

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ**

**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

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

**СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В
ПРОЕКТИРОВАНИИ, СТРОИТЕЛЬСТВЕ И
ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Материалы 77-й студенческой научно-технической
конференции**

**в рамках Международного молодежного
форума «Креатив и инновации 2021»**

20 апреля 2021 года

**Минск
БНТУ
2022 г.**

Редколегия:

Ивашечкин В. В., Качанов И. В., Богославчик П. М., Казьмирук И. Ч.,
Повкалас К. Э., Линкевич Н. Н., Власов В. В.

Составители:

Качанов И.В., Власов В.В.

В сборнике представлены материалы 77-й студенческой научно-технической конференции «Современные направления в проектировании, строительстве и эксплуатации водохозяйственных и энергетических объектов», 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.

СОДЕРЖАНИЕ

С.П. Гатилло, А. А. Артёмчик «Малая ГЭС в качестве аккумулятора энергии СЭС»	4
И.Ч. Казьмирук, Д. А. Леонов, О.В. Амбражевич «Анализ современных аварий на гидротехнических сооружениях»	6
В.А Ключников, В.В. Власов, Д.В. Рапинчук, В.О. Андреев «Компьютерное моделирование и экспериментальные исследования 3D-моделей мелкосидящих буксирных теплоходов (МБТ) в гидродинамическом лотке»	9
И.М. Шаталов, М.К. Щербакова, И.А. Смагин, П.С. Шевцов «Разработка методики определения расстояния выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ на водотоках (реках и каналах) Республики Беларусь	11
И.М. Шаталов, М.К. Щербакова, Н.А. Коваленок, А.А. Сарапулов «Перспективы использования бумажно-слоистого пластика (БСП) в судостроении» Научные руководители- ст. преподаватель - ст. преподаватель	13
И.Ч. Казьмирук, Т.С. Бартош «Утилизация жидких радиоактивных отходов»	15
И.В. Качанов, К.В Хвитько, Н.В. Шкрабкова, А.С. Выдайко, П.В. Чайчиц «Технология сепарации пульпы в нагнетательной линии грунтового насоса земснаряда»	20
И.В. Качанов, И.М. Шаталов, В.А. Денисов, И.В. Чайчиц «Инновационная технология реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии»	22
И.Ч. Казьмирук, Д.С. Вьюгин «Заохривание прерфорационных отверстий и фильтров дренажных труб»	24

УДК 620.9

МАЛАЯ ГЭС В КАЧЕСТВЕ АККУМУЛЯТОРА ЭНЕРГИИ СЭС

А. А. Артёмчик

*Научный руководитель – Гатилло С.П., доцент
БНТУ, Минск, Республика Беларусь*

Согласно законодательству Беларуси для юридических лиц и индивидуальных предпринимателей разрешается присоединение электроустановок потребителей к электрической сети как для выработки электроэнергии (ЭЭ) в сеть (в пределах выделенных квот), так и для выработки ЭЭ для собственных нужд.

С учетом ввода в эксплуатацию Белорусской АЭС предусмотрено значительное снижение цены закупки энергии от возобновляемых источников, т.е. Минэнерго значительно уменьшает прибыль поставщиков ЭЭ в сеть, но взамен даёт возможность владельцам собственных потребителей энергии (например, производственных объектов) возводить установки ВИЭ для выработки электроэнергии для собственных нужд.

В частности, профилакторию БНТУ 1 кВт·ч обходится в 0,38744 руб (на октябрь 2020 г.) при годовой потребности примерно в 350 тыс. кВт·часов. Это около 135 тысяч рублей в год.

Из практики строительства стоимость 1 кВт установленной мощности СЭС без учета затрат на производство работ составляет 1500 рублей.

Срок службы СЭС около 25 лет, поэтому даже при сроке окупаемости проекта до 10 лет, проект строительства СЭС с целью использования для собственных нужд может представлять интерес.

Годовая потребность в электроэнергии для собственных нужд профилактория составляет 352 тыс. кВт·часов.

В качестве источника электроэнергии рассматривается строительство СЭС. Установленная мощность СЭС для покрытия годовой потребности профилактория в 352 тыс. кВт·часов составит 300 кВт.

В качестве оборудования СЭС приняты панели типа ET-P672340 с размерами 1956x992x40мм (вес 22,5 кг). Номинальная мощность одного модуля – 340 Вт. Угол установки равен 27 градусов. Панели устанавливаются на определенном расстоянии друг от друга с учетом взаимного незатенения. В состав СЭС необходимо включить 883 модуля, что составляет 4592 м².

Одна из проблем при строительстве СЭС – отвод значительного участка земли под ее строительство. Поэтому одним из вариантов является плавающая СЭС. Конечно, эта СЭС поместится на стадионе профилактория, но размещение промышленного объекта около профилактория считается нежелательным, даже если будет получено на это разрешение.

Однако даже в случае собственной СЭС остается гарантированный вопрос о несовпадении во времени вырабатываемой и потребляемой электроэнергии.

При малых мощностях – порядка десяти мегаватт и меньше – обычно используют литий-ионные, натрий-сернокислые, свинцово-цинковые, воздушно-цинковые и проточные аккумуляторы.

По нашему мнению, одним из приемлемых альтернативных решений при аккумулировании энергии от СЭС в несколько сотен киловатт может стать использование ГЭС соизмеримой мощности.

Задача ГЭС в составе такой комплексной станции – перераспределение вырабатываемой энергии от СЭС, т.е. излишки вырабатываемой электроэнергии от СЭС будут в виде воды накапливаться в водохранилище и превращаться в поставляемую в сеть энергию в часы ее нехватки.

Графически помесичный баланс выработки электроэнергии на СЭС и ее потребления профилакторием приведен на рисунке 1.

