(1 + k_\mu) \ddot{U} + (v_0 \omega_0 + k_v) \dot{U} + \omega_0^2 U = \frac{1}{\rho_m B} k_p (F_1 - F_2), \quad (4)$$

$$\text{где } k_\mu = 0,2 \frac{\rho_w}{\rho_m} \frac{1}{\beta} \frac{H}{d_0} \frac{1 + 1,76\beta^2 + 0,48\beta^4}{1 + 1,24\beta^2 + 0,49\beta^4};$$

$$k_v = k_\mu g \frac{c_v}{2};$$

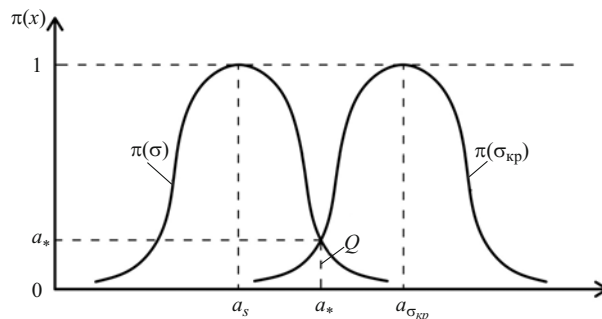


Рис. 2. Функции распределения вероятностей σ и $\sigma_{кр}$

$$k_p = 1,56(1 + 0,33\beta^2) \frac{1 + 0,55\beta^2 + 0,14\beta^4}{1 + 1,24\beta^2 + 0,49\beta^4};$$

$$\omega_0 = 1,02 \sqrt{\frac{E_m}{H^2 \rho_m}} \beta \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,55\beta^2 + 0,14\beta^4}{1 + 1,24\beta^2 + 0,49\beta^4}}.$$

В этих формулах v_0 — коэффициент сопротивления за счет внутреннего трения; ρ_m, ρ_w — плотность бетона и воды; B — ширина блока; H — высота блока; E_m — модуль упругости бетона; c_v — коэффициент сопротивления течения жидкости в шве.

Собственная частота изгибно-сдвиговых колебаний с учетом перетекания воды в швах определяется по формуле

$$\omega_s = \frac{\omega_0}{\sqrt{1 + k_\mu}}. \quad (5)$$

Коэффициент сопротивления колебаниям

$$v = \frac{\omega_0 v_0 + k_v}{\omega_0 \sqrt{1 + k_\mu}}. \quad (6)$$

Коэффициент динамичности

$$k_g = \sqrt{\int_0^\infty \frac{S_p(\omega) d\omega}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_s^2}\right)^2 + 4v^2 \left(\frac{\omega}{\omega_s}\right)^2}}, \quad (7)$$

где $S_p(\omega)$ — нормированный спектр возмущающей нагрузки.

Для расчета напряжений в основании блока пульсационное давление прикладывается в соответствии со схемой, представленной на рис. 1, и умножается на коэффициент динамичности k_g . Для квадратного в плане блока при учете колебаний в плоскостях XOZ и YOZ выражение для минимального напряжения на контакте блока с основанием имеет вид

$$\sigma = g(\rho_m - \rho_w)H + \frac{F_1 - F_2}{2} f_3 - 2kg(F_1 - F_2) \left(\frac{6 - \beta^2}{\beta^2} \right) f_3, \quad (8)$$

где f_3 — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения давления по длине шва.

Максимальные по модулю напряжения в контактом сечении могут быть получены методами сопротивления материалов. В работе [7] приводится зависимость

$$|\sigma| = \frac{3E_m U \beta (2 - \beta^2)}{H(3 + \beta^2)}. \quad (9)$$

Используя для вероятностного решения описанную математическую модель, Т. В. Гавриленко [2] из множества случайных факторов, влияющих на напряжения в контактом сечении, выбирает два, которые играют ведущую роль: коэффициент динамичности k_g , зависящий от размеров и состояния межблочных швов, и давление турбулентного потока над швами F_1 и F_2 . Считая, что обе эти величины подчиняются нормальному закону распределения, и используя метод прямой линеаризации для формулы (8), автор получает выражения для m_σ и D_σ .

Предельные напряжения по контакту с основанием также считаются случайной величиной, распределенной по нормальному закону с математическим ожиданием $m_{\sigma_{кр}}$ и дисперсией $D_{\sigma_{кр}}$. Вероятность отказа плиты определяется по формуле

$$Q(|\sigma| > |\sigma_{кр}|) = 1 - \Phi \left(\frac{m_\sigma - m_{\sigma_{кр}}}{\sqrt{D_\sigma + D_{\sigma_{кр}}}} \right), \quad (10)$$

где Φ — функция нормального распределения (Лапласа).

В качестве примера рассмотрена задача об оценке надёжности крепления плиты восстановленного водобойного колодца Саяно-Шушенской ГЭС с использованием натуральных данных, полученных при его исследованиях [8]. Крепление выполнено в виде бетонных блоков с плановыми размерами $6,25 \times 7,5$ м при максимальной высоте около 9 м, разделенных вертикальными швами. Устройств, препятствующих прониканию пульсации давления в межблочные швы, конструкция не имеет. Устойчивость блоков обеспечивается сцеплением бетона со скалой. Блоки связаны между собой и гидродинамически — через заполненные водой полости межблочных швов, и механически — через основание и опорные шпонки. Поэтому обобщенный коэффициент корреляции между блоками очень высок. Если предположить, что он равен 1, то получим нижнюю оценку надёжности конструкции. Тогда проектная надёжность крепления опре-

делится надёжностью наислабейшего звена. Учитывая специфику гидродинамического воздействия на крепление и данные натуральных исследований, в качестве контрольного избран блок высотой 8 м, расположенный по оси водобойного колодца, центр которого расположен примерно в 30 м от носка водоброса. При расчетах принимались следующие характеристики бетона: $\rho_m = 2400$ кг/м³; $\rho_w = 2,1 \cdot 10^6$ кПа; коэффициент сопротивления колебаниям за счет внутреннего трения $\nu_0 = 0$. Средняя ширина межблочного шва составляет 1,2 мм, дисперсия — 0,16 мм². Учитывая малую ширину шва, можно считать, что течение в нем ламинарное и коэффициент сопротивления течению жидкости в шве, вычисленный по рекомендациям [9], изменится в пределах $1,6 \leq c_v \leq 6,8$. При этом значения коэффициента динамичности, определяемые по графику, приведенному в [7], лежат в пределах 0,49 – 0,73, т.е. $k_g = (0,61 \pm 20)$ %.

Согласно натурным данным, отрицательные пульсационные составляющие давления на дно колодца по абсолютной величине примерно в три раза меньше положительных. Тогда в формуле (8) можно принять, что $F_1 - F_2 = \frac{4}{3} F_1$. В соответствии с теми же данными принято, что математическое ожидание давления над швами $m_{F_1} = 200$ кПа, дисперсия $D_{F_1} = 3600$ кПа², коэффициент, учитывающий неравномерность распределения давления по шву, $f_3 = 0,67$.

Нормированный спектр возмущающей нагрузки

$$S_p(\omega) = \frac{1,25}{\omega_m} \frac{0,15 + \psi^2}{(1,3 + \psi^2)^2}, \quad (11)$$

где $\psi = \frac{\omega}{\omega_m}$; $\omega_m = 2\pi f_0$; f_0 — преобладающая частота в спектре, равная 0,8 Гц [7].

Расчеты, проведенные в работе [2], показали, что при принятых исходных данных математическое ожидание растягивающих напряжений на контакте плиты с основанием $m_\sigma = 297$ кПа, дисперсия $D_\sigma = 37\,288$ кПа².

Оценки математического ожидания и дисперсии критического значения растягивающих напряжений $\sigma_{кр}$, проведенные различными авторами, дают противоречивые результаты. Для Саяно-Шушенской ГЭС по расчетам Ленгидропроекта критические значения напряжений не должны превышать 60 кПа, по [7] они могут достигать 600 кПа. Экспериментальные данные по прочности контактов бетон — скала, полученные для ряда гидроузлов, дают значения $\sigma_{кр}$ от 150 до 1000 кПа. Таким образом, $\sigma_{кр}$ представляется существенно неопределенной величиной. Осреднив имеющиеся оценки с по-

мощью известных статистических формул, Т. В. Гавриленко [2] получила $m_{\sigma_{кр}} = 422$ кПа, $D_{\sigma_{кр}} = 6350$ кПа². Вероятность отказа контрольного блока, вычисленная по формуле (10), составила $Q = 0,278$.

Рассмотрим эту задачу с применением теории возможностей, для чего приведем краткую информацию о сущности теории расчета надёжности этим методом. Будем считать, что σ и $\sigma_{кр}$ — независимые нечеткие переменные, для описания которых воспользуемся часто используемой математической моделью ФРВоз вида

$$\pi(x) = \exp\{-[(x-a)/b]^2\},$$

где $a = 0,5(X_{\max} + X_{\min})$; $b = 0,5(X_{\max} - X_{\min})/\sqrt{-\ln \alpha}$; α — уровень среза или уровень риска ($\alpha \in [0, 1]$). Значением α задаются. В соответствии с рекомендациями, приведенными в работе [10], примем $\alpha = 0,2$.

На рис. 2 представлены ФРВоз σ и $\sigma_{кр}$. Ищем событие — возможность $\sigma > \sigma_{кр}$, т.е. отказ Q . Определим из совместного решения ФРВоз $\pi(\sigma)$ и $\pi(\sigma_{кр})$ при $\alpha^* = \sigma = \sigma_{кр}$, которое находится в интервале $\alpha^* \in [\alpha_{\sigma}; \alpha_{\sigma_{кр}}]$.

Узнаем параметры ФРВоз этих величин. Для корректного сопоставления с вероятностным расчетом примем, что параметры a соответствуют математическим ожиданиям, т.е.

$$\alpha_{F_1} = m_{F_1} = 200 \text{ кПа}; \quad \alpha_{k_g} = m_{k_g} = 0,61; \quad \alpha_{\sigma_{кр}} = m_{\sigma_{кр}} = 422 \text{ кПа}.$$

Найдем параметры b . Дисперсия давления $D_{F_1} = 3600$ кПа², среднеквадратическое отклонение составляет $\sigma_{F_1} = \sqrt{D_{F_1}} = 60$ кПа. Для определения $F_{1\min}$ и $F_{1\max}$ воспользуемся компьютерной программой и сгенерируем множество случайных значений F_1 при $m_{F_1} = 200$ кПа, $\sigma_{F_1} = 60$ кПа, $n = 5$: $\{F_1\} = \{264,0; 219,7; 179,3; 165,9; 144,1\}$. Следовательно, $F_{1\min} = 144,1$ кПа; $F_{1\max} = 264$ кПа. Тогда $b_{F_1} = (264 - 144,1)/2\sqrt{-\ln(0,2)} = 47,3$ кПа.

Критические напряжения $D_{\sigma_{кр}} = 6350$ кПа², среднеквадратическое отклонение $\sqrt{D_{\sigma_{кр}}} = 79,7$ кПа. Применив аналогичную процедуру, получим искомые параметры для $\sigma_{кр}$: $\sigma_{кр \min} = 342,3$ кПа, $\sigma_{кр \max} = 501,7$ кПа; $b_{\sigma_{кр}} = 62,8$ кПа.

Зная параметры ФРВоз входящих в формулу (8) нечетких величин, определим a_{σ} и b_{σ} : $a_{\sigma} = 297$ кПа; $b_{\sigma} = 122,4$ кПа. Имеем систему уравнений, состоящую из двух ФРВоз для σ и $\sigma_{кр}$:

$$\begin{cases} \pi_{\sigma_{кр}}(x) = \exp\{-[(x-422,0)/62,8]^2\}; \\ \pi_{\sigma}(x) = \exp\{-[(x-297,0)/122,4]^2\}. \end{cases} \quad (12)$$

Решив систему (12), получим абсциссу точки пересечения двух ФРВоз $x^* = 380,0$. Подставив это значение в любое из уравнений (12), найдём значение верхней границы возможности отказа $Q = \pi_{\sigma}(380,0) = 0,631$. Таким образом, интервал отказа $[0; 0,631]$.

Переходя к комбинированному методу оценки возможности отказа крепления плиты, будем считать σ случайной величиной, распределённой по нормальному закону. Анализ имеющихся данных показывает, что $\sigma_{кр}$ является более неопределённой и будем считать её нечеткой. Для определения верхней и нижней границ интервала отказа крепления плиты воспользуемся формулами, приведенными в работе [11]:

$$\begin{aligned} \bar{Q} &= \int_{\alpha_S}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{\sigma}}} \times \\ &\times \exp\left[-\frac{(x-m_{\sigma}^2)}{2D_{\sigma}}\right] \left\{ 1 - \exp\left[-\frac{(x-a_{\sigma_{кр}})^2}{b_{\sigma_{кр}}^2}\right] \right\} dx; \\ \underline{Q} &= \int_0^{\alpha_S} \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{\sigma}}} \times \\ &\times \exp\left[-\frac{(x-m_{\sigma}^2)}{2D_{\sigma}}\right] \left\{ \exp\left[-\frac{(x-a_{\sigma_{кр}})^2}{b_{\sigma_{кр}}^2}\right] \right\} dx + \\ &+ \int_0^{\alpha_S} \frac{1}{\sqrt{2\pi D_{\sigma}}} \exp\left[-\frac{(x-m_{\sigma}^2)}{2D_{\sigma}}\right] dx. \end{aligned} \quad (13)$$

Получим $\underline{Q} = 0,177$, $\bar{Q} = 0,361$, что существенно уже чисто возможностной оценки. Вероятностная оценка отказа составляет 0,278 и лежит внутри интервалов, полученных как возможностным, так и комбинированным методом.

Переходя к оценке надёжности системы плит, отметим, что выход из строя хотя бы одной из плит приводит к отказу всей системы в целом. В теории надёжности такие системы называются последовательными. Вероятность отказа системы последовательно соединённых элементов определяется методом обобщённой ковариации [12]:

$$Q = k_{\max} Q_i + (1-k)[1 - \prod_{i=1}^n (1-Q_i)], \quad (14)$$

где Q_i — вероятность отказа i -й плиты; k — обобщённый коэффициент корреляции системы.

Так как $0 < k < 1$, то для вероятности отказа системы Q можно получить следующую оценку:

$$1 - \prod_{i=1}^n (1-Q_i) \leq Q \leq \max Q_i. \quad (15)$$

Зависимость (15) определяет область возможных значений Q при отсутствии информации о корреляционной связи между отказами отдельных плит. Для рассматриваемого примера при $k=0$ $Q=0,20$; при $k=1$ $Q=0,72$, что свидетельствует о существенной роли коэффициента корреляции, значение которого, как правило, остается неизвестным.

Оценим вероятность отказа водобоя при среднем значении коэффициента корреляции $k=0,5$. Будем считать, что блоки, контактирующие с контрольным по четырем сторонам, находятся в одинаковом с ним положении и вероятность отказа для них также составляет $Q_i=0,278$. Тогда по формуле (14) вероятность отказа системы из пяти блоков составит $Q=0,46$.

При определении возможности безотказной работы P и возможности отказа Q последовательной системы в теории возможностей, в отличие от вероятностного метода, операция перемножения (пересечения) заменяется операцией \min , а операция сложения (объединения) — операцией \max [13]:

$$P = \min_{i=1\dots n} P_i; Q = \max_{i=1\dots n} Q_i.$$

Отсюда видно, что надёжность последовательной системы с одинаковыми элементами совпадает с надёжностью отдельного элемента. На первый взгляд, данное заключение кажется парадоксальным, так как из классической теории надёжности, основанной на теории вероятностей, известно, что надёжность последовательного соединения всегда меньше надёжности его элементов и увеличение числа элементов в системе приводит к снижению надёжности всей системы. В работе [14] рассматривается проблема надёжности механической системы, состоящей из отдельных элементов, расчёт надёжности которых был произведен комбинированным методом. Когда установить степень взаимодействия между элементами не удастся, предлагается проводить оценку надёжности системы по методике последовательного соединения при отсутствии информации о независимости элементов. Для этого случая приводится расчетная формула

$$\underline{P} = \max \left\{ 0, \sum_{i=1}^n \underline{P}_i - (n-1) \right\}, \bar{P} = \min \bar{P}_i, \quad (16)$$

где $\underline{P}_i, \bar{P}_i$ — нижние и верхние значения вероятности безотказной работы элементов; n — количество элементов системы.

Следуя этой методике, получим $\underline{P}=0; \bar{P}=0,82$. Соответственно, для возможности отказа имеем $\underline{Q}=0,18; \bar{Q}=1$.

Метод оценки	Одиночная плита	Система плит
Вероятностный	0,278	0,46 (0,20 – 0,72)
Возможностный	0 – 0,631	0 – 0,631
Комбинированный	0,177 – 0,361	0,18 – 1,0

Вероятности отказа отдельной плиты и системы из пяти плит для рассмотренного примера приведены в таблице.

Полученные результаты показывают, что производить оценку надёжности системы плит крепления водобоя без какой-либо информации о корреляционных связях между ними не имеет смысла. Отсутствие подобной информации не может быть восполнено применением новых методик расчета.

