МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Гидротехническое, энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика»

Инновационные технологии и конструкции в гидротехническом, энергетическом и воднотранспортном строительстве

материалы 2-й Международной заочной научно-практической конференции

в рамках Международного молодежного форума «Креатив и инновации 2023»

30 ноября 2023 года

Минск
БНТУ
2023

УДК 624, 626, 627,627.8,629.12
ББК 3

СОСТАВИТЕЛИ:

Качанов И. В., Власов В. В.

В сборнике представлены материалы 2-й Международной заочной научно-практической конференции «Инновационные технологии и конструкции в гидротехническом, энергетическом и воднотранспортном строительстве», посвященные анализу современных подходов к проблемам развития гидротехнического и энергетического строительства, водного транспорта и гидравлики, путях повышения эффективности образования, науки и производства, привлечение молодежи к научной и практической деятельности. Сборник ориентирован на студентов, магистрантов, аспирантов и преподавателей средних и высших учебных заведений, научных сотрудников и специалистов, занимающихся вопросами и проблемами развития гидротехнического и энергетического строительства, водного транспорта и гидравлики, поиском повышения эффективности технического образования, науки, производства и эксплуатации.

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

УДК 62-1/-9

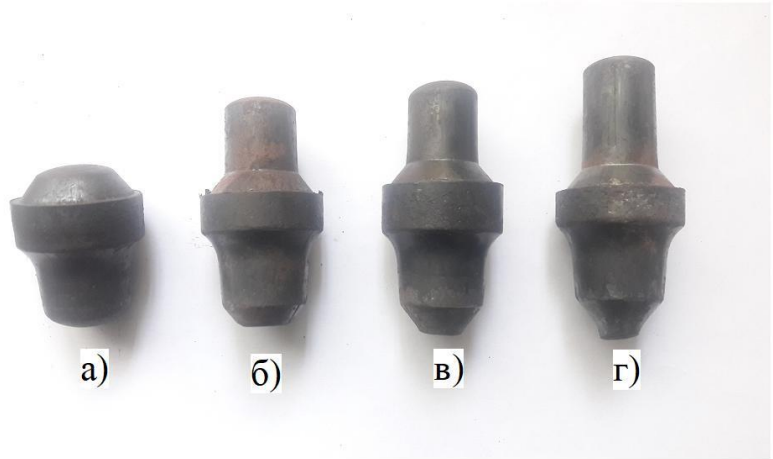
С. И. Охремчик, Н. А. Махнач
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

СРАВНЕНИЕ КАРТИНЫ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛА, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ФОРМООБРАЗОВАНИИ ДОРОЖНЫХ РЕЗЦОВ ПУТЕМ НАТУРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Научный руководители –д.т.н., проф. И. В. Качанов, К. Ю. Быков, С. А. Ленкевич, И. М. Шаталов

В результате проведенных исследований, путем компьютерного моделирования процесса получения дорожных резцов, а также натурных экспериментов по изготовлению опытных образцов дорожных резцов методом скоростного комбинированного горячего выдавливания, установлена общая картина течения и выявлены основные тенденции поэтапного формообразования дорожных резцов.

На рисунках 1 и 2 представлены стадии формообразования дорожных резцов (в характерных сечениях штамповочной полостей) в процессе скоростного комбинированного горячего выдавливания, полученных опытным путем и с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM-3D.



а) начальная стадия выдавливания; б) стадия формирования корпуса головной части; в) стадия формирования хвостовой части; г) завершающая стадия выдавливания

Рисунок 1 – Стадии формообразования натурного опытного дорожного резца, полученного скоростным комбинированным горячим выдавливанием

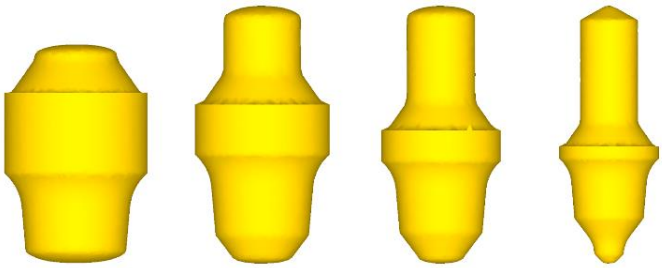
Начальная стадия выдавливания характеризуется формированием двух разнонаправленных течений металла у торцев заготовки – в головную часть и

хвостовую часть резца под действием усилия запрессовки (осадки). При этом остальной объем металла в деформации не задействован.

Стадия формирования корпуса головной части сопровождается более интенсивным заполнением металлом головной части корпуса резца даже по малому радиусу в месте перехода в наконечник, а в направлении хвостовой части формируется застойный участок вплоть до достижения плоскости сечения, в которой начинается формирование наконечника резца.

Следовательно, далее наступает стадия формирования хвостовой части, когда происходит смена направления скоростей деформации и более интенсивно металл течет в хвостовую часть резца, как за счет растягивающих напряжений во всем объеме хвостовика, так и радиально - сжимающих в приповерхностных слоях.

После формирования хвостовой части наступает завершающая стадия выдавливания, которая характеризуется сменой обратного выдавливания (хвостовик сформирован) на прямое и происходит формообразование наконечника рабочей части резца.



а) б) в) г)

а) начальная стадия выдавливания; б) стадия формирования корпуса головной части; в) стадия формирования хвостовой части; г) завершающая стадия выдавливания

Рисунок 2 – Стадии формообразования дорожного резца, полученного компьютерным моделированием в программном комплексе DEFORM-3D

Полученные результаты исследований пластического течения металла с помощью компьютерного моделирования в программном комплексе DEFORM-3D и при проведении натурных экспериментов свидетельствуют о корректности принятых допущений в рамках разработанной компьютерной модели процесса скоростного комбинированного горячего выдавливания дорожных резцов, что позволяет использовать выработанные подходы при моделировании и разработке технологических процессов, основанных на высоких скоростях деформирования.

УДК 624.131.439; 626-1

К. П. Моргунов, Д. Н. Антюшеня

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГРУНТОВ, ЗАЛЕГАЮЩИХ В ОСНОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Выбор конструкции гидротехнических сооружений, технологии их строительства и режимов дальнейшей эксплуатации в значительной степени определяется характеристиками грунтов, на которых располагаются такие сооружения. Как правило, сооружения судопропускных гидроузлов располагаются в руслах естественных водотоков (рек), либо на искусственных водных путях (каналах). Судоходные каналы трассируются по пониженным отметкам местности, представляющим собой русла или долины небольших рек или старицы. Аллювиальные грунты речных долин обычно представляют собой слабые дисперсные несвязные структуры. На поведение грунтов и изменение их свойств под нагрузкой оказывают влияние две основные группы факторов: структура и состояние грунта; параметры внешней нагрузки. Эти факторы определяют тенденции грунта к уплотнению либо разуплотнению при изменении структурных связей между частицами грунта, а также степень таких изменений.

Несвязные дисперсные (крупнообломочные и песчаные) грунты принято характеризовать по их механическому составу и плотности сложения.

По составу – это в основном обломки горных пород, первичных минералов и результатов их выветривания. Крупнообломочные грунты состоят из окатанных или угловатых обломков горных пород размером более 2 мм (более 50 % грунта), имеющих полиминеральный состав. Песчаные грунты характеризуются преобладанием мономинеральных частиц размером 0,05 – 0,2 мм, количество глинистых частиц в них не превышает 3 %.

По плотности сложения (коэффициенту пористости) песчаные грунты разделяются на плотные, средней плотности и рыхлые.

Плотное сложение характеризуется устойчивым положением частиц, относительно небольшим объемом пор. Песчаные грунты в рыхлом состоянии обладают повышенной способностью к деформации под воздействием внешней динамической нагрузки. Степень плотности таких грунтов может колебаться в очень широких пределах, и поэтому способность их к деформации также значительно изменяется. Основная деформация происходит из-за сближения частиц скелета (песчинок), при котором происходит переукладка песчинок и

выжимание воды, содержащейся в порах грунта. Причем такое уплотнение в песчаных грунтах имеет необратимый характер.

В природных условиях стабильное состояние слоя рыхлого песка сохраняется до тех пор, пока не появится причина, вызывающая уплотнение слоя. Такой причиной может явиться динамическое воздействие, возникновение давления в наклонном или горизонтальном направлении, гидродинамическое давление и т. п. Реакцией песчаного грунта на такие воздействия зачастую является разжижение грунта.

Под *разжижением грунта* понимается переход грунта в текучее состояние под действием внешних нагрузок, при котором происходит полная или частичная потеря грунтом несущей способности в результате разрушения структуры и смещения частиц грунта друг относительно друга [1]. Такое смещение возможно лишь при условии сокращения объема пор, то есть отжатия из них воды. Так как отжатие воды не может произойти мгновенно, в порах возникает напор, который взвешивает частицы, трение между частицами исчезает и грунт переходит в состояние суспензии. Напор грунтовой воды быстро распространяется в стороны и вызывает нарушение структуры значительного объема грунтового массива в пределах слоя с неустойчивой структурой.

Явление разжижения песков тесно связано с сопротивлением грунта сдвигающим усилиям, которое является основной характеристикой прочности грунта. Как известно, взаимоотношение касательных τ и нормальных σ напряжений в грунте описывается линейным уравнением, представляющим собой закон Кулона

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c;$$

где φ – угол внутреннего трения, град; $\operatorname{tg} \varphi$ – коэффициент внутреннего трения; c – сцепление, МПа.

Угол внутреннего трения у чистых (неглинистых) песков примерно равен углу естественного откоса. Коэффициент внутреннего трения зависит от размера частиц, их шероховатости и пористости песка. Поэтому эти характеристики, наряду с водонасыщенностью, могут быть использованы при оценке устойчивости песчаных грунтов к разжижению.

Грунты, располагающиеся в основании гидротехнических сооружений, изначально могут быть водонасыщенными, кроме того, при создании напорного фронта (разницы уровней верхнего и нижнего бьефов) водонасыщенность грунтов, как правило, повышается, и в грунтах основания возникают фильтрационные потоки.

На частицы грунта, окруженные водой, действует взвешивающая (Архимедова) сила. Помимо этого, при движении фильтрационного потока в грунте его частицы оказывают задерживающее (тормозящее) воздействие на поток. Тормозящее влияние скелета грунта вызывает снижение скорости воды по пути фильтрации, вследствие чего появляется фильтрационное давление на скелет, так называемое гидродинамическое давление. Это давление представляет собой силу, с которой движущаяся вода воздействует на грунтовый скелет. Сила гидродинамического давления направлена по касательной к линии тока и действует в ту же сторону, в которую движется вода, гидродинамическое давление стремится продвинуть частицы скелета по направлению движения воды.

Взвешивающая сила и сила гидростатического давления совместно воздействуют на частицы скелета грунта. Результирующее действие этих двух сил определяется в результате их векторного сложения. При восходящем фильтрационном потоке фильтрационное и взвешивающее воздействия будут действовать в одном направлении, и их влияние будет суммироваться. Под влиянием такого совместного действия взвешивающих и фильтрационных сил возможны следующие явления:

– разрыхление грунтов при восходящем потоке грунтовых вод и уплотнение при инфильтрации;

– нарушение устойчивости грунтовых откосов и природных склонов;

– выпор водонасыщенного грунта из-под основания сооружений и прорыв (выпор) дна котлована.

Реакция песчаных и гравелистых грунтов на нагрузку существенным образом зависит от их пористости. Немалое значение имеет также и гранулометрический состав грунта.

Для крупного песка величина критической пористости близка к наиболее рыхлому его состоянию, для среднего и мелкого песка критическая пористость приблизительно равна средней величине между его рыхлым и плотным состоянием. При очень тонком скелете грунта, как, например, у неорганического ила, критическая пористость близка к наиболее плотному состоянию этого грунта. Сдвиг грунта, имеющего пористость выше критической, сопровождается стремлением грунта уменьшить свою пористость. Таким образом, критическая пористость в определенной степени может быть использована как критерий для оценки устойчивости грунта в отношении разжижения.

При описании процесса разжижения необходимо учитывать следующие особенности поведения грунтов.

Процесс деформации грунтового массива, связанный с изменением касательных напряжений, имеет нелинейный характер. В работах [1], [2]

отмечено, что угол внутреннего трения, примерно равный для песков углу естественного откоса, и определяющий в соответствии с формулой Кулона касательные напряжения в массиве грунта, при влажности 13 – 14 % имеет обычное для соответствующих песков и супесей значение; при повышении влажности угол естественного откоса резко уменьшается, доходя при влажности 17 – 20 % почти до нуля – рисунок 1.

При циклическом изменении нагрузки на диаграммах «напряжение – деформация» наблюдаются петли гистерезиса [3] – рисунок 2.

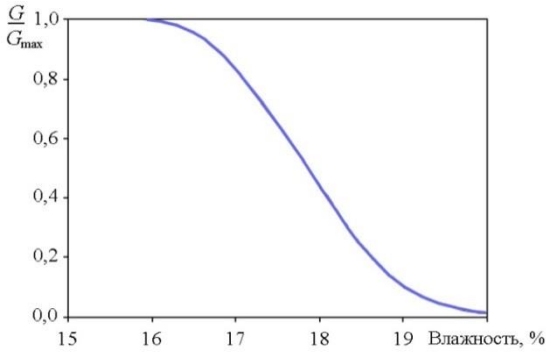


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента внутреннего трения ($G = \mathrm{tg}\,\varphi$) от влажности

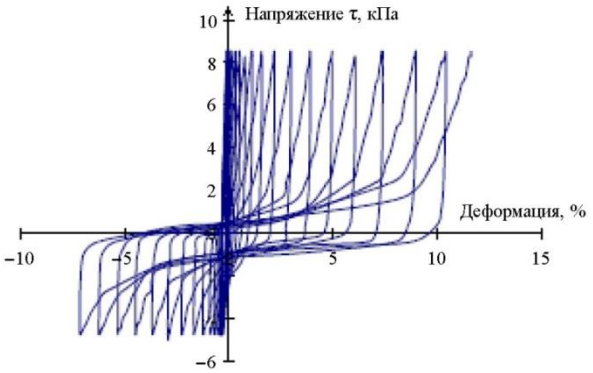


Рисунок 2 – Зависимость деформации от нагружения при циклическом изменении нагрузки

Разжижение грунта может иметь и тиксотропную природу, при которой под влиянием внешнего воздействия (вибрации, встряхивания) грунт разжижается, переходит в состояние «тяжелой жидкости», а затем, когда воздействие прекращается, возвращается в первоначальное состояние, сгущается и упрочняется. Механизм тиксотропии обусловлен тем, что в случае механического воздействия на коллоидную систему вода, связанная с частицами грунта, переходит в свободное состояние. При этом водные оболочки в местах бывших контактов резко утолщаются, из-за чего структурные связи между частицами нарушаются, и коллоидная система быстро разжижается.

Отмечено [4], что грунты, в которых возникают процессы тиксотропии, характеризуются следующим:

– преобладанием частиц размером не более 0,01 мм;

– наличием в составе не менее 2 % глинистых частиц.

Это позволяет объяснить, почему не обладают тиксотропностью чистые песчаные и гравийно-галечниковые грунты. А добавление небольшого количества тиксотропного грунта с наличием глинистых частиц к нетиксотропному сообщает последнему тиксотропные свойства.

Существенное влияние на тиксотропные превращения оказывает влажность грунта. При влажности менее оптимальной и равной ей тиксотропные превращения наблюдаются только у супесей. С повышением влажности сверх ее

оптимального значения интенсивность тиксотропных превращений заметно и непрерывно возрастает.

Процессы разупрочнения, являясь следствием механических воздействий, протекают весьма быстро. По прекращении внешнего воздействия начинается обратный процесс – упрочнение грунта. Длительность тиксотропного восстановления и упрочнения структурных связей существенно зависит от химико-минерального состава, дисперсности и влажности грунтов и может изменяться от десятков минут до десятков суток [3]. Явление тиксотропии может повторяться много раз для одного и того же грунта при механических воздействиях, однако установлено [5], что у некоторых тиксотропных систем наблюдается потеря со временем тиксотропных свойств.

Особый интерес представляют процессы разжижения в слабосвязных существенно пылеватых грунтах – от песков до легких суглинков и лёссовых грунтов. Реакция на динамические воздействия таких грунтов в целом подчиняется тем же закономерностям, но имеет ряд особенностей.

Во-первых, наблюдается резкая потеря прочности даже при незначительной интенсивности динамического воздействия, выражающаяся в быстром разжижении водонасыщенных грунтов. Это обусловлено особенностями смешанной по своему типу структуры – кулоновское трение меньше, чем в чистом песке, а коагуляционная сетка чрезвычайно слабая и часто прерывистая. Относительно низкая проницаемость затрудняет уменьшение порового давления и облегчает быстрое разжижение грунта.

Вторая особенность – постепенное и очень медленное увеличение прочности после прекращения динамического воздействия, складывающееся из двух процессов: слабого уплотнения грунта (из-за низкой скорости отдачи влаги) и упрочнения коагуляционной структурной сетки, имеющего тиксотропную природу. Уплотнение тормозится низкой фильтрационной способностью и определяется скоростью выравнивания порового давления, а тиксотропное упрочнение завершается в течение нескольких часов (до суток).

Особенность поведения лёссовых грунтов – резкое (в 2–3 раза) падение прочности при увеличении их влажности всего на 1–3 % вблизи ее критического значения, близкого к пределу текучести. Такое поведение связано, во-первых, с важной ролью свободной воды в возникновении лавинообразного разрушения структурных связей грунта; во-вторых, с низкой суммарной площадью его межчастичных контактов смешанного типа при высокой начальной пористости; в-третьих, с низкой водопроницаемостью, замедляющей диссипацию порового давления. При докритических влажностях разупрочнение, как правило, невелико – потери прочности обычно не превышают 15–20 %. Чувствительность лёссовых

грунтов к динамическим нагрузкам повышается с уменьшением содержания глинистых частиц.

Плывунные явления – наиболее сложные по своей природе и обусловлены одновременным развитием процессов коагуляционного структурообразования и гравитационного уплотнения. Эти явления характерны для «переходных» (от чистых песков к глинам) видов грунтов, таких как пылеватые пески, супеси и некоторые разности легких суглинков и связаны с разрушением в динамических условиях как коагуляционных, так и механических контактов. При этом специфический состав этих грунтов способствует взаимному усилению разрушения обоих видов контактов. Поэтому плывунные грунты в разжиженном состоянии обладают минимальной вязкостью (меньшей, чем у разжиженных глин или песков) и наибольшей подвижностью среди всех дисперсных грунтов. Такие особенности плывунных грунтов делают их наиболее опасными в динамическом отношении. Развитие плывунных явлений сопровождается медленным уплотнением грунта после снятия внешнего воздействия, небольшой его водоотдачей и постепенным снижением порового давления.

Выполненный анализ изменения свойств грунтов оснований гидротехнических сооружений при изменении нагрузки на них показал, что учет структуры грунтов необходим не только для прочностных расчетов и расчетов статической устойчивости конструкций. Учет характера грунтов, их водонасыщенности и реакции на динамические воздействия позволяет спрогнозировать возможность потери несущей способности грунтов.

Слабые аллювиальные грунты, на которых, как правило, располагаются судопропускные и подпорные сооружения гидроузлов, проявляют тенденции к разжижению, поскольку строительство гидроузлов с формированием напорного фронта способствует повышению содержания воды в грунте и формированию фильтрационных потоков с существенными градиентами.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Моргунов К. П. Проблемы разжижения грунтов в основаниях гидротехнических сооружений / К. П. Моргунов, М. А. Колосов. – Наука и техника. 2022. Т. 21, № 3. – с. 201–210.