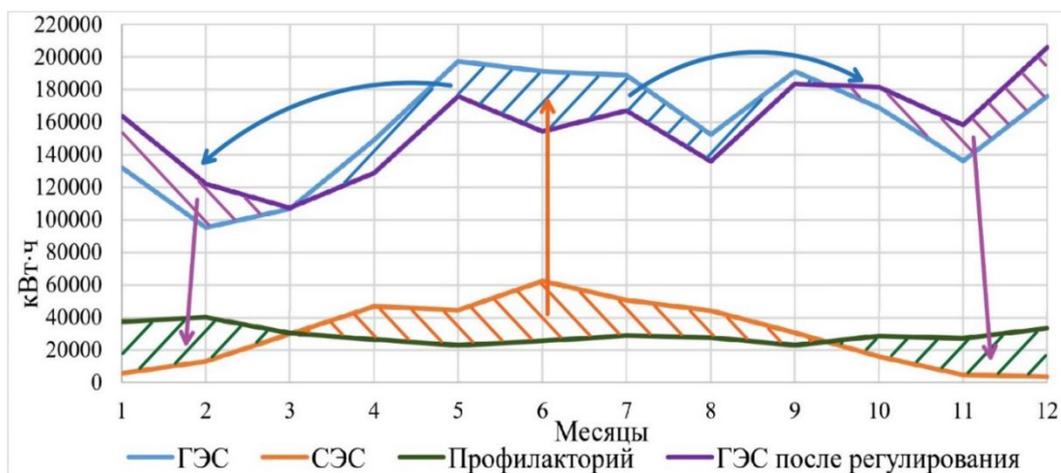


Рисунок 1. Объемы энергии, которые необходимо перераспределить для эффективной работы комплексной электростанции.

Необходимо изменить режим работы ГЭС таким образом, чтобы излишки вырабатываемой электроэнергии от СЭС в виде воды накапливались в водохранилище и превращались в поставляемую в сеть энергию в часы ее отгрузки с учётом допустимой величины колебания уровня воды в водохранилище.

УДК 626/627

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВАРИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

Д. А. Леонов, О.В. Амбражевич

*Научный руководитель – И.Ч. Казьмирук, канд. техн. наук, доцент
БНТУ, Минск, Республика Беларусь*

Введение. Проведение анализа аварий на гидротехнических сооружениях позволяет выявить причины, вызвавшие аварии и по возможности устранить их в будущем: путем изменения инженерных конструкций и режимов эксплуатации, а также своевременностью проведения ремонтов на сооружениях, в том числе и капитальных.

Описание сооружений. Эденвилльская плотина (Edenville Dam) была земляной насыпной плотиной в месте слияния рек Титтабавасси (Tittabowasse) и Табак-Ривер в Мичигане (Соединенные Штаты), образуя водохранилище Уиксом. Плотина находилась примерно в 1,6 км к северу от Эденвилла. Высота плотины составляла 16 м, длина – 2 км на гребне, была построена в 1924 году Фрэнком Айзеком Уиксом, в честь которого названо водохранилище, образованное плотиной [1]. В состав гидроузла входят два вакуумных водосброса - первый водосброс с тремя пролетами и второй водосброс, который совмещён со зданием ГЭС.

Плотина использовалась для борьбы с наводнениями и выработки электроэнергии, имела в своем составе гидроэлектростанцию, оборудованную двумя турбинами мощностью по 2,4 МВт каждая, способными вырабатывать в общей сложности 4,8 МВт электроэнергии.

19 мая 2020 года после проливных дождей произошел прорыв Эденвилльской плотины, а Санфордская плотина (Sanford Dam), ниже по течению вышла из берегов, что вызвало крупное наводнение в округе Мидленд. Санфордское водохранилище имело длину 9,7 км, ширину 0,8 км, площадь поверхности водной глади 578 га, средняя глубина 2,8 м, объём воды в водохранилище составлял 17144000 м³. В состав гидроузла Санфорд

входили: вакуумный водослив с шестью водосливными отверстиями, здание ГЭС и аварийный водосброс с размываемой вставкой.

Плотина находилась в частной собственности компании Boyce Hydro Power, базирующейся в Эденвилле, которая также владела тремя другими гидроэлектростанциями на Титтабавасси: плотинами Секорд, Смолвуд и Сэнфорд.

Споры о безопасности. Федеральная комиссия по регулированию энергетики (FERC) аннулировала лицензию Boyce Hydro Power ещё в 2018 году из-за ее "неспособности пройти вероятный максимальный паводок (PMF), а также учитывая семь других сбоев. Федеральная комиссия была обеспокоена тем, что "плотина может не иметь возможности пропускать достаточное количество воды, если произойдет сильное наводнение..." [2].

После отзыва лицензии федеральным правительством в 2018 году Michigan Department of Environment, Great Lakes, and Energy (EGLE) взял на себя надзор за плотиной Эденвилл и другими плотинами Бойса (Boyce), которые переданы в 2019 году the Four Lakes Task Force, полномочным органам, делегированным округом, с правом передачи в начале 2022 года.

Штат Мичиган выделил на эту покупку 5 миллионов долларов. The Four Lakes Task Force действует в рамках the Four Lakes Assessment District в штате Мичиган, создана в мае 2019 года судьей Стивенем Каррасом. В 2019 году 42-й окружной суд Мичигана принимал участие в определении того, будут ли платить налог the Four Lakes Assessment District только владельцы береговой линии озера или все жители района.

В октябре 2018 года и снова в середине ноября 2019 года оператор плотины понизил уровень воды, что он назвал "безопасным шагом". Он сказал, что запросил разрешение на снижение уровня у мичиганского EGLE, разрешение, которое не было выдано. Оператор заявил, что действовал "из-за беспокойства о безопасности своих операторов и нижестоящих каскадов водохранилищ", и подал иск в федеральный суд на EGLE, утверждая, что "проблемы безопасности были первостепенными".

В декабре 2019 года Федеральная комиссия по регулированию энергетики выдала разрешение на расширения гидроэлектростанции со второй электростанцией, содержащей один турбогенератор мощностью 1,2 МВт в общей сложности на 6 МВт, что потребовало подъема уровня воды в водохранилище Эденвилль. Оператор плотины заявил, что начал поднимать уровень воды в водохранилище в апреле 2020 года под угрозой судебного иска со стороны мичиганского ЭГЛЕ, и что он достиг "нормального подпорного уровня" в первую неделю мая. Генеральный прокурор Мичигана Дана Нессел подтвердила, что ЭГЛ приказал оператору поднять уровень воды, заявив:

"Мичиган ЭГЛ приказал Бойсу следовать предписанным судом требованиям уровня воды в водохранилище", но оспорила, что оператор понизил его по соображениям безопасности.

В апреле 2020 года EGLE подала в суд на Бойса, утверждая, что он без разрешения снизил уровень воды в 2018 и 2019 годах, убив тысячи пресноводных мидий.