Список литературы

1. Беллендир Е. Н., Ивашинов Д. А., Стефанишин Д. В., Финагенов О. М., Шульман С. Г. Вероятностные методы оценки надёжности грунтовых гидротехнических сооружений. — СПб.: ОАО “ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева”, 2003.
2. Гавриленко Т. В. Анализ надёжности водосброса на основе системного подхода // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1993. Т. 227. С. 84 – 90.
3. Стефанишин Д. В., Шульман С. Г. Проблемы надёжности гидротехнических сооружений. — СПб. ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1991. 51 с.
4. XIII International Congress on Large Dams. Paris. 1994. V. 4.
5. Левина С. М., Томашевский Б. А. Оценка надёжности плитного крепления дна нижнего бьефа водосбросных сооружений // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1999. Т. 234. С. 89 – 95.
6. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложение к представлению знаний в информатике. — М.: Радио и связь, 1990. 228 с.
7. Мищенко С. М. Силовое воздействие потока на дно водобойного колодца // Известия ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1991. Т. 208. С. 22 – 29.
8. Буханов В. В., Гавриленко Т. В., Уляшинский В. А., Шабанов В. Н. Динамика перемещений блоков крепления дна водобойного колодца Саяно-Шушенской ГЭС // Энергетическое строительство. 1992. № 5. С. 55 – 58.
9. Ломидзе Г. М. Фильтрация в трещиноватых породах. — Л.-М.: Гостехиздат, 1951.
10. Уткин В. С. Значение уровня риска в теории возможностей // Строительные материалы. 2004. № 8. С. 35.
11. Галаева Н. Л., Уткин В. С. Определение надёжности элементов конструкций по критерию прочности комбинированным методом // Строительная механика и расчет сооружений. 2008. № 3 (218). С. 42 – 46.
12. Кудзис А. П. Оценка надёжности железобетонных конструкций. — Вильнюс: Моклас, 1985. 155 с.
13. Уткин В. С., Уткин Л. В. Несущая способность и надёжность строительных конструкций. — Вологда: ВоГТУ, 2000. 152 с.
14. Гуров С. В., Уткин Л. В. Надёжность систем при неполной информации. — СПб.: Любавич, 1999. 160 с.

Пропуск холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС (часть 2)

Волшаник В. В., Зуйков А. Л., доктора техн. наук,
Орехов Г. В., кандидат техн. наук, Чурин П. С., аспирант (МГСУ)

Рассмотрены варианты пропуска холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной гидроэлектростанции с установкой контрвихревого гасителя избыточной механической энергии потока перед спиральной турбинной камерой и в камере рабочего колеса гидротурбины, а также вариант совмещенного энерговодосбросного тракта с врезкой холостого водовыпуска в турбинный водовод и регулированием пропускаемого холостого расхода вихревым затвором. Показано, что вариант совмещенного энерговодосбросного тракта является оптимальным как по пропускной способности, так и по динамическим нагрузкам на элементы проточного тракта.

Ключевые слова: холостой расход, средне- и высоконапорные ГЭС, турбинная камера, направляющий аппарат, рабочее колесо, отсасывающая труба, турбинный блок, контрвихревой водосброс, гаситель энергии, вихревой затвор, динамика.

В предыдущей статье [1] рассмотрены варианты пропуска холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС при застопоренном или снятом рабочем колесе. Было показано, что эти варианты пропуска холостых расходов при средних или высоких напорах неприемлемы.

Теперь рассмотрим вполне приемлемые варианты, отличительной особенностью которых является гашение избыточной механической энергии холостого потока в пределах проточного тракта на гидравлическом сопротивлении, создаваемом специальным временным напорным гасителем, впоследствии демонтируемым при вводе ГЭС в постоянную эксплуатацию. Гаситель позволяет выводить в отсасывающую трубу поток с невысокой остаточной мощностью. В качестве гасителя избыточной механической энергии потока мы будем рассматривать контрвихревой водосброс, описание и методы гидравлического расчета которого хорошо известны и вошли в нормативную, справочную и специальную литературу [2 – 4]. Впрочем, в качестве напорного гасителя может использоваться любая иная конструкция. Как и в предыдущей статье [1], при описании тех или иных решений в качестве примера мы будем ориентироваться на высоконапорную Саяно-Шушенскую ГЭС. Однако результаты работы не следует относить непосредственно к СШГЭС, они имеют обобщающий характер и в равной степени относятся к любой средне- или высоконапорной станции.

В качестве первого варианта рассмотрим установку контрвихревого гасителя перед турбинной камерой (рис. 1). Направляющие (закручивающие) поток лопасти этого гасителя являются неповоротными (жестко закреплёнными). Во время сброса холостых расходов рабочее колесо отсутствует, турбинная шахта закрыта крышкой гидротурбины, имеющей регулируемый воздухопровод срыва вакуума.

Расход контрвихревого гасителя вычисляется по формуле

$$Q = \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH_d}, \quad (1)$$

где μ — коэффициент расхода; D — диаметр камеры смещения контрвихревого гасителя, принимается равным диаметру турбинного водовода $D = 6,5$ м; g — гравитационное ускорение, $g = 9,81$ м/с²; H_d — действующий напор

$$H_d = H - h_w - H_1, \quad (2)$$

где H — напор по разности отметок ВБ и оси контрвихревого гасителя, $H = 200$ м; H_1 — гидродинамический напор после гасителя перед спиральной камерой, h_w — гидравлические потери в подводящем водоводе

$$h_w = \frac{\Sigma \zeta}{2g} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2, \quad (3)$$

где $\Sigma \zeta$ — суммарный коэффициент гидравлического сопротивления подводящего напорного тракта, $\Sigma \zeta = 0,817$ (вычислен ранее в статье [1]).

С другой стороны, тот же расход определяется пропускной способностью спиральной камеры и направляющего аппарата, равной

$$Q = m \pi R^2 \sqrt{2gH_0}, \quad (4)$$

где m — коэффициент расхода, $m = 0,261$ (вычислен ранее в статье [1]); R — радиус входного сечения конуса отсасывающей трубы, $R = 3,125$ м; H_0 — действующий напор, вычисляемый как разность:

$$H_0 = H_1 - \frac{P_0}{\rho g}, \quad (5)$$

где P_0 — давление в вихревом жгуте, формирующемся в конусе отсасывающей трубы; ρ — плотность воды.

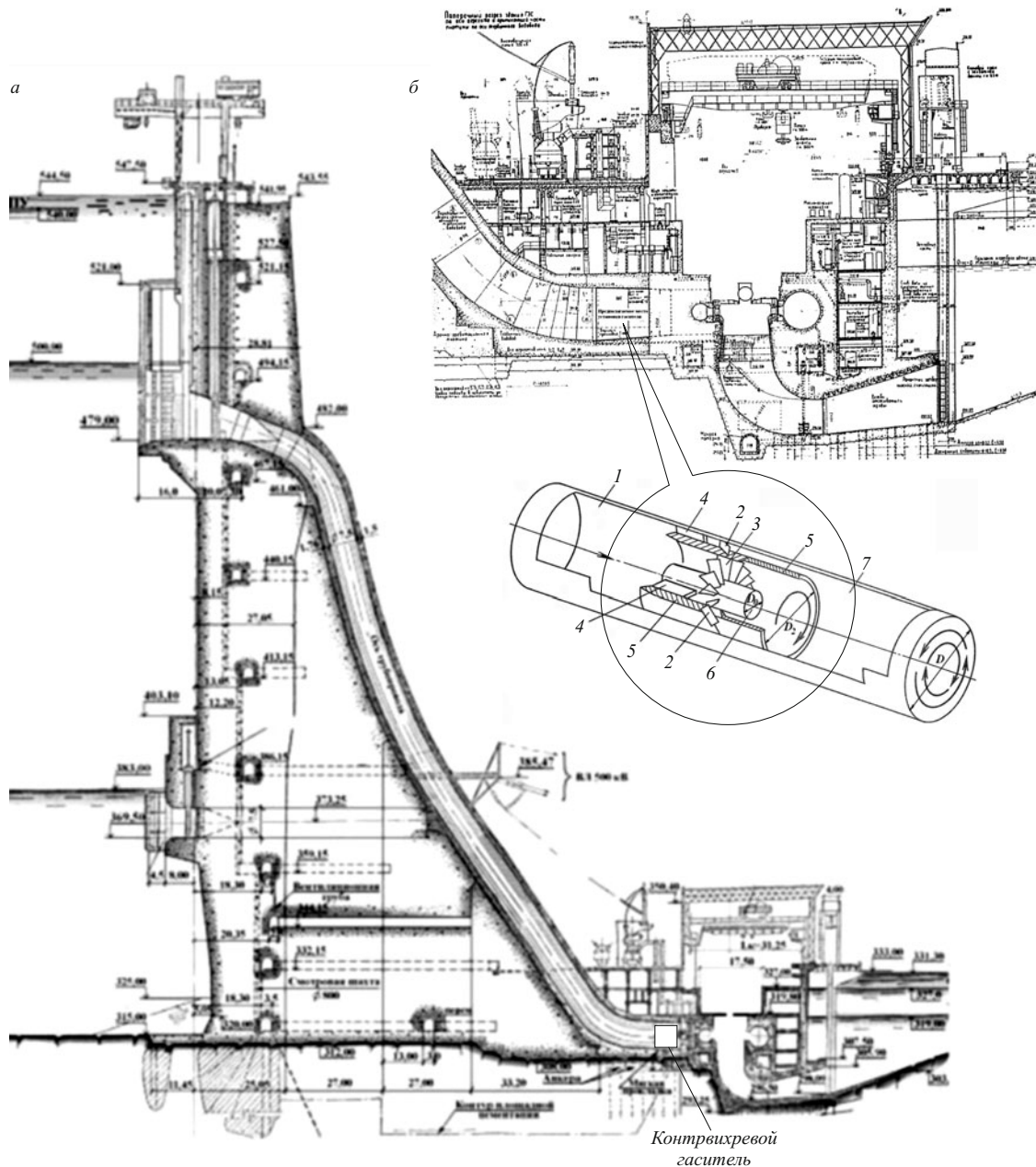


Рис. 1. Вариант установки контрвихревого гасителя перед турбинной камерой: *a* — общий вид турбинного проточного тракта; *б* — расчетная схема контрвихревого гасителя; 1 — подводящий водовод; 2 — узел закрутки периферийного потока; 3 — узел закрутки внутреннего потока; 4 — опорные бычки; 5 — кольцевой обтекатель; 6 — центральный обтекатель; 7 — камера взаимодействия потоков

Деля (1) на

$$\frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH}$$

и возводя в квадрат, с учетом (2) находим

$$\left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \frac{1}{2gH} = \mu^2 \left(1 - \frac{h_W}{H} - \frac{H_1}{H} \right).$$

Но согласно (3)

$$\frac{h_W}{H} = \frac{\Sigma \zeta}{2gH} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2,$$

и согласно (4) и (5)

$$\frac{H_1}{H} = \left(\frac{Q}{\pi R^2} \right)^2 \frac{1}{m^2 2gH} + \frac{p_0}{\rho gH}.$$

Отсюда получаем уравнение

$$\left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \frac{1}{2gH} = \mu^2 \left[1 - \frac{p_0}{\rho gH} - \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \frac{\Sigma \zeta}{2gH} - \left(\frac{Q}{\pi R^2} \right)^2 \frac{1}{m^2 2gH} \right],$$

решая которое относительно коэффициента расхода контрвихревого гасителя, в результате находим

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi D^2}{4Q}\right)^2 2g\left(H - \frac{p_0}{\rho g}\right) - \left[\Sigma\zeta + \frac{1}{m^2}\left(\frac{D}{2R}\right)^4\right]}}$$

Задавая различные значения пропускаемого расхода Q при известных напоре $H = 200$ м, давлении в жгутах $P_0/\rho g = -10$ м в конусе отсасывающей трубы, диаметре напорного турбинного водовода и камеры смешения контрвихревого гасителя $D = 6,5$ м, коэффициенте гидравлического сопротивления турбинного водовода $\Sigma\zeta = 0,817$ коэффициенте расхода спиральной камеры $m = 0,261$ и входном радиусе конуса отсасывающей трубы $R = 3,125$ м, можно вычислить коэффициенты расхода контрвихревого гасителя μ . Далее можно вычислить: потери в турбинном водоводе h_w по (3), гидродинамический напор перед спиральной камерой:

$$H_1 = \left(\frac{Q}{\pi R^2}\right)^2 \frac{1}{m^2 2g} + \frac{p_0}{\rho g};$$

гашение энергии в пределах контрвихревого гасителя, равное напору по (2), рассеиваемую в гасителе мощность:

$$N_{\text{кг}} = \rho g Q H_{\text{д}};$$

удельную энергию потока, поступающего в отсасывающую трубу [4]:

$$E = \frac{p_0}{\rho g} + m^2 \left(\frac{1}{\omega_0^2} + \frac{A^2}{1 - \omega_0} \right) \left(H_1 - \frac{p_0}{\rho g} \right),$$

где геометрическая характеристика спиральной камеры и направляющего аппарата и относительная площадь кольцевого сечения закрученного потока вычислены ранее в статье [1] и соответственно равны $A = 2,259$ и $\omega_0 = 0,486$; мощность, рассеиваемую в пределах отсасывающей трубы:

$$N = \rho g Q E.$$

Эти данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Q , м ³ /с	μ	h_w , м	H_1 , м	$H_{\text{д}}$, м	$N_{\text{кг}}$, МВт	E , м	N , МВт
1	200	0,102	1,51	21,8	176,7	346,7	20,7	40,6
2	250	0,135	2,36	39,7	158,0	387,4	37,9	93,0
3	300	0,176	3,40	61,5	135,1	397,5	59,0	173,7
4	350	0,229	4,63	87,4	108,0	370,8	83,9	288,2

Из расчетных вариантов требуется выбрать оптимальный, обеспечивающий, с одной стороны, пропуск существенного холостого расхода, а с другой – гашение энергии потока двумя ступенями, что делит общий действующий на турбинном блоке напор и этим снижает динамические нагрузки на элементы проточного тракта. По нашему мнению, это вариант 3 в табл. 1. Отметим, что пропускаемый при такой схеме холостой расход (300 м³/с) будет ниже расхода гидроагрегата при номинальном режиме работы (360 м³/с).

Расчет контрвихревого гасителя сводится к выбору типа и определению размеров его проточной части по найденному коэффициенту расхода ($\mu = 0,176$) при обеспечении полного гашения циркуляции взаимодействующих закрученных потоков. Для этого записывается система, состоящая из двух уравнений [4]:

уравнения пропускаемого контрвихревым гасителем расхода:

$$Q = Q_1 + Q_2 = (\mu_1 D^2 + \mu_2 D_2^2) \frac{\pi}{4} \sqrt{2gH_{\text{д}}}, \quad (6)$$

уравнения баланса моментов количества движения, обеспечивающего гашение циркуляции при взаимодействии противоположно закрученных потоков:

$$M_1 - M_2 = (u_1 D Q_1 - u_2 D_2 Q_2) \frac{\rho}{2} = 0, \quad (7)$$

где Q_1 и Q_2 — соответственно расходы периферийного и внутреннего закрученных потоков; μ_1 и μ_2 — коэффициенты расхода периферийного и внутреннего закрученных потоков; D_2 — диаметр канала внутреннего закрученного потока (рис. 1, б); M_1 и M_2 — моменты количества движения периферийного и внутреннего закрученных потоков соответственно; u_1 и u_2 — окружные скорости у стенок камер закрутки периферийного и внутреннего потоков.

Деля уравнение (6) на

$$\frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gH_{\text{д}}},$$

с учетом (1) находим

$$\mu = \mu_1 + k^2 \mu_2, \quad (8)$$

где левая часть известна ($\mu = 0,176$ — табл. 1, строка 3), а в правой обозначено

$$k = \frac{D_2}{D}. \quad (9)$$

Коэффициент расхода любого локального завихрителя, в том числе лопастного (принятого для конвирхревого гасителя на рис. 1, б), подчиняется равенству, согласно которому для завихрителей периферийного и внутреннего закрученных потоков можно записать [4]

$$\mu_1 = \frac{\omega_{01}\sqrt{\omega_{01}}}{\sqrt{2-\omega_{01}}}; \quad \mu_2 = \frac{\omega_{02}\sqrt{\omega_{02}}}{\sqrt{2-\omega_{02}}},$$

где ω_{01} , ω_{02} — соответственно относительные площади кольцевых сечений периферийного и внутреннего закрученных потоков.

В результате получаем уравнение (8) в виде

$$\frac{\omega_{01}\sqrt{\omega_{01}}}{\sqrt{2-\omega_{01}}} + k^2 \frac{\omega_{02}\sqrt{\omega_{02}}}{\sqrt{2-\omega_{02}}} = \mu, \quad (10)$$

связывающем между собой относительные площади периферийного ω_{01} и внутреннего ω_{02} кольцевых закрученных потоков.

Момент количества движения закрученного потока согласно [2, 4] определяется выражением

$$M = \rho u \frac{D}{2} Q = \rho \mu^2 A \frac{\pi D^3}{4} g H_d,$$

которое с учетом (9) позволяет привести (7) к уравнению

$$\mu_1^2 A_1 - k^3 \mu_2^2 A_2^3 = 0. \quad (11)$$

Но геометрические характеристики локальных завихрителей периферийного и внутреннего закрученных потоков (A_1 и A_2 соответственно), определяемые типом и размерами их проточной части, связаны с ω_{01} и ω_{02} равенствами [4]

$$A_1 = \frac{1-\omega_{01}}{\omega_{01}} \sqrt{\frac{2}{\omega_{01}}}; \quad A_2 = \frac{1-\omega_{02}}{\omega_{02}} \sqrt{\frac{2}{\omega_{02}}}. \quad (12)$$

Тогда, подставляя значения μ_1 , μ_2 , A_1 и A_2 в (11), получим второе уравнение, связывающее между собой относительные площади сечений периферийного ω_{01} и внутреннего ω_{02} кольцевых закрученных потоков:

$$\frac{\omega_{01}(1-\omega_{01})\sqrt{\omega_{01}}}{2-\omega_{01}} - k^3 \frac{\omega_{02}(1-\omega_{02})\sqrt{\omega_{02}}}{2-\omega_{02}} = 0. \quad (13)$$

Таким образом, имеются два уравнения (10) и (13) с двумя неизвестными ω_{01} и ω_{02} , следовательно, система расчетных уравнений является замкнутой. Согласно рекомендациям [4] соотношение (9)

принимается равным $k = 0,8$. При заданном μ решение системы (10) – (13) может быть получено численным методом или графически. Далее согласно (12) вычисляются геометрические характеристики (A_1 и A_2) локальных завихрителей. Одновременно можно вычислить диаметры вихревых жгутов периферийного и внутреннего закрученных потоков:

$$d_{01} = D\sqrt{1-\omega_{01}}; \quad d_{02} = D_2\sqrt{1-\omega_{02}}.$$

Результаты расчетов для варианта 3 при $\mu = 0,176$ приведены в табл. 2.