2. Болдырев Г. Г. Руководство по интерпретации данных испытаний методами статического и динамического зондирования для геотехнического проектирования / Г. Г. Болдырев. – Москва: Изд-во ООО Прондо. 2017. – 476 с.

3. Динамика грунтов: учебное пособие / сост. Л. А. Строкова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 190 с.

4. Ступников В. С. Тиксотропия глинистых грунтов / В. С. Ступников, Е. М. Данчук, Л. И. Черкасова. – Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral», 2019. № 1. с. 16 – 21.

5. Осипов В. И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых грунтов / В. И. Осипов. – Москва: Изд-во МГУ, 2019. – 232 с.

УДК 626.44

В.Г. Богатырев

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова Санкт-Петербург, Российская Федерация

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСШВАРТОВНОГО ШЛЮЗОВАНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОХОДНОГО ШЛЮЗА В УСЛОВИЯХ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Эксплуатация судоходных шлюзов в период продленной навигации сопряжена со сложностями использования устройств и оборудования в условиях отрицательных температур, на которые они изначально не проектировались. Опыт наблюдений и эксплуатации показывает, что в камере шлюза по линии разделения сред воздух-вода образуется сплошной контур наледи, особенно интенсивно наледь образуется по отметкам верхнего и нижнего бьефа [1]. Образовавшаяся наледь уменьшает габарит ширины шлюза, препятствует полному заходу двустворчатых ворот в шкафные ниши и препятствует свободному перемещению плавучих рымов, вплоть до полного ограничения возможности их перемещения по причине примерзания к направляющим рельсам. Данные ограничения взывают различные сложности при шлюзовании и требуют организации дополнительных мероприятий по их устранению, что в свою очередь усложняет процесс шлюзования и увеличивает его продолжительность. Для обеспечения работы плавучих рымов в зимних условиях предлагались варианты оборудования, как самих рымов, так и направляющих конструкций, по которым рымы перемещаются, системами обогрева. Однако в настоящее время ни на одном судоходном шлюзе России плавучие рымы не оборудованы системами обогрева и судопропуск в зимний период, в условиях обмерзания движущихся частей швартовных устройств не может осуществляться с их использованием. Нет отработанных и прошедших практические испытания систем, обеспечивающих работу обледеневших рымов, не разработаны режимы функционирования систем обогрева, не разработаны варианты их размещения на плавучих рымах, не исследовано поведение механизмов швартовки в зимних условиях. Реализация таких систем на шлюзе

значительно усложняет и удорожает конструкцию рымов, требует устройства дополнительных систем мониторинга за состоянием и работой швартовных устройств.

В виду отсутствия систем, позволяющих использовать плавучие рымы в условиях активного образования наледи, для выполнения требования об обязательной швартовке судна применяют способ швартовки за неподвижные швартовные тумбы, расположенные на верху стены камеры шлюза. Швартовка за неподвижные швартовные тумбы имеет существенные недостатки, связанные с необходимостью экипажем судна производить постоянное и равномерное удлинение или укорачивание швартовного троса в зависимости от опорожнения или наполнения камеры шлюза. Например, в случае шлюзования из нижнего бьефа необходимо постоянно выбирать провис троса, образующийся в результате непрерывного подъема уровня воды, и судна соответственно, в камере шлюза. При выбирании троса для удержания судна на месте необходимо развивать усилие большее, чем сумма усилий от собственного веса троса и от гидродинамического воздействия потока воды на судно, наполняющего камеру. Что является сложной задачей и повышает риск возникновения аварий. С целью уменьшения риска возникновения аварий изменяется режим наполнения на менее интенсивный, позволяющий уменьшить величину действующей гидродинамической силы, и более продолжительный по времени. На шлюзах, оборудованных подвижными рымами в камерах, скорость вертикального перемещения судов не ограничивается и лимитируется только гидродинамическими воздействиями на судно. На шлюзах, оборудованных неподвижными причальными устройствами, наибольшая скорость вертикального перемещения судов ограничивается условиями перекладки причальных канатов и не должна превышать 1 м/мин [2]. Таким образом, помимо технических сложностей реализации швартовки судна, затрачивается дополнительное время на швартовку судна через заводку торса на верх стены к швартовной тумбе и на увеличение времени наполнения или опорожнения камеры шлюза. Поэтому актуальным является исследование возможности осуществления судопропуска через шлюз судов без использования швартовных устройств.

На сегодняшний день наиболее прогрессивным является шлюзование при котором судно удерживает себя в определенном положении в камере шлюза за счет работы собственного винторулевого комплекса. То есть судно компенсирует гидродинамические воздействия от наполнения, опорожнения камеры воздействием от работы винторулевого комплекса, оставаясь при этом в безопасном положении. Данный способ шлюзования назовем: бесшвартовное шлюзование. Для его реализации необходимо изучить, как возможности работы

и маневрирования винторулевого комплекса эксплуатируемых судов, так и возможности оборудования судоходного шлюза по регулировке интенсивности наполнения, опорожнения камеры шлюза.

В отличие от правил судопропуска предлагаемый процесс бесшвартовного шлюзования полностью исключает операции по швартовке судна. Следовательно, возникает необходимость определения допустимых режимов наполнения, опорожнения камеры, т.е. режимов при которых судно может компенсировать усилие от гидродинамического воздействия усилием от работы собственного винторулевого комплекса.

В работах [3,4] в результате произведенного анализа установлено, что величина гидродинамической силы, действующей на шлюзующееся судно, зависит, преимущественно, от волновой составляющей и определяется по формуле

$$P = i\,W, \tag{1}$$

где i – продольный уклон воды; W – водоизмещение судна. То есть гидродинамическая сила прямо пропорционально зависит от меняющегося во времени уклона свободной поверхности воды. Для определения уклона, зависящего от сложных, волновых процессов изменяющихся, как во времени, так и в направлении воздействия, предлагается оборудовать шлюзы системой автоматического определения уклона судна (рисунок). Предлагаемая система состоит из: двух лазерных дальномеров, расположенных на башнях верхней и нижней головы, вычислительного блока и модуля передачи данных на судно.

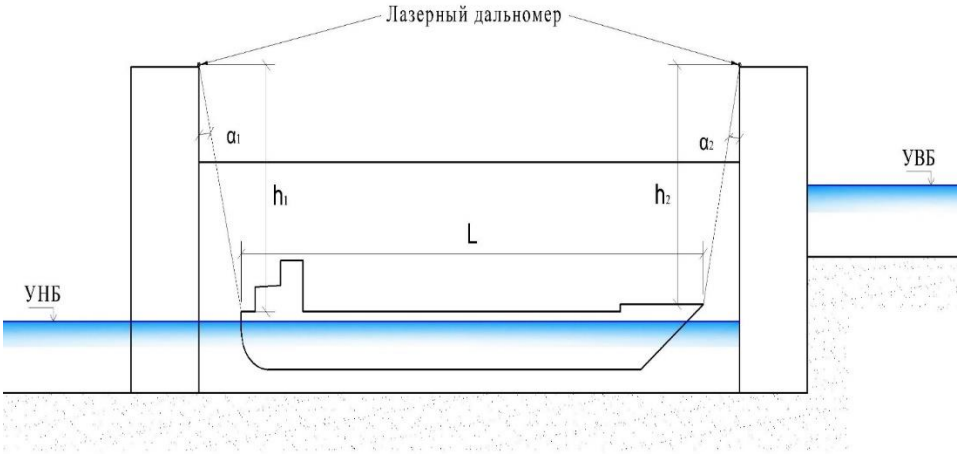


Рисунок. Схема для определения уклона судна в камере шлюза

Принципиальная схема работы системы по определению уклона следующая: судно находится в неподвижном положении в камере шлюза, затворы наполнения и опорожнения закрыты, лазерные дальномеры автоматически наводятся на крайние точки на носу и на баке судна, производится определение нулевого уклона исходя из условия

$$h_1 - h_2 = const \text{ при } i = 0, \tag{2}$$

где h_1 – высота бака судна, м; h_2 – высота носа судна, м.

Во время наполнения камеры шлюза постоянно фиксируется изменение высоты носа и бака судна и вычисляется уклон по формуле

$$i = \frac{\Delta h_1 \cos\alpha_1 - \Delta h_2 \cos\alpha_2}{L}, \quad (3)$$

где Δh_1 – изменение высоты бака судна в результате наполнения камеры шлюза, м; Δh_2 – изменение высоты носа судна в результате наполнения камеры, м; шлюза α_1 – угол между вертикалью и баком судна; α_2 – угол между вертикалью и носом судна; L – длина судна, м.

Для определения силы упора движителей воспользуемся формулой (4)

$$P = k\rho n^2 D^4, \quad (4)$$

где P – сила упора винта, кН; k – коэффициент эффективного упора; ρ – плотность жидкости, кг/м^3; n – частота вращения винта, об/мин; D – диаметр винта, м.

Из формулы (4) видно, что единственной переменной, которую возможно одновременно и контролировать, и изменять за время шлюзования, будет число оборотов движителя.

Таким образом, условием отсутствия перемещения судна вдоль камеры шлюза будет являться равенство гидродинамической силы и силы упора движителей

$$i\,W = k\rho n^2 D^4 \quad (5)$$

или выразив формулу (5) через обороты движителя получим

$$n = D^2 \sqrt{\frac{i\,W}{k\rho}} \quad (6)$$

Из выражения (6) видно, что для сохранения условия отсутствия перемещения судна вдоль камеры шлюза, нужно с изменением уклона свободной поверхности изменять обороты движителя. При получении отрицательного значения уклона необходимо будет вращать движитель в другую сторону. Для судна основным ограничением в этом способе будет являться максимальное количество оборотов, которое может развить двигатель.

Разработка комплекса мероприятий по обеспечению безопасного функционирования оборудования шлюза в период отрицательных температур, в том числе технологии бесшвартовного шлюзования, позволит существенно увеличить грузовые потоки, в том числе экспортно-ориентированные, что будет способствовать развитию экономических связей и повышению товарооборота. Исключение операций по швартовке также сокращает время шлюзования, а итоговое время, затрачиваемое судном на преодоление шлюза, которое для каждого судна может быть различным, необходимо уточнить дальнейшим исследованиями. И как следствие, внедрение бесшвартовного шлюзования будет

требовать разработки новых правил разграничения ответственности в системе «судно-шлюз».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Моргунов, К. П. Обеспечение работы судопропускных сооружений при организации круглогодичной навигации на участке внутренних водных путей в направлении Каспий - Азов / К. П. Моргунов // Гидротехника. – 2022. – № 2(67). – С. 7-13.

2. СП 101.13330.2023. Свод правил. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения. [Электронный ресурс]. - Режим доступа https://docs.cntd.ru/document/1302196535?ysclid=lpa45mgnm9354608561 дата обращения: 20.11.2023

3. Головков С.А. Распределение воды в судоходных шлюзах: монография / С.А. Головков, П.А. Гарибин, А.М. Гапеев // СПб.: СПГУВК. – 2009. – С. 154.

4. Гарибин, П. А. Реновация систем наполнения водой камер судоходных шлюзов № 1-6 Волго-Балтийского водного пути / П. А. Гарибин, А. В. Богатов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 640-653.

УДК 53.043

М.А. Янко, А.А. Головкин, В.А. Агафонкин
МГТУ им. Н.Э.Баумана,
Москва, Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАСТРУЙНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКИ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ КОНСТРУКЦИЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Научный руководитель –Галиновский А. Л., д.т.н. д.п.н. профессор

Использование водных ресурсов в народном хозяйстве играет важнейшую роль на государственном уровне [1]. При этом государство не только охраняет, но и контролирует текущее состояние водохозяйственных объектов. Водохозяйственные объекты включают в себя водохранилища, дамбы, плотины, шлюзы, насосоные станции и прочие элементы водных сооружений [1-2]. От степени износа элементов гидротехнических сооружений зависит безопасность и жизнь людей, не только обслуживающих такие сооружения, но и живущих

территориально поблизости. Поэтому для того, чтобы снизить вероятность возникновения потенциальных катастроф, необходимо применять новые методы контроля степени износа элементов водохозяйственных объектов.

Одним из перспективных методов диагностики степени износа является ультраструйная диагностика. Ультраструйная диагностика является совокупностью методов и средств создания высокоэнергетической компактной струи жидкости, которая приводит материал к фиксируемым целевым изменениям [3-5]. Учитывая условия эксплуатации объектов водохозяйства, в качестве инструмента диагностики предлагается использовать высоконапорную струю воды, с помощью которой оказывается воздействие на поверхностных слой контролируемого объекта. Применение такой технологии в качестве экспресс-диагностики износостойкости конструкций гидротехнических сооружений – перспективный метод, позволяющий оперативно и точно оценивать их рабочий ресурс и предотвращать возможные поломки.

На первом этапе научной работы для одних и тех же образцов материала сталь 30 были проведены фрикционные испытания и ультраструйная диагностика. В результате были получены числовые значения глубин образованных канавок – каверн. После фрикционнных испытаний средняя глубина каверны составила 29,53 мм, а после ультраструйных испытаний средняя глубина каверны – 303 мкм. Корреляционный коэффициент между этими значениями – 0,96. При этом в отличие от традиционных фрикционных испытаний малоинвазивное воздействие ультраструйной диагностики позволяет продолжить использовать объект контроля в реальных условиях эксплуатации, так как глубина образовавшейся каверны не превышает полмиллиметра.

Вычисленное значение коэффициента корреляции подтверждает гипотезу о том, что применение ультраструйных технологий позволяет проводить экспресс диагностику для оценки износостойкости элементов водохозяйственных объектов., результаты которой будут соотноситься с результатами традиционных испытаний ГОСТ 30480-97.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Левкевич В.Е. Крепление берегов и верховых откосов подпорных сооружений гидроузлов Беларуси. Минск: БНТУ, 2019. 172 с.

2. Правдивец Ю.П., Смирнова Т.Г., Смирнов Г.Н. Берегозащитные сооружения. М.: Изд-во АСВ, 2002. 303 с.

3. Барзов А.А.Д., Галиновский А.Л.Д., Кузнецов И.Е. «Области применения ультраструйной диагностики и контроля качества изделий» Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2009. Т. 12. № 4. С. 121-126.

4. Абашин М.И., Барзов А.А., Галиновский А.Л., Шутеев В.А. «Ультраструйная экспресс-диагностика материалов и изделий машиностроения» Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки. 2011. № 2. С. 141.

5. Судник Л.В., Галиновский А.Л., Колпаков В.И., Муляр С.Г., Абашин М.И., Проваторов А.С. «Модернизация технологии оценки эксплуатационных динамических свойств композиционной конструкционной керамики путем использования гидроабразивной ультраструи» Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 3. С. 15-23.

УДК 626.8

А.И. Митрахович[1], И.Ч. Казьмирук[2]
[1)]РУП «Институт мелиорации»;
[2)]Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

ОБСЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

Для оценки технического состояния объекта мелиорации в целом и работоспособности отдельных его элементов необходимо производить обследование мелиоративных систем. На основе анализа полученных данных производить текущий ремонт, восстановление работоспособности отдельных конструкций, а при необходимости – реконструкцию мелиоративной сети. Для установления эффективности работы отдельных элементов мелиоративной сети проводят полевые исследования, ставят научные эксперименты, позволяющие установить их работоспособность.

Необходимо ответственно научно и экономически обоснованно подходить к выбору первоочередных объектов реконструкции, поскольку восстановление работоспособности мелиоративных систем требует значительных и долговременных капиталовложений.

Для характеристики водного режима осушаемой территории можно использовать три понятия – естественный, оптимальный и фактический.

Качество осушения и мелиоративное состояние земель можно оценивать степенью соответствия нарушенного водного режима: чем меньше разница между оптимальным и фактическим, тем благополучнее мелиоративное состояние земель. Отклонения фактического водного режима почвы от требуемого могут быть вызваны несовершенством осушительной системы, ошибками, допущенными при ее проектировании и строительстве, недостатками в эксплуатации системы и в нерациональном сельскохозяйственном

использовании осушаемых земель. Установить причины этих отклонений можно только на основе наблюдений за водным режимом осушаемой территории и контролем состояния осушительной сети. Оптимальный водный режим почвы называют режимом осушения, он характеризуется влажностью почвы, нормой осушения и допустимой продолжительностью затопления почвы в весенний период и в период летне-осенних паводков. В соответствии с этими показателями в проектах осушения устанавливают основные параметры осушительной сети.

Продуктивность осушенных земель является комплексным показателем водного режима. Необходимость проведения реконструкции мелиоративных систем вызвана неудовлетворительным состоянием водно-воздушного режима почв, переувлажнением земель в предпосевной и посевной периоды, обусловленные близким к поверхности залеганием уровней грунтовых вод, наличием переувлажненных понижений. Это приводит к невозможности своевременного проведения сельскохозяйственных работ на мелиорируемых землях, низкой урожайностью сельскохозяйственных культур.

Показатели оценки мелиоративного состояния объектов.

Для оценки мелиоративного состояния земель можно выделить следующие показатели:

1. Оптимальная важность почвы, которая для большинства культур колеблется в пределах 55-85% НВ (наименьшей влагоемкости). Для оценки мелиоративного состояния земель этот показатель использовать сложно из-за сильной изменчивости его во времени.

2. Норма осушения – переменная во времени глубина залегания грунтовых вод, обеспечивающая создание оптимального водного режима, необходимого для ведения интенсивного сельскохозяйственного производства. Зависит от типа почв, вида сельскохозяйственных культур и географического положения местности. Глубина залегания грунтовых вод изменяется также в зависимости от количества осадков в году.

3. Допустимое время отвода поверхностных вод – основной показатель, характеризующий режим осушения. Весной не допускается затопление зерновых культур, луга могут быть затоплены на 5...10 суток в зависимости от вида трав, летом после ливневых дождей вода с поверхности должна быть отведена за время от 0,5 (зерновые культуры) до 1...5 суток (многолетние травы). Слой почвы мощностью до 50 см должен быть освобожден от гравитационной воды за 2-5 суток. Таковы объективные показатели оптимального водного режима почвы, обеспечить который можно с помощью осушения.

На основании вышеизложенного, оценку мелиоративного состояния осушаемых земель рекомендуется проводить по двум критериям – норме осушения и допустимому времени отвода поверхностных вод.

В качестве интегрального показателя мелиоративного состояния осушаемых земель может служить урожай выращиваемых культур.

Простейший метод оценки мелиоративного состояния земель - визуально по состоянию растительности на осушаемой площади, состоянию осушительной сети и застою поверхностных вод. Наличие болотной растительности также может указывать на неудовлетворительный водный режим.

Неудовлетворительный водный режим на участке дренажа может обуславливаться состоянием проводящей сети и водоприемником, создающим подпор дренажным системам, а также неудовлетворительным техническим состоянием элементов дренажной системы, вызванные:

- разрушением устьев или нахождение их в неработоспособном состоянии по причине засорения, зарастания корнями кустарниковой или древесной растительности, нарушением подключения устьевой трубы к сбросной трубе и прочее.

- засорением или заилением смотровых колодцев, их повреждение.

- заиление, засорение, кольматация водоприемной поверхности колодцев-поглотителей.

- заиление механическими наносами и кольматаж железистыми соединениями (заохривание) дренажно-коллекторной сети.

- кольматаж защитно-фильтрующего материала или водоприемных отверстий труб

Все указанные признаки устанавливаются обычно при экспедиционном обследовании мелиоративной площади визуально и при вскрытии дренажа посредством раскопок.

Полевые обследования (изыскания) мелиоративных объектов.