Разрушение плотины. 19 мая 2020 года, в 5:46 вечера, из-за сильного притока воды из-за проливных дождей в этом районе обрушилась восточная сторона плотины, что вызвало немедленную эвакуацию в городах Эденвилл и Сэнфорд. Водоохранилище Сэнфорд, примерно в 16 км ниже по течению, впоследствии разлилось, что потребовало эвакуации большей части Мидленда, расположенного в 9,7 км ниже по течению. Губернатор Гретхен Уитмер объявила чрезвычайное положение и объявила о расследовании действий операторов плотины по подозрению в халатности. Более 10 000 местных жителей были в конечном счете эвакуированы, поскольку официальные лица предупредили жителей о необходимости сохранять социальную дистанцию во время пандемии COVID-19.

Река Титтабавасси поднялась на высоту 10,68 м поздно вечером 20 мая, что привело к обширному наводнению по всему восточному Мидленду и низменным частям его центрального района и серьезно повредило большую часть деревни Сэнфорд. Масштабы наводнения были хорошо видны на спутниковых снимках 22 мая. По состоянию на утро 20 мая 2020 г. сообщений о жертвах в результате наводнения не поступало.

Судебные иски. После наводнения пострадавшие подали три коллективных иска, в двух из которых ответчиком была названа мичиганская компания EGLE, а в двух – оператор плотины. Генеральный прокурор Мичигана Дана Нессел также подала в суд. Дела находятся на рассмотрении.

Выводы о причинах аварий:

- Недостаточная пропускная способность гидроузла Edenville – в 2018 году федеральной комиссией по регулированию энергетики (FERC) прекратило действие лицензии эксплуатирующей компании, т.к. были выявлены недочёты в пропускной способности водосброса, а также вызывала сомнения пропускная способность паводкового водосброса.

- Конфликт интересов – в октябре 2018 года, а также в середине ноября 2019 года оператор плотины снизил уровень воды в водохранилище в целях безопасности. Но разрешение на это не было выдано и решением суда уровень воды был повышен до нормального подпорного в апреле 2020 г.

- В декабре 2019 года Федеральная комиссия по регулированию энергетики выдала разрешение на расширение гидроэлектростанции,

содержащей один турбогенератор мощностью 1,2 МВт в общей сложности на 6 МВт, что потребовало подъема уровня воды в водохранилище Эденвилль.

Список использованных источников

1. Информация о дамбе. [Электронный ресурс] / <https://gladwincounty-mi.gov/dam-information/> Дата доступа: 15.05.2021.

Трилч, Ребекка. [Электронный ресурс] *-ФЕРК отзывает лицензию на строительство плотины в Эденвилле* . www.abc12.com. Дата доступа: 15.05.2021.

УДК 629.55

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ 3D-МОДЕЛЕЙ МЕЛКОСИДЯЩИХ БУКСИРНЫХ ТЕПЛОХОДОВ (МБТ) В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ЛОТКЕ

Д.В. Рапинчук, В.О. Андреев

Научные руководители: Ключников В.А - к.т.н., доц., Власов В.В. - ст. преподаватель

Объект исследования – 3D модели корпуса буксирного теплохода с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища и без рецесса и подачи воздуха.

Предмет исследования – гидродинамические характеристики и силовое воздействие потока воды на 3D модели корпуса судна (буксирного теплохода) с рецессом и различной системой подачи воздуха в днище со скегами и без скег, и без рецесса и подачи воздуха.

Цель исследования – проанализировать, определить и сравнить основные гидродинамические характеристики и параметры силового воздействия потока воды на 3D модели корпуса судна с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища со скегами и без скег, и без рецесса и подачи воздуха.

Для проведения экспериментальных исследований по определению основных силовых и гидродинамических характеристик 3D моделей корпуса мелкосидящих буксирных теплоходов проекта 570 на кафедре «ГЭСВТГ» БНТУ был разработан и сконструирован специальный экспериментальный гидродинамический стенд. Экспериментальная установка включала в себя гидродинамический лоток, программно-измерительный комплекс для регистрации усилий.

Были изготовлены три типа 3D-моделей данного судна. Первый тип модели выполнен в масштабе 1:50 по чертежам действующего судна – буксира проекта 570. Другие два типа модели в аналогичном масштабе разработаны для исследования эффекта воздушной каверны, создаваемой в днищевой части корпуса судна.

Разработана универсальная методика проведения экспериментальных гидродинамических исследований и проведены экспериментальные исследования в гидродинамическом лотке 3D моделей корпуса судна (буксирного теплохода) с различными конструктивными элементами (корпуса с рецессом и различной системой подачи воздуха в воздушную каверну днища со скегами и без них, без рецесса и подачи воздуха).

В процессе проведения исследований выяснялся вопрос влияния параметров подачи воздуха в днищевую каверну на величину силы сопротивления движения судна и величину подъемной силы.

Анализа полученных результатов, проведенных позволил сделать следующие выводы:

1. Установлен положительный эффект от создания воздушной каверны в днищевой части 3D-модели корпуса МБТ. Снижение силы сопротивления достигало 57 %, а увеличение подъемной силы 36 %. Полученный положительный эффект зависит от способа подачи воздуха и конструкции днища судна, а именно:

- конструкции днищевой части корпуса: со скегами и без скег;
- конструкции распределения воздуха: трубчатого или пакетного;
- направления подачи воздуха по отношению к набегающему потоку;
- скорости набегающего потока;
- давления воздуха, подаваемого в днищевую часть судна.

2. Наибольший эффект на 3D-модели корпуса проявляется для конструкции со скегами высотой 0,5 см и трубчатой подачей воздуха при скорости $V = 0,53$ м/с. С увеличением высоты скег этот эффект пропадает из-за увеличения сопротивления на смоченной поверхности скег.

3. По способу распределения воздуха в днищевой части следует отдать предпочтение трубчатой конструкции, т.к. в этом случае подачи воздуха осуществляется в двух направлениях: в сторону днища и по направлению потока, а в блочно–пакетной схеме направление подачи воздуха только одно–перпендикулярно набегающему потоку, что создает добавочное гидравлическое сопротивление.

4. Увеличение подъемной силы проявляется при различных конструкциях корпуса и разных скоростях потока. Наибольший эффект от действия подъемной силы наблюдается при малых скоростях и скеговой конструкции, при этом способ подачи воздуха существенно не влиял на величину подъемной силы.

5. Оптимальное давление подачи воздуха в днищевую часть 3D-модели судна составило $P = 0,02-0,04$ МПа. Дальнейшее увеличение давления не влияло на рост подъемной силы, а лишь приводило к росту силы гидравлического сопротивления движению.