Геометрическая характеристика завихрителя с радиальным расположением направляющих поток лопаток определяется равенством [4]

$$A = \frac{\pi R_1 R_0}{\Omega} \sin \beta_{\text{л}}, \quad (14)$$

где R_1 и R_0 — периферийный радиус закрепления лопаток направляющего аппарата (НА) завихрителя (радиус канала) и эффективный радиус; $\beta_{\text{л}}$ — угол установки лопаток НА по отношению к оси водовода; Ω — площадь водопропускного сечения между лопатками НА, нормальная к вектору скорости сходящего с них потока.

Эффективный радиус R_0 и площадь Ω вычисляются по формулам

$$\left. \begin{aligned} R_0 &= \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2}{2}}, \\ \Omega &= \int_{R_2}^{R_1} 2\pi r \cos \beta_{\text{л}} dr = \pi(R_1^2 - R_2^2) \cos \beta_{\text{л}}, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где R_2 — внутренний радиус закрепления лопаток НА (радиус втулки); r — текущий радиус.

Подставляя равенства (15) в (14), находим

$$A = \frac{\sqrt{1+k^2}}{\sqrt{2}(1-k^2)} \operatorname{tg} \beta_{\text{л}},$$

или

$$\beta_{\text{л}} = \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-k^2)}{\sqrt{1+k^2}} A \right], \quad (16)$$

Т а б л и ц а 2

Завихритель	ω_0	D , м	A	d_0 , м	$\beta_{\text{л}}$, град
Периферийный	0,209	6,50	11,707	5,78	77,87
Внутренний	0,353	5,20	4,360	4,18	60,02

где k — соотношение внутреннего и внешнего радиусов закрепления лопаток:

$$\bar{k} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (17)$$

Следуя (16) и (17), вычисляются углы разворота лопаток НА периферийного и внутреннего локальных завихрителей.

Для периферийного завихрителя (рис. 1, б)

$$\bar{k} = \frac{R_2}{R_1} = k = \frac{D_2}{D} = 0,8,$$

тогда при $A_1 = 11,707$ находим

$$\begin{aligned} \beta_{\text{л1}} &= \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-k^2)}{\sqrt{1+k^2}} A_1 \right] = \\ &= \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-0,8^2)}{\sqrt{1+0,8^2}} 11,707 \right] = 77,87 \text{ град.} \end{aligned}$$

Для внутреннего завихрителя при $D_0 = d_0 = 4,18$ м

$$\bar{k} = \frac{D_0}{D_2} = \frac{D_0}{kD} = \frac{4,18}{0,8 \cdot 6,5} = 0,8,$$

тогда при $A_2 = 4,360$ получим

$$\begin{aligned} \beta_{\text{л2}} &= \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-\bar{k}^2)}{\sqrt{1+\bar{k}^2}} A_2 \right] = \\ &= \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-0,8^2)}{\sqrt{1+0,8^2}} 4,360 \right] = 60,02 \text{ град.} \end{aligned}$$

Таким образом, при установке контрвихревого гасителя перед спиральной камерой пропускная способность турбинного блока со снятым рабочим колесом при геометрическом напоре $H = 200$ м составит $Q = 300$ м³/с, при этом в контрвихревом гасителе обеспечивается рассеивание мощности $N_{\text{кг}} = 397,5$ МВт, а в отсасывающей трубе $N = 173,7$ МВт (табл. 2).

Прогнозируемая амплитуда пульсаций давления в отсасывающей трубе и под крышкой гидротурбины, связанных со жгутовой неустойчивостью течения, будет достигать значений порядка [1]

$$\Delta H = \pm 3\sigma E = \pm 3 \cdot 0,108 \cdot 59,0 = \pm 19,1 \text{ м.}$$

В контрвихревом гасителе уровень пульсаций при стандарте по напору, равном $\sigma = 0,06$ [4], составит

$$\Delta H = \pm 3\sigma H_{\text{д}} = \pm 3 \cdot 0,06 \cdot 135,1 = \pm 24,3 \text{ м.}$$

В целом можно сказать, что по динамике вариант с пропуском холостого расхода через контрвихревую гаситель, установленный перед спиральной камерой, работает удовлетворительно, но пропускная способность его невысока. К достоинствам данной схемы относится возможность регулирования расхода смонтированным направляющим аппаратом гидротурбины, к недостаткам — необходимость демонтажа контрвихревого гасителя при установке рабочего колеса и переводе турбинного блока в постоянную эксплуатацию.

Рассмотрим вариант установки контрвихревого гасителя в камере рабочего колеса гидротурбины. В период сброса холостых расходов рабочее колесо отсутствует, турбинная шахта закрыта крышкой гидротурбины, имеющей регулируемый воздухопровод срыва вакуума.

Расчетная схема фрагмента проточного тракта с установленным в камере рабочего колеса гидротурбины контрвихревым гасителем показана на рис. 2. В контрвихревом гасителе по этому варианту один из коаксиальных закрученных потоков (внутренний 2) формируется спиральной камерой и направляющим аппаратом гидротурбины, т.е. используются элементы турбинного блока. Второй (периферийный 1) закрученный поток обратного по отношению к внутреннему потоку направления вращения формируется обтекателем 3 с закрепленными между ним и стенками камеры рабочего колеса неповоротными лопастями.

Расход данного контрвихревого гасителя вычисляется по формуле

$$Q = \mu \pi R^2 \sqrt{2gH_{\text{д}}}, \quad (18)$$

где R — радиус входного сечения конуса отсасывающей трубы, $R = 3,125$ м; $H_{\text{д}}$ — действующий напор:

$$H_{\text{д}} = H - h_{\text{в}} - \frac{p_0}{\rho g}, \quad (19)$$

где гидравлические потери в турбинном тракте $h_{\text{в}}$ вычисляются согласно (3).

Тогда (18) с учетом (19) можно привести к виду

$$\frac{Q^2}{(\pi R^2)^2 2gH} = \mu^2 \left[1 - \frac{\Sigma \zeta}{2gH} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 - \frac{p_0}{\rho g H} \right],$$

откуда находим коэффициент расхода контрвихревого гасителя

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi R^2}{Q}\right)^2 2g\left(H - \frac{p_0}{\rho g}\right) - \Sigma\zeta\left(\frac{2R}{D}\right)^4}}$$

Задавая пропускаемый расход Q при известных напоре $H = 200$ м, давлении в жгуге в конусе отсасывающей трубы $P_0/\rho g = -10$ м, диаметре турбинного водовода $D = 6,5$ м, коэффициенте гидравлического сопротивления $\Sigma\zeta = 0,817$, входном радиусе конуса отсасывающей трубы $R = 3,125$ м, можно вычислить соответствующие заданному Q коэффициенты расхода контрвихревого гасителя μ . Одновременно вычисляются потери в турбинном водоводе h_W по (3), напор на контрвихревом гасителе H_d по (19) и рассеиваемая в гасителе мощность

$$N_{кр} = \rho g Q (H - h_W).$$

Эти данные сведены в табл. 3.

При расходах выше $Q = 500$ м³/с контрвихревым гасителем в камере рабочего колеса и конусе отсасывающей трубы рассеивается мощность более $N_{кр} = 1000$ МВт, это ведёт к динамической перегрузке конструкции. Принимая в качестве расчетного вариант 7 в табл. 3, подбор ключевых размеров контрвихревого гасителя выполняем в порядке, описанном выше.

Прежде всего, по уравнениям (10) и (13) вычисляются значения ω_{01} и ω_{02} при заданных $k = 0,8$ и μ . Далее согласно (12) вычисляются геометрические характеристики (A_1 и A_2), по которым назначаются размеры локальных завихрителей.

Результаты расчетов для варианта 7 при $\mu = 0,260$ показаны в табл. 4.

В качестве периферийного завихрителя принимается лопастной с радиальным расположением направляющих поток лопаток, геометрическая характеристика которого определяется по (14). Завихритель должен выполнять разворот потока в сторону, обратную закрутке спиральной камеры и направляющего аппарата гидротурбины. При этом углы разворота лопастей на выходе из завихрителя определяются по формуле (16). Отсюда находим

$$\begin{aligned} \beta_{л1} &= \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-k^2)}{\sqrt{1+k^2}} A_1 \right] = \\ &= \arctg \left[\frac{\sqrt{2}(1-0,8^2)}{\sqrt{1+0,8^2}} 7,984 \right] = 72,51 \text{ град.} \end{aligned}$$

Завихрителем внутреннего закрученного потока служит верхняя часть направляющего аппарата гидротурбины высотой $0,6b$ (где b — высота лопа-

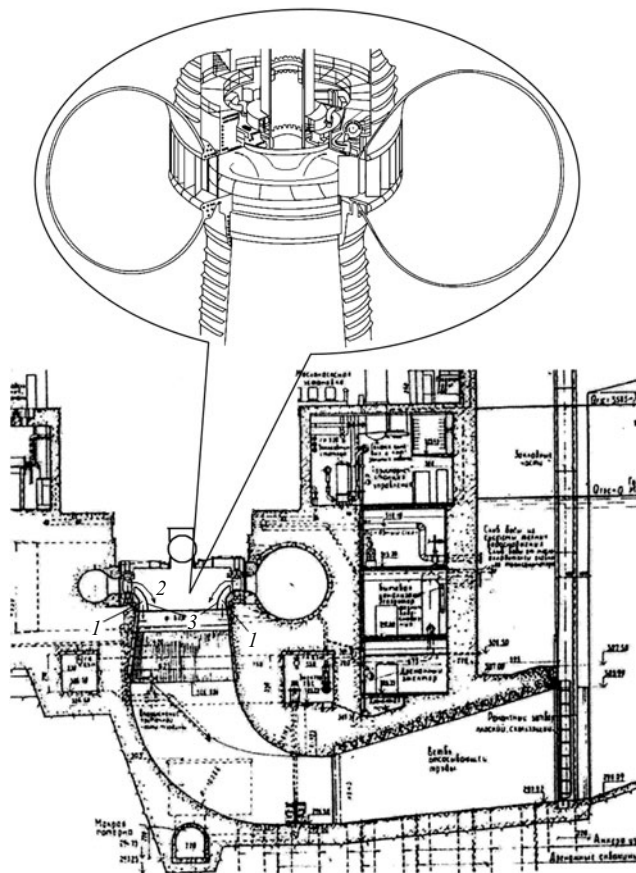


Рис. 2. Вариант установки контрвихревого гасителя в камере рабочего колеса гидротурбины: 1 — периферийный закрученный поток; 2 — внутренний закрученный поток; 3 — обтекатель

ток направляющего аппарата, $b = 1,17$ м). Геометрическая характеристика локального завихрителя этого типа рассчитывается по несколько измененной формуле (14)

$$A_2 = \frac{\pi R_2 R_{л2}}{\Omega_2} \cos \beta_{л2},$$

Таблица 3

№ п/п	Q , м ³ /с	μ	h_W , м	H_d , м	$N_{кр}$, МВт
1	200	0,102	1,51	208,5	389,4
2	250	0,128	2,36	207,6	484,7
3	300	0,154	3,40	206,6	578,6
4	350	0,180	4,63	205,4	670,8
5	400	0,206	6,05	203,9	761,1
6	450	0,233	7,66	202,3	849,1
7	500	0,260	9,45	200,5	934,6
8	550	0,287	11,44	198,6	1017,4

где R_2 — радиус канала внутреннего закрученного потока, $R_2 = 0,8R = 2,5$ м; $R_{л2}$ — радиус установки осей вращения лопастей направляющего аппарата, $R_{л2} = 3,95$ м; $\beta_{л2}$ — угол установки лопастей направляющего аппарата (при полностью открытом НА $\beta_{л2} = 90$ град, при закрытом НА $\beta_{л2} = 0$ град); Ω_2 — площадь водопропускного сечения между лопастями, нормальная к вектору скорости потока.

Площадь Ω_2 приближенно может приниматься равной

$$\Omega_2 = 2\pi R_{л2} \cdot 0,6b \cdot \sin\beta_{л2}.$$

Отсюда находим

$$A_2 = \frac{R_2}{1,2b \cdot \operatorname{tg}\beta_{л2}},$$

и в результате

$$\beta_{л2} = \operatorname{arctg}\left(\frac{R_2}{1,2bA_2}\right).$$

Производя вычисления, получим

$$\beta_{л2} = \operatorname{arctg}\left(\frac{2,5}{1,2 \cdot 1,17 \cdot 2,457}\right) = 35,93 \text{ град.}$$

Таким образом, при установке контрвихревого гасителя на месте снятого рабочего колеса гидротурбины пропускная способность турбинного блока при напоре $H = 200$ м составит $Q = 500$ м³/с, при этом в контрвихревом гасителе обеспечивается рассеивание мощности $N_{кр} = 934,6$ МВт.

Прогнозируемая амплитуда пульсаций давления в отсасывающей трубе и под крышкой гидротурбины составит

$$\Delta H = \pm 3\sigma(H - h_w) = \pm 3 \cdot 0,06 \cdot (200 - 9,45) = \pm 34,3 \text{ м.}$$

В целом можно сказать, что вариант с пропуском холостого расхода через контрвихревой гаситель, установленный в камере снятого рабочего колеса гидротурбины, работает удовлетворительно. Динамические нагрузки на стенки отсасывающей трубы при этом выше, чем в варианте с установкой

гасителя перед спиральной камерой, однако по пропускной способности он существенно (более чем в 1,6 раза) превосходит предыдущий. К достоинствам варианта следует отнести возможность регулирования расхода смонтированным направляющим аппаратом гидротурбины, создание условий течения, близких к эксплуатационным во всем проточном тракте, включая отсасывающую трубу, в которой устанавливается осевое (незакрученное) течение, простоту конструкции гасителя; к недостаткам — необходимость демонтажа обтекателя с неповоротными лопастями при установке рабочего колеса и переводе турбинного блока в постоянную эксплуатацию.

Рассмотрим третий вариант — схему с полностью готовым к эксплуатации гидротурбинным блоком с рабочим колесом, при этом в подводящий водовод выполнена врезка холостого водовыпуска с регулируемым вихревым затвором, обеспечивающим выброс закрученного потока в атмосферу (рис. 3). Вихревой затвор представляет собой надежную конструкцию, аналогичную направляющему аппарату гидротурбины. Этот вариант сброса холостых расходов через турбинный водовод представляется оптимальным, поскольку это идеальная гидравлическая схема. Проточный тракт может работать и как энергетический, и как водосброс переключением направления движения потока разворотом направляющих лопаток гидротурбины и вихревого затвора. Переход из одного режима в другой занимает несколько минут, система регулируется при любом режиме работы. Проточный тракт не подвержен динамическим нагрузкам и кавитации. Гашение избыточного напора холостого потока осуществляется отбросом струи на значительное расстояние от сооружения с распылением её в атмосфере и при ударе о дно нижнего бьефа в воронке размыва. Причем место сопряжения отброшенной струи с дном нижнего бьефа может быть задано формой направляющего дефлектора, установленного на выходе водовыпуска [5]. Вместо вихревого затвора возможно использование глубинных затворов традиционных типов (плоского, сегментного, конусного, игольчатого или кольцевого).

В качестве расчетного варианта предлагается врезку водовыпуска в турбинный водовод осуществить на отметке 355,30 м, что позволяет провести холостой водовод над зданием ГЭС (рис. 3, а).

Расход вихревого затвора (рис. 3, б) вычисляется по формуле (18), в которой радиус отводящего водовода водовыпуска принимается равным $R = 2,5$ м, а действующий напор H_d определяется по формуле

$$H_d = H - h_w, \quad (20)$$

Т а б л и ц а 4

Завихритель	ω_0	$2R$, м	A	β , град
Периферийный	0,258	6,25	7,984	72,51
Внутренний	0,459	5,00	2,457	35,93

где H — разность отметок НПУ и оси затвора, $H = 540 - 355,3 = 184,7$ м.

Вычисляя гидравлические потери, как и ранее, по (3), где коэффициент гидравлического сопротивления составляет

$$\begin{aligned} \Sigma \zeta &= \zeta_m + 0,11 \left(\frac{k_{\text{э}}}{D} \right)^{0,25} \frac{L}{D} = \\ &= 0,5 + 0,11 \left(\frac{0,5}{6500} \right)^{0,25} \frac{150}{6,5} = 0,738, \end{aligned}$$

приведем (18) с учетом (3) и (20) к виду

$$\frac{Q^2}{(\pi R^2)^2 2gH} = \mu^2 \left[1 - \frac{\Sigma \zeta}{2gH} \left(\frac{4Q}{\pi D^2} \right)^2 \right],$$

откуда находим

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\pi R^2}{Q} \right)^2 2gH - \Sigma \zeta \left(\frac{2R}{D} \right)^4}}.$$

Вихревой затвор способен надежно и плавно регулировать сбросной расход во всем диапазоне от нуля до максимума. Поэтому, задавая значения пропускаемого расхода Q и вычисляя соответствующие ему коэффициенты расхода μ , одновременно можно вычислить относительную площадь кольцевого сечения закрученного потока в отводящем водоводе водовыпуска ω_0 [4]:

$$\omega_0 = \frac{1}{0,17 + \sqrt{\frac{1}{2\mu^2(1 + \zeta_K)}}},$$

где ζ_K — коэффициент гидравлического сопротивления при входе закрученного потока в отводящий водовод холостого водовыпуска $\zeta_K = 0,11$ [4].