С целью установления причин неудовлетворительного водного режима на мелиоративном объекте должны проводиться мелиоративно-гидротехнические изыскания, которые должны включать:

- обследование мелиорированных площадей для определения участков недостаточного осушения и их границ,

- установление неработоспособных или неудовлетворительно работающих устройств по отводу поверхностных вод в открытую сеть или дренаж,

- определение неудовлетворительно работающих или неработающих дренажных систем и установление причин их плохой работы.

Обследование переувлажненных мелиорированных земель следует начинать с ознакомления с проектом мелиоративной системы и исполнительной документацией. Затем на местности следует провести:

- осмотр и оценку состояния осушительных каналов и сооружений на них,
- определить местоположение дренажных устьев, смотровых колодцев и колодцев-поглотителей,
- определить состояние поверхностности осушенных полей, наличие вымочек и западней в которых застаиваются поверхностные воды,
- наметить при необходимости створы для установки наблюдательных колодцев по замеру уровней грунтовых вод.

Порядок и последовательность обследования мелиоративного состояния объекта. Необходимо уточнить границы мелиоративного объекта и нанести границы участков в границах объекта. Указать название мелиоративного объекта и его участков в соответствии с паспортом мелиоративного объекта.

Нанести на карту границы участков, осушенных сетью каналов, и участков, осушенных дренажем с указанием расстояний между дренами.

Нанести границы, указать название участков реконструкции, их площади, сроки начала и окончания строительства, способ осушения.

Нанести на карту переувлажненные участки:

- переувлажненные участки, требующие организации поверхностного стока;
- переувлажненные участки, требующие проведения агро-мелиоративных мероприятий.

В контуре каждого участка указать его размеры (длина, ширина и площадь переувлажнения).

Выводы.

Предложен алгоритм обследования объектов мелиорации в целом и отдельных его элементов. Это позволит установить выполнение объектом своих функций и степень отклонения фактического водного режима от оптимального.

УДК

Мякина М.А, Павич Е.С.
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

РЕМОНТНОПРИГОДНАЯ ВОДОЗАБОРНАЯ СКВАЖИНА С ФИЛЬТРОМ – КАРТРИДЖЕМ

Научный руководитель - Ивашечкин В.В, д.т.н, проффесор

Подземные воды широко используются для хозяйственно питьевого водоснабжения малых агрогородков, городов и мегаполисов. Основное

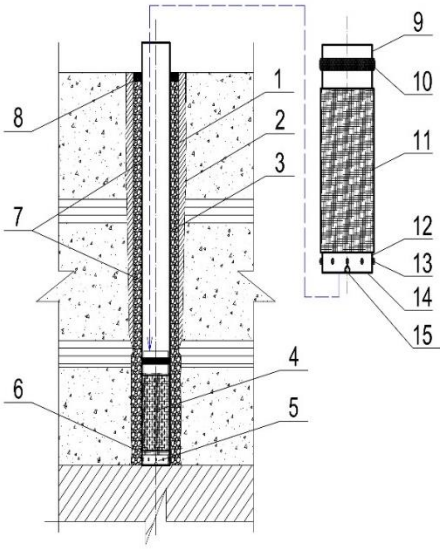
преимущество подеземных вод по сравнению с поверхностными это маленькие затраты на водоподготовку. Планируется что в 2025 году город Минск полностью перейдет на артезианское водоснабжение. Потребуется пробурить около ста скважин. Предусмотрено бурение на водозаборах подземных вод «Фелицианово» «Вицковщина» и «Островы».

Основное требование к конструкциям водозаборных скважин это: надежность, долговечность и ремонтнопригодность. Типовые конструкции водозаборных скважин не всегда являются ремонтнопригодными и долговечными [1-2]. К недостаткам их конструкций относится низкая вероятность замены фильтра при выходе его из строя из-за значительных сил трения, возникающих между фильтровой колонной и обсыпкой, что в значительной степени сокращает потенциальный срок эксплуатации данных скважин.

Целью настоящей работы является создание конструкции скважины с увеличеным сроком службы за счет повышения её ремонтопригодности при проведении капитального ремонта.

Предлогается конструкция водозаборной скважины, содержащая внутренний сменный фильтровой картридж, который можно извлекать из скважины для промывки [3].

Схема водозаборной скважины представлена на рисунке 1.



1 – кондуктор; 2 – затрубная цементация; 3 – эксплуатационная колонна; 4 – фильтровая колонна; 5 – днище; 6 – остойник; 7 – гравийная обсыпка; 8 – глиняный замок; 9 – надфильтровая труба; 10 – сальник; 11 – фильтр; 12 – отстойник; 13 - центрирующие фонари; 14 – днище; 15 – захватная скоба.

Рисунок 1. Конструкция водозаборной скважины с фильтром – картриджем

Скважина состоит из кондуктора с затрубной цементацией, эксплуатационной колонны, фильтровой колонны с днищем и отстойником,

гравийной обсыпки с глиняным замком. В фильтровую колонну помещен сменный фильтровой картридж, состоящий из надфильтровой трубы с сальником, фильтра, отстойника с центрирующими фонарями и днища с захватной скобой.

Скважина может быть сооружена следующим образом. Бурят разведочный ствол и проводят в нем комплекс геофизических исследований. После расшифровки каротажной диаграммы определяют местоположение водоносного горизонта. Отрывают отстойник, устанавливают направляющую колонну, производят бурение и цементирование кондуктора, затем направляющую колонну извлекают и производят бурение ствола под кондуктором до кровли водоносного горизонта с выполнением затрубной цементации на всю высоту до устья скважины.

Вскрытие водоносного горизонта производится либо с использованием долота, диаметр которого соответствует внутреннему диаметру кондуктора, либо с использованием расширителя, после расширения забоя до нужной величины из скважины извлекают породоразрушающий инструмент и начинают погружение фильтровой колонны.

В открытый ствол вначале опускается эксплуатационная колонна с фильтровой колонной с днищем и отстойником. В устье скважины с помощью подъемных и удерживающих устройств происходит посекционная сборка фильтровой и эксплуатационной колонны с их последующим погружением до забоя скважины. После установки фильтровой и эксплуатационной колонны в рабочее положение происходит помещение в фильтровую колонну сменного фильтрового картриджа. Фильтровой картридж вывешивается на устье скважины, над эксплуатационной колонной с помощью буровых штанг, снабженных на конце крюком, заведенным в захватную скобу. С помощью центрирующих фонарей производится выравнивание и центровка фильтрового картриджа при помещении его в эксплуатационную колонну. Далее путем наращивания буровых штанг производится погружение и установка фильтрового картриджа в рабочее положение, в нижнюю часть фильтровой колонны, таким образом, чтобы фильтр картриджа находился на уровне фильтрационной поверхности фильтровой колонны. В таком положении фильтровой картридж фиксируют до уплотнения сальника (представляет собой эластомерный материал, расширяющийся при контакте с водой). После установки и фиксации фильтрового картриджа производят отсоединение крюка от захватной скобы и извлечение буровых штанг на поверхность. Затем создают гравийную обсыпку вокруг фильтровой и эксплуатационной колонны. Производят прокачку скважины. После выполнения прокачки производят досыпку гравия и устройство глиняного замка.

В процессе эксплуатации скважины в порах гравийной обсыпки и в отверстиях фильтра происходит накопление отложений – продуктов химической и биологической кольматации. Уменьшается проницаемость фильтра, снижается производительность скважины, увеличивается себестоимость добываемо воды.

Данная проблема решается путем извлечения на поверхность фильтрового картриджа, его промывкой или заменой на новый, а также реагентной обработкой гравийной обсыпки.

Извлечение фильтрового картриджа из водозаборной скважины производится с помощью буровых штанг, снабженных на конце крюком. Крюк заводится в захватную скобу и с помощью тяговых усилий производится извлечение фильтрового картриджа на поверхность. При необходимости производят чистку или замену фильтра, а также замену сальника. Для уменьшения последствий биологической кольматации в гравийной обсыпке рекомендуется произвести реагентную обработку скважины при извлеченном фильтровом картридже. После производится установка фильтрового картриджа в рабочее положение в последовательности описанной ранее.

Предлагаемая конструкция скважины позволяет обеспечить возможность проведения капитального ремонта с беспрепятственным извлечением и заменой фильтрового картриджа.

Применение фильтрового картриджа в конструкции водозаборной скважины позволяет сделать ее ремонтопригодной, простота предлагаемой конструкции позволяет, не меняя основных технологий сооружения водозаборных скважин добиться повышения долговечности и надежности конструкции.

Благодаря внедрению новых конструкций водозаборных скважины с фильтром - картриджем в системы водоснабжения РБ можно достичь экономический и экологический эффекты путем расширения области применения скважин подобной конструкции, увеличения срока их эксплуатации и возможностью проведения капитального ремонта с заменого фильтра.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Башкатов Д.Н. Бурение скважин на воду/ Д.Н. Башкатов, В.Л. Роговой.- М.: Колос,1976.-с. 33, рис.4е.

2. Беляков, В.М. Учебная книга мастера по бурению скважин на воду. (Второе издание, переработанное и дополненное)/В.М. Беляков, В.А. Попков, Г.М. Краснощеков. - М.: Колос, 1983.-с. 316-317, рис.156е.

3. Патент ЕС №201700063, 16.01.2020.

4. Конструкция водозаборной скважины // Евразийский патент № 034202. 2020. / Ивашечкин В.В., Магарян М.П., Марченко Р.А.

УДК 631

В.И. Селезнев, И.Ч. Казьмирук
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ И АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ ПРИЕМЫ ПРИ ОСУШЕНИИ СЛАБОВОДОПРОНИЦАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Слабоводопроницаемы земли распространены на севере Республики Беларусь. Избыточные атмосферные осадки медленно просачиваются в толщу засеваемых сельскохозяйственных участков, скапливаются на поверхности в пониженных элементах рельефа, вызывая переувлажнение поверхностного слоя почвы и гибель сельскохозяйственных культур. Слабоводопроницаемы земли имеют преимущественно атмосферное водное питание, поэтому основным мелиоративным приёмом является организованный сбор и отвод поверхностных вод.

Проведение агротехнических и агромелиоративных мероприятий на осушаемой территории приводит к созданию улучшенного пахотного слоя, что способствует повышению плодородия земель. Значительная естественная плотность суглинистых грунтов затрудняет естественную аэрацию корнеобитаемого слоя растений. Проведение агротехники создает разрыхленный слой грунта и способствует обеспечению близких к оптимальным условий для развития сельскохозяйственных культур, своевременного внесения удобрений, средств защиты растений и получению высоких урожаев с мелиорируемых земель. Аэрация почвы также способствует разложению находящихся в ней остатков растений.

Агромелиоративные приемы способствуют изменению физических свойств подпахотных горизонтов, обеспечивают оптимизацию процесса отвода поверхностных вод. Приемы подразделяют на несколько видов. Различие между ними часто носит условный характер. К поверхностным относят: гребневание, грядование, узкозагонную вспашку.

Гребневание поверхности производят путем нарезки гребней на расстоянии 0,7 м друг от друга при помощи плугов. Гребневая культура земледелия является основной. Грядование поверхности – это нарезка специальных гряд высотой 0,3-0,6 м. Ширина гряд зависит от вида засеваемых культур. Избыточная вода отводится по бороздам между грядами, которые имеют уклон, исключающий размыв плодородного слоя почвы. Между грядовыми бороздами через 200…300 м располагают выводные борозды, которые отводят воду в водоприемник или закрытый собиратель. Узкозагонная вспашка представляет собой вспашку обычными плугами узкими загонами разной

ширины. При этом возникают разъемные борозды (с уклоном не более 0,001) между загонами через 4…15 метров, которые представляют собой дополнительную осушительную сеть, в нее стекает вода со всего загона [1]. После вспашки вдоль загонов прокладываются поперечные борозды над закрытыми собирателями, которые отводят избыточную воду с осушаемой территории.

Внутрипочвенные приемы: щелевание, кротование, глубокое рыхление. Они способствуют более равномерному распределению влаги в корнеобитаемом слое растений.

Внутрипочвенные агромелиоративные приемы (щелевание, кротование) можно отнести к созданию нематериального дренажа, не имеющего материальной дренажной трубы. Это система полостей в грунте круглого (кротовый дренаж) или треугольного (щелевой дренаж) сечения для осушения, аэрации, подпочвенного увлажнения связных глинистых и торфяных почв с высокой степенью разложения. Нематериальный дренаж устраивается в направлении вдоль канала как дополнение к материальному трубчатому дренажу (комбинированный дренаж, двухъярусный дренаж). Он имеет невысокую долговечность 2-7 лет.

Глубокое рыхление проводят поперек закрытого дренажа специальными плугами-рыхлителями на глубину 0,6; 0,8; 1,0 м и более. Данный вид рыхления разуплотняет почву, улучшает водный, воздушный и тепловой режим корнеобитаемого слоя почвы. Глубокое рыхление способствует скорейшей инфильтрации поверхностных вод и поступлению их в дренажно-коллекторную сеть за счет увеличения коэффициента фильтрации почвы, особенно по следу плуга-рыхлителя.

Агротехнические приемы и окультуривание земель: вспашка, лущение, чизелирование (безотвальная обработка), дискование.

Вспашка – эта почвообработка заключается в рыхлении, крошении грунта с переворачиванием плодородного слоя. Отвальная вспашка. Для ее выполнения используются плуги, посредством которых верхний плодородный слой срезается и сбрасывается на дно борозды. Этот вид обработки почвы обеспечивает глубокую заделку плодородного слоя грунта, способствует улучшению разложения остатков растительности.

Поверхностная обработка почвы лущением выполняется дисковыми или лемешными лущильниками. Первые из них предусматривают проработку на глубину 6-12 см, а вторые – 8-16 см. Для лущения стерни пользуются чизельными культиваторами.

Чизелирование – это эффективный способ безотвальной обработки почвы для предотвращения водной и ветровой эрозии. В процессе работы техники для

чизелирования происходит рыхление почвы с ее отрыванием от монолитного слоя, исключая уплотнение подпахотных слоев почвы.

Такой вид и способ обработки почвы, как чизелирование должен периодически выполняться на следующих грунтах: подверженные водной и ветровой эрозии; с временным переувлажнением; с уплотненным подпахотным горизонтом.

С помощью дискования проводится крошение, разрыхление, частичное перемешивание плодородного слоя, а также измельчение оставшихся сорняков. Для него используется такая техника, как дисковая борона со сферическими дисками, устанавливаемыми под разными углами атаки.

Применение растений для улучшения состояния мелиорируемых земель. Посев влаголюбивых растений и растений-сидератов. В качестве сидератов используют люпин, редьку масличную, сераделлу, донник, сурепицу, рапс, вику, горох. Запахивая растения-сидераты в почву обогащают ее химический состав удобрениями и улучшают водно-физические свойства почвы за счет пористости стволов растений, которые перегнивая оставят дополнительные микроборозды в пахотном слое.

Основная цель системы обработки полей заключается в улучшении состояния и характеристик плодородной почвы, повышения урожайности выращиваемых культур.

Приведена авторская систематизация агротехнических и агромелиоративных приемов, применяемых в сельскохозяйственной мелиорации слабоводопроницаемых земель.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тагаев, А.М. Агромелиорация: окультуривание сероземных почв / Тагаев А.М., Махмаджанов С.П. // Почвоведение и агрохимия. 2021. № 3. С. 24-29.

УДК 620.92

Н.В. Седляр, О.А. Шавловская, Н.Я. Шпилевский,
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Научный руководитель – Медведева Ю.А.

Атомная энергетика – важнейшая подотрасль глобальной энергетики. Себестоимость электроэнергии, произведённого на АЭС, ниже и позволяет серьезно конкурировать с другими типами электростанций.

По данным Международного агентства ООН по атомной энергии (МАГАТЭ), более 18% электроэнергии, вырабатываемой в мире, производится на ядерных реакторах. В отличие от электростанций, работающих на органическом топливе, АЭС не выбрасывают в атмосферу загрязняющих веществ, которые негативно влияют на здоровье людей, являются причиной образования смога и оказывающие разрушительное влияние на озоновый слой.

В мире насчитывается около 440 ядерных реакторов общей мощностью свыше 365 тыс. МВт, расположенные более чем в 30 странах. Только в 2000–2005 гг. в эксплуатацию введено 30 новых реакторов. В настоящее время в 12 странах строится порядка 29 реакторов общей мощностью около 25 тыс. МВт.

Атомная энергетика успешно преодолела кризис после чернобыльской катастрофы. Вероятность возникновения тяжелых аварий на АЭС нового поколения практически сведена к нулю. Всё благодаря многоуровневым системам безопасности современных реакторов, которые не позволяют техническим сбоям перерасти в серьезные повреждения (даже в случае гипотетической аварии с расплавлением активной зоны реактора).

Атомная энергетика Республики Беларусь. Для Республики Беларусь АЭС – это безопасный, мощный и экологически чистый источник электроэнергии. Строительство БелАЭС способствует развитию национальной ядерной инфраструктуры, содействует развитию новых для страны компетенций в области ядерных и радиационных технологий и дальнейшему внедрению передовых технических решений в энергетике, промышленности и других отраслях экономики, а также открывает дополнительные возможности для создания современных энергоёмких производств.

Подготовка к строительству атомной электростанции в Беларуси проходила в тесном взаимодействии с Международным агентством по атомной энергии (МАГАТЭ).

31 января 2008 г. Президент Республики Беларусь подписал постановление Совета Безопасности № 1 «О развитии атомной энергетики в Республике Беларусь». В соответствии с которым в стране будет осуществлено строительство атомной электростанции суммарной электрической мощностью 2 тыс. МВт с вводом в эксплуатацию первого энергетического блока в 2016 году, а второго – в 2018-м (рисунок 1).

Станцию создавали совместно с российской госкорпорацией "Росатом" на средства российского кредита.

Рисунок – Этап строительства первого и второго энергоблоков АЭС в г. Островец

Выбор площадки для строительства Белорусской АЭС определяли 5 основополагающих критериев: природные и техногенные факторы; экология; социально–экономические соображения; безопасность населения; общественное мнение.

Исключались места, где АЭС размещать нельзя. Например, вблизи крупных промышленных объектов, магистральных газо- и нефтепроводов, залежей природных ресурсов, включая и запасы воды. По этим исследованиям была создана карта отклоненных территорий, которая охватила половину площади страны.

По итогам исследований Брестская область не удовлетворяла требованиям для размещения АЭС из-за высокого уровня грунтовых вод и паводковых рисков. По той же причине не была рассмотрена и Верхнедвинская площадка в Витебской области. Поэтому методом исключения была выбрана Островецкая, которая являлась резервной.

После строительства первого и второго энергоблоков БелАЭС в г. Островец Минэнерго Беларуси сообщили, что оценивается перспектива создания новых атомных мощностей, т.е. строительство второй атомной электростанции в республике. Однако, это всего лишь дискуссионный вопрос. Российская госкорпорация «Росатом» планирует и далее сотрудничать, в том числе в сфере атомной энергетики. Но главное решение о строительстве второй АЭС остаётся за Беларусью.

Вывод

Выгода атомной энергетики в Республике Беларусь очевидна: это позволит промышленности и сельскому хозяйству работать более эффективно и сделает жизнь граждан в стране более комфортной за счет дешевой электроэнергии. Экологические преимущества обусловлены тем, что АЭС, как и атомная энергетика в целом, имеет нулевые прямые выбросы CO_2, а совокупные выбросы парниковых газов на всем жизненном цикле минимальны и сопоставимы с выбросами ветровой электростанций.

После запуска Белорусской атомной электростанции энергосистема страны получила качественное развитие. По мнению специалистов, электростанция повысила конкурентоспособность национальной экономики.