Работа выполнена и внедрена в производство и учебный процесс БНТУ в рамках научно-исследовательского договора х/д 2241/186 с ОАО «Белсудопроект» Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

УДК 627.8-1

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ВЫПАДЕНИЯ НА ДНО ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДНОУГЛУБИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДОТОКАХ (РЕКАХ И КАНАЛАХ) РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И.А. Смагин, П.С. Шевцов

*Научные руководители: Шаталов И.М., - ст. преподаватель
Щербакова М.К. - ст. преподаватель*

В Республике Беларусь на больших и средних водотоках постоянно проводятся дноуглубительные работы с целью организации бесперебойного движения водного транспорта и работы по добыче сыпучих строительных материалов. Вышеуказанные работы связаны с постоянной эксплуатацией землесосных снарядов.

При их работе происходит интенсивное взвешивание частиц грунта, слагающих русло водотока. Далее взвешенные частицы переносятся потоком воды вниз по течению водотока, оказывая вредное воздействие на объекты животного мира и среду их обитания. За гибель ихтиофауны, снижение ее численности и продуктивности при утрате или нарушении среды обитания, вследствие проведения дноуглубительных работ на водных объектах, предусмотрены компенсационные выплаты в соответствии с «Положением о порядке определения размеров компенсационных выплат и их осуществлении».

С этой целью в НИР нами был выполнен анализ современной научно-технической литературы по вопросам транспортирующей способности взвесенесущих потоков и разработаны три методики расчета расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта на водотоках РБ. Все три методики могут использоваться в инженерных расчетах размеров зон вредного воздействия. Причём выбор той или иной методики зависит от вида водотока

и его основных геометрических и гидродинамических параметров, наличия достоверных исходных данных, гранулометрического состава взвеси, климатических факторов и т.д.

Первая методика была разработана на основе теории турбулентного массопереноса и турбулентной диффузии, которая позволяет с достаточной точностью определить графоаналитическим методом искомые расстояния и размеры зоны вредного воздействия.

Вторая методика была разработана на основе эмпирической теории движения наносов и учитывает основные параметры взвешивающего потока такие, как мутность потока по его глубине, средняя скорость движения взвесенесущего потока, размеры и количество наносов и т.д. Главным недостатком данной методики является то, что она не учитывает влияние самого русла (его геометрических и гидродинамических характеристик) на взвесенесущий поток и дает значительное завышение расстояний выпадения на дно взвешенных частиц.

Основной характеристикой в данной методике, определяющей движение твердых частиц в потоке, является скорость их выпадения в спокойной воде, называемая *гидравлической крупностью фракций* w , которая зависит от формы частиц, их удельного веса, а также от температуры воды, в которой выпадает взвесь.

Третья методика была разработана на основе теории расчета гравитационных отстойников и дает возможность создать сокращенную методику определения расстояний выпадения на дно взвешенных частиц при проведении дноуглубительных работ с безвозвратной выемкой грунта.

Следует отметить, что все три разработанных метода могут быть использованы при расчете размеров зоны вредного воздействия. Очередность использования методик: методика №1, методика №3, методика №2. Очередность использования методик должна быть обязательно согласована с типом водотока, его основными геометрическими и гидродинамическими параметрами, с гранулометрическим составом взвеси и его гидравлической крупностью и климатическими факторами.

Разработанные методики были использованы предприятиями водного транспорта РБ (ОАО «Белсудопроект», РУП «Белводпуть») при расчете зон вредного воздействия на окружающую водную среду при эксплуатации землесосного снаряда на реках Березина (г. Борисов), Сож (г. Славгород), Неман (в районе города Гродно).

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУМАЖНО-СЛОИСТОГО ПЛАСТИКА (БСП) В СУДОСТРОЕНИИ

Н.А. Коваленок, А.А. Сарапулов

Научные руководители: Шаталов И.М., - ст. преподаватель

Щербакова М.К. - ст. преподаватель

В настоящее время в строительстве и промышленном производстве широкое распространение получили композитные материалы и пластмассы, в особенности бумажно-слоистые пластики. Бумажно-слоистый пластик (БСП) – композитный листовый материал, состоящий из слоев бумаги, пропитанных термореактивными смолами и спрессованных под давлением.

БСП может быть изготовлен как методом высокого, так и низкого давления, при этом методы не сильно отличаются друг от друга, за исключением давления, приложенного в процессе прессования.

Основными компонентами для производства БСП являются меламин, формалин, фенол, бумага Kraft, декоративная бумага, overlay бумага, слоеразделяющая бумага. Технологический процесс производства БСП состоит из следующих операций: пропитка наполнительной бумаги в ваннах или автоматических пропиточных машинах; сушка бумаги; резки и сборки пакета; прессование или формование изделий сложной формы с последующей термообработкой горячим воздухом или инфракрасными излучением.

Поскольку БСП часто используется как покрытие для жесткого основания, на тыльной стороне материала создают шероховатость. Для этого пластики обрабатывают на шероховочных станках с помощью абразивной ленты.

В производстве БСП используются пленки с частичной конденсацией смол, т.е. смола в пленке твердеет всего на 35–50 %. За счет находящейся на поверхности пленки не полностью отвержденной смолы происходит скрепление всех слоев бумаги между собой. При необходимости бумаги, пропитанные смолами, нарезаются для получения заготовок нужного размера, после чего собираются в пакеты для прессования. Существуют различные способы прессования бумажных пленок для получения БСП, различия в которых происходят из-за разницы используемого оборудования, в результате могут быть получены пластики высокого или непрерывного давления.

За годы развития технологии стало возможно как производство огнестойких материалов, так и покрытий с высоким глянцем или текстурированной поверхностью, а также высокими прочностными характеристиками; с декоративным слоем из шпона, кожи, металлизированной поверхностью.

БСП является востребованным материалом на современном рынке строительства, отделки и производства. Эти бумажно-слоистые пластики используются в устройстве лабораторий, операционных отделений, офисных экранов и перегородок, сантехнических кабин, фасадов зданий, а также мебели.

Перспективным направлением в изготовлении корпусных конструкций судов является применение пластмасс – композитных материалов. Их свойства в значительной степени определяются физико-механическими характеристиками составляющих компонентов – армирующего материала и связующего. В качестве первого наибольшее распространение получило стекловолокно. В отдельных пластмассах для достижения повышенной прочности и жесткости армирующими служат волокна бора, графита, угольные волокна. В качестве связующего материала применяются полимерные синтетические смолы: эпоксидные, полиэфирные, фенольные. Смолы соединяют элементы армирующего материала в единое целое, защищают их от действия влаги.