По найденному значению ω_0 далее вычисляется геометрическая характеристика вихревого затвора A :

$$A = \frac{1 - \omega_0}{\omega_0} \sqrt{\frac{2(1 + \zeta_K)}{\omega_0}} = \frac{\pi R R_{\text{л}}}{\Omega} \sin \beta_{\text{л}},$$

где $R_{\text{л}}$ — радиус установки осей вращения лопаток направляющего аппарата вихревого затвора; $\beta_{\text{л}}$ — угол установки лопаток направляющего аппарата (при полном открытии НА $\beta_{\text{л}} = 0$, при закрытии НА $\beta_{\text{л}} = 90$ град); Ω — площадь водопропускного сече-

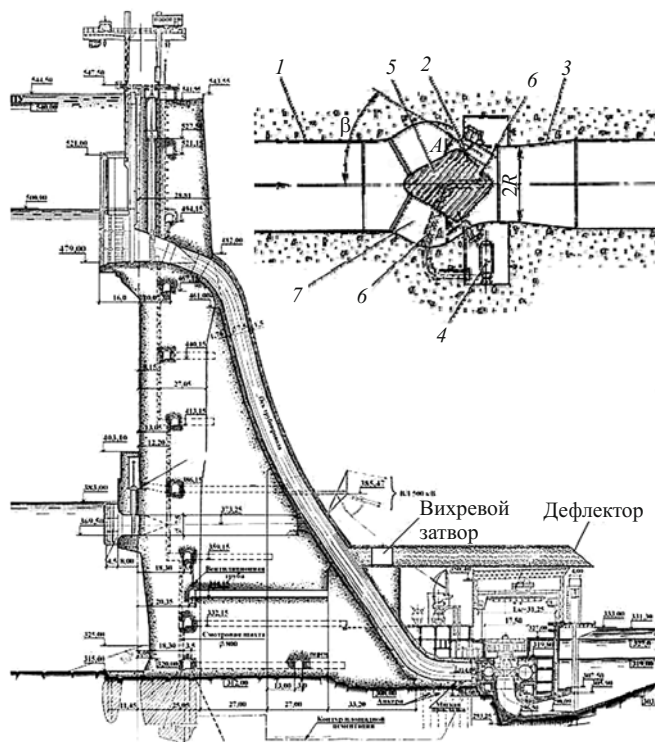


Рис. 3. Вариант с установкой вихревого затвора на холостом водовыпуске, врезанном в турбинный водовод: a — общая расчетная схема; b — расчетная схема вихревого затвора; 1 — подводящий участок; 2 — узел закрутки потока (лопатки НА вихревого затвора); 3 — отводящий участок; 4 — гидропривод; 5 — обтекатель; 6 — воздухопровод; 7 — опорные бычки

ния между лопатками НА, нормальная вектору скорости:

$$\Omega = 2\pi R_{\text{л}} b \cos \beta_{\text{л}},$$

где b — высота лопаток НА вихревого затвора (рис. 3, b), задается равной 1,0 м.

Тогда угловое положение лопаток НА вихревого затвора при пропуске заданного расхода находится по формуле

$$\beta_{\text{л}} = \arctg \left(\frac{2b}{R} A \right).$$

Наконец, вычисляя по (3) гидравлические потери h_W , по (20) определяется действующий на затворе напор $H_{\text{д}}$.

Результаты расчетов сведены в табл. 5.

Таким образом, пропускная способность холостого водовыпуска достигает $Q = 900 \text{ м}^3/\text{с}$. При этом амплитуда пульсаций давления на стенках водовыпуска по экспериментальным данным работы [6] в пределе составит

$$\Delta H = \pm 3\sigma H_{\text{д}} = \pm 3 \cdot 0,015 \cdot 184,4 = \pm 8,3 \text{ м.}$$

Т а б л и ц а 5

№ п/п	Q_3 , м ³ /с	μ	$h_{\text{пр}}$, м	$H_{\text{д}}$, м	ω_0	A	$\beta_{\text{д}}$, град
1	0	0	0	184,7	0	∞	90
2	100	0,0847	0,34	184,4	0,1235	30,08	87,62
3	200	0,1698	1,37	183,3	0,2426	9,443	82,46
4	300	0,2559	3,07	181,6	0,3581	4,462	74,35
5	400	0,3435	5,45	179,2	0,4709	2,440	62,87
6	500	0,4331	8,54	176,2	0,5816	1,406	48,36
7	600	0,5254	12,30	172,4	0,6909	0,8020	32,68
8	700	0,6210	16,74	168,0	0,7995	0,4178	18,48
9	800	0,7208	21,87	162,8	0,9082	0,1580	7,206
10	900	0,8258	27,67	157,0	1,0	0	0

Гашение избыточного напора осуществляется за пределами сооружения отбросом потока и распылением его в атмосфере в веерной струе в форме однополюсного гиперболоида вращения, а также в воронке размыва на дне нижнего бьефа. Максимальное расстояние отброса потока от сооружения (здания ГЭС) составляет $L = 340$ м. Система остается на постоянную эксплуатацию и представляет собой совмещенный энерговодосбросной блок, к её недостаткам следует отнести высокую стоимость вихревого затвора.

Выводы

1. Вариант пропуска холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС при снятом рабочем колесе и с установленным перед турбинной камерой контрвихревым гасителем по динамическим нагрузкам на конструкции можно признать удовлетворительным, однако пропускная способность блока невысока (меньше пропускной способности гидроагрегата при номинальном режиме работы). К достоинствам данной схемы относится возможность регулирования расхода смонтированным направляющим аппаратом гидротурбины, к недостаткам — необходимость демонтажа контрвихревого гасителя при установке рабочего колеса и вводе гидроагрегата в постоянную эксплуатацию.

2. Вариант пропуска холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС при установленном в камере снятого рабочего колеса гидротурбины контрвихревым гасителем в целом можно признать удовлетворительным. Хотя динамические нагрузки на стенки отсасывающей трубы при данном варианте в 1,8 раза выше, чем в вариан-

те с установкой гасителя перед спиральной камерой, но они остаются в допустимых пределах при временной эксплуатации. По пропускной способности этот вариант более чем в 1,6 раза превосходит предыдущий. К достоинствам варианта следует отнести: возможность регулирования расхода смонтированным направляющим аппаратом гидротурбины, создание условий течения, близких к эксплуатационным во всем проточном тракте, включая отсасывающую трубу, в которой устанавливается осевое (незакрученное) течение, простоту конструкции гасителя; к недостаткам — необходимость демонтажа обтекателя с жестко закрепленными неповоротными лопастями при установке рабочего колеса и вводе гидроагрегата в постоянную эксплуатацию.

3. По третьему варианту пропуск холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС осуществляется по врезанному в турбинный водовод специальному водовыпуску, оборудованному регулируемым вихревым затвором, при этом гидроагрегат полностью собран и готов к эксплуатации в штатных режимах. К достоинствам варианта следует отнести то, что вихревой затвор является идеальным высоконапорным, регулирующим пропускаемый расход устройством, обеспечивающим максимальную пропускную способность проточного тракта при низких динамических нагрузках на его элементы, гашение избыточного напора осуществляется за пределами сооружения отбросом потока от него специальным дефлектором на значительное расстояние, система представляет собой эксплуатационный энерговодосбросной блок, работающий в турбинном и водосбросном режимах отдельно, а также в совместном турбинно-водосбросном режиме; недостатком является высокая стоимость вихревого затвора.

Список литературы

1. Волианик В. В., Зуйков А. Л., Орехов Г. В., Чуринов П. С. Пропуск холостых расходов через турбинный блок средне- или высоконапорной ГЭС (часть 1) // Гидротехническое строительство. 2013. № 4.
2. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: Справочное пособие. — М.: Энергоатомиздат, 1988. 624 с.
3. СО 34.21.308-2005. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. — СПб., 2005. 51 с.
4. Волианик В. В., Зуйков А. Л., Мордасов А. П. Закрученные потоки в гидротехнических сооружениях. — М.: Энергоатомиздат, 1990. 280 с.
5. Зуйков А. Л. Формирование факела распыла свободной струи при выбросе закрученного потока в атмосферу // Гидротехническое строительство. 2011. № 10.
6. Мордасов А. П. Высоконапорные водосбросные системы с вихревыми затворами. Дис. ... канд. техн. наук. М., 1978. 176 с.

Технико-экономическое обоснование строительства малых ГЭС в Южном Казахстане

Ибрагимов К., канд. техн. наук, Бровка И. С., доктор техн. наук,
Байболов К. С., кандидат техн. наук (Южно-Казахстанский
государственный университет им. М. Ауезова)

Дается обоснование эффективности строительства малых ГЭС с целью получения дешевой электрической энергии. Показаны техническая возможность и экономическая эффективность сооружения мини-ГЭС на примере одного быстротока в Южном Казахстане. Приводятся схемы сооружения гидротехнических сооружений, расчеты необходимых расходов воды, объемы строительных работ и стоимость мини-ГЭС для одного конкретного объекта. Произведено технико-экономическое сопоставление показателей мини-ГЭС и дизельной электростанции.

Ключевые слова: гидроэнергетика, гидроэнергетический потенциал, гидроагрегат, гидроузел, быстроток, канал, водозаборное сооружение, трубопровод, затвор, расход воды, створ плотины.

В настоящее время развитые государства мира стремятся к сбалансированности по всем видам энергии, чтобы обеспечить энергетическую независимость. Такая же задача стоит перед Казахстаном, где создана современная материально-техническая база, которая позволила республике стать развитой индустриально-аграрной страной. Одним из вариантов решения проблемы энергонезависимости является создание малой гидроэнергетики. Широко распространенная система ирригационных каналов, малых рек и водоемов позволяет рассматривать данный регион как перспективный для развития малой гидроэнергетики. Строительство малых ГЭС является экономически целесообразным по многим причинам, главной из которых является все возрастающая стоимость энергоносителей. В решении проблемы энергоснабжения, особенно сельских районов, существенное влияние может ока-

зать использование дешевых, простых, экономичных и экологичных источников электроэнергии, каковыми являются малые ГЭС. Они могут автономно обеспечивать электроэнергией небольшие населенные пункты и объекты малого и среднего бизнеса. Используя энергию водотока, эти ГЭС не требуют дорогостоящих и трудоемких гидротехнических сооружений, способствуют созданию оазисов, освоению новых, пригодных для сельского хозяйства земель, повышению уровня жизни населения, особенно в труднодоступных горных и пустынных степных районах.

Республика Казахстан располагает гидроэнергетическим потенциалом в размере 170 млрд. кВт · ч. Технически возможно использовать 62 млрд. кВт · ч, из которых на сегодня производится 6 – 8 млрд. кВт · ч в год, что составляет 10 % имеющихся ресурсов республики. По освоенности энер-

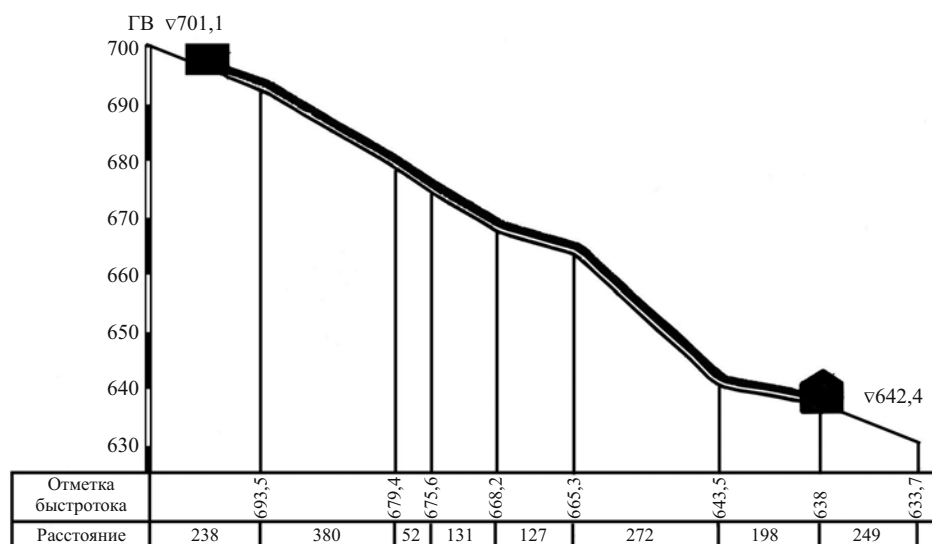


Рис. 1. Продольный профиль напорно-станционного узла (НСУ)

гетического потенциала Казахстан уступает странам, где гидроресурсы используются для производства электрической энергии от 65 до 95 % [1 – 4]. Вместе с тем богатая сырьевая база Казахстана создает предпосылки для широкого строительства небольших предприятий промышленного и сельскохозяйственного профиля, что предопределяет необходимость создания энергетической базы, способной их обеспечить. Дефицит энергетических мощностей в Казахстане заставляет искать возможность использования альтернативных источников электроэнергии. Это прежде всего энергия малых рек на основе возобновляемых гидроресурсов. Сооружение сети малых ГЭС вблизи таких потребителей позволяет повысить надежность поставок электрической энергии за счет сокращения расстояния и значительно снизить потери напряжения и мощности при транспортировке.

Первоочередными объектами для строительства малых ГЭС должны стать существующие гидроузлы и незадействованные водохранилища. По данным Казгидропроекта в Казахстане эксплуатируется 130 водохранилищ, из которых 51 водоем отвечает требованиям для создания малых ГЭС [5].

В настоящее время во многих странах СНГ разрабатываются программы развития малой гидроэнергетики. В Казахстане разработана и принята Правительственная концепция по строительству 20 ГЭС до 2015 г. [6]. В соответствии с этим авторами данной работы делается попытка на примере одного объекта (быстроток канала Аксу в Южно-Казахстанской области [7, 8]) показать техническую возможность и обосновать экономическую целесообразность сооружения мини-ГЭС.

Район для возведения мини-ГЭС характеризуется следующими природно-климатическими показателями: среднегодовая температура воздуха + 12 °С, среднемесячная температура самого холодного месяца — января составляет — 1 ... 2 °С, абсолютная температура 26 °С. Среднеголетняя сумма осадков 600 мм. Наименьшее количество осадков приходится на период с июня по сентябрь, наибольшее — с декабря по март. Среднеголетняя относительная влажность воздуха 50 %.

Водный местный режим: расход р. Аксу колеблется от 2 до 35 м³/с при среднегодовых значениях 10,1 м³/с, максимальный сбросный расход по быстротоку 11,7 м³/с при среднем значении 3,4 м³/с. В топографическом отношении рельеф спокойный, имеет практически равномерное падение вдоль быстротока в сторону р. Аксу с максимальным уклоном 7 %. Грунты основания пригодны для строительства мини-ГЭС. Это четвертичные суглинки, песок и гравийно-галечниковые грунты с физико-механическими характеристиками, соответствующими условиям строительства данного объекта.

Быстроток, предназначенный для отвода излишков воды Аксуйского правобережного канала, имеет общую длину 1532 м со средним уклоном 4,3 ‰ (0,043). Поперечное сечение быстротока прямоугольное 3,0 × 1,65 м с железобетонной облицовкой. Гидроэнергетический потенциал в створе быстротока предлагается реализовать путем сооружения мини агрегатов. Для этого его верховая часть должна быть перегорожена плоскими затворами, обеспечивающими в открытом положении пропуск воды через быстроток, а в закрытом — его прекращение. Водоподводящий тракт мини-ГЭС подключается к быстротоку, отгороженному плоскими затворами. Это способствует поступлению воды к гидроагрегатам мини-ГЭС с напором, который определяется отметками подключения водоподводящего тракта и установки здания электростанции. Это устройство быстротока обеспечит постоянное поступление требуемого количества воды к потребителям через мини ГЭС в плановом режиме, а также в случае форс-мажорной ситуации — через быстроток.

Средний расчетный расход воды через быстроток Аксуйского канала равен 8 м³/с. Результаты топографической съемки вдоль сечения быстротока позволяют сделать вывод о том, что можно обеспечить напор мини-МГЭС, равный 50 м (рис. 1). Мощность мини-ГЭС составит 3200 кВт.

Из известных гидроагрегатов, изготавливаемых для МГЭС, наиболее приемлемым, с точки зрения указанных данных и условий эксплуатации, является гидроагрегат типа ГАЭ-50 – 1000 с единичной мощностью 800 кВт, при напоре 50 м и частоте вращения $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ [8].

Среднегодовой расход воды, пропущенный через быстроток за 1992 – 2004 гг., составляет 3,4 м³/с. На основании этих данных среднегодовая выработка электроэнергии Эгод = 11,8 млн. кВт · ч.

В состав основных сооружений мини ГЭС входят водозаборные сооружения, трубопроводы напорные, здание станции (рис. 2).

Водозаборные сооружения состоят из затвора с закладными частями и механизмами, устраиваемыми на быстротоке ниже отводящего канала сечением 2 × 3 м; железобетонной аванкамеры размером в плане 6 × 12 м и глубиной 3,5 м. Аванкамера оснащается двумя затворами и сороудерживающими решетками. Вход в трубопроводы предусмотрен в виде двух развилок, размещаемых на дне аванкамеры (рис. 3). Трубопроводы диаметром 1200 мм и длиной 1100 м в начальной части размещаются в выемке с обратной засыпкой, далее — открыто вдоль быстротока с предварительной планировкой поверхности земли и устройством бетонных опор

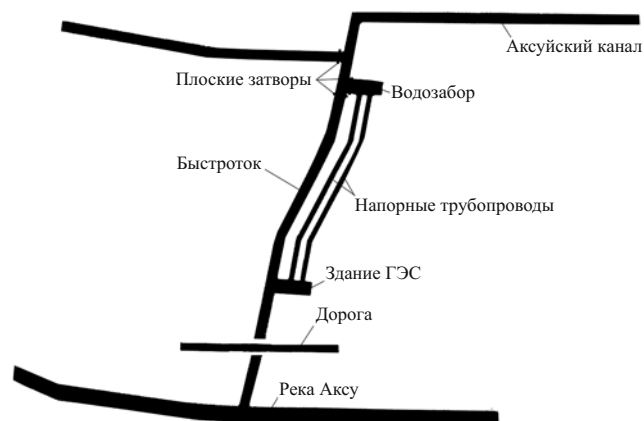


Рис. 2. Размещение основных сооружений

через 20 м. В здании станции могут размещаться четыре гидроагрегата.