В пределах электростанции существует учебно-тренировочный центр, в котором имеется полноценный действующий макет пульта управления энергоблоком. Его используют для тренингов, а также для подготовки высококвалифицированных специалистов. Важно отметить, что качественно подготовленный персонал – это одно из основных условий безопасной и надёжной эксплуатации электростанции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Об утверждении норм и правил по обеспечению ядерной и радиационной безопасности: постановление министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, 28 сентября 2010 г. № 47. (с изм. и доп.) // ЭталонБеларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2017.

2. Экологическое право: учеб. пособие / С.А.Балашенко [и др.]; под ред. Т.И.Макаровой, В.Е.Лизгаро. — Минск: Изд. центр БГУ, 2008. — 495 с.

УДК 624.131.552

К. Э. Повколас[1], Али Абдулла Аль-Робай[2]

[1]Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

[2]Университет Аль-Кадисия, Ирак

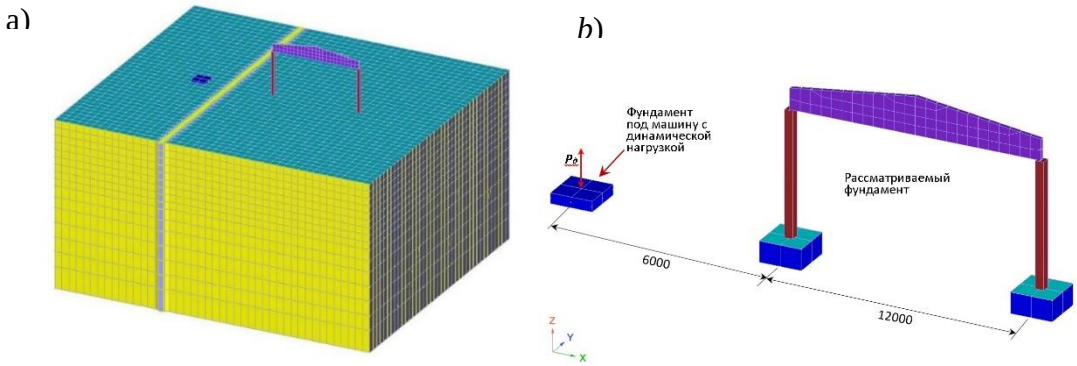
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ БАРЬЕРОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВИБРАЦИЙ, РАСПРОСТРАНЯЮЩИХСЯ В ГРУНТОВОЙ СРЕДЕ

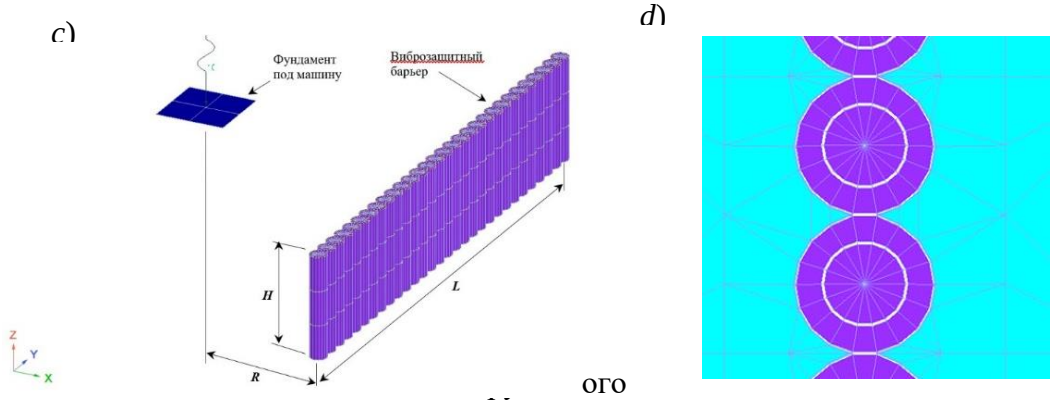
Цель работы – выявление эффективных виброизолирующих материалов и конструкций вертикальных барьеров в грунте путем их математического моделирования на основании метода конечных элементов и сравнительного анализа результатов расчета.

Для достижения указанной цели в рамках данной работы выполнено численное моделирование методом конечных элементов вертикальных барьеров из различных материалов и конструктивных решений, выделены наиболее эффективные варианты исполнения.

Вблизи одноэтажного однопролетного промышленного здания на расстоянии 10 м устанавливается фундамент под мащину (к примеру, виброштамповочный стенд для изготовления строительных конструкций) с вертикальными гармоническими колебаниями частотой 25 Гц и амплитудой динамической нагрузки $P_д$ = 500 кН. Несущие конструкции – монолитные колонны 400×400 мм и железобетонная балка покрытия пролетом 12 м. Фундаменты под колонны – плитные столбчатые с размерами подошвы 2000×2000 мм и глубиной заложения 1500 мм. Высота до низа стропильной конструкции 6 м. Ограждающие конструкции – сендвичпанели. Покрытие – профнастил по стальным прогонам.

Расчет выполнен в конечно-элементном расчетном комплексе Lira 10.10 с использованием элементов, моделирующих упругое инерционное полупространство. Общее количество конечных элементов составило 64470. Время интегрирования 1,5 сек. Шаг интегрирования 0,001 сек. Для исключения отражения волн от боковых и нижней границ массива применялся конечный элемент «неотражаемые границы». Расчетная схема приведена на рис. 1. Конечно-элементная схема смоделированного грунтового пространственного массива размерами 32×40 м высотой 21 м представлена на рис. 1*a*. Схемы взаимного расположения источника вибрации, поперечной рамы и виброзащитного экрана соответственно на рис. 1*b* и 1*c*. Расстояние от точки приложения нагрузки принято равным R = 3 м, глубина барьера H = 6 м, ширина барьера L была принята непрерывной по ширине расчетной схемы. Сам барьер моделировался из соприкасающихся скважин (рис. 1*d*). Данный способ устройства барьера обладает рядом технологических преимуществ перед методом «стена в грунте».





пространственного массива; *b* - взаимное расположение поперечной рамы здания и источника вибраций; *c* – взаимное расположение источника вибрации и виброзащитного барьера; *d* – фрагмент виброизоляционного барьера из соприкасающихся скважин.

Рисунок 1. Расчетная схема

Моделируемый грунт представляет из себя маловлажный средний песок средней плотности со следующими физико-механическими свойствами: – удельный вес грунта $\gamma = 16{,}74$ кН/м^3; удельный вес сухого грунта $\gamma_d = 16{,}35$ кН/м^3; удельный вес сухого грунта в предельно плотном состоянии $\gamma_{dmax} = 17{,}1$ кН/м^3; удельный вес частиц грунта $\gamma_s = 26{,}8$ кН/м^3; коэффициент пористости в природном сложении $e = 0{,}65$; коэффициент пористости в предельно плотном состоянии $e_{min} = 0{,}567$; динамический модуль упругости $E_д = 100$ МПа; модуль общей деформации $E_o = 30$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu = 0{,}3$; угол внутреннего трения $\varphi = 38^0$; удельное сцепление $c = 1$ кПа. Все характеристики назначались по справочным данным для песчаных грунтов четвертичных отложений.

В таблице 1 приводятся основные параметры конструктивного исполнения и материала противовибрационного барьера.

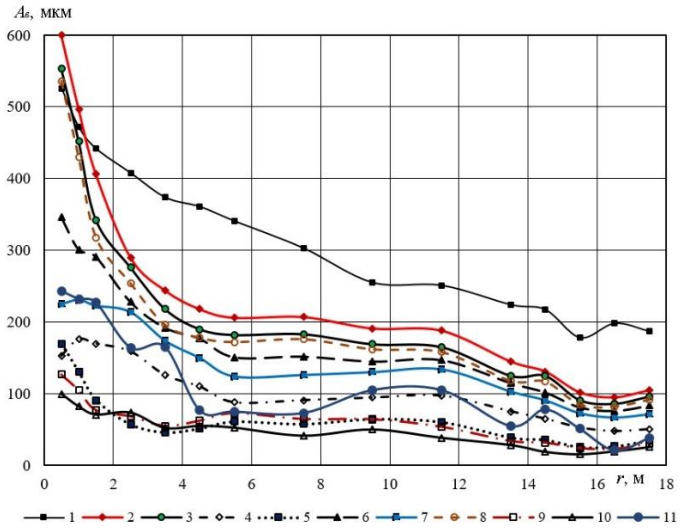
Таблица

Исходные данные для расчета вертикальных барьеров из различных материалов.

Конструктивное исполнение барьера, материал (№ графика зависимости $A_в=f(r)$ на рис. 2)	Модуль упругости $E_б$, МПа	Удельный вес $\gamma_б$, кН/м^3	Коэффициент Пуассона $\mu_б$
Резиновая крошка, (3)	16,25	6	0,3
Бетон класса С20/25 (4)	31600	25	0,2
Древесные опилки, (5)	0,33	2,5	0,2
Обсадка стеклопластиковой трубой диаметром 500 мм, толщиной 8 мм, (6)	17050	18	0,255
Обсадка металлической трубой диаметром 500 мм, толщиной 4 мм, (7)	210000	78,5	0,3

Геопенополистирол (EPS geofoam), (8)	13	0,61	0,01
Газонаполненные баллоны под давлением диаметром 500 мм в оболочке из фольгированного полиэтилена, (9)	Принимался равным боковому давлению грунта в состоянии покоя на соответствующей глубине (от 0,0018 МПа для 1-го баллона высотой 0,5 м до 0,0414 МПа для 12-го баллона на глубине 5,5 м)	0,0127	0,499
Вода, (11)	2000	10	0,499

Результаты расчетов представлены на рис. 1 в виде графиков зависимости вертикальных перемещений поверхности грунта $A_в$ за барьером от расстояния от оси барьера r в направлении распространения поверхностных волн.



1 – свободное (без препятствий) распространение колебаний; 2 – при наличии нагруженных фундаментов на пути распространения волн; 3 – заполнение резиновой крошкой; 4 – заполнение бетоном класса С20/25; 5 – заполнение древесными опилками; 6 – обсадка полыми стеклопластиковыми трубами; 7 – обсадка полыми металлическими трубами; 8 – заполнение геопенополистиролом (EPS geofoam); 9 – заполнение газонаполненными баллонами под давлением в оболочке из фольгированного полиэтилена; 10 – пустая траншея, сформированная бурением скважин; 11 - заполнение водой.

Рисунок 2. Зависимости максимальной вертикальной амплитуды колебаний на поверхности массива $A_в$ от расстояния r от оси барьера в направлении распространения Рэлеевских волн при различных конструктивных исполнениях вертикального барьера

Из приведенных на рисунке 2 данных следует, наличие фундаментов приводит к значительному искажению волновых полей. Оно возникает вследствие взаимодействия волн с конструкциями фундаментов, при их наличии (кривая 2 на рис.2), которые сами по себе оказывают демпфирующий эффект, но при этом увеличивают интенсивность колебаний со стороны источника за счет отражения волн от своих боковых поверхностей, контактирующих с грунтом. Колебания конструкций фундаментов существенно отличаются от колебаний поверхности грунта вследствие инерционности как подземных, так и надземных конструкций. Поэтому при анализе эффективности барьеров следует отталкиваться не от волновой картины при свободном распространении волн без препятствий (кривая и на рис.1), а от аналогичной, возникающей при наличии изолируемых конструкций.

На рис. 3 показано изменение коэффициента передачи колебаний K_n в зависимости от частоты вынужденных колебаний f при неизменности амплитуды гармонической динамической нагрузки в источнике и различных расстояниях от него до фундамента. Коэффициент K_n в определяется по формуле:

$$K_n = \frac{A_{vf}}{A_{vg}}$$

где A_{vf} и A_{vg} – амплитуды максимальных вертикальных перемещений соответственно на поверхности грунта (при расчете без фундамента) и обрезе фундамента на одинаковом расстоянии r от источника колебаний.

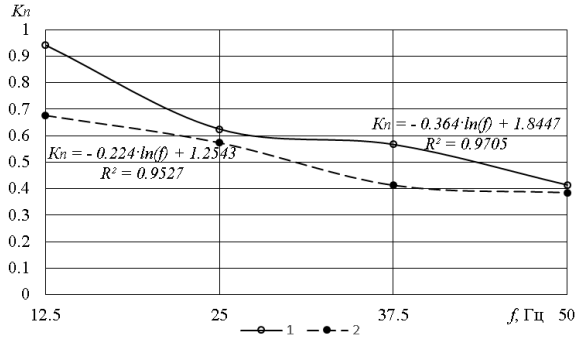


график 1 – r = 6 м, график 2 – r = 18 м.

Рисунок 3. Зависимость $K_n = f(f)$ на различных расстояниях от источника колебаний до фундамента

Из приведенных на рис. 3 данных следует, что K_n уменьшается с ростом частоты колебаний и расстояния между источником и приемником колебаний (фундаментом). Использование K_n целесообразно для предварительной оценки колебаний фундаментов проектируемого здания при известной карте распределения вибрационных полей.

Наиболее эффективными конструктивными решениями являются заполнение скважин древесными опилками, газонаполненными баллонами под

давлением в оболочке из фольгированного полиэтилена и пустая траншея без крепления (графики № 5, 9, 10 на рис. 1). Снижение амплитуд вертикальных колебаний грунта за барьерами, заполненными данными материалами, в направлении распространения волн достигает 80% при их глубине, равной длине Рэлеевской волны.

УДК 629.1

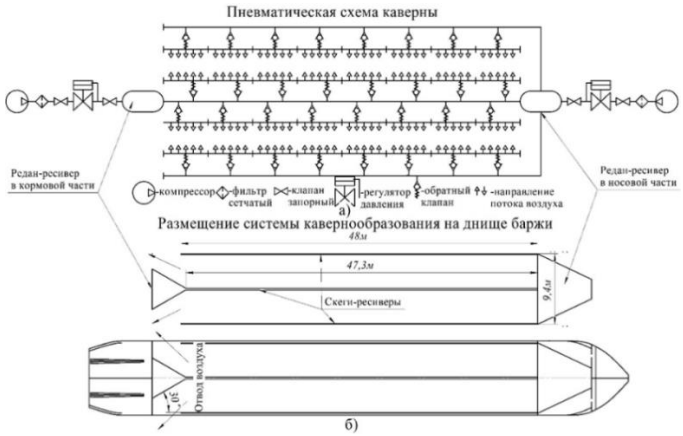
Е.В. Афанасьева, А.М. Мезенцев, А.А. Сахарчук
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

КОНСТРУКТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВОЗДУШНОЙ КАВЕРНЫ ДЛЯ БАРЖИ ПРОЕКТА 775, ВХОДЯЩИЕ В БАРЖЕ-БУКСИРНЫЙ СОСТАВ

Научный руководитель – Качанов И. В., д.т.н, профессор,
Ключников В. А., к.т.н., доцент

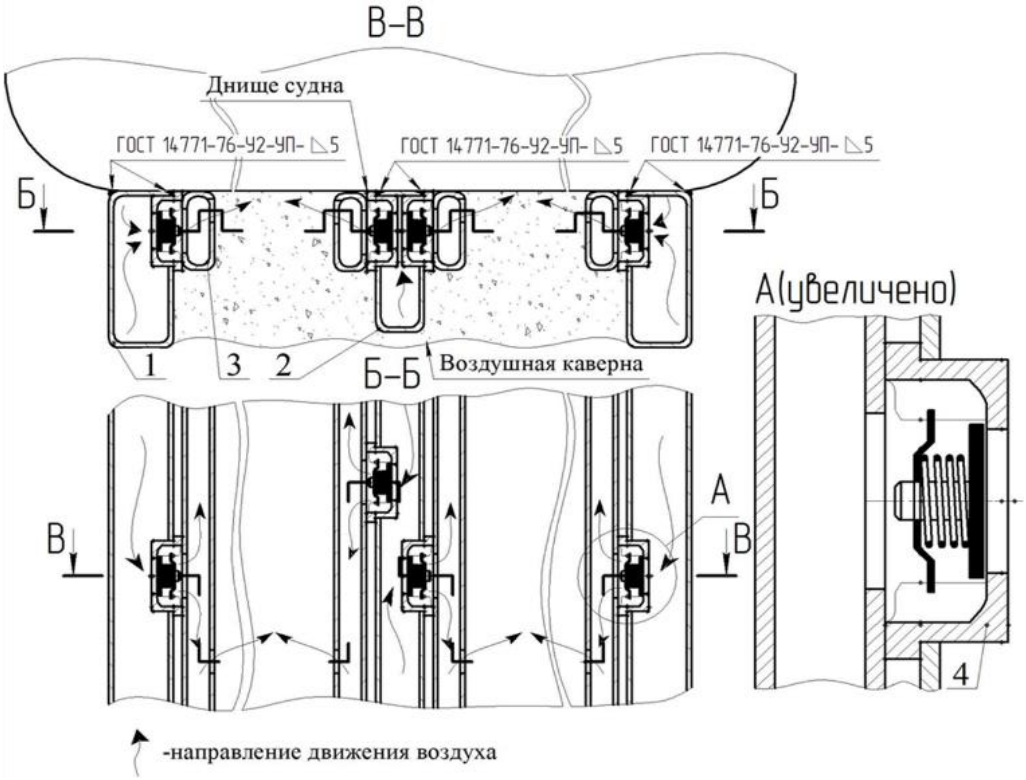
Для повышения технико-эксплуатационных характеристик барже-буксирного состава в условиях ограниченности фарватера и на мелководье при выполнении научно-технического договора №2402/20с от 02.06.2020 г. с ОАО «Белсудопроект» было предложено создание воздушной каверны под днищем баржи.

Для реализации системы подачи воздуха для создания воздушной каверны под днищем баржи предлагается приварить побортно трубы прямоугольного сечения с размерами 200х80 мм практически по всей длине цилиндрической вставки баржи (рисунки 1 и 2). По центру приваривается килевой скег, который также представляет собой трубу прямоугольного сечения с размерами 180х60 мм. Килевой скег выполняется несколько меньшей высоты относительно бортовых скег с целью создания целостной воздушной прослойки на разделе вода-воздух, что дополнительно снижает сопротивление движению баржи. Также для обеспечения целостности воздушной каверны в носовой части размещается редан-ресивер в форме трапецеидального клина (рисунки 1, 3), который препятствует срыву воздушной каверны и прорыву воздушных пузырей в носовую часть баржи.



а) пневматическая схема подачи воздуха; б) система для создания каверны

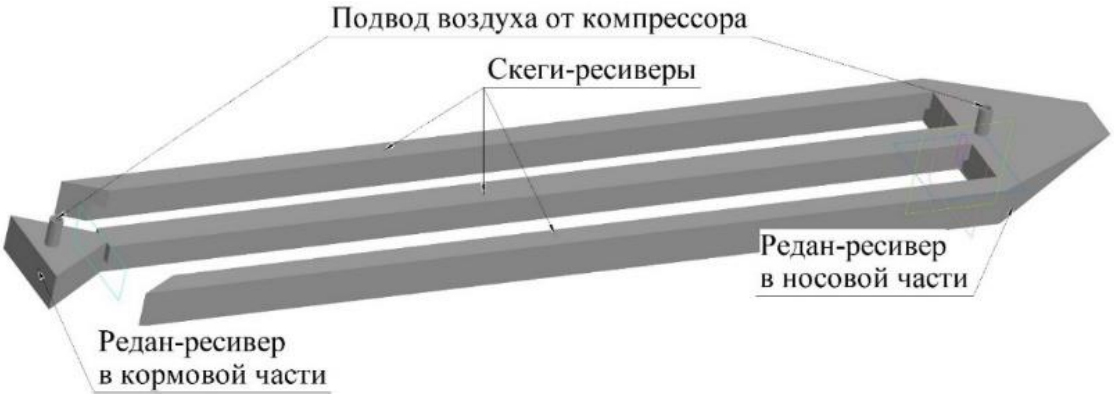
Рисунок 1 – Схематичное отображение реализации системы по созданию воздушной каверны для баржи проекта 775



1 – бортовые скеги-ресиверы; *2* – килевой скег-ресивер; *3* – трубы-рассеиватели; *4* – обратные клапаны

Рисунок 2 – Конструктивное исполнение системы подачи воздуха для создания воздушной каверны

Редан-ресивер в форме треугольника в кормовой части (рисунки 1, 3) предназначен для отвода отработанного воздуха к бортам баржи, что исключит его попадание к винту буксира-толкача, а, следовательно, не приведет к явлению кавитации на его лопастях.