Механические свойства пластмасс зависят от многих факторов, среди которых основную роль играют тип и весовое соотношение отдельных компонент, а также технология производства материала.

Наибольшее распространение в судостроении в наше время получил стеклопластик, который, благодаря своим механическим свойствам, успешно конкурирует с другими материалами. Так, стеклопластик, намотанный однонаправленный, имея малый удельный вес ($1,8 \text{ г/см}^3$), обладает весьма высокой прочностью. Недостаточно широкое распространение пластмасс в качестве материала корпуса объясняется как технологическими факторами (высоким уровнем ручного труда, особенно на формовке узлов соединений, токсичностью компонент), так и влиянием технологии изготовления материала на его прочностные свойства. Последние также изменяются со временем по мере старения пластмассы.

Анализ преимуществ и свойств бсп, а также анализ материалов используемы судостроении, позволяет сделать вывод об использовании этого материала в современном судостроении. Так удельный вес бсп на 20 % меньше удельного веса стеклопластика, а экологичность материала в купе с его прочностью, долговечностью и высокой термостойкостью делают его серьёзным конкурентом для конструкций из стеклопластика. Таким образом бсп имеет потенциал в использовании на спортивных яхтах и на скоростных судах, как в отделке, так и в корпусных конструкциях. Также декоративность и неприхотливость в обслуживании позволяет использовать бсп высокого

давления в отделке и производстве мебели для круизных судов и яхт бизнес-класса.

УДК 621.039.72

УТИЛИЗАЦИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Т.С. Бартош

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

Изначально энергия атома использовалась в военных целях. Комбинаты по производству оружейного плутония для ядерного оружия производят сотни тысяч кубометров жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в год. Возникает проблема утилизации таких отходов. В СССР и США в начале атомной гонки их сливали в открытые водоемы, считая, что самоочищающейся способности природной среды будет достаточно для очистки воды от радионуклидов. Но это привело к загрязнению рек и образованию целых радиоактивных озер. Когда в СССР стали наращивать мощности и строить новые атомные электростанции и использовать энергию атома в мирных целях, пришлось искать иные подходы к утилизации отходов.

В настоящее время более 90% объема ЖРО сосредоточены в открытых водоемах на территории комбината «Маяк» (г. Озерск, Челябинская область), в Теченском каскаде водоемов и ряде озер, например, в озерах Карачай и Старое болото (рисунок 1). Создание и эксплуатация подобных водоемов обернулось огромным количеством экологических проблем.

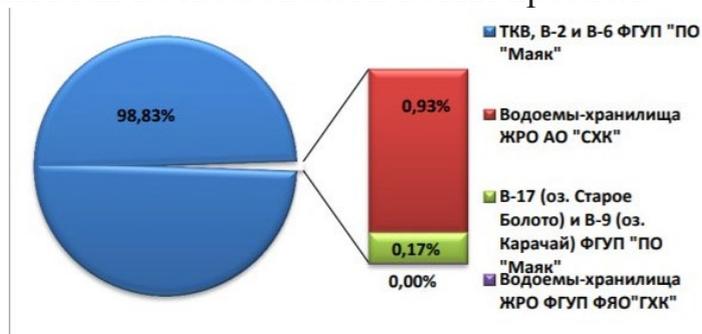


Рисунок 1. Распределение объемов накопленных ЖРО, отнесенных к особым РАО

После инцидента 1967 года Правительством СССР было принято решение о ликвидации водоема Карачай. К середине 1980-х годов была окончательно отработана технология засыпки водоема скальным грунтом с применением специальных конструкций – полых бетонных блоков, позволяющих локализовать донные отложения и наиболее активные илы без их выпячивания на поверхность (рисунки 2, 3).

В период 1988-1990 проходил первый этап закрытия Карачая – проведена отсыпка северо-западной части озера и сооружены разделительные дамбы, снижающие вероятность образования волн и ветрового уноса

аэрозолей. В 1990-2000 проведена засыпка 80% акватории, значительно снизившая дозовые нагрузки вблизи озера. В 2008-2015 годах была проведен финальный этап ликвидации зеркала озера. А 26 ноября 2015 года водоем Карачай окончательно был засыпан [1].



Технология закрытия акватории



Рисунок 2. Ликвидация озера Карачай

Печальный опыт ПО «Маяк» с его авариями и выбросами из поверхностных хранилищ (загрязнение реки Течи, взрыв ёмкости с ЖРО в 1957-м, ветровой разнос с пересохших берегов озера Карачай в 1967-м) требовал поиска иных подходов к утилизации РАО. Изменить технологию производства плутония в то время было невозможно, а способов переработки таких объемом ЖРО не было. Одним из вариантов решения была закачка ЖРО под землю (рисунок 4).

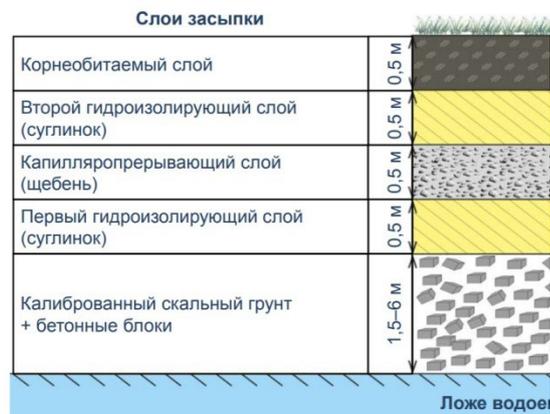


Рисунок 3. Слои засыпки озера Карачай



Рисунок 4. Макет пункта захоронения ЖРО

Но не в любом месте можно осуществить закачку ЖРО, нужны особые породы и условия. В первую очередь, нужно найти пористые слои, способные вместить большой объем жидких отходов и, по возможности, связать их, обеспечив низкую скорость миграции радионуклидов. Во-вторых, они должны быть надежно гидроизолированы от других водных горизонтов для исключения попадания радионуклидов в подземные воды, используемые для водоснабжения, и выхода на поверхность.

активностью. Таким образом, системы спецводоочистки, очищающие теплоноситель от примесей, фактически производят и его дезактивацию.