При параллельной организации строительства водозабора, монтажа подводящего трубопровода и здания станции срок строительства составит 6 – 8 месяцев. Объемы и стоимость строительных работ по МГЭС показаны в табл. 1.

Предварительная стоимость строительства мини-ГЭС на быстротоке Аксуйского канала в Южно-Казахстанской области определена на основа-

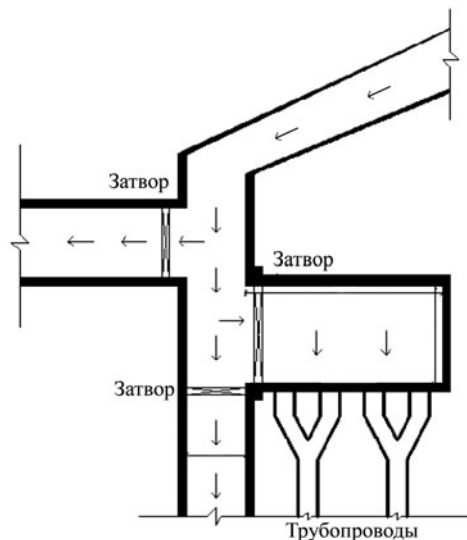


Рис. 3. Водозаборные сооружения и входы в трубопровод

нии местных расценок в долларах США. Затраты на строительство водозаборного сооружения, подводящего водовода гидроагрегатов мини-ГЭС, перегораживающего быстроток, затворного комплекса и здания станции составляют примерно 910 тыс. долл. США. Общая прогнозная стоимость строительства МГЭС составляет 3,2 млн. долл. США с

Т а б л и ц а 1

Общий объем строительных работ и оценка стоимости МГЭС на быстротоке правобережного Аксуйского канала

Строительные работы	Объем	Стоимость, долл. США	
		един.	общая
Водозаборные сооружения:			
выемка грунта, м ³	5000	3	15 000
монолитный бетон, м ³	300	50	15 000
сборный железобетон, м ³	20	1000	20 000
обратная засыпка, м ³	2000	5	10 000
решетка сороудерживающая, т	2	3000	6000
затворы, т	15	3000	45 000
Напорные трубопроводы:			
вертикальная планировка, м ²	4000	3	12 000
бетонные опоры, м ³	150	50	7500
трубопроводы, м/т	2200/440	1600	704 000
Здание МГЭС:			
выемка грунта, м ³	1000	3	3000
монолитный бетон, м ³	300	50	15 000
сборный железобетон, м ³	50	1000	50 000
прочие конструкции, %	10	700	7000
Итого			909 500

Т а б л и ц а 2

Основные технико-экономические показатели мини-ГЭС

Показатели	Расход, м ³ /с	
	3,4	8,0
Установленная мощность, кВт	3200	3200
Расчетный расход, м ³ /с	3,4	8,0
Расчетный напор, м	50	50
Число агрегатов	4	4
Мощность гидроагрегата, кВт	800	800
Среднегодовая выработка, млн. кВт · ч	11,8	27,8
Капиталовложения, млн. долл.	3,2	3,2
Удельные капиталовложения на 1 кВт · ч, долл.	0,27	0,11
Ежегодные издержки, млн. долл.	0,16	0,16
Тариф 1кВт · ч, долл.	0,012	0,012
Срок окупаемости, год	3,6	1,6
Доход от реализации электроэнергии, млн. долл.	0,885	2,15
Прибыль, млн. долл.	0,725	1,99
Коэффициент рентабельности, %	20	20

учетом всех видов работ. В табл. 2 приведены основные технико-экономические показатели мини-ГЭС.

Комплексный анализ и технико-экономическая проработка показывают преимущества мини-ГЭС перед другими альтернативными источниками электроэнергии. По выполненным расчетам стоимость 1 кВт · ч, вырабатываемого мини-ГЭС, составляет 0,011 долл. США. Этот показатель дизельной станции равен 0,066 долл. США при цене дизтоплива 220 долл./т. Таким образом, стоимость электроэнергии мини-ГЭС в шесть раз дешевле,

чем дизельной электростанции. Это позволяет сделать вывод о достаточно высокой эффективности и актуальности строительства мини-ГЭС в современных экономических условиях не только в Республике Казахстан, но и в других государствах со сходными природно-геологическими, гидрологическими и экономическими условиями.

В настоящее время на основании проведенного анализа на быстротоке канала Аксу в Южно-Казахстанской области выполнена топографическая съемка полосы на участке 2 га, произведено нивелирование рабочего участка быстротока, составлен продольный профиль участка длиной 1,5 км, дано технологическое и гидрологическое обоснование, разработан бизнес-план дальнейшего строительства мини-ГЭС.

Список литературы

1. Карелин В. Я., Волианик В. В. Сооружения и оборудования малых гидроэлектростанций. — М.: Энергоатомиздат, 1986.
2. Материалы международной научно-технической конференции “Современные проблемы гидроэнергетики”. Ташкент, 14 – 15 октября, 1997.
3. Вильковский И. Я. Опыт и перспективы работы Алматы — гидропроекта по развитию гидроэнергетики Казахстана // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. 1993.
4. Чокин Ч. Ш., Паутов А. С. Основные исследования в области гидроэнергетики // Энергетика и топливные ресурсы Казахстана. 1994. № 3.
5. Кариев Д. А. Гидроэнергетический потенциал рек Казахстана и уровень их использования // Сб. научн. трудов Таразского государственного университета имени М. Х. Дулати. Тараз 1994.
6. Приоритет — гидроэнергетике. Казахстанская правда. № 12 от 19 января 2005.
7. Ибрагимов К., Бишимбаев В. К., Орман А. О., Байболов К. С., Карабаев Э. И. Рекомендации по производству дешевой электрической энергии путем сооружения мини-ГЭС в Южно-Казахстанской области. Шымкент, 2006.
8. Ибрагимов К. И., Орман А. О., Керимкулов Б. К. Социально-экономическая необходимость строительства МГЭС в системе ТОО “Водные ресурсы-маркетинг” // Труды международной конференции и технической выставки. Су Арнасы — 2003 г. “Водопользование: действительность, проблемы и перспективы”, 26 – 27 июля 2003 г.

Циркуляционная регенерация дренажных скважин, оснащенных затрубной системой реагентной промывки

Автушко П. А., инженер, Ивашечкин В. В., доктор техн. наук,
Веремеиук В. В. кандидат физ.-мат. наук
(Белорусский национальный технический университет)

Описана новая конструкция дренажной скважины, оснащенной затрубной системой реагентной промывки. Рассмотрен установившийся циркуляционный поток в прифильтровой зоне такой скважины. Получены расчетные зависимости для построения гидродинамической сетки. Приведены результаты лабораторных исследований фильтрационного потока. Полученные результаты хорошо согласуются с расчетными зависимостями. Это свидетельствует о возможности использования полученных расчетных зависимостей для определения конструктивных элементов системы затрубной реагентной промывки дренажных скважин.

Ключевые слова: дренажная скважина, кольматация, регенерация, гидродинамическая сетка, циркуляция.

Вертикальный дренаж, состоящий из большого числа буровых скважин, широко применяется для защиты котлованов, промышленных, городских и сельскохозяйственных территорий от подтопления. К таким системам предъявляются особые требования по надежности и стабильности их работы. Дебит дренажных скважин зависит главным образом от совместного влияния следующих основных факторов: гидрогеологических условий участка строительства, конструкций скважин, интенсивности процессов кольматации фильтров и прифильтровых зон, режима эксплуатации системы скважин водопонижения [1, стр. 5]. В настоящее время для декольматации их фильтров применяют механические, импульсные и реагентные методы. Необходимо отметить, что эти методы позволяют воздействовать на кольматирующие отложения только изнутри фильтра скважины и поэтому недостаточно эффективны, так как основная масса отложений сосредоточена в гравийной обсыпке, которая обычно отделена от внутренней полости фильтра перфорированным каркасом с низкой скважностью 20 – 30 % и закольматированной водоприемной поверхностью. После обработки скважин в их прифильтровой зоне остается значительное количество отложений, которые, являясь центрами аккумуляции новообразований, постепенно увеличиваются в объеме и упрочняются, при этом пористость гравийной обсыпки, удельный дебит и эффективность последующих ремонтных мероприятий резко снижаются.

Для повышения эффективности работ по регенерации фильтров водозаборных и дренажных скважин, увеличения сроков службы скважинных водозаборов, систем вертикального дренажа и глубинного водопонижения в Белорусском национальном техническом университете (БНТУ) разработана новая конструкция ремонтнопригодной скважины [2 – 5]. В затрубном пространстве скважины на внешнем контуре обсыпки размещают несколько нагнетательных трубок малого диаметра, перфорированных со стороны фильтра (затрубная система реагентной промывки), что позволяет при подаче в них реагента осуществлять декольматацию как изнутри фильтра, так и снаружи. При регенерации реагент непрерывно подают из напорного бака, устанавливаемого у устья скважины, в нагнетательные трубки и откачивают вместе с продуктами растворения из ствола скважины назад в бак. Эффективность и качество циркуляционной обработки фильтра и гравийной обсыпки будут зависеть от ряда факторов: количества и размещения нагнетательных трубок, их расстояний от дренажной скважины, величины циркуляционного расхода, мощности безнапорного пласта и коэффициента фильтрации закольматированного грунта. Учитывая, что поле скоростей циркуляционного фильтрационного потока имеет сложную форму и скорости на удалении от фильтра дренажной скважины существенно меньше скоростей на входе в фильтр, продолжительность регенерации гравийной обсыпки будет определяться значениями скоростей на внешнем контуре обсыпки. Для определения скорости в любой точке фильтрационного потока при циркуляционной регенерации скважины возникает необходимость в построении гидродинамической сетки фильтрации. Целью настоящей работы является теоретическое и экспериментальное исследование гидродинамики циркуляционного фильтрационного движения при работе затрубной циркуляционной системы регенерации дренажной скважины.

Рассмотрим гидродинамику фильтрационного потока жидкости при совместной работе дренажной скважины и нескольких нагнетательных трубок, работающих в режиме нагнетательных скважин, расположенных симметрично вокруг дренажной скважины. Расчетная схема циркуляционного движения в системе «дренажная скважина — нагнетательные трубки» представлена на рис. 1.

Для нахождения уравнения, описывающего процесс совместной работы дренажной скважины и нагнетательных труб, используем линеаризованное по методу Н. А. Багрова и Н. Н. Веригина уравнение Буссинеска для расчета неустановившегося движения грунтовых вод со свободной поверхностью [6, стр. 45]

$$a \left(\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} \right) = \frac{\partial U}{\partial t}, \quad (1)$$

где a — коэффициент пьезопроводности, характеризующий скорость снижения уровня и осушения пласта;

$$U = \frac{1}{2}(h_e^2 - h^2);$$

где h_e — статическая глубина грунтовых вод (рис. 1); h — мощность потока грунтовых вод в точке пласта с координатой r в момент времени t .

Процесс будем считать квазиустановившимся с обеспечением равенства расходов закачки и откачки. Тогда $\frac{\partial U}{\partial t} = 0$ и уравнение (1) приобретает вид

$$\frac{d^2 U}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dU}{dr} = 0. \quad (2)$$

Зададим граничные условия

$$Q = -2\pi r k \frac{dU}{dr} \Big|_{r=r_0}, \quad (3)$$

где k — коэффициент фильтрации;

$$U(r) \rightarrow 0 \text{ при } r \rightarrow \infty. \quad (4)$$

Из уравнения (2) имеем

$$\frac{dU}{dr} = \frac{C_1}{r}. \quad (5)$$

Из условия (3) находим

$$C_1 = -\frac{Q}{2\pi k},$$

$$\frac{dU}{dr} = -\frac{Q}{2\pi k r},$$

Тогда $U = -\frac{Q}{2\pi k} \ln r + C_2$.

Условие (4) будем использовать так: $U(r) = 0$ при $r \geq R$, где R — радиус влияния скважины. Тогда

$$C_2 = \frac{Q}{2\pi k} \ln R.$$

Окончательно получим

$$U = \frac{Q}{2\pi k} \ln \frac{R}{r}; h^2 = h_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r};$$

$$h = \sqrt{h_e^2 - \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{R}{r}} = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{\pi k} \ln \frac{r}{R}}. \quad (6)$$

Таким образом, с учетом (6) имеем уравнение для определения понижения уровня грунтовых вод S в любой точке пласта, вызванного работой дренажной скважины:

$$S = h_e - h = h_e - \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{\pi \cdot k} \ln \frac{r}{R}}. \quad (7)$$

Уравнение для определения повышения уровня грунтовых вод в любой точке пласта на расстоянии ρ от нагнетательной трубки при работе одной трубки, работающей в режиме нагнетательной скважины, с учетом того, что расход Q равномерно распределяется между n нагнетательными трубками аналогично уравнению (7) и имеет вид

$$S = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{n \cdot \pi \cdot k} \ln \frac{\rho}{R}} - h_e. \quad (8)$$

Для получения общего уравнения для расчета изменения уровня грунтовых вод в любой точке безнапорного водоносного горизонта при циркуляции после наступления квазиустановившегося движения используем известный метод наложения фильтрационных течений, сложив уравнение (7) и уравнения вида (8) для n нагнетательных трубок. Полученное уравнение имеет вид

$$S = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2\pi \cdot k \cdot n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\rho_i^2}{R^2}} - \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2\pi \cdot k} \ln \frac{r_a^2}{R^2}}, \quad (9)$$

где Q — расход дренажной скважины; r_a — расстояние от точки, в которой определяется понижение, до дренажной скважины; ρ_i — расстояние от точки, в которой определяется понижение, до нагнетательной трубки с номером i ; n — число нагнетательных трубок; R — радиус влияния скважины, принимаемый равным расстоянию от нагнетательной трубки до дренажной скважины; k — коэффициент фильтрации.

Для выполнения практических расчетов удобнее перейти от полярных к прямоугольным координатам с началом в центре дренажной скважины и осью абсцисс, проходящей через n -ую нагнетательную трубку, тогда

$$r_a^2 = x_a^2 + y_a^2; \rho_i^2 = (x_a - x_i)^2 + (y_a - y_i)^2, \quad (10)$$

где x_a, y_a — координаты точки, в которой определяется изменение уровня; x_i, y_i — координаты нагнетательных трубок.

Учитывая, что

$$x_i = R \cos \alpha; y_i = R \sin \alpha, \quad (11)$$

где α — угол между лучом, проходящим из начала координат через нагнетательную трубку с номером i , и осью абсцисс.

Величина угла α может быть определена по формуле

$$\alpha = \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{n}. \quad (12)$$

Перепиывая выражение (9) с учетом (10) – (12), получаем

$$S(x_a, y_a) = A - B, \quad (13)$$

$$A = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\left(x_a - R \cos \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{n}\right)^2 + \left(y_a - R \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot i}{n}\right)^2}{R^2}};$$

$$B = \sqrt{h_e^2 + \frac{Q}{2 \cdot \pi \cdot k} \cdot \ln \frac{x_a^2 + y_a^2}{R^2}}.$$

Уравнение (13) позволяет построить гидродинамическую сетку фильтрации для дренажной скважины, оборудованной затрубной системой реагентной промывки. Примеры построения гидродинамической сетки фильтрации и пьезометрической линии по профилю Ox при четырехтрубной системе представлены на рис. 2 и 3. Анализ гидродинамической сетки показывает, что на периферийных участках зоны кольматации ширина поясов сетки, кривизна и длина линий тока, выходящих из нагнетательных трубок, наибольшие, что свидетельствует о том, что скорость фильтрационного потока вдоль этих линий меньше, чем по

главной линии тока (кратчайшей линии, соединяющей дренажную скважину и нагнетательную трубку). Аналогичная картина наблюдалась и для напорного фильтрационного потока при работе затрубной системы [4]. С учетом того, что скорость выщелачивания пропорциональна скорости фильтрации, периферийные сегменты зоны кольматации, лежащие между нагнетательными трубками, будут выщелачиваться несколько медленнее, чем участки, лежащие между дренажной скважиной и нагнетательной трубкой. Таким образом, чем больше затрубная промывная система содержит нагнетательных трубок, тем лучше охват зоны кольматации потоком реагента и меньше время выщелачивания. Однако из-за появления дополнительных сопротивлений снижается пропускная способность гравийной обсыпки и увеличивается стоимость самой системы промывки. Проведенные теоретические исследования для напорного фильтрационного потока [5] показали, что оптимальное количество нагнетательных трубок находится в диапазоне от 4 до 6, поэтому ввиду близ-

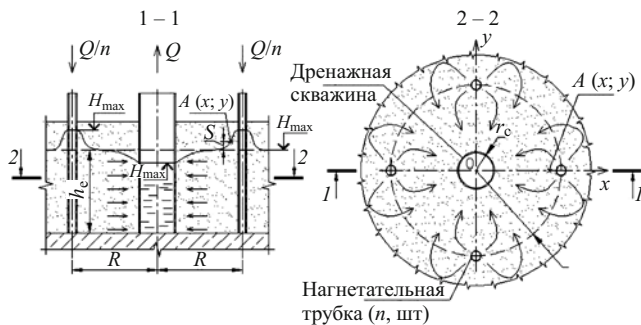


Рис. 1. Расчетная схема циркуляционного движения в системе «дренажная скважина — нагнетательные трубки»