Рискнок 3 – Схематичная 3D модель системы кавернообразования

На рисунке 3 видно, что скеги-ресиверы и реданы-ресиверы представляют собой единую систему, в которую воздух закачивается от двух компрессоров, один из которых располагается в носовой части, а второй в кормовой.

Согласно ранее приведенных расчетов для подачи необходимого объема воздуха достаточно двух бортовых скегов, однако наличие килевого скега позволит обеспечить более равномерную подачу воздуха по площади днища судна, что повысит его остойчивость и улучшит управляемость. Кроме того, запрещается устанавливать регуляторы давления (рисунок 1) в системах, где минимальная пропускная способность ниже установленной для самих регуляторов. Также в процессе эксплуатации будет неизбежно происходить снижение пропускной способности из-за обрастания подводной части судна и засорения труб-рассеивателей, поэтому установка килевого скега увеличит пропускную способность системы и обеспечит надежную работу пневмосистемы до периода планового обслуживания судна.

Подача воздуха из скег-ресиверов в трубы-рассеиватели осуществляется через обратные клапаны с условным внутренним диаметром DN 50, которые устанавливаются с шагом 6 м (рисунок 1).

Таким образом, на бортовых скегах устанавливаются по 8 обратных клапанов с направлением подачи воздуха от скег к диаметральной плоскости, а на килевом скеге – 16 штук с направлением подачи воздуха от килевого скега к бортовым скегам. Причем на килевом скеге пары обратных клапанов, подающих воздух к разным бортам, устанавливаются с некоторым смещением (см. рисунок 1 и 2), а не напротив друг друга, чтобы не сужать проходное сечение в местах их установки.

В таблице 1 приведены основное оборудование и материалы для реализации схемы воздушной каверны.

Таблица 1 – Основное оборудование и материалы для схемы воздушной каверны

№	Наименование	Кол-во, шт	Материал	Размеры
1	Компрессор винтовой HGS 11	2		Габариты: Длина – 1880 мм Ширина – 650 мм Высота – 1600 мм
2	Фильтр механический сетчатый фланцевый тип 821	2		DN = 100 мм $D_{фланца}$ = 220 мм Длина габаритная – 350 мм
3	Вентиль фланцевый тип 215	4		DN = 100 мм $D_{фланца}$ = 220 мм Длина габаритная – 350 мм
4	Регулятор давления РДС (НО)	2		DN = 100 мм $D_{фланца}$ = 210 мм Длина габаритная – 350 мм
№	**Наименование**	**Кол-во, шт**	**Материал**	**Размеры**
5	Клапан обратный пружинный межфланцевый тип 275	32		DN = 50 мм $D_{фланца}$ = 95 мм Длина габаритная – 40 мм
6	Труба круглая ГОСТ 8732-78	1	Сталь 3сп	Длина – 6000 мм Диаметр наружный – 114 мм Толщина стенки – 6 мм
7	Скеги-ресиверы бортовые: труба прямоугольная ГОСТ 8639-82	16	Сталь 3сп	Длина – 6000 мм Профиль – 200х80 мм Толщина – 6 мм
8	Скег-ресивер килевой: труба прямоугольная ГОСТ 8639-82	8	Сталь 3сп	Длина – 6000 мм Профиль – 180х60 мм Толщина – 6 мм
9	Трубы-рассеиватели: труба прямоугольная ГОСТ 8639-82	32	Сталь 3сп	Длина – 6000 мм Профиль – 100х40 мм Толщина – 6 мм
10	Прокат листовой ГОСТ 19903-2015	8	Сталь 3сп	Длина – 6000 мм Ширина – 1500 мм Толщина – 6 мм

Продолжение таблицы 1

11	Шпилька ГОСТ 22042-76	520	Сталь 3сп	М12-6gx70
12	Шайба ГОСТ 11371-78	520	Сталь 3сп	А.12
13	Гайка ГОСТ 5918-73	520	Сталь 3сп	М12-6Н

Также при разработке проекта модернизации следует учесть затраты на изготовление фундаментов и системы электропитания компрессорного оборудования.

УДК 629.1

Е.В. Афанасьева, С.И. Охремчик, М.А. Черник,
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ФОРМЫ ОБВОДОВ БАРЖИ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ БАРЖЕ-БУКСИРНОГО СОСТАВА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ КОРПУСА БАРЖИ ПРОЕКТА 775

Научный руководитель – Власов В. В., Шаталов И. М., Щербакова М. К.

Один из основных принципов рациональной эксплуатации составов судов состоит в наиболее эффективном использовании режимов их движения в различных условиях плавания, что становится возможным лишь в том случае, когда достаточно точно определены силы сопротивления окружающей среды движению судов при определенных условиях [1–2].

При разработке практических рекомендаций по выбору наивыгоднейшей формы судовых обводов, обеспечивающей возможность снижения величины сопротивления, обычно возникают следующие затруднения:

1) на величину сопротивления воды влияют многочисленные характеристики теоретического чертежа судна, определяющие геометрическую форму его корпуса,

2) выбор оптимальной формы обводов корпуса зависит от скоростного режима движения судна и особенностей его эксплуатации,

3) обводы корпуса, оптимальные в отношении ходовых качеств судна, не всегда являются приемлемыми с точки зрения обеспечения других его

навигационных качеств или необходимых эксплуатационно-технических и экономических показателей [2].

Особенности судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания обусловлены экономическими требованиями и специфическими условиями эксплуатации. Их размерения жестко ограничиваются глубиной фарватера, габаритами шлюзов и извилистостью судового хода внутренних водных путей.

Поэтому изложенные ниже данные о влиянии геометрических элементов судна на величину сопротивления воды следует рассматривать как общие указания, надлежащее выполнение которых позволяет принять за основу определенный тип обводов корпуса, оптимальный с точки зрения ходовых качеств судна. Выбранные таким образом обводы корпуса проектируемого судна путем сравнительно небольших изменений можно привести в соответствие с другими требованиями, предъявляемыми к судну.

Так как баржи относятся к тихоходным судам, то введение цилиндрической вставки позволяет упростить технологический процесс корпусных работ, снизить стоимость постройки судна и придать более удобную конфигурацию грузовым трюмам, а также несколько заострить оконечности судна при неизменном значении коэффициента продольной полноты. Последнее обстоятельство может привести к более благоприятной интерференции поперечных волн носовой и кормовой групп и к снижению волнового сопротивления тихоходных судов с полными обводами корпуса.

На величину сопротивления воды влияет форма носовой и кормовой ветвей строевой по шпангоутам, определяющая в известной мере характер обводов корпуса судна в оконечностях. Наибольшее сопротивление возникает при использовании клинообразных обводов в оконечностях. Наименьшая величина сопротивления воды движению несамоходных судов при различных условиях плавания получается в случае применения носовых обводов ложкообразной формы и кормовых обводов типа «плоская ложка». Санеобразная форма оконечностей занимает промежуточное положение.

Для тихоходных судов с полными обводами корпуса рекомендуется применять строевые по шпангоутам, имеющие выпуклую или прямую носовую ветвь, а кормовая ветвь должна иметь вид прямой линии [2].

Выбор формы носовой ветви грузовой ватерлинии должен производиться в зависимости от относительной скорости судна, определяющей характер распределения наибольших гидродинамических давлений в районе расположения первого гребня носовой группы волн, а, следовательно, и величину волнового сопротивления.

Результаты экспериментальных исследований, проведенных в гидродинамическом лотке кафедры ГЭСВТГ БНТУ в рамке договора №2402/20с

от 02.06.2020 г. С ОАО «Белсудпроект" показывают, что при сравнительно малых относительных скоростях движения (Fr < 0,22) граница зоны наибольших гидродинамических давлений, обусловленных действием судовых волн, находится от форштевня на расстоянии, не превышающем 10–15 % длины судна. Таким образом, в нашем случае должно выполнятся условие, при котором длина носовой оконечности будет находится в пределах 7,5–11 м.

Для уменьшения заливаемости судна на волнении носовые шпангоуты должны иметь достаточный развал бортов в надводной части, начинающийся не очень близко от грузовой ватерлинии. Повышению мореходных качеств судна также способствует наклон носовой ветви батоксов в сочетании с наклонным форштевнем.

Качество кормовых обводов определяется в гидродинамическом отношении тем, насколько выбранная форма этих обводов обеспечивает плавный, безотрывный сход струй с кормовой оконечности судна.

Этим требованиям в достаточной степени удовлетворяют обводы типа «плоская ложка» или «сани», которые позволяют придать необходимую плавучесть кормовой оконечности и обеспечить плавный сход струй с корпуса. Для обеспечения этих условий прежде всего необходимо, чтобы кормовые ветви батоксов были достаточно пологими с углами притыкания в кормовой оконечности судна (в плане) не более 12°.

У баржи проекта 775 кормовая оконечность имеет обводы типа «сани» с углами притыкания в кормовой оконечности судна 11°, поэтому можно рекомендовать сохранение кормовой оконечности без изменений.

Первый этап экспериментальных исследований проводился для модели базирующейся на прототипе баржи проекта 775 с изменением носовой оконечности и сохранением остальных размерных величин без изменений.

Модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом в режиме буксировки продемонстрировала результат худший в сравнении с прототипом баржи проекта 775, а в режиме толкания при выходе на рабочие скорости показала снижение сопротивления движению порядка 14 %.

Модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью показала наилучший результат как в сравнении с прототипом, так и моделью с плоским носом. Снижение сопротивления движению при буксировке в сравнении с прототипом достигало 13 %, а в режиме толкания – 14 %.

Таким образом, можно рекомендовать форму обводов с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью для модернизации баржи проекта 775 (рисунок 1).

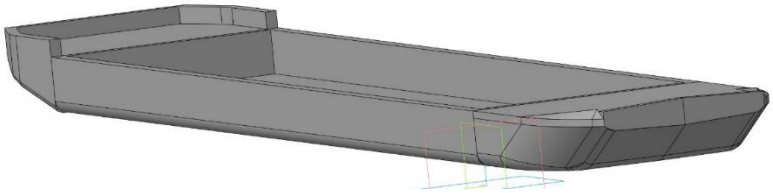


Рисунок 1 – Рекомендуемая форма обводов при модернизации баржи проекта 775 с заменой носовой части

Второй этап экспериментальных исследований проводился для модели с возможностью увеличения ее грузоподъемности. Модернизация в данном случае предусматривает увеличение длины баржи до L = 75 м и ширины судна до B = 13,8 м (L/B = 5,43), что позволит увеличить грузоподъемность до порядка 1700 т.

С учетом того, что было установлено преимущество режима толкания, следует учитывать при рекомендации формы обводов повышение реальных рабочих скоростей состава. Поэтому при разработке рекомендаций следует рассматривать участок исследований для чисел Фруда в диапазоне Fr = 0,22–0,27 (8–10 км/ч), который отражает преимущественный эксплуатационный режим состава.

Модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом и углом подъема 22º в режиме толкания демонстрирует преимущество при числах Фруда до значения Fr = 0,25, а при дальнейшем увеличении скорости сопротивление движению возрастает на 10 % в сравнении с моделями с лекальными обводами. К тому же, плоская форма обводов подвержена повышенному силовому воздействию на корпус в носовой части при движении на открытой воде, что сужает возможности транспортировки грузов по районам плавания. Тем не менее, данную форму обводов можно рекомендовать для судов эксплуатирующихся на мелководье с низкими скоростями передвижения, либо в качестве второго судна в баржевом кильватерном составе с расширением районов плавания (рисунок 2).

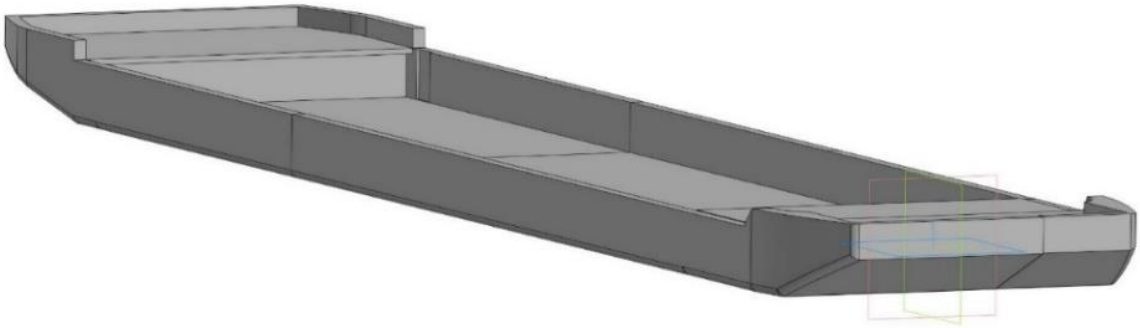


Рисунок 2 – Рекомендуемая форма обводов баржи для эксплуатации на мелководье (носовая часть с плоским носом и углом подъема 22º)

Модели с лекальными обводами при скоростях эксплуатации демонстрируют практически паритет по значениям сопротивления движению (рисунок 3 и 4).

Однако при скоростях движения свыше 10 км/ч модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° с малой килеватостью показывает снижение сопротивления движению порядка на 8 % в сравнении с моделью с лекальными обводами и ложкообразным носом.

Таким образом, оба варианта лекальной формы обводов можно рекомендовать для изготовления корпуса баржи. Причем, данные типы обводов можно рекомендовать в качестве обводов головной баржи в кильватерном составе с возможностью эксплуатации как на мелководье, так и на крупных водоемах и озерах.

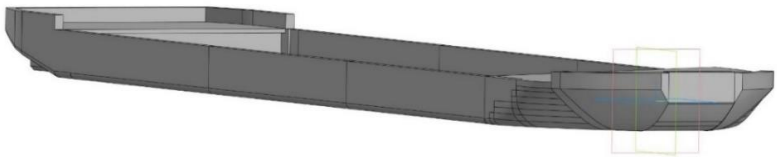


Рисунок 3 – Рекомендуемая форма обводов головной баржи (ложкообразная носовая часть)

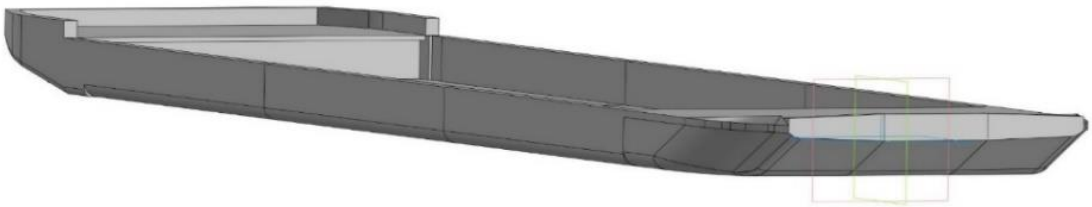


Рисунок 4 – Рекомендуемая форма обводов головной баржи (носовая часть с углом подъема 25° и малой килеватостью)

При разработке проекта следует руководствоваться наибольшей технологичностью изготовления корпуса баржи, а также возможностью использования для постройки части годных материалов и конструкций корпусов судов, подлежащих списанию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ваганов, Г.И. Тяга судов (Методика и примеры выполнения судовых тяговых расчетов). Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. / Г.И. Ваганов, В.Ф. Воронин, В.К. Шанчурова – М. : Транспорт, 1986. – 199 с.

2. Войкутинский, Я.И. Справочник по теории корабля: в трех томах. Том 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с., ил.

УДК 629.1

Е.В. Афанасьева, Р.М. Колпаков, И.Д. Лохан,
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БАРЖЕ-БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ МЕЛКОВОДЬЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ

Научный руководитель – Качанов И. В., д.т.н, профессор, Ленкевич С. А.

При выполнении научно-технического договора №2402/20с от 02.06.2020 г. с ОАО «Белсудопроект» были проведены следующие виды работ:

– анализ современной научно-технической литературы в области эксплуатации барже-буксирных составов на внутренних водных путях (реки, каналы, озера, водохранилища), в том числе Республики Беларусь;

– теоретические и экспериментальных исследования технико-эксплуатационных характеристик барже-буксирных составов, эксплуатируемых на внутренних водных путях, в том числе на мелководье;

– разработка технических предложений, в том числе рекомендаций, по модернизации барже-буксирных составов с целью определения их оптимальных технико-эксплуатационных характеристик.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы и дать некоторые рекомендации по модернизации барже-буксирных составов:

1. Расчетным методом установлено, что при эксплуатационной скорости барже-буксирного состава (буксир-толкач проекта 570+баржа проекта 775) 8 км/час сила сопротивления движению в режиме буксировки на 36 % больше чем в режиме толкания.

2. По результатам экспериментальных исследований установлено, что при скорости потока воды υ = 0,18 м/с (7 км/ч), сила сопротивления X движению моделей состава (буксир-толкач проекта 570+баржа проекта 775) в режиме буксировки на 40 % больше, чем при режиме толкания. С ростом скорости эта разница возрастает и при скорости υ = 0,28 м/с (10 км/ч) сила сопротивления движению при буксировке, почти в два раза больше, чем при режиме толкания.

Сравнение результатов расчета (36 %) и эксперимента (40 %) показывает их достаточно хорошую сходимость (корреляцию).

3. По результатам испытаний для состава с баржей с измененным соотношением L/B = 5,43 и увеличенной грузоподъемностью корпуса баржи и различными обводами носовой части в режимах толкания и буксировки установлено, что при малых скоростях (6–8 км/ч) лекальные обводы повышают эффективность движения состава даже при режиме буксировки. Однако при выходе на рабочие скорости (8–10 км/ч) режим толкания эффективнее для всех типов обводов, а при режиме буксировки сопротивление движению резко возрастает на 25–30 % в зависимости от типа обводов.

4. Из вышеперечисленного следует, что наличие толкача за составом улучшает обтекание кормовой оконечности концевого (последнего в составе) судна и тем самым снижает коэффициент счала, т. е. при прочих равных условиях коэффициент счала толкаемых составов всегда меньше, чем буксируемых. Поэтому для толкания состава требуется меньшая мощность (на 12–29 %), чем для его буксировки на тросе. Толкаемые составы имеют меньшее сопротивление воды движению, по сравнению с буксируемыми, вследствие отсутствия влияния потока, отбрасываемого движителем, и рыскливости состава относительно толкача, а также из-за того, что толкач находится в зоне попутного потока от состава (буксировочный к.п.д. возрастает на 20–51 %).

5. С целью модернизации баржи проекта 775 для снижения сопротивления движению баржевого состава предложены пневматическая и конструктивеная схемы для создания воздушной каверны под днищем судна, включающая систему кавернообразования, состоящую из трех установленных на днище продольных ограничительных скегов-ресиверов как источника принудительной подачи воздуха под днище судна для создания и поддержания образованной воздушной каверны. Проведенная модернизация позволит повысить эксплуатационные характеристики судна в условиях ограниченности фарватера и на мелководье (снижение сопротивления движению на 10–15 %).