Радионуклиды при этом концентрируются в ионообменных смолах или других фильтрующих материалах, имеющих объем на несколько порядков меньше, чем исходные воды.

Тем самым реализуются два принципа обращения с радиоактивными жидкостями на АЭС:

а) возможно более полный возврат очищенных вод в технологический цикл и наименьший сброс очищенных вод в канализацию;

б) концентрирование радиоактивности в остатке по возможности наименьшего объема для захоронения его в минимально необходимых емкостях;

в) отдельная очистка вод или ЖРО, различающихся по радиоактивности и физико-химическим показателям.

Эти принципы используются при обращении не только с теплоносителем реакторного контура, но и с другими, химически более загрязненными водами и ЖРО. Они важны потому, что количество радиоактивных жидкостей и образующихся ЖРО на станции в несколько раз больше, чем, например, твердых отходов.

Источниками ЖРО являются: продувочная вода реакторного контура и организованные протечки этого контура, вода бассейнов выдержки и перегрузки, вода опорожнения реакторных петель; они характеризуются наибольшей химической чистотой (солесодержание менее 1 г/л), но и наибольшей радиоактивностью. Дезактивационные растворы, использованные при дезактивации контуров, оборудования или отдельных деталей; они содержат радиоактивные окислы конструкционных материалов. Солесодержание дезактивационных вод доходит до 25 г/л. Активность их зависит от материалов основных контуров и может доходить до 10⁹–10¹⁰ Бк/л. Продувочная вода парогенераторов двухконтурных установок (ВВЭР); эта вода имеет по сравнению с реакторной большее солесодержание, но меньшую радиоактивность. Активность продувочных вод обычно не превышает 10 Бк/л

К источниками ЖРО также относят трапные, регенерационные и промывочные воды. Трапные воды – это воды неорганизованных протечек или случайных проливов. Регенерационные воды появляются при восстановлении обменной способности фильтрующего ионообменного материала установок обработки радиоактивных вод кислотой и щелочью. Основные загрязнители – водорастворимые соли, кислоты и щелочи. Общее солесодержание составляет до 50 г/л; активность – в среднем 10⁶ Бк.

Воды спецпрачечных и душевых. Это воды наименьшей радиоактивности. Источником примесей в них является используемая техническая или водопроводная вода. Активность вод прачечных достигает 10³ Бк в период ремонта, а обычно ниже допустимых значений.

Обращение с ЖРО включает:

- Сбор ЖРО и их сортировка (с использованием спецканализации).

- Дезактивация (очистка вод реакторного контура, бассейна выдержки и др. технологических систем от радионуклидов).
- Переработка радиоактивных отходов (выпаривание, фильтрация или ионный обмен с целью удаления радионуклидов или концентрации их в меньшем объеме; осаждение или изменение состава химических веществ).
- Кондиционирование радиоактивных отходов (глубокое упаривание, цементирование, битумирование, остекловывание).

Переработка органических жидкостей. Горючие органические жидкости – масла, растворители и т.п. – собираются в поддоны, затем в отдельные емкости и сжигаются в специальных установках с очисткой образующихся газов от радио-активных и других вредных веществ.

Переработка и кондиционирование пульп и шламов. Высокорадиоактивные кубовые остатки после выпарных аппаратов и ионообменные смолы с сорбированными ими нуклидами, объемы которых очень малы в сравнении с исходными ЖРО, а также пульпы перлитов и активированного угля собираются в отдельные емкости в хранилищах жидких отходов (ХЖО). В настоящее время пульпы отверждаются так же как и другие ЖРО.

Идет работа по модернизации производств и сокращению объемов образующихся жидких отходов. Например, на Горно-химическом комбинате (ГХК) (ФГУП «ГХК», ранее – Комбинат № 815, Красноярск-26) ежегодное образование ЖРО сократилось в 10 раз за 6 лет — с более 370 тыс. м³ в 2012 году, до около 40 тыс.м³ в 2018. Кроме того, на ГХК в рамках строящегося завода по переработке отработанного топлива РТ-2 внедряется технология, полностью исключая образование ЖРО. Кроме того, на многих атомных объектах внедряются технологии и инфраструктура для переработки и отверждения жидких РАО.

В настоящее время в рамках ФЦП ЯРБ-2 идет разработка плана закрытия ПГЗ ЖРО. По словам представителя НО РАО, Россия в мае 2018 года декларировала в МАГАТЭ свое желание и готовность закончить практику закачки ЖРО. С 2025 года эти планы должны начать реализовывать [2].

Таким образом, мирная атомная энергетика в будущем не будет иметь отношения к практике глубинного захоронения ЖРО, доставшейся нам в наследство от военных программ.

Список использованных источников

1. История формирования радиоактивного загрязнения на Южном Урале [Электронный ресурс] Атлас ВУРСа. – 2020.– Режим доступа http://downloads.igce.ru/publications/Atlas/CD_VURS/7-12.html#page11b. – Дата доступа: 06.03.2021.
2. Горчаков, Дм. Подземное захоронение жидких радиоактивных отходов [Электронный ресурс] / Дм. Горчаков. – 2020.– Режим доступа <https://nucl0id.livejournal.com/363125.html>. – Дата доступа: 06.03.2021.

ТЕХНОЛОГИЯ СЕПАРАЦИИ ПУЛЬПЫ В НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ ГРУНТОВОГО НАСОСА ЗЕМСНАРЯДА

Н.В. Шкрабкова, А.С. Выдайко, П.В. Чайчиц

*Научные руководители: Качанов И.В., - д.т.н., проф., Хвитько К.В. -
ассистент*

Осуществление дноуглубительных работ на внутренних водных путях Республики Беларусь является необходимым условием для обеспечения судоходства пассажирских и грузовых судов. Эти работы осуществляются специальными плавучими дноуглубительными земснарядами, предназначенными для подводной разработки грунта. Дополнительно указанные земснаряды выполняют работы по добыче песка со дна рек и озер для обеспечения потребностей строительства и других отраслей промышленности.

Общий объем грунта, извлекаемый в Республике за период навигации, составляет около 800 000 м³. Извлекаемый природный песок разнороден по своему зерновому составу. В большинстве случаев он не отвечает требованиям, предъявляемым действующими стандартами к пескам, предназначенным для приготовления бетонных и растворных смесей.