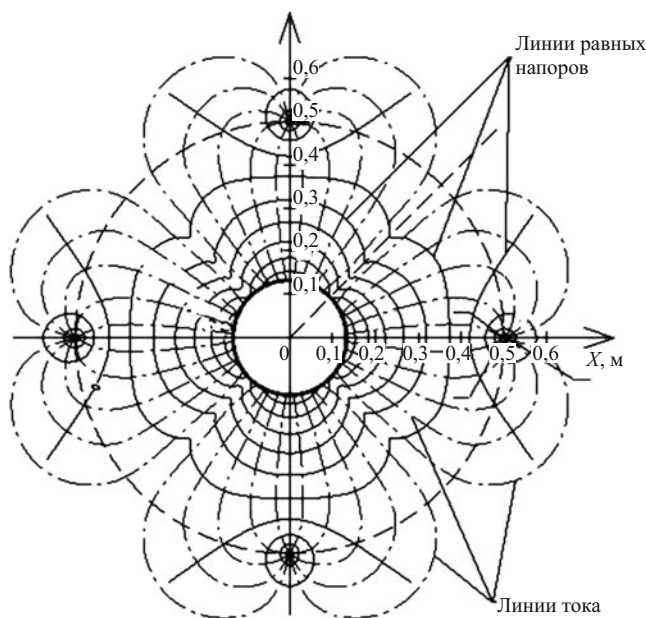


Рис. 2. Гидродинамическая сетка фильтрации при четырехтрубной системе реагентной промывки $n = 4$, $R = 0,5$ м, $h_e = 10$ м, $Q = 0,006$ м³/с, $k = 0,0001$ м/с

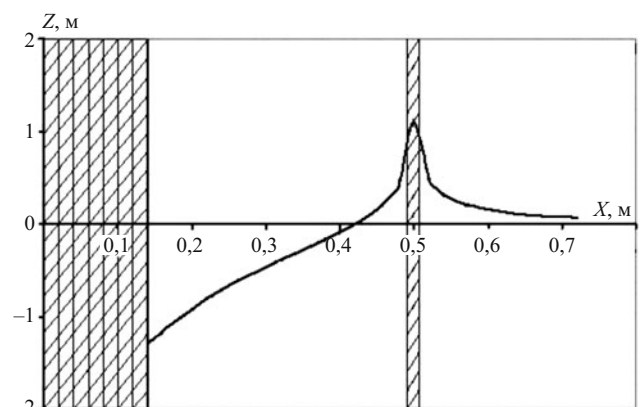
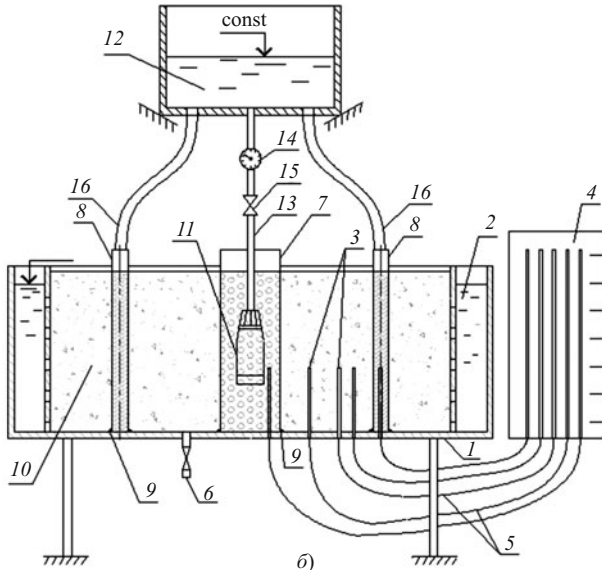


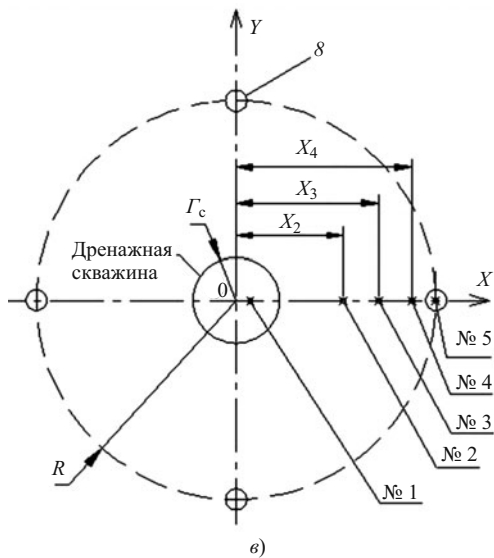
Рис. 3. График изменения напора в профиле Ox между дренажной скважиной и нагнетательной трубкой



а)



б)



в)

Рис. 4. Экспериментальная установка: а — общий вид; б — разрез; в — схема размещения пьезометров: $R = 0,3$ м; $x_1 = 0,07$ м; $x_2 = 0,19$ м; $x_3 = 0,22$ м; $x_4 = 0,27$ м; $x_5 = 0,3$ м; 1 — фильтрационный лоток; 2 — кольцевой бьеф; 3 — пьезометры; 4 — щит пьезометров; 5 — шланги; 6 — сливной патрубков; 7 — дренажная скважина; 8 — нагнетательные трубки; 9 — уплотнение; 10 — водовмещающий грунт; 11 — насос “Ручеек-1”; 12 — напорный бак; 13 — напорный шланг; 14 — расходомер; 15 — вентиль; 16 — сливные шланги

главной линии тока (рис. 4, в). Фильтр дренажной скважины и нагнетательные трубки имели уплотнения в местах их примыкания к днищу бака. На напорном шланге насоса “Ручеек-1”, помещенном в фильтр, были установлен расходомер и вентиль для регулировки расхода. Фильтр дренажной скважины представ-

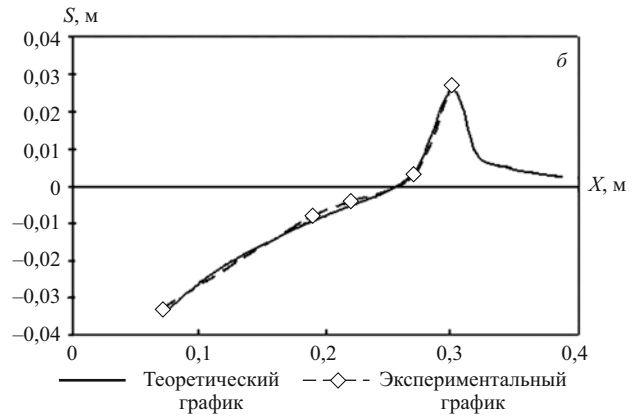
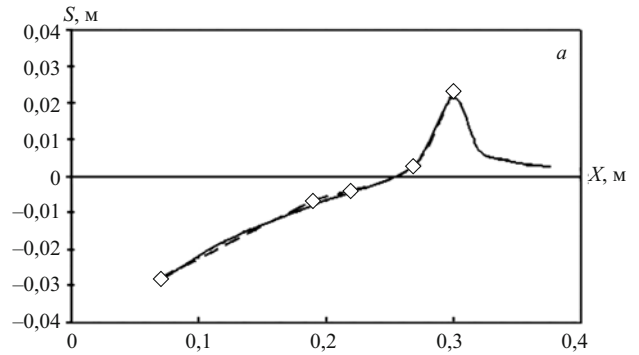


Рис. 5. Сопоставление экспериментальных исследований и расчетов по (13) при определении напора в профиле ОХ между дренажной скважиной и нагнетательной трубкой в процессе циркуляции жидкости:

а — при $Q = 0,385$ л/с; б — при $Q = 0,460$ л/с

кого сходства гидродинамических сеток для условий напорной и безнапорной фильтрации оптимальное количество циркуляционных трубок для дренажных систем следует считать таким же.

Лабораторные исследования проводились на модели дренажной скважины. Схема экспериментальной установки представлена на рис. 4.

Экспериментальная установка состояла из радиального фильтрационного лотка диаметром 1,22 м и высотой 0,5 м с кольцевым бьефом. В центр лотка устанавливалась модель фильтра совершенной степени вскрытия пласта дренажной скважины, в прифильтровой зоне которой устанавливались четыре нагнетательные трубки, перфорированные на всю мощность грунтовой засыпки. Фильтрационный лоток засыпали на высоту 0,5 м фильтрующим песчаным грунтом. В опытах использовали кварцевый песок (ТУ РБ 100016844.241 – 2001), как и при исследовании напорной фильтрации [5]. Коэффициент фильтрации песка составлял $k = 0,7$ см/с. В днище бака были встроены водоприемники пьезометров, соединенные с пьезометрическим щитом гибкими шлангами. Пьезометры располагались вдоль

лял собой трубчатый полиэтиленовый каркас с внутренним диаметром 125 мм. Диаметр отверстий в каркасе составлял 12 мм. Отверстия располагались в шахматном порядке. Снаружи каркас обматывали полиэтиленхолстом толщиной $\delta = 7,5$ мм.

В соответствии с методикой эксперимента воду из дренажной скважины с расходом Q подавали насосом в напорный бак, откуда она под действием силы тяжести поступала по сливным шлангам в нагнетательные трубки. Под действием перепада напоров в прифильтровой зоне через 5 – 7 мин после включения насоса формировался установившийся безнапорный фильтрационный поток, признаками которого являлась стабилизация отметок уровней воды в напорном баке и в пьезометрах. На рис. 5 представлены экспериментальные и теоретические графики изменения напора по главной линии тока между дренажной скважиной и нагнетательной трубкой, полученные для двух значений расхода жидкости при $n = 4$ шт., $k = 0,7$ см/с, $R = 0,3$ м, $h_e = 0,46$ м.

Анализ теоретических и опытных данных показал их хорошую сходимость. Небольшое расхождение результатов (7 %) наблюдалось только в прифильтровой зоне циркуляционной трубки, где сказывалось сопротивление ее фильтра. В целом хорошая сходимость результатов расчетов и опытных данных свидетельствует о возможности использования полученной расчетной зависимости (13) для описания поля напоров и расчета скорости фильтрации в любой точке прифильтровой зоны дренажных скважин, оборудованных затрубной системой реагентной промывки, а также для определения конструктивных параметров системы затрубной реагентной промывки.

Выводы

1. Получено выражение для определения гидродинамического напора в любой точке прифильтровой зоны дренажной скважины при её регенерации с помощью затрубной системы циркуляционной реагентной промывки.

2. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали хорошую сходимость результатов, что свидетельствует о возможности использования полученного выражения для построения гидродинамической сетки циркуляционного фильтрационного потока и проектирования затрубной системы промывки дренажных скважин.

Список литературы

1. Милихикер А. Г. Осадкообразование в скважинах водопонижения. — М.: Энергия, 1971. 103 с.
2. Пат. 9453 Респ. Беларусь, МПКС1, Е21В43 / 00, В03В 03 / 00. Конструкция водозаборной скважины при роторном бурении / В. В. Ивашечкин, А. Н. Кондратович, И. А. Герасименок, Н. И. Крук, И. В. Рытько // Афіцыйны бюл. / цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2006.
3. Ивашечкин В. В., Автушко П. А. Повышение долговечности водозаборных скважин // Наука — образованию, производству, экономике: Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 23 – 24 мая 2009 г. в 2 т. / БНТУ. Т. 2. С. 12.
4. Ивашечкин В. В., Автушко П. А. Циркуляционная регенерация водозаборной скважины, оснащенной затрубной системой реагентной промывки // Мелиорация. 2010. № 1. С. 70 – 77.
5. Ивашечкин В. В., Автушко П. А., Коледюк Д. А. Экспериментальные исследования скважины, оснащенной затрубной системой реагентной промывки // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика, 2011. № 1. С. 80 – 87.
6. Бочеввер Ф. М., Верегин Н. Н. Методическое пособие по расчетам эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. — М.: Госстройиздат, 1961. 200 с.

Исследование влияния концентрации солевых растворов на силы сцепления в глинистых грунтах

Кузло Н. Т., кандидат техн. наук (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

Получена экспериментальная зависимость удельного сцепления глинистого грунта от концентрации солевых растворов. Представлена математическая модель оценки напряженно-деформированного состояния грунта с учетом изменения сил сцепления при фильтрации солевых растворов.

Ключевые слова: глинистые грунты, удельное сцепление, концентрация солевого раствора, эмпирическая зависимость.

На прочностные свойства глинистых грунтов заметное, иногда главное, влияние оказывают внутренние силы связности, не зависящие от нормального давления. Силы связности в глинистых грунтах определяются рядом факторов [1, 2]:

наличием природных цементационно-коллоидных гелей и солей, как растворимых, так и нерастворимых в воде;

водно-коллоидными связями, образующимися под влиянием сил молекулярного притяжения и других физико-химических процессов.

В настоящее время достаточно детально изучено влияние влажности и плотности грунта на силы связности. Так, силы связности глинистых грунтов, вызванные молекулярными силами, уменьшаются с увеличением толщины слоев связной воды, обволакивающей грунтовые частицы.

Силы связности глинистых грунтов, вызванные цементацией, более устойчивы, если они не связаны с содержанием в грунте водорастворимых солей.

В механике грунтов силы связности принято характеризовать удельным сцеплением C [3]. При этом отличают структурное сцепление C_c , сформированное цементационными связями, и восстанавливающее сцепление C_w , образовавшееся в результате влияния водно-коллоидных связей. Силы сцепления глинистых грунтов иногда рассматривают как сопротивление внутреннему трению, вызванное условным эквивалентным давлением, создаваемым силами связности. Внутреннее эквивалентное давление можно определять путем испытания глинистых грунтов на срез или на сжатие в условиях трехстороннего расширения на момент разрушения образца грунта по формуле

$$P_c = C \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \quad (1)$$

где C — удельное сцепление грунта; φ — угол внутреннего трения грунта.

В данной работе изучается влияние сил сцепления на давление, эквивалентное внутренним силам связности в зависимости от концентрации солевых растворов. В качестве солевого раствора для насы-

щения грунтовых паст использовался NaCl с концентрацией от 0 до 50 г/л.

Испытания выполнялись по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 12248–96 методом одноплоскостного среза. Для испытания использовались образцы грунта нарушенного природного строения в виде глинистых паст с заданными показателями их характеристик. Следует отметить, что при приготовлении глинистых паст уничтожаются все последствия влияния дигенетических процессов в виде упрочнения глинистых грунтов. В результате перемятия, осуществляемого при приготовлении глинистых паст, получается масса, имеющая тот же состав, что и порода, но состоящая в основном из первичных частиц, соединенных между собой лишь силами сцепления.

Надо отметить, что при разработке методики определений различных расчетных характеристик глинистых грунтов (сопротивления сдвигу, сжатия и др.) опыты должны проводиться с глинистыми пастами. Только в этом случае можно получить сравнимые результаты, свободные от влияния индивидуальных особенностей образцов. Опыты с пастами могут иметь и непосредственное практическое значение, когда изучаются свойства и поведение глинистых масс, используемых с нарушенной природной структурой (в теле грунтовых плотин, дамб, дорожных насыпей и др.). Кроме того, опыты с пастами могут дать представление о поведении глинистых грунтов, природная структура которых предельно нарушена под влиянием процессов выветривания.

Для получения однородных по влажности и плотности глинистых паст их следует подвергать длительному и тщательному перемятию. После этого целесообразно оставлять пасты в условиях влажной среды на несколько суток, в течение которых происходит выравнивание их влажности.

В связи с необходимостью предварительного уплотнения образцов использовались уплотнители, которые позволили производить уплотнение грунта при заданном давлении и влажности. Каждая ступень давления при предварительном уплотнении

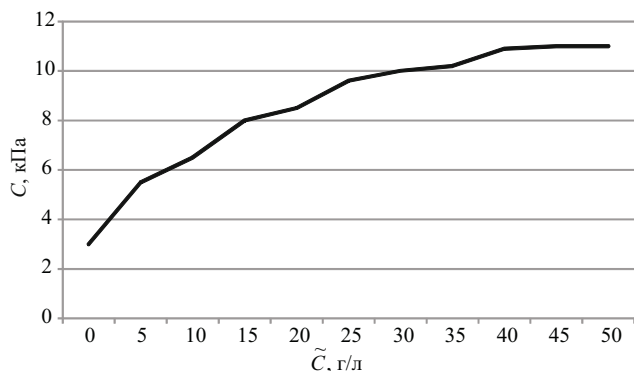


График зависимости удельного сцепления глинистого грунта от концентрации солевого раствора

выдерживалась в соответствии со стандартом для суглинков с числом пластичности $I_p > 12$ на протяжении 12 ч, а конечная ступень — до достижения условной стабилизации деформации образца грунта. За критерий условной стабилизации деформации принимали ее приращение, не превышающее 0,01 мм за 12 ч.

После предварительного уплотнения образец грунта быстро разгружался и переносился в срезающий прибор. Далее на образец передавалось такое же давление, при котором проводилось предварительное уплотнение грунта. Каждая фиксированная нормальная нагрузка передавалась на образец в одну ступень и выдерживалась не менее 30 мин. После того как на образец грунта была приложена нормальная нагрузка, передавалась горизонтальная (касательная) нагрузка ступенями, что составляло 5 % от значения нормальной нагрузки. На каждой ступени нагрузки при условной стабилизации фиксировались деформации среза.

За критерий условной стабилизации деформации среза принималась скорость деформации, которая не превышала 0,01 мм/мин.

Испытания считались законченными, если при приложении очередной ступени касательной нагрузки общая деформация среза превышала 5 мм.

По определенным в процессе испытаний значениям касательных и нормальных нагрузок вычислялись касательные и нормальные напряжения τ и σ .