6. Разработаны конструкторские эскизы для реализации воздушной каверны с укрупненным подсчетом требующихся элементов пневмосистемы, материалов и компрессорного оборудования при модернизации. Рекомендован следующий компрессор – винтовой компрессор модель HGS 11 (2шт), который имеет следующие характеристики: максимальное давление – 7,5 бар; производительность – 102 м^3/час; мощность – 11 кВт.

7. Установлено, что для тихоходных судов с полными обводами корпуса рекомендуется применять строевые по шпангоутам, имеющие выпуклую или прямую носовую ветвь, а кормовая ветвь должна иметь вид прямой линии.

8. Для баржи проекта 775 кормовая оконечность имеет обводы типа «сани» с углами притыкания в кормовой оконечности судна 11°, поэтому можно рекомендовать сохранение кормовой оконечности без изменений.

9. По результатам экспериментальных исследований установлено, что модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью показала наилучший результат как в сравнении с прототипом баржи пр. 775, так и моделью с плоским носом. Снижение сопротивления движению при буксировке в сравнении с прототипом достигало 13 %, а в режиме толкания – 14 %. Следовательно, можно рекомендовать форму обводов с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° и малой килеватостью для модернизации баржи проекта 775.

10. По результатам экспериментальных исследований для моделей с измененным соотношением L/B = 5,43 и увеличенной грузоподъемности (до порядка 1700 т) установлено, что модель с носовой частью типа «сани» с плоским носом и углом подъема 22º в режиме толкания демонстрирует преимущество при числах Фруда до значения Fr = 0,25 (8–9 км/ч), а при дальнейшем увеличении скорости сопротивление движению возрастает на 10 % в сравнении с моделями с лекальными обводами. К тому же, плоская форма обводов подвержена повышенному силовому воздействию на корпус в носовой части при движении на открытой воде, что сужает возможности транспортировки грузов по районам плавания. Тем не менее, данную форму обводов можно рекомендовать для судов эксплуатирующихся на мелководье с низкими скоростями передвижения, либо в качестве второго судна в баржевом кильватерном составе с расширением районов плавания.

11. Установлено, что модели при L/B = 5,43 с лекальными обводами при скоростях эксплуатации демонстрируют практически паритет по значениям сопротивления движению. Однако при скоростях движения свыше 10 км/ч модель с лекальными обводами и носом с углом подъема 25° с малой килеватостью показывает снижение сопротивления движению порядка на 8 % в сравнении с моделью с лекальными обводами и ложкообразным носом. Таким образом, оба варианта лекальной формы обводов можно рекомендовать для изготовления корпуса баржи. Причем, данные типы обводов можно рекомендовать в качестве обводов головной баржи в кильватерном составе с возможностью эксплуатации как на мелководье, так и на крупных водоемах и озерах.

12. При определении предпочтительной формы лекальных обводов и разработке проекта баржи с соотношением L/B = 5,43 и увеличенной грузоподъемности следует руководствоваться наибольшей технологичностью изготовления корпуса баржи, а также возможностью использования для

постройки части годных материалов и конструкций корпусов судов, подлежащих списанию.

УДК 626/627

Н.Я. Шпилевский, Н.В. Седляр, О.А. Шавловская
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ БЕЛАРУСИ И МИРА И ИХ СРАВНЕНИЕ

Научный руководитель – Медведева Ю.А.

На сегодняшний день вопрос о сохранении природы и экологии – один из основных вопросов, рассматриваемых в мире. Один из пунктов, который может быть использован для способствования решения этого вопроса – это использование возобновляемых источников энергии, выработка «чистой» электроэнергии, то есть выработка электроэнергии без выбросов и загрязнений природы, либо с их минимальным количеством. И в этом всём может помочь использование таких способов выработки электроэнергии, как на различных видах ГЭС и в целом гидротехнические сооружения. На сегодняшний день актуально сравнить гидротехнические сооружения в разных странах мира и Беларуси, в частности.

Гидротехнические сооружения – это объекты, которые используются для регулирования, использования и защиты водных ресурсов. Они могут быть разных типов, в зависимости от их цели, места расположения и характера воздействия на водные потоки. Некоторые из них имеют большое историческое, культурное и экономическое значение, а также являются достопримечательностями и символами разных стран и городов.

Гидротехнические сооружения Беларуси достаточно разнообразны и в нашей стране насчитывается около 10 тысяч гидротехнических сооружений, имеющие свои особенности и цели использования. Основными из них являются:

– водохранилища, созданные путем строительства дамб и плотин на реках. В Беларуси насчитывается 105 водохранилищ общей площадью более 100 тысяч гектаров. Самыми крупными из них являются: Вилейское, Чигиринское, Днепровское, Заславское. Водохранилища используются для регулирования стока, обеспечения водоснабжения, судоходства, рыболовства, отдыха и т.д.;

– гидроэлектростанции, предназначенные для производства электроэнергии из водной энергии. В Беларуси функционируют

23 гидроэлектростанции общей мощностью около 100 МВт. Самыми мощными из них являются Полоцкая, Вилейская, Бобруйская, Браславская. Гидроэлектростанции способствуют развитию возобновляемых источников энергии, снижению выбросов парниковых газов, созданию резервов электроэнергии. Всего ГЭС покрывают 0.3% всей выработанной энергии в стране;

– каналы, представляющие собой искусственные водные пути, соединяющие реки, озера, моря и водохранилища. В Беларуси имеются два международных канала: Днепро-Бугский и Огинский. Каналы обеспечивают судоходство, водоснабжение, орошение, рыболовство, туризм;

– судоходные шлюзы, служащие для перевода судов с одного уровня воды на другой при прохождении через плотины, каналы, реки и т.д. В Беларуси имеются 17 судоходных шлюзов, расположенных на Днепро-Бугском и Огинском каналах. Шлюзы обеспечивают безопасность и эффективность судоходства, сокращают время и расходы на перевозку грузов и пассажиров, способствуют развитию торговли.

Рассмотрим самые значимые гидротехнические сооружения всего мира:

– Великий канал в Китае – самый длинный и старейший канал в мире, построенный еще в 468 году до нашей эры. Он соединяет Желтую реку и реку Янцзы, а также множество других рек и провинций Китая. Его длина составляет 1776 км, а глубина достигает 42 м в некоторых местах. Канал играет важную роль в транспортировке грузов и людей, а также в культурном обмене между севером и югом Китая. Канал внесен в список Всемирного наследия ЮНЕСКО.

– Различные плотины, представляющие собой барьеры, создающие водохранилища на реках. В мире имеется около 58 тысяч плотин высотой более 15 метров. Самыми высокими из них являются плотина Три ущелья в Китае, Рогун в Таджикистане (335 метров), плотина Синьцзян в Китае (292 метра), плотина Нурек в Таджикистане (300 метров). Плотины используются для производства электроэнергии, регулирования стока, орошения, питьевого водоснабжения, защиты от наводнений.

– Суэцкий канал в Египте – один из самых известных и значимых каналов в мире, который соединяет Средиземное море и Красное море. Он был открыт в 1869 году и с тех пор является одним из основных морских путей между Европой и Азией. Его длина составляет 193 км, а ширина – от 205 до 345 м. Канал позволяет сократить расстояние между Европой и Индией на 7000 км, а также уменьшить время и стоимость перевозки. Канал также имеет большое политическое и стратегическое значение, так как контроль над ним может влиять на мировую экономику и безопасность.

– Гидроэлектростанции – это гидротехнические сооружения, которые используют энергию воды для производства электричества. Они могут быть разных типов, в зависимости от способа использования воды, например, плотинные, проточные, приливные, волновые и т.д. Гидроэлектростанции являются одним из основных источников возобновляемой энергии в мире, а также имеют ряд преимуществ, таких как низкая стоимость, надежность, долговечность и экологичность. Однако они также имеют некоторые недостатки, такие как воздействие на окружающую среду, социальные последствия, риск аварий и зависимость от климатических условий. Некоторые из самых мощных и крупных гидроэлектростанций в мире находятся в Китае, Бразилии, России, Канаде и США. Всего в мире имеется около 3,5 тысяч гидроэлектростанций общей мощностью более 1 тысячи ГВт. Самыми мощными из них являются Трехухорганская в Китае (22,5 ГВт), Итайпу на границе Бразилии и Парагвая (14 ГВт), Гурьи в Венесуэле (10,2 ГВт) и другие.

– ПЭС – приливная электростанция, которая вырабатывает энергию за счет прилива и отлива волн. Они являются самыми дорогими при возведении, но при рациональном использовании могут приносить существенную прибыль. В России на стадии разработки находится возведение самой мощной станции в мире на Пенжинской губе. Пенжинская губа имеет большие размеры и пропускает в сутки большое количество воды (около 500 кубических километров) при должном использовании Пенжинская ПЭС может дать выработку энергии около 100ГВт×ч.

Заключение

Гидротехнические сооружения мира и Беларуси имеют различные характеристики, которые зависят от географических, экономических, экологических и технологических факторов. Сравнение гидротехнических сооружений мира и Беларуси по различным факторам показывает следующее:

– по установленной мощности гидроэлектростанций (ГЭС) Беларусь занимает одно из последних мест в мире, уступая таким странам, как Китай, Бразилия, Канада, США, Россия и другим. Суммарная установленная мощность ГЭС Беларуси составляет 100 МВт, что составляет 0,35 % от всей мощности электростанций страны. Для сравнения, самая мощная ГЭС в мире – Три ущелья в Китае – имеет мощность 22 500 МВт и вырабатывает около 100 млрд кВт·ч электроэнергии в год.

– по количеству и площади водохранилищ Беларусь также значительно отстает от мировых лидеров. В мире существуют водохранилища, площадь которых превышает площадь Беларуси. Например, водохранилище Лейк-

Виктория в Африке имеет площадь 68 800 км², а водохранилище Каспийского моря – 371 000 км².

– по экологическому воздействию гидротехнические сооружения Беларуси имеют меньший отрицательный эффект, чем многие мировые аналоги. Это связано с тем, что белорусские ГЭС низконапорные и имеют небольшую мощность, а также с тем, что при их строительстве учитываются природоохранительные меры. В мире же существуют примеры, когда гидротехнические сооружения приводили к серьезным экологическим последствиям, таким как затопление ценных территорий, нарушение естественного режима рек, снижение биоразнообразия, увеличение выбросов парниковых газов и другие.

Таким образом, можно сделать вывод, что гидротехнические сооружения мира и Беларуси имеют существенные различия, которые определяются разными условиями и целями их создания и использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

ассказов Л.П. и др. Гидротехнические сооружения. (Учебник, Часть 1). – М., Энергоиздат. 1996. – с. 25-87; 105-180; 270-390.

идроэлектростанция (ГЭС): виды, принцип работы, как устроена и самые крупные [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://greenenergia.ru/gidroelektrostantsiya-vidy-printsip-raboty-kak-ustroena-i-samye-krupnye. – Дата доступа: 29.11.2023.

огославчик П.М. Проектирование и расчеты гидротехнических сооружений: учеб. пособие / П.М. Богославчик, Г.Г. Круглов. – Минск: Вышэйшая школа, 2018. – 366 с.

УДК 369.2

Шпилевский Н.Я.

Белорусский Национальный Технический Университет
Минск, Республика Беларусь

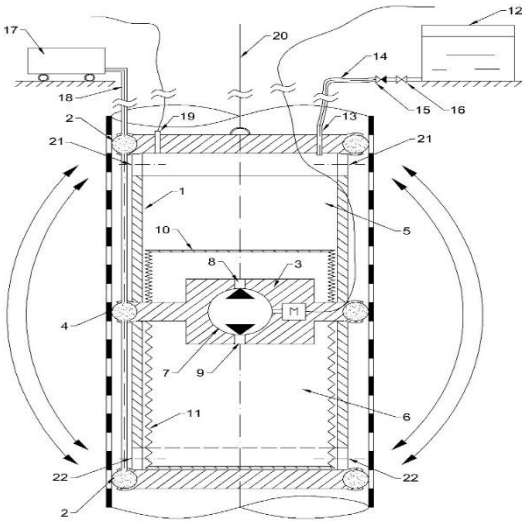
УСТРОЙСТВО ДЛЯ РЕАГЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ ВОДОЗАБОРНОЙ СКВАЖИНЫ

Научный руководитель – профессор, д.т.н. Ивашечкин В.В.

Водозаборная скважина является одним из наиболее распространенных сооружений для забора питьевой воды из подземных горизонтов. В процессе эксплуатации скважины могут снижать производительность в следствии

зарастания отверстий фильтров отложениями. В состав отложений входят различные химические соединения, такие как $Fe(OH)_3$, $Mn(OH)_2$, $CaCO_3$, FeS, распространяются в глубину породы, прилегающей к фильтру, что затрудняет их удаление с помощью импульсных обработок. Поэтому прибегают к реагентным обработкам скважин, которые обеспечивают растворение отложений и восстановление пропускной способности фильтров. Конкретный реагент выбирается в зависимости от химического состава отложений, которые надо растворить. Реагенты вводятся в скважину с помощью специального оборудования, обеспечивающего равномерную обработку фильтра [1].

Предлагается устройство для реагентной обработки скважины, с помощью которого может быть достигнуто повышение эффективности очистки фильтра и прифильтровой зоны за счет увеличения скорости циркуляции реагента [2]. Схема устройства представлена на рисунке 1.



1-камера;2-воздушные пакеры; 3-поперечная перегородка; 4-торцевой воздушный пакер;5-верхний отсек; 6-нижний отсек;7-реверсивный насос; 8,9-патрубки; 10,11-сильфоны;12-емкость с реагентом; 13- патрубок; 14-гибкий шланг; 15-обратный клапан;16- задвижка; 17-компрессор; 18-воздуховод; 19-датчик электропроводности; 20-канат, для подъема-опускания устройства; 21,22-верхнее и нижнее окна для пропуска реагента

Рисунок - Устройство для реагентной обработки скважины

Устройство работает следующим образом.

Патрубок 13 соединяют с емкостью 12 гибким шлангом 14, на котором установлена задвижка 16 и обратный клапан 15. Устройство опускают на тросе 20 в требуемый интервал фильтра скважины. После этого приводят в действие воздушные пакеры 2 и 4, подавая в них сжатый воздух от компрессора 17 по воздуховодам 18. Открывают задвижку 16 и подают в верхний отсек 5 камеры 1

через патрубок 13 порцию реагента по шлангу 14. Обратный клапан 15 препятствует попаданию раствора назад в емкость 12. В это время верхний

сильфон 10 занимает крайнее нижнее положение. Затем включают приводной электродвигатель реверсивного насоса 7, который перекачивает рабочую жидкость из нижнего сильфона 11 в верхний сильфон 10. Верхний сильфон 10 расширяется и создает избыточное давление в верхнем отсеке 5 камеры 1, одновременно нижний сильфон 11 сжимается и создает разряжение в нижнем отсеке 6 камеры 1. Таким образом, реагент из-за разности давлений по закольматированной прифильтровой зоне перемещается в полость нижнего отсека 6 камеры 1 через верхнее 21 и нижнее 22 окна.

При перекачке рабочей жидкости в нижний сильфон 11, в полости верхнего отсека 5 камеры 1 создается разряжение и раствор реагента, проходя через закольматированную прифильтровую зону, фильтр скважины и верхнее 21 и нижнее 22 окна, заполняет ее. Подача реверсивного насоса 7 может регулироваться путем изменения частоты вращения электродвигателя. Далее насос перекачивает рабочую жидкость в верхний сильфон и процесс повторяется. То есть возвратно-поступательные движения сильфонов в камерах создают в прифильтровой зоне циркуляцию реагента. При стабилизации электропроводности, фиксируемой датчиком электропроводности 19, устройство перемещают на следующий интервал фильтра.

При увеличении скорости перекачивания рабочей жидкости в сильфонах камер, увеличиваются скорость фильтрации в прифильтровой зоне скважины и глубина проникновения раствора реагента в эту зону, а значит – повышается эффективность растворения отложений. Кроме этого, для ликвидации железо- и сульфатобактерий, продукты жизнедеятельности, которые могут накапливаться в порах гравийной обсыпки скважины, в камеру можно подавать дезинфицирующий раствор из емкости 12 и также производить его циркуляцию, что расширяет область применения устройства. С помощью задвижки 16 можно регулировать количество реагента, подаваемого в скважину, т.е. поддерживать нужную концентрацию раствора, а с помощью электродвигателя реверсивного насоса 7 можно изменять скорость перекачки рабочей жидкости, устанавливая оптимальный режим работы.

Заключение

Устройство для реагентной обработки водозаборной скважины позволяет увеличить производительность и продлить срок службы скважин. Анализ работы предлагаемого устройства показывает, что оно характеризуется высокой эффективностью благодаря значительной глубине проникновения реагента в прифильтровую зону скважины и высоким скоростями циркуляции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:
вашечкин В. В. Регенерация скважинных и напорных фильтров систем водоснабжения. Монография / В. В. Ивашечкин, А. М. Шейко, А. Н. Кондратович // Минск БНТУ – 2008 / стр. 21-22.
стройство для реагентной обработки водозаборной скважины: пат. BY 21426 / В.В. Ивашечкин, Ю.С. Машук, И.Е. Иванова, А.Н. Курч – Опубл. – 30.10.2017.

УДК 624.159

Синиченков А.П., Хохряков К.А.
Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

ПРИЧИНЫ ДЕФОРМАЦИЙ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Научный руководитель – Курчевский С. М., к. с-х. н., доцент.

В результате строительства зданий и сооружений, периодически возникают деформации основания, даже при обеспечении прочности грунта. В определенных условиях это может затруднить эксплуатацию сооружения и привести к аварии. По результатам обработки материалов обследования аварийных зданий и сооружений мы выявили и обобщили причины деформаций оснований и фундаментов.

СН и СП предусматривают мероприятия, исключающие вредное влияние возможных просадок на эксплуатационную прочность зданий и сооружений при замачивании просадочных грунтов:

- прорезка фундаментами просадочного грунта;
- устранение просадочных свойств грунтов путем их уплотнения или закрепления;
- комплекс мероприятий, включающих частичное устранение просадочных свойств грунтов, конструктивные и водозащитные мероприятия. [1]

Выбор мероприятий должен производиться с учетом типа грунтовых условий по просадочности, вероятности замачивания основания на всю величину просадочной толщи или её части, возможной величины просадки, взаимосвязи проектируемых зданий и сооружений с соседними объектами и коммуникациями и т.п.

Но на практике не всегда выполняются требования, что показывают обследования деформированных зданий и анализ причин их возникновения. Причин может быть несколько. Одна из них всегда является основной, а остальное сопутствуют и увеличивают деформации.

Проектирование фундаментов основывается на данных о видах и свойствах грунтов, слагающих площадку строительства. Одновременно учитываются все особенности характера их залегания и степень обводнения подземными водами. Такие данные получают во время инженерно-геологических изысканий и используют для выбора пласта грунта, способного выдержать нагрузку сооружений. Конструкции фундаментов должны быть наиболее экономичными, а способы их возведения простыми. Недостаток знаний по фундированию, несоблюдение требований СН и СП, отсутствие должного внимания к решению различных вопросов устройства фундаментов и к специфическим особенностям просадочных грунтов оснований является источниками серьезных ошибок на практике. [2]

Примером может служить, когда каркас корпуса, покрытия и стеновые панели уже были смонтированы, а отмостка отсутствовала, трубы внутреннего водостока не присоединили к ливневой канализации, что способствовало периодическому замачиванию основания фундаментов во время выпадения атмосферных осадков. При этом, вдоль продольных наружных стен в стеновых панелях могут появиться деформационные трещины. В основании появляются просадочные блюдца, а все приямки и технологические устройства будут заполнены водой. Очень часто при инженерно-изыскательских работах имеет место уменьшение мощности просадочной толщи (особенно когда в толще лессовидных грунтов, встречаются непросадочные прослойки). А все это приводит к ошибкам при проектировании, а именно уменьшается мощность перерабатываемой толщи. Таким образом, некачественно выполненные инженерно-геологические изыскания повлекут за собой назначения неправильного способа подготовки основания. А ошибки в производстве работ еще больше усилят деформации конструкций и основания здания.