Чтобы получить из них доброкачественный заполнитель бетона нужно, как правило, удалить из песка вместе с глиной и илом излишнее количество фракций мельче 0,16 мм., для этого необходима дополнительная обработка природного песка, его сепарация, которая осуществляется в специальных аппаратах. Анализ существующих конструкций этих аппаратов показал невозможность их использования непосредственно на земснарядах ввиду больших габаритов, металлоемкости и невозможности получения готового, товарного песка без дополнительной обработки.

На основании изучения законов распределения твердых частиц при транспортировке пульпы по трубопроводу на кафедре ГЭСВТГ БНТУ была разработана энергосберегающая технология сепарации пульпы и устройство для ее осуществления. Предложенная технология автоматической сепарации пульпы, при которой обеспечивается движение потока пульпы по напорному трубопроводу с последующим разделением потока под действием центробежной силы на две струи, отличается от существующих технологий тем, что предварительно после прокачки по напорному трубопроводу осуществляют прокачку пульпы через поворотное колено с распределением под действием центробежных сил потока на две зоны: внешнюю и

внутреннюю, с последующим разделением потока на две струи, содержащие соответственно товарную пульпу и обеднённую с включениями граничных фракций, при этом текущая корректировка гранулометрического состава пульпы в каждой струе производится с помощью поворотных заслонок с независимыми приводами.

Эффект сепарации пульпы существенно увеличился путем использования на поворотах нагнетательной трубы насоса овального сечения. Благодаря использованию овальных сечений на поворотах нагнетательной трубы грунтового насоса происходит разделение пульпы на товарный песок и «мульку», и попутно снижается коэффициент местного сопротивления этих поворотов, что в свою очередь повышает энергоэффективность сепарации пульпы.

Основные преимущества данного способа сепарации заключаются в следующем:

1. Возможность визуального контроля крупности частиц гидросмеси, отбираемой из верхней зоны трубопровода и автоматического управления этим процессом.

2. Малая металлоемкость трубного делительного корпуса благодаря обработке гидросмеси только в объеме потока гидросмеси верхней зоны. Поток концентрированной гидросмеси с крупными товарными фракциями песка направляется в баржу без обработки.

Результаты проведенных исследований будут использованы при разработке новой конструкции нагнетательной линии с сепаратором пульпы грунтового насоса, установленного на земснаряде при добыче речного песка в районе г. Пинска, и г. Бобруйска.

УДК 669:620.197

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕВЕРСИВНО-СТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ СУДОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ

В.А. Денисов, И.В. Чайчиц

*Научные руководители: Качанов И.В., - д.т.н., проф., Шаталов И.М., -
ст. преподаватель*

Объект исследования – инновационная технология реверсивно-струйной очистки судовых поверхностей от коррозии.

Предмет исследования – инновационная устройство для формирования реверсивной струи, воздействующей на преграду.

Цель работы – разработать современную отечественную инновационную технологию реверсивно-струйной очистки судовых

поверхностей от коррозии; провести теоретические и экспериментальные исследования по определению величины давления от воздействия реверсивной струи рабочей жидкости на плоскую металлическую поверхность.

На кафедре «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», БНТУ была разработана, запатентована и исследована новая высококачественная инновационная технология и устройство для формирования реверсивной струи воздействующей на преграду с целью ее очистки от всевозможных загрязнений (рисунок 1).

При выполнении научно-исследовательской работы получены следующие результаты:

- разработана новая конструкция струеформирующего устройства, обеспечивающая повышение силового воздействия на обрабатываемую поверхность за счет реверсивного разворота струи рабочей жидкости, что позволяет реализовать процесс РСО с пониженными энергозатратами при производстве очистных работ с одновременным повышением культуры производства;

- разработана математическая модель для расчета силового воздействия реверсивной струи на преграду, состоящую из слоя коррозионных отложений.

В результате проведенных экспериментальных исследований были получены результаты по нахождению минимального давления разрушения, которые хорошо согласуются с теоретической зависимостью для расчета давления в точке соударения реверсивной струи с преградой, которая учитывает механические свойства разрушаемого материала, а также кинематические параметры струи;

- анализ данных, полученных в результате теоретического и экспериментальных исследований, показывает, что минимальное значение давление разрушения слоя коррозии составляет $p = 9$ МПа при коэффициенте обжатия струи $\lambda = 0,063$;

- на основании полученных результатов предложено принимать в качестве критерия коэффициент обжатия струи λ , что позволяет прогнозировать минимальное давление разрушения слоя коррозии и, установив для данного λ величину струйного давления $p_{стр}$, корректно подбирать насосно-силовое оборудование для очистки металлических поверхностей.

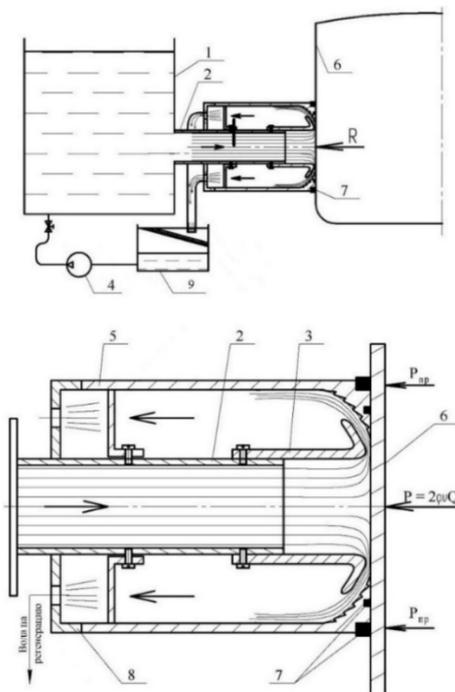


Рисунок 1 – Устройство для очистки от коррозии судовых стальных поверхностей:

- 1 – бак напорный; 2 – насадок; 3 – манжета струеформирующая; 4 – насос;
 5 – стакан цилиндрический; 6 – обрабатываемая поверхность;
 7 – уплотнение; 8 – крышка; 9 – бак для регенерации

Результаты работы внедрены в учебном процессе БНТУ, на предприятии СООО «Элизер» и ООО «Амкодор-Можа».

Работа выполнялась в рамках договоров о научно-техническом сотрудничестве №02-07 от 04.07.2017 г. СООО «Элизер» и №37 от 09.07.2018 г. с ООО «Амкодор Можа», а также гранта Министерства образования Республики Беларусь ГБ 12-12 №20120807.