Удельное сцепление C определялось по формуле

$$C = \frac{\sum \tau_i \cdot \sum \sigma_i^2 - \sum \sigma_i \cdot \sum \tau_i \sigma_i}{n \cdot \sum (\sigma_i)^2 - \sum (\sigma_i)^2}, \quad (2)$$

где τ_i — опытные значения сопротивления среза, определенные при разных значениях σ_i ; n — число испытаний.

Исследованиями установлено, что прочность глинистых грунтов зависит не только от их состава, уплотнения и влажности, но и от концентрации солей в поровой воде. Исследования показали, что из-

менение концентрации порового раствора значительно влияет на силы связности глинистых грунтов.

Основные показатели свойств грунта и результаты исследований приведены в таблице.

На основании проведенных экспериментальных исследований, их математической обработки и распространения этих исследований на другие грунты была применена мультикватратическая радиально базисная функция

$$\varphi(r, \varepsilon) = \sqrt{1 + (r, \varepsilon)^2}. \quad (3)$$

В данном случае получена следующая зависимость удельного сцепления от концентрации солевого раствора:

$$C = \sum_{i=1}^{11} a_i \sqrt{1 + (\tilde{C} - \tilde{C}_i)^2}, \quad (4)$$

где a_i — свободные члены, полученные в процессе статистической обработки: $a_1 = 0,44569412$; $a_2 = -0,2390127$; $a_3 = 0,09845744$; $a_4 = -0,1414456$; $a_5 = 0,0972468$; $a_6 = -0,0929422$; $a_7 = -0,0222066$; $a_8 = 0,07174023$; $a_9 = -0,079025$; $a_{10} = -0,0198$; $a_{11} = 0,14988672$; \tilde{C} — любое значение концентрации, которое можно задать для определения удельного сцепления C ; \tilde{C}_i — экспериментальные данные концентрации при i -том исследовании.

Результаты эксперимента в удобном виде с выбором оптимального масштаба также приведены на рисунке.

Как видно по результатам исследований, при увеличении концентрации солевого раствора при приготовлении грунтовой пасты удельное сцепление становится в несколько раз больше по сравнению с чистой водой. Это можно объяснить тем, что насыщенные соевыми растворами глинистые грунты представляют собой дисперсную систему, в которой растворенные соли можно рассматривать как дисперсную среду, а глинистые минеральные частицы — как дисперсную фазу.

Одной из наиболее важных особенностей минеральных частиц является то, что они несут электрический заряд, который оказывает важное влияние при формировании структуры грунтов и в значительной степени обуславливает их физико-механические свойства.

Большинство минеральных частиц грунта в природном состоянии имеют отрицательный заряд, что объясняется наличием на их поверхности анионов, которые входят в их кристаллические решетки. Отрицательный заряд минеральных частиц и окружающие ее катионы создают двойной электри-

Основные показатели свойств грунта и результаты исследований

Концентрация солей, г/л	Влажность, %	Влажность на границе текучести, %	Влажность на границе пластичности, %	Число пластичности, %	Удельное сцепление, кПа
0	40,2	29,3	17,0	12,3	3,0
5	40,3	30,4	17,5	12,9	5,5
10	40,3	32,7	17,8	14,9	6,5
15	40,4	35,6	18,2	17,4	8,0
20	40,4	38,1	18,4	19,7	8,5
25	40,4	40,2	18,5	21,7	9,6
30	40,4	44,6	18,6	26,0	10,0
35	40,4	44,8	18,6	26,2	10,2
40	40,4	44,8	18,7	26,1	10,9
45	40,4	45,0	18,7	26,3	11,0
50	40,4	45,0	18,8	26,2	11,0

ческий слой. Катионы наружного слоя способны обмениваться на катионы раствора, с которыми сталкивается минеральная частица. Этот обмен происходит в эквивалентных отношениях.

Чем больше заряд минеральных частиц, тем устойчивее дисперсная система. Как только частицы теряют свой заряд и становятся нейтральными, окружающие их водные оболочки разрушаются, частицы собираются в комки и выделяются из раствора — дисперсная система разрушается. Процесс, связанный с потерей электрического заряда и слипанием отдельных частиц в комки, называют коагуляцией. Процесс коагуляции происходит в результате повышения концентрации солевых растворов, окружающих минеральные глинистые частицы. Так как при этом уменьшается толщина уплотненных оболочек вокруг минеральных частиц, они легко слипаются между собой. Таким образом, повышение концентрации солевых растворов может существенно увеличивать силы связности между глинистыми минеральными частицами, что приводит к изменению напряженно-деформированного состояния грунтового массива. Напряженное состояние грунта зависит не только от напряжений, которые возникли от внешних нагрузок, но и от внутренних усилий, действующих в самом грунте.

К числу внутренних усилий, влияющих на напряженное состояние насыщенных соевыми растворами грунтов, относят:

вертикальное давление от собственного веса грунта во взвешенном состоянии γ_{sb} ;

гидродинамическое давление раствора, действующее по направлению линии тока, Φ ;

давление, эквивалентное внутренним силам связности P_c .

Таким образом, напряженно-деформированное состояние грунта, насыщенного соевыми растворами, определяется по действию объемных сил γ_{sb} , Φ , P_c .

Выводы

На основании экспериментальных исследований установлено, что удельное сцепление в глинистых грунтах зависит не только от их состава, уплотнения и влажности, но и от концентрации солей в поровой воде. С целью расширения данных исследований на другие глинистые грунты установлена эмпирическая зависимость удельного сцепления от концентрации солевого раствора. Дальнейшими исследованиями может быть оценено напряженно-деформированное состояние грунтовых массивов с учетом сил связности, которые зависят от концентрации солевых растворов.

Список литературы

1. Денисов Н. Я. Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве. — М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. 288 с.
2. Шаров В. С. Природа глины и ее отношение к воде и растворам // Гидрогеология и инженерная геология. 1940. № 5.
3. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. — М.: Высшая школа, 1981. 511 с.

Слисский Сергей Митрофанович

13 мая 2013 г. исполнилось сто лет со дня рождения Сергея Митрофановича Слиского, профессора, доктора технических наук, видного отечественного гидравлика и организатора высшего гидротехнического образования. Большая часть его трудовой деятельности была связана с факультетом гидротехнического строительства и кафедрой гидротехнических сооружений Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева.



Сергей Митрофанович Слиский родился 13 мая 1913 г. в станице Иланской Красноярского края. Здесь он окончил семь классов, работал трактористом. С 1930 по 1934 г. учился на гидросиловом факультете Московского строительного техникума, затем поступил на гидротехнический факультет Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева, после окончания которого в 1939 г. работал инженером в Московском отделении института “Гидроэнергопроект”.

С 1940 по 1946 г. С. М. Слиский служил в Красной Армии: до 1943 г. — в Хабаровском военном округе рядовым, командиром взвода, роты, полковым инженером десантной бригады; с 1943 г. — на фронте в составе 2-го и 3-го Украинских фронтов, освобождал Австрию и Венгрию. После окончания Великой Отечественной войны С. М. Слиский в составе Союзной Контрольной комиссии в течение года изучал водное хозяйство и состояние гидротехнических сооружений Венгрии. За участие в боевых действиях он был награжден орденами Отечественной войны и Красной Звезды.

После демобилизации в 1946 г. С. М. Слиский работал инженером в Гидроэнергопроекте, а затем поступил в аспирантуру Московского энергетического института. В 1947 – 1950 гг. он провел лабораторные гидравлические исследования для первой в мире крупной совмещенной Камской водосливной гидроэлектростанции, результаты которых были внедрены в построенном сооружении. Теоретические и экспериментальные разработки по гидравлической эжекции на совмещенных зданиях гидроэлектростанций обобщены в монографии “Эжекция в нижний бьеф на совмещенных ГЭС” (1953 г.), которая переведена на английский и вьетнамский языки.

С 1950 по 1960 г. С. М. Слиский провел крупные теоретические и экспериментальные исследования по гидравлике гидроэлектростанций Волж-

ско-Камского каскада: Волгоградской, Волжской, Саратовской, Воткинской, Нижнекамской. Эти исследования позволили внедрить более эффективные, не имеющие аналогов в мировой практике конструкции турбинных блоков совмещенных ГЭС, благодаря оптимизации размеров и форм турбинных блоков и водосбросов, снижению потерь напора на сороудерживающих устройствах верхнего бьефа, более рациональной конструкции крепления нижнего бьефа и использованию эффекта эжекции. За этот цикл исследований в 1956 г. С. М. Слиский был удостоен премии Совета Министров СССР, а за работу по научному обоснованию гидравлики здания Волжской ГЭС в 1958 г. был награжден медалью “За трудовую доблесть”.

Разработанные им гидравлические методы расчета пропускной способности напорных водосбросов с диффузорной камерой с учетом перепада восстановления и влияния уклона dna водобоя широко использовались в проектной практике. Их применение при проектировании гидроэлектростанций Чебоксарского, Усть-Илимского и Вилюйского гидроузлов позволило получить значительный экономический эффект.

Теоретические и экспериментальные итоги выполненных работ обобщены им в монографии “Гидравлика зданий гидроэлектростанций” (1970 г.), до сих пор остающейся настольной книгой проектировщиков-гидротехников. Разработанные С. М. Слиским методы расчета сопряжения бьефов и эжекции на гидроэлектростанциях получили широкое признание и опубликованы в трех изданиях “Справочника по гидравлическим расчетам” под редакцией П. Г. Киселева (1961, 1972, 1975).

В 1970 – 80 гг. под руководством С. М. Слиского и при его непосредственном участии были выполнены гидравлические исследования Рижской ГЭС в Латвии, водопропускных сооружений Тюя-Муоньского гидроузла в Узбекистане, селазитной плотины Медео в Казахстане (на которой был реализован предложенный им новый тип вихревого водосброса), шахтного водосброса гидроузла Северный Кебир в Сирии, а также теоретические и экспериментальные исследования новых перспективных конструкций глубинных затворов.

С. М. Слиский более сорока лет был экспертом Госстроя СССР, Минэнерго СССР, Госплана СССР

и РСФСР проектов гидротехнических узлов в СССР и за рубежом, при разработке нормативных документов. Он был членом Советского национального комитета по большим плотинам и технического комитета Международной ассоциации по гидравлическим исследованиям, неоднократно принимал участие в работе международных конгрессов. В 1973 г. работал председателем гидротехнической секции Правительственной комиссии по приемке в промышленную эксплуатацию канала Иртыш — Караганда (Казахстан). С. М. Слиский был членом научно-технических советов Госплана СССР, Минэнерго СССР, Союзгипрводхоза, научно-исследовательского сектора института “Гидропроект”, заместителем председателя специализированного совета по присуждению ученых степеней МИСИ им. В. В. Куйбышева и членом специализированного совета института “Гидропроект”, членом редколлегий издательства “Энергоатомиздат”.

Свою научно-педагогическую деятельность С. М. Слиский начал в 1947 г. будучи аспирантом известного гидравлика С. В. Избаша в Московском энергетическом институте, где после защиты кандидатской диссертации в 1951 г. работал инженером, старшим научным сотрудником, а с 1955 г. — доцентом кафедры гидравлики. С 1959 г. его дальнейшая научная и педагогическая деятельность была связана с Московским инженерно-строительным институтом им. В. В. Куйбышева. После защиты докторской диссертации в 1963 г. Сергей Митрофанович стал профессором кафедры гидротехнических сооружений, а в 1972 г. был избран заведующим кафедрой, сменив выдающегося отечественного гидротехника М. М. Гришина, и проработал на этом посту до 1988 г.

Значительным этапом в жизни Сергея Митрофановича была работа деканом факультета гидротехнического строительства с 1963 по 1972 г. В эти годы расширяется прием студентов на факультет, открываются новые специализации. Так, впервые в мире начинается подготовка гидротехников для освоения континентального шельфа. Осуществляется подготовка инженеров со знанием английского, французского и испанского языков, организуется зарубежный обмен студентами и научными сотрудниками, расширяется география мест практик студентов. В это время, например, при поддержке министра энергетики П. С. Непорожного большая группа студентов факультета на полгода выезжала на работу на строительство Асунской плотины в Египте. Укрепляется лабораторная и научная база факультета.

В своих лекциях Сергей Митрофанович отражал современные достижения мирового и отечественного гидростроительства, разработал курс “Гид-

равлика гидротехнических сооружений”, выступал с лекциями в Минске, Одессе, Владивостоке и за рубежом — в Будапеште, Веймаре, Ханое. Он был членом президиума методической комиссии по гидротехнике Минвуза СССР; организовывал связь вузов, готовящих инженеров-гидротехников, со стройками крупнейших гидроузлов того времени: Красноярского, Ингурского, Токтогульского и др.; являлся членом редколлегии журнала “Известия высших учебных заведений. Строительство и архитектура”.

В эти годы факультет гидротехнического строительства стал авторитетным научно-исследовательским центром, его бюджет составлял более половины бюджета всего института, штат научных сотрудников превышал более ста человек. В это время факультет выполнил комплексные исследования по обоснованию проекта Андижанского гидроузла в Узбекистане. Сергей Митрофанович был одним из организаторов и руководителей Проблемной лаборатории Минвуза СССР по динамике гидротехнических сооружений высоких напоров, где выполнялись пионерные разработки по сейсмостойкости плотин, гидравлике высоконапорных водосбросов, бетонным и грунтовым плотинам, переходным процессам турбин и насосов, кавитации и др., результаты которых во многих направлениях опережали мировой уровень, вошли в нормативные документы и до сих пор широко используются в проектной практике.

Под руководством С. М. Слиского подготовлено более двадцати кандидатов технических наук, один из них стал доктором технических наук.

В 1979 г. под руководством М. М. Гришина и С. М. Слиского в издательстве “Высшая школа” выпущен учебник “Гидротехнические сооружения”, который затем был издан на английский и арабском языках. Итогом большой научной работы С. М. Слиского, его учеников и коллег стал фундаментальный труд “Гидравлические расчеты высоконапорных гидротехнических сооружений”, изданного (1979 и 1986 гг.) как учебное пособие для студентов и практическое руководство для проектировщиков и исследователей.

В 1986 г. за большой вклад в развитие гидротехнического образования в СССР и за значительные научные результаты С. М. Слиский был награжден орденом Трудового Красного Знамени.

С. М. Слиский скончался 1 мая 1989 г.

Инженер, спортсмен, воин, ученый, педагог и организатор, незаурядная личность — Сергей Митрофанович Слиский оставил яркий след в отечественной гидротехнике, в судьбе многих своих учеников и коллег.

К переизданию СТО 17330282.27.140.004-008 “Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений”

Епифанов А. П., доктор техн. наук (КРИИЖТ),
Сахаров Г. Г., Дружинин А. Ю., инженеры (КФ ЗАО “Сибирский ЭНТЦ”)

Отмечается важность и полезность введения СТО 17330282.27.140.004-2008, так как ранее в этой области стандарты отсутствовали. Подчеркивается, что достоверность получаемой информации от закладной КИА является одним из основных моментов обеспечения безопасной эксплуатации сооружений. Однако при трактовке некоторых положений в СТО допущены неточности, в существенной степени ограничивающие применение информации от закладной КИА в системах мониторинга гидротехнических сооружений. Обосновывается необходимость корректировки некоторых положений СТО при подготовке его новой редакции. Акцентируется внимание на вопросах технической и юридической баз диагностирования закладной струнной КИА, устанавливаемой в сооружения при строительстве и в последующем недоступной для проверок, ремонта или замены. Даются рекомендации по уточнению других пунктов СТО.

Ключевые слова: стандарт, гидротехнические сооружения, контрольно-измерительные системы и аппаратура, безопасная эксплуатация.

В 2008 г. введен новый отраслевой стандарт по созданию, формулировке требований и эксплуатации контрольно-измерительных систем и автоматизации контроля ГТС [1]. Следует отметить важность этого документа, так как до его появления практически отсутствовали нормативы по данному направлению. При создании настоящего СТО рассматривались такие направления, как мониторинг, метрология, надежность измерения, автоматизация контроля ГТС. К сожалению, в документе допущены некоторые неточности и ошибки, которые необходимо исправить при переиздании.

В разделе 5 затронут чрезвычайно важный вопрос достоверности показаний закладной струнной КИА. Так, в п. 5.1.6 сформулировано:

“Так как закладная аппаратура имеет ограниченный срок гарантийной эксплуатации (15 – 20 лет) и при выходе из строя, как правило, не может быть заменена, она может использоваться для контроля общего состояния сооружений только в начальный период эксплуатации. Показания закладных приборов, действующих за пределами гарантийного срока, не могут использоваться для назначения по ним критериев безопасности”.

Такая трактовка вопроса базируется на ошибочных определениях, в частности термина “гарантийный срок эксплуатации”. В Юридическом словаре РФ находим следующее определение:

“Гарантийный срок — это период времени, в течение которого изготовитель принимает на себя повышенные обязательства перед потребителями, например, обязуется за свой счет устранять возникающие недостатки, а в некоторых случаях и заменять товар на новый”.

Как видим, в этом понятии заложена исключительно **юридическая сторона** вопроса, лишь косвенно связанная с технической надежностью продукта (товара, услуги). В нормативных документах по технической надежности [2] термины “срок гарантийной эксплуатации” и “гарантийный срок службы” вообще отсутствуют, так же как и их трактовка, поскольку они не относятся к категории технических.

В ТУ на струнные датчики установлено: **“Гарантийный срок на датчики составляет 18 месяцев** с момента установки в сооружение и срок их хранения — 6 месяцев (в последних редакциях ТУ — 2 года гарантии и 2 года хранения). Датчики, вышедшие из строя по вине изготовителя в течение гарантийного срока, необходимо направить в его адрес для замены”.

В ОСТ на струнные датчики [3] период 18 лет (в последних редакциях ТУ — 12 лет) определен как средний срок службы датчиков, т.е. параметр вероятностный, и считать его предельным или гарантированным сроком эксплуатации **ошибочно**.

В силу изложенного есть основания утверждать, что в формулировках СТО [1] смешаны юридические и технические понятия, что приводит к неверным выводам и исключает закладную струнную КИА из систем контроля гидротехнических сооружений практически к концу их строительства. Такая же ошибка повторяется и в других СТО [4, 8]. В этой связи, учитывая отзывы и других специалистов по натурным исследованиям ГТС [5], полагаем, что требуется уточнение в этой части формулировок СТО. Отметим также, что принятый подход к закладной струнной КИА практически ис-

ключает целесообразность создания и введения автоматизированных систем контроля ГТС.

Однако далее в стандарте [1, п. 9.5.2] устанавливается способ проверки состояния струнных датчиков, даются общие рекомендации по правилам проверки достоверности показаний датчиков, которые должны проводиться:

- проверкой флюктуаций повторным измерением; статистическими методами обработки; сопоставлением измеренных деформаций с температурой;

- анализом скачкообразных изменений (раскрытие швов, трещин);

- проверкой на инвариантность (для розеток тензометров).

Есть все основания считать такой подход конструктивным, так как при его применении используются приемы технической диагностики.

Техническая диагностика — отрасль научно-технических знаний, сущностью которой является теория, методы и средства обнаружения и поиска дефектов у объектов технической природы. Являясь сравнительно молодой отраслью научно-технических знаний, техническая диагностика позволяет успешно решать широкий круг задач, связанных с обеспечением надёжности эксплуатации сложных объектов: машин, сооружений, электронной техники и др. [6].

Действительно, датчики, установленные в сооружениях ГЭС при их возведении, в последующем недоступны для проверки метрологических характеристик, ремонта или замены. Единственно доступными являются характеристики, которые могут быть измерены на выводах линии от датчиков, т.е. при диагностировании имеется возможность получения лишь параметров сигнала датчика и его электрической цепи. В теории диагностирования такой прием оценки носит название “функциональная диагностика” [6].

На сегодня, в дополнение к перечисленным в [1, п. 9.5.2] способам, на базе теоретических основ технической диагностики получили развитие методы диагностики закладной струнной КИА, основанные на измерении комплекса информативных и неинформативных параметров датчиков и специальных приемов анализа полученных данных.

Разработанная в ЗАО “Сибирский ЭНТЦ, СибНИИГ” (Красноярск) система диагнозов струнной КИА построена на основе анализа математических зависимостей, описывающих датчики, анализа их конструкции, серии методических экспериментальных исследований, ограничений, установленных в их нормативных документах и на результатах натурных измерений комплекса параметров. Система диагнозов позволяет установить причинно-следственные связи между поведением неинформативных

параметров и метрологических характеристик струнных преобразователей, на основе которых формулируется заключение:

- о возможности получения достоверных отсчетов, в том числе и с использованием специальных приёмов;

- о применении датчиков в качестве измерительных устройств или индикаторов;

- о прогнозе их последующей долговременной работы.

Описанная методика и специальная аппаратура, разработанные в СибНИИГ, применены при диагностировании струнной КИА ряда больших плотин (Саяно-Шушенская, Бурейская, Богучанская, Вилуйская-3) и подтвердили высокую эффективность. На примере Саяно-Шушенской ГЭС показано, что около 80 % обследованных струнных датчиков, проработавших в сооружениях ГЭС 30 и более лет, обеспечивают получение достоверной информации. Отметим, что высокая потенциальная метрологическая надёжность струнных датчиков подтверждена и специальными испытаниями, проведенными в НИИЭС [7].

В СТО [1], по нашему мнению, также необходимы уточнение и дополнение отдельных разделов или пунктов, не согласующихся с другими нормативными документами:

- раздел 3 — в части терминологии по автоматизированным системам контроля ГТС, учитывая, что и разработка, и сдача в эксплуатацию должны проводиться с учетом требований профилирующих ГОСТов;

- раздел 6, п. 6.6.4 и раздел 7, п. 7.6.3 — требуется согласованная редакция в части требований по абсолютной погрешности измерений к средствам измерения температуры в зонах вечной мерзлоты. В п. 6.6.3 исключить применение как единственно возможных термометров сопротивления;

- раздел 8, п. 8.11 — периодичность проверки состояния (обследования) закладной КИА требует приведения в соответствие с [4];

- раздел 9, п. 9.5.2 — дополнить требованием проведения технической диагностики закладной струнной КИА;

- раздел 10 — дополнить возможностью применения на ГТС полуавтоматизированных систем контроля (ПАСО КИА) как положительно зарекомендовавших себя, например на Саяно-Шушенской и Вилуйской ГЭС-3, при существенно меньших издержках на введение и эксплуатацию;

- раздел 5, п. 5.1.6 и раздел 10, п. 10.3.2 и п. 10.3.3 — смягчить требования по применению средств измерений и датчиков только промышленного производства и сертифицированных в России, согласовать по содержанию эти пункты с [8, раздел 7].

Полагаем, что внесение уточнений при переиздании позволит повысить эффективность СТО и обеспечить правильность трактовки затронутых в нем положений. Одновременно должны быть изменены подходы к системам закладной струнной КИА с целью продления срока эксплуатации и обеспечения логического обоснования для создания и введения технических средств автоматизации контроля ГТС.

Список литературы

1. СТО 17330282.27.140.004-2008. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Условия создания. Нормы и требования. — М.: ОАО “РАО ЕЭС России”, 2008.
2. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Госстандарт, 1990.
3. ОСТ 3472.965-96. Преобразователи измерительные струнные для контроля состояния энергетических сооружений. Общие технические требования. — М.: Минэнерго, 1996.
4. СТО 17330282.27.140.021-2008. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений ГЭС. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. — М.: ОАО “РАО ЕЭС России”, 2008.
5. Дурчева В. Н. Результаты натурных наблюдений за работой бетонной плотины Братской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2011. № 11.
6. Технические средства диагностики / Под ред. В. В. Клюева. — М.: Машиностроение, 1989.
7. Бритвин С. О., Коновалов И. К. Исследование и анализ показателей надёжности технических средств для диагностирования сооружений // Гидротехническое строительство. 1999. № 4.
8. СТО 17330282.27.140.025-2008. Гидроэлектростанции. Контрольно-измерительные системы и аппаратура гидротехнических сооружений. Метрологическое обеспечение и оценка технического состояния. Нормы и требования. — М.: Некоммерческое партнерство “ИНВЭЛ”, 2009.

Сдано в набор 22.03.2013. Подписано в печать 13.05.2013. Формат 60×84 1/8.

Печать офсетная. Печ. л. 8,0. Цена свободная

Оригинал-макет выполнен в издательстве “Фолиум”
127238, Москва, Дмитровское ш. 58, тел/факс (495) 482-5590, 482-5544

Internet: <http://www.folium.ru>, **E-mail:** info@folium.ru

Отпечатано в типографии издательства “Фолиум”



МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

г. Москва, Российская академия наук, 22-23 октября 2013 г.

По инициативе Российской академии наук (РАН) и Некоммерческого Партнерства "Научно-технический совет Единой энергетической системы» в период с 22 по 23 октября 2013 г. в г. Москве состоится Первый Международный научно-технический форум **«ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА: ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ» (REENFOR-2013)**.

Организаторами Форума являются Научный совет РАН по комплексным проблемам энергетики, Научный совет РАН по нетрадиционным возобновляемым источникам энергии, Научный Совет РАН по проблемам надежности и безопасности больших систем энергетики и Некоммерческое партнерство «Агентство научных и деловых коммуникаций» (НП «АНДК»).

Ожидается, что Форум пройдет при поддержке Комитета Государственной Думы РФ по энергетике, Министерства образования и науки РФ, Министерства энергетики РФ, Министерства экономического развития РФ, Министерства регионального развития РФ, Министерства промышленности и торговли РФ, Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Министерства Российской Федерации по развитию Дальнего Востока, других министерств и ведомств, ответственных за эффективное развитие использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в различных секторах экономики и в регионах России, а также Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

В Форуме планируется участие представителей ведущих энергетических компаний России: ОАО «РусГидро», ОАО «Интер РАО ЕЭС», ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Росатом», ОАО «Лукойл», ОАО НК «Роснефть», ОАО «Газпром», ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «Российские сети», ОАО «РАО ЭС Востока» и других компаний различных отраслей топливно-энергетического комплекса из разных регионов России.

Ожидается, что партнерами Форума станут государственные фонды и институты развития: ОАО «РВК», Государственная корпорация «Внешэкономбанк», Фонд «Сколково», ОАО «РОСНАНО», Технологические платформы, реализующие проекты в области ВИЭ, и другие. Партнерами Форума выразили готовность стать Международная финансовая корпорация (IFC) и Некоммерческое Партнерство по организации международных исследований и проектов в области энергетики "Глобальная энергия".

Спецификой Форума является его концентрация на рассмотрении проблем повышения эффективности практического использования передовых технологий возобновляемой энергетики, улучшения их энергетических и экономических показателей в различных климатических и социально-экономических условиях, анализе лучших практик использования ВИЭ в России. Этим аспектам, на большей части известных форумов, как правило, необходимого внимания не уделялось.

В работе Форума ожидается участие представителей ведущих международных организаций, научных центров и зарубежных компаний, активно работающих в области возобновляемой энергетики. Международный характер Форума обусловлен целесообразностью ознакомления с зарубежным опытом разработок и практического освоения ВИЭ. Установление более тесного научно-технического и делового сотрудничества с фирмами, проявляющими интерес к участию в развитии ВИЭ в России, позволит также обсудить вопросы их участия в создании головных образцов энергоустановок на ВИЭ на территории Российской Федерации.

В рамках Форума будут организованы пленарные заседания, круглые столы и презентации компаний и региональных представителей по актуальным проблемам разработки и практического использования технологий преобразования энергии солнечного излучения, энергии ветра, энергии биомассы, энергии малых водных потоков, геотермальной энергии, природного и сбросного низкопотенциального тепла с помощью тепловых насосов, других возобновляемых источников энергии с получением электроэнергии, тепла и холода.

Планируется также проведение научно-организационных мероприятий и обсуждение стратегических программ исследований и разработок в области ВИЭ Технологических платформ «Перспективные технологии развития возобновляемой энергетики», «Малая распределенная энергетика», «Биоэнергетика», «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности». Рассматривается возможность организации молодежной секции Форума.

ГЛАВНЫЕ ТЕМЫ ФОРУМА:

- Роль и место возобновляемых источников энергии в развитии централизованной, региональной и автономной энергетики. ВИЭ в Энергетической стратегии России;
- Технико-экономические показатели перспективных технологий энергетического использования ВИЭ с учетом региональных и природно-климатических условий их использования и особенностей потребителей. Лучшие отечественные и зарубежные практики;
- Механизмы стимулирования развития ВИЭ. Роль федеральных и региональных органов управления, отечественных и международных финансовых институтов;
- Проблемы подготовки специалистов в области возобновляемой энергетики в России;
- Приоритетные проекты развития ВИЭ в рамках Технологических платформ «Перспективные технологии возобновляемой энергетики», «Малая распределенная энергетика», «Биоэнергетика», «Экологически чистая тепловая энергетика высокой эффективности» (обсуждение в рамках Круглых столов).

Предполагается, что работа Форума будет организована на регулярной основе с проведением ежегодных сессий, специализированных совещаний, семинаров и других мероприятий с целью обобщения и распространения информации и научно-технического содействия успешному развитию практического использования ВИЭ в России и за ее пределами.

ОЖИДАЕМОЕ КОЛИЧЕСТВО УЧАСТНИКОВ: около 300 человек.

Секретариат форума:

Тел./факс: +7 495 984 81 25; e-mail: conference@andk.ru; Web: www.andk.ru

Ответственный секретарь: Оксана Гороховская

Тел./факс: +7 495 984 81 25, +7 985 924 13 73; e-mail: o.gorokhovskaya@andk.ru

В секретариат Форума следует обращаться по всем вопросам участия в Форуме, спонсорства и партнерства, при заказе дополнительных услуг (гостиницы, трансферы, культурная программа).

Информация о ходе подготовки Форума и условиях участия на сайте: www.reenfor.org

Сопредседатели Программного комитета Форума

Академик-секретарь отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН, директор Объединенного института высоких температур РАН, академик

В.Е. Фортв



Президент НП «НТС ЕЭС», Президент Международной энергетической академии, Президент Корпорации «ЕЭЭК», член-корреспондент РАН

А.Ф. Дьяков



ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСИ СТАТЬИ

Статью в редакцию журнала “Гидротехническое строительство” можно направить по адресу: 109044, г. Москва, Воронцовский переулок, дом 2, стр. 1. ЗАО НТФ «Энергопрогресс» или по E-mail: gts1930@yandex.ru

Статья должна отвечать следующим требованиям.

1. Статью необходимо сопроводить письмом с указанием *сведений об авторах* (фамилия, имя и отчество полностью, место работы, ученая степень и должность, служебный и домашний адреса, номера домашнего и служебного телефонов), *краткой аннотацией*.

2. Принимаются к рассмотрению: статьи, напечатанные *на машинке* (на одной стороне листа через два интервала с полями 3 – 4 см), в двух экземплярах или один экземпляр распечатки статьи, набранной *на компьютере* (шрифт не менее 14 пт с полуторным межстрочным интервалом), плюс электронная версия статьи на диске (3,5" или CD) или по E-mail.

3. *Рисунки* представляются отдельно в двух экземплярах, их нельзя вклеивать в текст. В тексте (на полях) приводятся лишь ссылки на номера рисунков. Следует учитывать, что при печати рисунки уменьшаются, поэтому детали их не должны быть мелкими, однако размер каждого рисунка не должен превышать 200 × 290 мм.

Все *чертежи* выполняются в соответствии с действующими стандартами, аккуратно и четко. *Графики* должны быть выполнены в координатах в единицах измерения СИ (обязательных). Графики или кривые зависимости, если их на рисунке несколько, а также отдельные детали на чертежах, узлы и линии на схемах следует обозначать цифрами (позициями) или буквенными обозначениями. Сокращение слов не допускается.

Фотоснимки с четким контрастным изображением и хорошо проработанными деталями представляются в двух экземплярах, на одном из которых не должно быть никаких надписей и позиций.

4. *Формулы* должны быть четко написаны в отдельные строки (а не в текст). При этом прописные (большие) буквы подчеркиваются двумя черточками снизу, а строчные (маленькие) – двумя черточками сверху. Греческие буквы обводятся красным карандашом, латинские – синим. Индексы пишутся ниже строки, показатели степени – выше. На полях рукописи делаются пометки, поясняющие, какие буквы являются русскими, какие – латинскими, делается разметка букв [на полях или рядом пишется слово “буква” О, З, Ч, I (латинская), П, Ш, У в отличие от цифр 0, 3, 4, I, II Ш, V] в типах оборудования и других случаях. Если формулы набраны на компьютере, но их элементы имеют двойное прочтение, они должны быть размечены так же, как и при написании вручную.

5. *Таблицы* не должны быть громоздкими, все наименования необходимо писать без сокращения слов (за исключением единиц измерения). Численные значения величин в таблицах и в тексте должны быть в единицах измерения СИ (обязательных).

6. Статья должна завершаться *конкретными выводами*, в которых в лаконичной форме (по пунктам) излагаются результаты работы и предложения автора, вытекающие из изложенного материала.

7. *Список литературы* приводится в конце статьи. Он составляется в порядке последовательности ссылок в тексте. Ссылки на литературу в тексте заключаются в квадратные скобки. В списке указывается:

а) для *журнальных статей* – фамилия и инициалы всех авторов, название статьи, журнала, год издания, номер журнала (том);

б) для *книг* – фамилия и инициалы всех авторов, название книги, издательства, год издания;

в) для *сборников и продолжающихся изданий* – фамилия и инициалы всех авторов конкретной статьи, ее название, название сборника или издания, город, издательство, год, выпуск;

г) для *других видов изданий* перечисляются идентичные библиографические данные.

В список литературы не должны включаться неопубликованные материалы, материалы служебного пользования, а также мало распространенные издания и материалы, отпечатанные литографическим или подобным ему способом.

Технические требования к электронной версии статьи. Текст статьи должен быть набран на PC-совместимом компьютере (не Mac) с использованием базовых шрифтов Windows. Рисунки необходимо выполнить в форматах EPS, CDR, BMP, TIFF или JPEG и предоставить отдельными файлами (нельзя заверстывать рисунки в текст статьи). Сканирование графических рисунков нужно производить с разрешением 600 dpi, а фотоснимков, представляемых в электронном виде, – с разрешением не менее 300 dpi.

СПРАВКА

(предоставляется в редакцию каждым автором/соавтором статьи)

В соответствии с Законом Российской Федерации об авторских правах, сообщаю, что
я, _____

автор (соавтор) статьи _____

уведомлён об ответственности за использование в статье таких материалов, защищённых авторским правом, как цитаты, воспроизведённые данные, иллюстрации и иные материалы, и о том, что ответственность за нарушение авторских прав ложится на автора статьи.

Я сообщаю, что данная статья не опубликована и не представлена для опубликования в другие периодические издания.

В связи с тем, что издательство “Springer” издаёт новый журнал на английском языке “Power Technology and Engineering”, статьи для которого будут отбираться из журналов “Электрические станции” и “Гидротехническое строительство”, я подтверждаю передачу прав издательству “Springer” на перевод статьи на английский язык и опубликование в печатном и электронном виде названной статьи в журнале “Power Technology and Engineering”, а также распространение её во всех странах мира в случае, если статья будет выбрана для печати в этом издании, и сообщаю, что такая передача указанных прав не нарушает авторских прав других лиц и организаций.

Подпись автора _____ « ____ » _____ 201_ г.

Ф.И.О. _____

Адрес _____

Место работы _____

Тел. _____

Факс _____

E-mail, который может быть размещён в свободном доступе на сайте журнала для общения читателя с автором статьи _____

E-mail для переписки с редакцией _____