Нередко значительные деформации возникают в результате промачивания плохо подготовленного основания. Особенно это имеет место, когда для ликвидации просадок применяется способ организованного замачивания без учета конструктивной схемы здания и особенностей грунтовых условий. В результате «мягкая» регулировка нежелательных деформаций не удается, а само замачивание может вызвать непредвиденный, трудно управляемый процесс.

Имеет место и применение химического закрепления оснований, но необходимо учитывать не только физико-механические характеристики, но и химико-минералогический состав грунтов. При этом надо помнить, что применение однорастворной силикатизации в замоченных просадочных грунтах II типа не даст должного эффекта, т.к. они трудно поддаются закреплению обычной однорастворной силикатизацией. При этом надо закреплять всю

просадочную толщу. И более предпочтительней будет применение газовой силикатизации.

Неправильная планировка, не выявленные при изысканиях слабые прослойки в основании, не вовремя засыпанные пазухи, низкокачественные работы по устройству оснований, фундаментов и отмосток, аварийное замачивание грунтов основания во время эксплуатации зданий или сооружений, неверное применение методов искусственной подготовки слабых оснований без учета конструктивной схемы зданий и особенностей инженерно-геологических условий каждой строительной площадки – вот основные причины, обусловливающие деформации зданий и сооружений. Возрастающий объем строительства, увеличение этажности и массы оборудования, развитие подземных водоотводов, увеличивают потенциальную возможность появления деформаций зданий и сооружений, если недооценивать последствия вызывающих их причин. Надо всегда помнить, что увеличение срока службы зданий дает возможность экономить трудовые ресурсы, материалы и денежные средства.

К деформациям зачастую приводит и недостаточный контроль за уплотнением грунта в основаниях зданий и сооружений. При уплотнении грунта в основаниях тяжелыми трамбовками не выдерживается оптимальная влажность: либо она ниже (когда предварительное увлажнение не производится), либо выше (когда предварительное увлажнение чрезмерно или лессы обводнены). В этих случаях просадочность не будет устранена на требуемую глубину, и при замачивании могут произойти деформации. [3]

Замачивание основания из уплотненного лессового грунта при давлениях выше начального просадочного (1,0-1,5 кгс/см^2) может нарушить устойчивость грунтов основания. Это обусловлено тем, что уплотненный лессовый грунт основания очень часто представлен пылеватым суглинком, который, хотя и является непросадочным, способен давать большие пластические деформации, поэтому важно реально оценивать несущую способность грунтовых подушек с учетом их влажности и не завышать давления на основание. Это относится и к укатанным катками грунтовым подушкам в том случае, если уплотнение отдельных слоев грунта может быть неоднородным и недостаточным.

Не менее важным является и само производство работ по обратной засыпке траншей и котлованов. Обычно засыпка грунта производится навалом, а не послойно, без достаточного контроля. Это приводит к доуплотнению грунтов при замачивании, позволяет попадать атмосферным осадкам и производственным водам под фундаменты сооружений.

При замачивании просадочных грунтов во время строительства резко повышается чувствительность зданий к неравномерным осадкам. Поэтому

возведение зданий должно сопровождаться комплексом дополнительных инженерных мероприятий, обеспечивающих их прочность, статическую устойчивость и нормальную эксплуатационную прочность.

Выбор мероприятий или их сочетания в конкретных условиях определяется совокупностью факторов:

- характеристикой просадочной толщи (мощность, относительная просадочность, пористость, влажность, начальное давление и т.д.);
- оснащенностью строительно-монтажных организаций;
- геоморфологическими особенностями участка строительства;
- условиями застройки и т.д.

В связи с повышением этажности возрастают требования к достоверности статических расчетов и надежности конструктивных решений зданий, так как усилия, возникающие в их конструкциях, значительно превосходят соответствующие усилия в зданиях малой высоты (до пяти этажей включительно).

Соответственно необходимо увеличить объем и повысить качество инженерно-геологических изысканий, улучшить проектирование зданий и сооружений на просадочных грунтах.

В период строительства особенно важно проводить мероприятия, которые исключают возможность неорганизованного замачивания просадочных оснований и гарантирует выполнение предусмотренных проектом технических решений, соблюдению всех требований СН и СП в частности, при устройстве искусственных оснований и прокладке инженерных сетей. [1]

Особое внимание следует уделять водозащитным мероприятиям, не допускать просачивания атмосферных осадков в грунты, что вызывает просадки и разрушения водопроводных и канализационных сетей. Нарушение гидроизоляции лотков приводит к просадке грунта под ними, к разрушению водонесущих систем и, наконец, к просадке фундаментов здания.

Следует учитывать, что, сплошное асфальтирование (или плиткой) территории, наряду с инфильтрацией атмосферных осадков, способствует увеличению влажности грунта под асфальтом, а в отдельных случаях и появление верховодки.

Для обеспечения надежности зданий, возведенных на просадочных грунтах, не меньшее значение имеет их технически грамотная эксплуатация, и в первую очередь, наружных и внутренних инженерных сетей.

С этой целью необходимо:

- совершенствовать методику инженерно-геологических исследований, чтобы правильно определять состав и строение просадочных грунтов и их физико-механические свойства;

- разрабатывать для каждого конкретного случая комплекс технических мероприятий по ликвидации просадочных свойств грунтов, связанных с устройством оснований и фундаментов конструкциями зданий, при укладке инженерных сетей, вертикальной планировкой прилегающих территорий и т.д.;

- предусматривать в ППР специальные мероприятия, учитывающие особенности строительства объектов на просадочных грунтах;

- выполнять профилактические мероприятия, вовремя проводить аварийно-восстановительные работы;

- развивать фундаментостроение в двух направлениях: во-первых, разрабатывать новые конструктивные решения, позволяющие предельно использовать прочностные качества материалов и возможности средств комплексной механизации, во-вторых, искусственно укреплять слабые просадочные грунты в основании зданий, более полно использовать несущую способность естественных грунтов оснований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СП 5.01.01-2023. Общие положения по проектированию оснований и фундаментов зданий и сооружений. Минстройархитектура, 2023. − 144 с.

2. Ухов, С. Б. Механика грунтов, основания и фундаменты: учеб. пособие / С. Б. Ухов [и др.]; под ред. С. Б. Ухова. - 2-е изд., стер. - М.: АСВ, 2005. − 528с.

3. Гура, Т. А. Анализ причин и последствий возникновения осадок и смещений зданий / Т. А. Гура, С. Г. Вовк, Н. В. Чернова, В. А. Шишкина / В сборнике: International innovation research сборник статей победителей V Международной научно-практической конференции. Пенза, 2016. с. 176–181.

УДК

К.С.Юркевич, А.В.Синявская, А.В.Новицкая

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

СПОСОБЫ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ВОДОЗАБОРНЫХ СКВАЖИН

Научный руководитель – В.В. Ивашечкин, д.т.н., профессор

Обеспечение населения качественной питьевой водой является приоритетной социально-экономической задачей Республики Беларусь. Основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения являются поверхностные и пресные подземные воды. Наиболее безопасными и чистыми являются артезианские воды — напорные пластовые подземные воды, залегающие между слоями водонепроницаемых пород (глины, гравия, извести)

на глубине от десятков до сотен и более метров. Главным преимуществом водоснабжения из подземных источников является то, что вода практически не требует подготовки перед её подачей потребителю.

Залогом надежности и долговечности водозаборных скважин является их оптимальная в этих гидрогеологических условиях конструкция, правильная эксплуатация и своевременный ремонт. Основные причины низкого срока службы и выхода из строя: химическая кольматация (зарастание) фильтров и неэффективность технологий по их декольматации, пескование фильтров из-за ошибок в проектировании и нарушений правил технической эксплуатации скважин, несовершенство конструкций типовых скважин, связанное с их недостаточной ремонтопригодностью. Все это приводит к преждевременному износу водозаборных сооружений, высоким эксплуатационным затратам и дополнительному расходованию средств на капитальный ремонт и перебуривание скважин. При выходе из строя фильтра рассматривается техническая возможность выполнения работ по капитальному ремонту скважины. В практике можно выделить 4 основных метода капремонта, которые применяют с учетом наличия ряда условий.

Устройство защитной гравийной пробки внутри фильтра. Метод является самым простым и не требует применения спецтехники, однако здесь необходима точная информация о том, что приток песка в скважину происходит только через нижнюю часть фильтра. Капитальный ремонт скважины сводится к засыпке пескующей нижней части фильтра мелкой щебенкой или крупным гравием.

Установка ремонтного фильтра меньшего диаметра внутрь пескующего фильтра. Это экономически оправдано, если скважина имеет высокий удельный дебит и диаметр пескующего фильтра составляет 250-300 мм, что позволяет установить в него ремонтный фильтр диаметром 100-150мм с гравийной обсыпкой. В пескующей скважине меньшего диаметра из-за появления в фильтре дополнительной фильтрующей водоприемной поверхности может существенно снизиться пропускная способность фильтра и увеличатся потери напора, что сделает ее эксплуатацию экономически нецелесообразной. Реализация метода возможна при наличии специальной техники, оборудования, хорошо подготовленной опытной бригады.

Извлечение вышедшего из строя фильтра и замена новым. Успешная реализация метода возможна в скважинах ремонтопригодных конструкций, с фильтрами небольшой длины, установленными «впотай». Требуется специальная буровая техника для ударно-канатного бурения, так как для извлечения необходимы значительные тяговые усилия с приложением вибрационных нагрузок. Замена фильтра возможна только в малодебитных

скважинах, имеющих фильтры сравнительно небольшой длины (до 6 м). Извлечь и заменить фильтр большой длины (9-20 м) с надфильтровой трубой, имеющей длину обычно 7-12 м, на практике не представляется возможным. Это связано со значительными силами трения, возникающими между надфильтровой трубой и гравийной обсыпкой, фильтром и сцементированной кольматантом обсыпкой при подъеме. Сила трения прямо пропорциональна длине фильтра. Из-за больших сил сцепления фильтра с породой возникают значительные тяговые усилия при извлечении. Это обусловлено тем, что в прилегающем к фильтру слое гравия образуется природный цемент обрастания, прочность которого может достигать 2 МПа. При захвате фильтра метчиком в верхней части и подъеме его домкратами или лебедками, вся фильтровая колонна начинает работать на растяжение. Возникающие растягивающие усилия, из-за высоких сопротивлений трения между надфильтровой трубой и гравийной обсыпкой, фильтром и сцементированным грунтом, значительно превышают прочность сварных швов на растяжение. В результате при длинном фильтре происходит разрыв надфильтровой трубы и секций фильтра по сварным швам. Скважину тампонируют и перебуривают, что является весьма дорогостоящим мероприятием.

Наиболее распространенным инструментом для захвата фильтра снизу является «груша», которая представляет собой криволинейный конус, закрепляемый на буровых штангах, и помещаемый в отстойник фильтра. «Грушу» обсыпают гравием и при подъеме буровых штанг происходит ее заклинивание в трубе отстойника. Недостаток - потеря инструмента при невозможности подъема фильтра.

Для захвата фильтровой колонны сверху применяется метчик - наружный конус с закаленной винтовой нарезкой с острыми «заходами», который вводят в верхний срез фильтра или надфильтровой трубы. Метчик попадает в отверстие и за счет вращения и подачи с поверхности нарезает в отверстии резьбу, ввинчивается в нее и, как правило, обеспечивает надежное соединение с извлекаемой фильтровой колонной (бывали случаи, когда при натяжке домкратом трубы рвались в целом месте, а соединение метчика с трубой выдерживало). Метчики делаются разных диаметров. Для лучшего попадания метчиком в отверстие применяют метчики с направляющей юбкой.

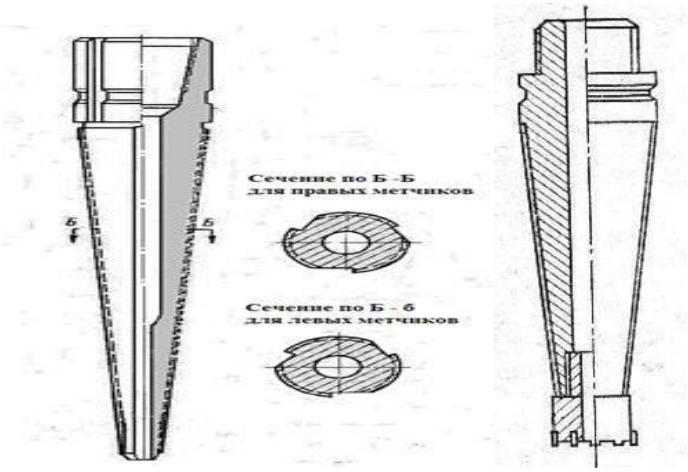


Рисунок 1. Общий вид метчиков для захвата фильтровой колонны сверху

Выбуривание вышедшего из строя фильтра и замена новым. Способ может быть реализован в скважине, в которой установлен фильтр «впотай» из полимерных материалов, например из пластиковых колец. Его можно разбурить на забое с помощью типового роторного бурового станка, выбурить разрушенные элементы фильтра с помощью расширителя. После этого опускают новый фильтр и обсыпают гравием.

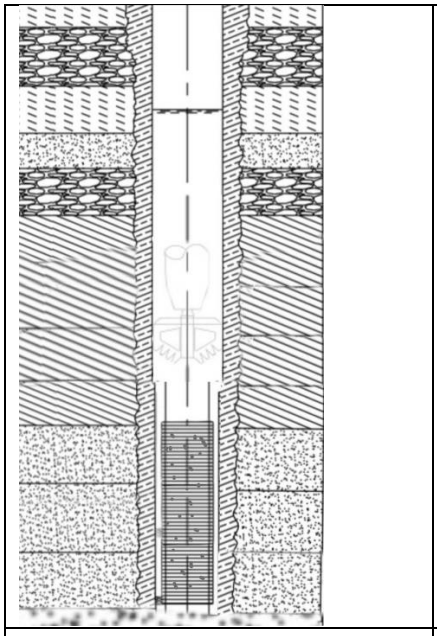


Рисунок 2.Запесковавший фильтр

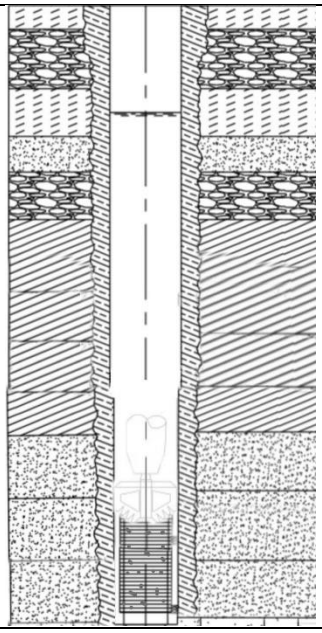


Рисунок 3. Выбуривание запесковавшего фильтра

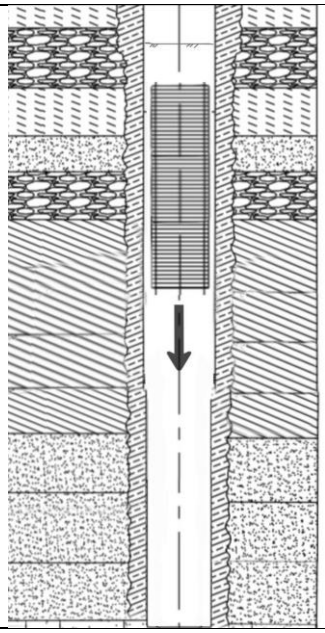


Рисунок 4. Опускание нового фильтра

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Справочник по бурению скважин на воду/Д. Н. Башкатов, С. С. Сулакшин, С. Л. Драхлис, Г. П. Квашнин, под ред. проф. Д. Н. Башкатова. М., Недра, 1979. 560 с.

2. Ивашечкин, В. В. Ремонтопригодные водозаборные скважины / В.В. Ивашечкин, П.А. Автушко; под ред. В.В. Ивашечкина. – Минск: БНТУ, 2016. – 228 с. – ISBN 978-985-550-948-7.

УДК 621.039.7

А.А. Стафинцов
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА ЛОКАЛИЗАЦИИ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Научный руководитель – к.т.н., доцент И.Ч. Казьмирук

Жидкие, твердые и газообразные радиоактивные отходы образуются в процессе эксплуатация ядерного энергоблока АЭС. Радиоактивные отходы (РАО) выступают также как побочный продукт эксплуатации природных ресурсов, включая добычу и переработку руд, сжигание ископаемого топлива или добыча природного газа и нефть [1]. Для обеспечения защиты здоровья человека и окружающей среды применяется общепринятая практика обращения с РАО. Значительные объемы как отработавшего ядерного топлива так и радиоактивных отходов получают при выводе ядерного энергоблока из эксплуатации. В период штатной работы энергоблока должна реализовываться концепция МАГАТЭ о гарантированной безопасности населения, персонала и окружающей среды. Жидкие радиоактивные отходы (ЖРО) образуются за счет протечек теплоносителя, при работе установок поддержания водно-химического режима контуров и спецводоочистки, а также при дезактивации оборудования, помещений и спецодежды, в саншлюзах и в радиохимических лабораториях.

Образование РАО варьируется по странам и территориям. Отходы могут влиять на здоровье человека и состояние окружающей среды, во всем мире уделяется большое внимание их безопасному обращению. Отходы по степени активности классифицируются на низко-, средне- и высокоактивные. По изотопному составу и периоду полураспада их подразделяют на короткоживущие, долгоживущие изотопы и трансурановые элементы.

Обработка является важным этапом в обращении с радиоактивными элементами. Для обращения с ЖРО предусмотрена система спецводоочистки. После фазы обработки ЖРО в данной системе отходы разделяют на две части, первая представляет собой концентрат небольшого объема, содержащий большую часть радионуклидов, а вторая (дистиллят) - большого объема, которая имеет низкую радиоактивность и позволяет использовать ее в производственных

нуждах. В процессе переработки ЖРО образуются радиоактивные газы, которые требуют дезактивации. Работа установок по переработке радиоактивных отходов приводит к накоплению вторичных ЖРО: сорбентов, пульп, регенерационных и промывочных растворов, которые также требуют переработки.

При эксплуатации АЭС с ВВЭР наблюдаются потери борной кислоты. Содержание солей борной кислоты в ЖРО АЭС с реакторами ВВЭР составляет до 50 % общего солесодержания.

Жидкие радиоактивные отходы хранятся на промплощадке АЭС, в хранилище жидких радиоактивных отходов и представляют собой высокоминерализованные растворы с солесодержанием 200-300 г/л, а также отработанные ионообменные материалы и сорбенты. Их жидкая фаза имеет щелочную реакцию и высокую окисляемость. Химический состав жидких отходов представлен, в основном, различными солями натрия.

Жидкие радиоактивные отходы ядерного энергоблока проходят предварительную очистку и обработку, затем перерабатываются на установках глубокого выпаривания, после чего отверждаются (иммобилизуются) — включаются в состав связывающих компонентов: битума, цементного раствора, стекла или керамики.