УДК 661.872.16:628.16

ЗАОХРИВАНИЕ ПЕРФОРАЦИОННЫХ ОТВЕРСТИЙ И ФИЛЬТРОВ ДРЕНАЖНЫХ ТРУБ

И.Ч. Казьмирук, Д.С. Вьюгин

Конструкция современного дренажа определяется типом дренажных труб и видом применяемых фильтров. Для пластмассовых гофрированных – количеством и размерами перфорационных отверстий и их размещением. Современные дренажные трубы имеют шесть рядов прямоугольных перфорационных отверстий размером 2x4 мм (рисунок 1), расположенных радиально через 60° во впадинах гофр.

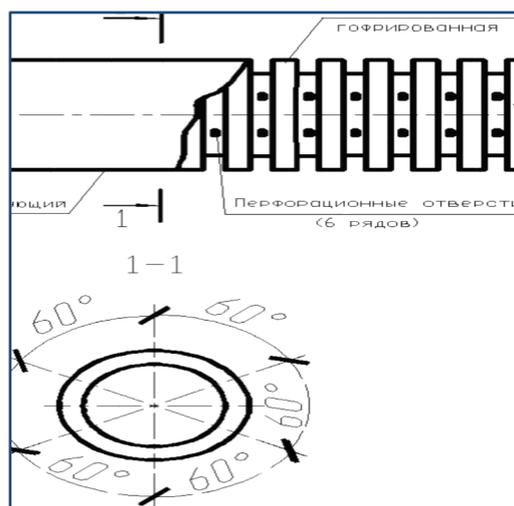


Рисунок 1. Перфорированная гофрированная дренажная труба с фильтром

Надежность работы горизонтального дренажа обуславливается работоспособным состоянием составляющих его элементов и состоянием осушаемого грунта. Эффективность осушения оценивается возможностью своевременного проведения сельскохозяйственных работ по севу и уборке урожая, созданию благоприятных условий для роста и развития растений. Качество осушения можно оценивать степенью соответствия существующего водного режима требуемому: чем меньше разница между ними, тем благополучнее мелиоративное состояние осушаемых земель. Отклонение фактического водного режима почвы от требуемого может быть вызвано, в том числе, и неэффективной работой фильтра.

Низкое осушительное действия дренажа, часто связано с малой водопропускной способностью фильтра, которая обусловлена его кольматацией и уменьшением поступления воды в полость труб. Изучению этой проблемы посвятили свои работы многие ученые [1, 2, 3]. Если содержание закисного железа в грунтовой воде более 4 мг/л, то, по данным исследователей [4, 5] является препятствием для осушения закрытым пластмассовым дренажем.

От величины кольматации зависит эффективность действия дренажной системы в целом. Существуют различные виды кольматации:

- механическая,
- химическая (например, заохривание),
- биологическая (например, зарастание корнями растений).

Рассмотрим подробно химическую кольматацию. Она связана с изменением физико-химических условий в придренной области, что приводит к выпадению в осадок соединений, нерастворимых в воде. Кольматации может подвергаться как сам фильтр, так и водоприемные отверстия дренажных труб. Кольматаж водоприемных отверстий является результатом отложения на них

карбонатов, гидроксидов железа и других веществ. Присутствие в воде катионов кальция и магния, нарушение углекислотного равновесия приводят к образованию труднорастворимых соединений CaCO_3 и MgCO_3 . Наиболее часто встречающийся вид химической кольматации – заохривание перфорационных отверстий дрен, коллекторов, что является следствием образования в них нерастворимого осадка – гидроксида железа. В результате контакта дренажной воды с кислородом осуществляется переход железа из закисного в окисное и выпадение в осадок. Это происходит в результате химических реакций и деятельности железобактерий. Для предотвращения заохривания и снижения скорости химических реакций уменьшают доступ кислорода в полость дренажных труб, т.е. устраивают затопленные и затопленные устья [6]. Иногда вносят в дренажную траншею ингибиторы (например, известь, смесь извести с гипсом). При эксплуатации дренажа в таких условиях периодически проводят промывку коллектора дренопромывочными машинами как просто водой, так и с добавками в воду растворов кислот. На участках, имеющих содержание железа в грунтовой воде более 4 мг/л, обычно устраивают одиночные дрены, диаметр которых позволяет проводить их промывку и прочистку специальными устройствами, либо отказываются от осушения такой территории закрытым дренажем. Частые и дорогостоящие промывки могут существенно увеличить стоимость эксплуатации мелиоративной сети. При экономической нецелесообразности осушения закрытым дренажем используют открытые осушители либо оставляют земли в естественном состоянии. При содержании закисного железа в грунтовой воде более 8 мг/л устройство закрытой сети, согласно действующих нормативных документов Республики Беларусь, не рекомендуется.

Выводы. Правильно подобранный фильтр меньше подвержен кольматации и является гарантией длительного сохранения работоспособности дренажной системы. Чтобы снизить заохривание перфорационных отверстий дренажных труб нужно исключить доступ воздуха в ее полость (например, устройством затопленных дренажных устьев). На мелиоративной системе с содержанием железа в грунтовой воде более 4 мг/л рекомендовано периодически проводить промывку и прочистку дренажных труб. При содержании закисного более 8 мг/л устраивать только открытую дренажную сеть.

Список использованных источников

1. Дерягин, Б. В. Аномальные явления при течении жидкостей через пористые фильтры / Б. В. Дерягин, Н. А. Крылов // Материалы совещания по

вязкости жидкостей и коллоидных растворов.– М. : Изд. АН СССР, 1944. – Т. 2. – С. 47-52.

2. Пивовар, Н. Г. Фильтрационные свойства фильтров из минеральных волокнистых материалов / Н. Г. Пивовар, Н. Г. Бугай // Фильтрация воды в пористых средах : докл. III междунар. симпозиума. – Киев, 1978. – С. 83-91.

3. Ткач, В. В. Результаты исследований фильтрационных свойств и деформаций комбинированных защитно-фильтрующих материалов / В. В. Ткач // Теория и расчеты фильтрации. – Киев, 1980. – С.164-169.

4. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу / Р. Эггельсманн. – М. : Колос, 1984. – С. 75-106.

5. Кунце, Г. Загрязнение почвы железом и заохривание труб / Г. Кунце. – М. : Агропромиздат, 1986. – 101 с.

Вахонин, Н. К. Особенности формирования водного режима территорий, осушенных дренажем с затопленными устьями : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Н. К. Вахонин ; БелНИИМиВХ. – Минск, 1982. – 24 с.