Жидкие радиоактивные отходы с высоким содержанием долгоживущих радионуклидов можно обрабатывать с использованием ионного обмена, сорбции, химического осаждения и испарения, обратного осмоса, фильтрации и экстракции растворителем.

К новейшим способам очистки ЖРО относится сорбционно-мембранная технология кондиционирования жидких радиоактивных отходов [2]. Сорбционно-мембранная технология кондиционирования жидких радиоактивных отходов с отверждением в водоустойчивый минералоподобный компаунд охватывает полный цикл обращения с ЖРО от переработки до окончательной изоляции от биосферы, является экологически безопасной.

Еще одним способом очистки является сорбционное извлечение радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr тонкодисперсными минеральными сорбентами в статических.

Разработана новая технология селективного отделения долгоживущих радионуклидов и частичного рециркуляции борной кислоты из кубового остатка испарителя. Разработанная система очистки ЖРО показала хорошее селективное отделение ^{137}Cs от высококонцентрированных солей и сильно щелочного кубового остатка испарителя.

Постоянное внимание уделяется исследованиям по удалению радионуклидов кобальта (^{60}Co), цезия (^{137}Cs) и стронция (^{90}Sr).

Новые технологии, такие как непрерывная электроионизация для растворимых щелочных радионуклидов нуждается в обосновании экономической целесообразности.

МАГАТЭ активно занимается оказанием помощи государствам-членам в деле безопасного обращения с радиоактивными отходами в целях защиты населения и окружающей среды от вредного воздействия ионизирующего излучения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Интернет-ресурс: https://infourok.ru/obrabotka-zhidkih-radioaktivnyh-othodov-obzor-5593107.html дата обращения: 01.05.2023;
2. Интернет- ресурс: https://www.ippe.ru/nuclear-power/radioactive-waste-fuel/104-membrane-processing-liquid-radioactive-waste , дата обращения 10.05.2023.
3. Синтез гибридных полимер-неорганических наносистем и их флокулирующие свойства | 2012 / Проскурина В. Е., Тухватуллина Р. З., Фаизова Р. Р., Громова Е. Ю., Галяметдинов Ю. Г.
4. Влияние pH на флокуляцию водно-солевых суспензий TiO 2 гибридными полимер-неорганическими наносистемами 2013 / Проскурина В. Е., Тухватуллина Р. З., Громова Е. Ю., Фаизова Р. Р., Шаброва Е. С., Галяметдинов Ю. Г.

УДК 62-757.73

А. Д. Черкашев, О.Н. Понтус, В. Е. Кукушкина, Н.С. Жданович
Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Научный руководитель - к.т.н. А. В. Филипчик

Энергетическое производство характеризуется существенной зависимостью от иностранных материальных ресурсов и энергоносителей, поставляемых по мировым ценам. При работе в таких условиях эффективность производства может быть достигнута за счет оптимального использования энерго- и ресурсосберегающих технологий.

Определяющее значение в достижении высокой эффективности технологического процесса производства деталей машин и механизмов имеют результаты качественной очистки металлов от продуктов коррозии с помощью

гидроабразивных операций, а также получения необходимых параметров шероховатости для последующих производственных операций [1–5].

Наиболее предпочтительным для оценки качества поверхности является параметр шероховатости R_a, который характеризует среднеарифметическое отклонение профиля.

Согласно инструкции по визуально-измерительной проверке РД 03-606-03 поверхность металлоизделия должна быть очищена от продуктов коррозии и загрязнений, при этом, шероховатость поверхностей деталей сварных соединений, а также плоскость разделки кромок деталей не должна достигать Ra = 12,5 мкм.

При газопламенном напылении металлическая поверхность должна быть очищена от коррозии, брызг металла и загрязнений, и иметь шероховатость по параметру R_a = 20–30 мкм для лучшей адгезии наносимого покрытия с металлической основой [1,3].

Для обеспечения эффективной адгезии слоев краски к очищенной поверхности металлоизделий в процессе окраски применяется технология, которая требует достижения определенного показателя шероховатости Ra, находящегося в диапазоне от 30 до 50 мкм. Этот диапазон шероховатости обеспечивает оптимальные условия для прочного сцепления красочных материалов с поверхностью и, следовательно, повышает долговечность покрытия. При правильной регулировке режимов сушки после окраски, достигается долговечное покрытие металлических изделий [1].

При показателях параметра шероховатости R_a = 0,16–0,01 мкм полированной поверхности происходит повышение коррозионной стойкости производственных деталей, что способствует увеличению межоперационного технологического периода [1].

Необходимо отметить, что под воздействием атмосферной коррозии детали, очищенные по технологии ГАО, могут подвергаться повторной коррозии при нахождении в производственных условиях (межоперационный период более 8 часов).

Гидроабразивная обработка – это эффективный способ очистки металлоизделий от коррозионных отложений. Данная технология является перспективной для очистки от нагара, окисных пленок и других загрязнений с деталей машин и механизмов. В процессе гидроабразивной обработки, такие частицы, как песок, гранит или стекло, применяются в струйном потоке для повышения эффективности очистки [1].

При гидроабразивной обработке, на поверхности обрабатываемой детали образуется жидкостная пленка, которая заполняет неровности поверхности. При ударе абразивных частиц по выступающим неровностям, эти частицы не

преодолевают сопротивления жидкостной пленки и воздействуют только на выступы. Частицы, попадающие во впадины, должны преодолеть сопротивление жидкостной пленки, и их воздействие на очищаемую поверхность ограничено. В результате этого процесса постепенно снижается шероховатость обрабатываемой поверхности, что способствует получению поверхности с более низкими параметрами шероховатости [1, 3].

Гидроабразивный способ очистки имеет несколько преимуществ, среди которых:

- очистка поверхностей от коррозии отличается отсутствием образования пыли в процессе обработки;
- решает проблему ухудшения прочностных характеристик обрабатываемой поверхности путем эффективного отвода тепла за счет использования воды в процессе очистки.
- позволяет формировать поверхность с необходимыми характеристиками рельефа (шероховатость);
- обработка поверхностей от коррозионных отложений обеспечивает продление срока службы абразивного материала в 2-3 раза по сравнению с пескоструйной обработкой, благодаря амортизирующему действию рабочей жидкости.

Но, конечно, нельзя не отметить и недостатки возникающие при таком способе очистки изделия. В процессе гидроабразивной очистки не решается проблема противокоррозионной защиты. Это может привести к существенному сокращению временного интервала между операциями из-за риска повторной коррозии очищенной поверхности.

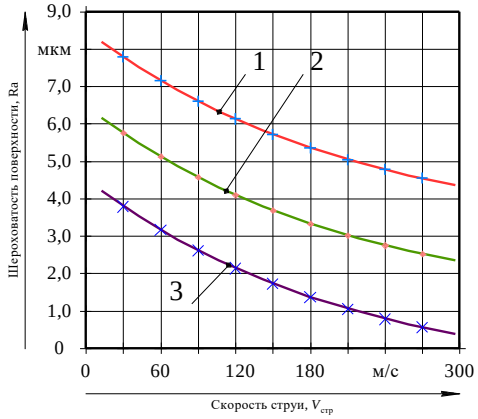
Основная часть. Предложен новый метод борьбы с коррозионными отложениями на металлических поверхностях, основанный на анализе преимуществ и недостатков современных технологий ГАО. Этот метод использует в своем составе: бентонитовую глину, кальцинированную соду и полиакриламид, которые позволяют не только очистить поверхности, но и формировать защитное пленочное покрытие. Важно отметить, что данная разработка обладает технической новизной и имеет соответствующие патенты [1,5].

Для оценки воздействия различных режимов гидроабразивной обработки (ГАО) на параметры шероховатости металлоизделия, которое было предварительно очищено от коррозионных отложений, проводились лабораторные исследования на образцах из сталей Ст3, Ст20 и Ст45. Образцы толщиной S = 4 мм с размерами 100 х 100 мм. В процессе обработки использовалась струя рабочей жидкости с следующими концентрациями

компонентов: 3% бентонита ($К_б$), 10-5% полиакриламида ($К_п$), 2% кальцинированной соды ($К_{к.с}$), остальное составляла вода.

В государственном научном учреждении "Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа" (Минск) были проведены исследования морфологических характеристик. Определение шероховатости поверхности производилось с использованием профилометра-профилографа модели 252 тип А1. Для анализа морфологии покрытий был применен сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) модели "Cam Scan" от "Oxford Instruments" (Великобритания). Микроскоп функционировал в режиме отраженных электронов при напряжении ускорения 20 кВ и масштабировании в диапазоне 50–5000 крат.

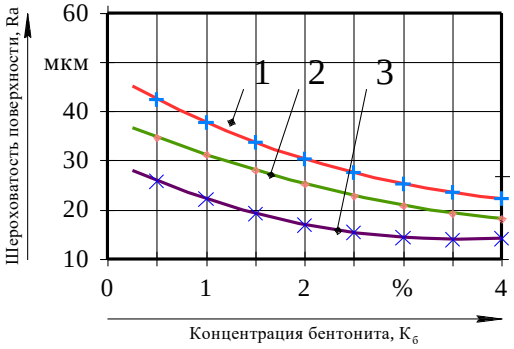
На рисунке 1 представлено влияние различных параметров скорости струи $v_{стр}$ на шероховатость обрабатываемой поверхности Ra при выходном диаметре сопла $d_к$ = 1 мм.



1 – Сталь 45; 2 – Сталь 20; 3 – Сталь 3

Рисунок 1. Зависимость параметров шероховатости обрабатываемого металлоизделия от значений скорости струи компонентов рабочей жидкости

Рисунок 2 иллюстрирует эффект увеличения концентрации бентонита на шероховатость Ra металлоизделия при следующих условиях: скорость струи $v_{стр}$ = 200 м/с, выходной диаметр сопла d_k = 1 мм, расстояние L до обрабатываемой поверхности равно 200 мм.

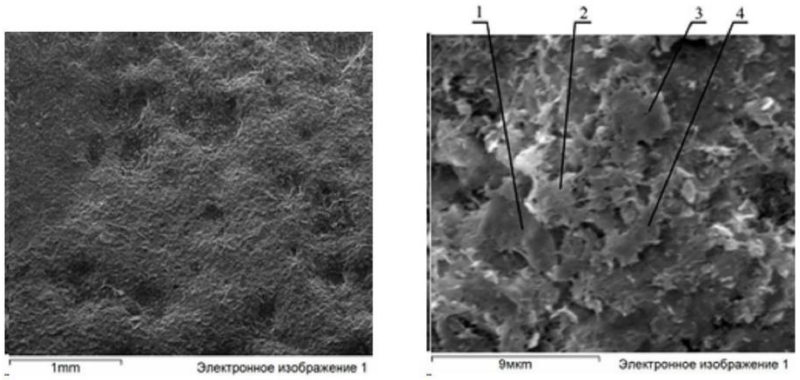


1 – Сталь 45; 2 – Сталь 20; 3 – Сталь 3

Рисунок 2. Зависимость шероховатости обрабатываемого металлоизделия от увеличения концентрации бентонита в составе компонентов рабочей жидкости:

Фотографии участков поверхности, на которых изучалась морфология пленочных покрытий, представлены на рисунке 3 (а, б). После обработки образцы были высушены на открытом воздухе при температуре Т = 20 °С в течение 20–24 часов.

Исходя из анализа рисунка 3 (а) видно, что на обработанных стальных образцах, формируется плотное покрытие, состоящее из отдельных чешуек. Расположенные на рисунке 3 (б) участки, обозначенные как позиции 1-4, представляют наглядное представление результатов процесса очистки.



а) б)

1, 2, 3, 4 – чешуйки – основная структурная составляющая сформированного защитного покрытия;

а) – увеличение х40; б) – увеличение х5000; материал – Ст3; $K_б$ = 3 %, $K_п$ = 10^{-5} %, $K_{к.с}$ = 2 %, остальное вода, $v_{стр}$ =185 м/с

Рисунок 3. Внешний вид защитного пленочного покрытия, создаваемого на поверхности образцов после гидроабразивной очистки (ГАО) с использованием в качестве одного из компонентов бентонитовой глины:

Результаты исследования и их обсуждение. Проведенные лабораторные испытания, представленные на рисунке 1, показывают, что изменение параметров гидроабразивной обработки ($v_{стр}$) позволяет достичь шероховатости металлоизделий в диапазоне *Ra* = 3,2–12,5 мкм для проводимых впоследствии операций сварочного производства.

Изменяя концентрацию бентонита в составе компонентов рабочей жидкости ($К_б$ = 2–4%), а также при заданных значениях $v_{стр}$ = 200 м/с, $d_к$ = 1 мм и L = 200 мм, можно достичь требуемой шероховатости поверхностей в диапазоне *Ra* = 20–30 мкм. Это является оптимальным для технологического процесса газопламенного напыления, как показано на кривой 2 рисунка 2.

При увеличении концентрации бентонита в составе компонентов рабочей жидкости ($К_б$ от 0,5 до 2%), а также при заданных значениях $v_{стр}$ = 200 м/с, $d_к$= 1 мм и L = 200 мм, можно достичь требуемой шероховатости поверхностей в диапазоне *Ra* = 30–50 мкм. Это является оптимальным для последующего процесса покраски, как показано на кривой 1 рисунка 2.

Применение новой технологии гидроабразивной обработки (ГАО) приводит к получению очищенных от коррозионных отложений металлических поверхностей с минимальной шероховатостью Ra = 0,16–0,01 мкм, как показано на рисунках 1-2. Это имеет положительное влияние на коррозионную стойкость деталей. Кроме того, при проведении ГАО формируется долговременное антикоррозионное покрытие (показано на рисунке 3), которое сохраняет свои свойства в течение 1 года.

Заключение. На основе проведенных экспериментальных исследований была разработана новая, энергосберегающая технология гидроабразивной обработки (ГАО), которая позволяет эффективно очищать металлические поверхности от коррозионных отложений и одновременно формировать коррозионно-защитное пленочное покрытие.

Применение различных параметров очистки ($v_{стр}$, $K_б$) в рамках новой технологии гидроабразивной обработки позволяет получать поверхности с необходимыми значениями шероховатости, что является важным для последующих технологических операций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качанов, И. В. Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты от коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины / И. В. Качанов, А. В. Филипчик, В. Е. Бабич, А. Н. Жук, С. И. Ушев – Минск: БНТУ, 2016. – 167 с.

2. Новая технология очистки поверхности металла от коррозии / А. В. Филипчик // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9-й междунар. науч. техн. конф.: в 4-т / БНТУ; редкол.: Б.М. Хрусталёв [и др.] – Минск, 2011 – Т.2. – С.150.

3. Агасарян, Р. Р. Струйно-абразивная обработка металлов / Р. Р. Агасарян, Р. Т. Дохинян. – Ереван: АтрНИИНТИ, 1990. – 51 с.

4. Искра, Е. В. Справочник по окраске судов и металлических конструкций / Е. В. Искра, Е. П. Куцевалова. – Л.: Судостроение, 1980. – 263 с.

5. Способ создания кавитирующей струи жидкости: пат. BY 13312 / И. В. Качанов, В. Н. Яглов, В. К. Недбальский, А. В. Филипчик. – Опубл. 30.06.2010.

СОДЕРЖАНИЕ

И. Охремчик, Н. А. Махнач «Сравнение картины пластического течения металла, полученной при формообразовании дорожных резцов путем натурных экспериментов и с помощью компьютерного моделирования» Научный руководители –д.т.н., проф. И. В. Качанов, К. Ю. Быков, С. А. Ленкевич, И. М. Шаталов *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 3

К. П. Моргунов, Д. Н. Антюшеня «Особенности динамической реакции водонасыщенных грунтов, залегающих в основании гидротехнических сооружений» *Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова, Санкт-Петербург, Российская Федерация* 5

В.Г. Богатырев «Особенности реализации бесшвартовного шлюзования при эксплуатации судоходного шлюза в условиях отрицательных температур» *Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова, Российская Федерация* 11

М.А. Янко, А.А. Головкин, В.А. Агафонкин «Перспективы применения ультраструйных технологий для экспресс-диагностики износостойкости поверхностного слоя конструкций водохозяйственных объектов» Научный руководитель –Галиновский А. Л., д.т.н. д.п.н. профессор *МГТУ им. Н.Э.Баумана, Москва, Российская Федерация* 15

А.И. Митрахович[1], И.Ч. Казьмирук[2] «Обследование состояния мелиоративных систем» *[1)]РУП «Институт мелиорации»; [2)]Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 17

Мякина М.А, Павич Е.С. «Ремонтнопригодная водозаборная скважина с фильтром – картриджем» Научный руководитель - Ивашечкин В.В, д.т.н, проффесор *Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь* 20

В.И. Селезнев, И.Ч. Казьмирук «Агротехнические и агромелиоративные приемы при осушении слабоводопроницаемых земель» *Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь* 24

Н.В. Седляр, О.А. Шавловская, Н.Я. Шпилевский, «Перспективы развития атомной энергетики в Республике Беларусь» Научный руководитель – Медведева Ю.А. *Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь* 26

К. Э. Повколас[1], Али Абдулла Аль-Робай[2] «Сравнительный анализ эффективности применения вертикальных барьеров из различных материалов для снижения вибраций, распространяющихся в 29

грунтовой среде» [1]*Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* [2]*Университет Аль-Кадисия, Ирак*

Е.В. Афанасьева, А.М. Мезенцев, А.А. Сахарчук «Конструкторские решения для создания воздушной каверны для баржи проекта 775, входящие в барже-буксирный состав» Научные руководители – Качанов И. В., д.т.н, профессор, Ключников В. А., к.т.н., доцент *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 34

Е.В. Афанасьева, С.И. Охремчик, М.А. Черник, «Анализ влияния формы обводов баржи на сопротивление движению барже-буксирного состава и рекомендации по модернизации на основе корпуса баржи проекта 775» Научный руководитель – Власов В. В., Шаталов И. М., Щербакова М. К. *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 38

Е.В. Афанасьева, Р.М. Колпаков, И.Д. Лохан, «Анализ технико-эксплуатационных характеристик барже-буксирных составов, эксплуатируемых на внутренних водных путях республики беларусь в условиях мелководья и технические предложения по их модернизации» Научные руководители – Качанов И. В., д.т.н, профессор, Ленкевич С. А. *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 43

Н.Я. Шпилевский, Н.В. Седляр, О.А. Шавловская «Гидротехнические сооружения беларуси и мира и их сравнение» Научный руководитель – Медведева Ю.А. *Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь* 46

Шпилевский Н.Я. «Устройство для реагентной обработки водозаборной скважины» Научный руководитель – профессор, д.т.н. Ивашечкин В.В. *Белорусский Национальный Технический Университет, Минск, Республика Беларусь* 49

Синиченков А.П., Хохряков К.А. «Причины деформаций зданий и сооружений и способы их устранения» Научный руководитель – Курчевский С. М., к. с-х. н., доцент. *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 52

К.С. Юркевич, А.В. Синявская, А.В. Новицкая «Способы капитального ремонта водозаборных скважин» Научный руководитель – В.В. Ивашечкин, д.т.н., профессор, *Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь* 56

А.А. Стафинцов «Способы и средства локализации радиоактивных отходов» Научный руководитель – к.т.н., доцент И.Ч. Казьмирук *Белорусский национальный технический университет Минск, Республика Беларусь* 60

А. Д. Черкашев, О.Н. Понтус, В. Е. Кукушкина, Н.С. Жданович 62
«Энергоэффективная технология гидроабразивной очистки металлических поверхностей от коррозионных отложений» Научный руководитель - к.т.н. А. В. Филипчик *Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова*