

ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ ЗАЩИТЫ
МИНИСТЕРСТВА ПО ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ»

УДК 519.2:627.8.059.22.:712.5(282.3)

МИКАНОВИЧ
Дмитрий Станиславович

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НА ГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ШЛАМОХРАНИЛИЩ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)

Минск
2019

Научная работа выполнена в государственном учреждении образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь».

Научный
руководитель:

Левкевич Виктор Евгеньевич,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Водоснабжение
и водоотведение» Белорусского национального
технического университета.

Официальные
оппоненты:

Никитенко Михаил Иванович,
доктор технических наук, профессор.

Вахонин Николай Кириллович,
кандидат технических наук, доцент,
директор РУП «Институт мелиорации»
Национальной академии наук Беларуси.

Оппонирующая
организация

Государственное научное учреждение
«Институт тепло- и массообмена им. А.В.Лыкова»,
220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15,
Республика Беларусь.

Защита состоится 10 января 2020 г. в 14³⁰ на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при Университете гражданской защиты МЧС Беларуси по адресу: 220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, корп. 1, ауд. АВ 102 (конференц-зал), тел. ученого секретаря совета: +375 (17) 341-32-99, e-mail: k11.01.01@ucsr.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Университета гражданской защиты МЧС Беларуси.

Автореферат разослан ____ декабря 2019 года.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

В.А. Кудряшов

ВВЕДЕНИЕ

Во многих странах мира, в том числе и в Республике Беларусь, имеются хранилища жидких отходов (шламохранилища или хвостохранилища). Хвостовые хозяйства калийных производств связаны с устройством солеотвалов, строительством и эксплуатацией шламохранилищ для складирования жидких шламов.

В процессе эксплуатации гидротехнических сооружений шламохранилищ создается угроза возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) с образованием волн прорыва, катастрофических затоплений. В результате чрезвычайных ситуаций происходит разрушение зданий и сооружений, ЛЭП, дорог, сельскохозяйственных угодий, наносится значительный материальный, экологический и социальный ущерб. Таким образом, имеется необходимость определения диагностических факторов, способствующих возникновению чрезвычайных ситуаций при эксплуатации солевых шламохранилищ. Это позволит снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ за счет разработки компенсирующих мероприятий и предотвратить гибель людей, материальный ущерб, а также повысить безопасность эксплуатации данных сооружений.

Кроме того, актуальность темы исследования обусловлена естественным старением существующих и строительством новых шламохранилищ. В Республике Беларусь имеется более 30 шламохранилищ для хранения шламов калийного производства. Этапом развития научных исследований в данной области на территории Республики Беларусь является работа С.Ф. Шемета и Н.Н. Прохорова «Методы оценки технического состояния ограждающих дамб шламохранилищ калийного производства». Авторами была представлена и проанализирована схема районирования территории ОАО «Беларуськалий», позволяющая сократить рост площадей, используемых для размещения отходов. Однако до настоящего времени отсутствует оценка состояния и устойчивости данных сооружений с точки зрения факторов, способствующих возникновению возможных чрезвычайных ситуаций на них и определению вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций. Следует отметить, что в нормативной и научной литературе не обнаружено сведений по определению перехода шламохранилищ в аварийное состояние. Сказанное является дополнительным аргументом для детального исследования реологических свойств солевых шламов, содержащих поверхностно-активные вещества (ПАВ), способные влиять на скорость их фильтрации. Изучение причинно-следственных связей между изменением реологических свойств шламов и возникновением условий прорыва шламохранилищ позволит установить показатели, свидетельствующие о их предаварийном состоянии.

Наряду с собственными экспериментальными данными в работе использованы фондовые материалы специализированных организаций Республики Беларусь: РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов», РУП «Институт мелиорации» Национальной академии наук Беларуси, РУП «Белгипроводхоз», ОАО «Беларуськалий», Белорусского национального технического университета, Белорусского государственного университета.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами.

Ключевые исследования, составившие основу диссертационной работы, выполнены в Университете гражданской защиты МЧС Беларуси в рамках следующих заданий:

– научно-исследовательская работа «Разработать базу данных тестовых искусственных водных объектов Республики Беларусь для прогнозирования возможных аварий на гидротехнических сооружениях с учетом их современного состояния» по заданию 2.1.02 «Разработка методик, алгоритмов и программных средств для оценки ущербов от чрезвычайных ситуаций на водных объектах Республики Беларусь различного типа» государственной программы научных исследований «Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» (номер государственной регистрации № 20121657, 2012-2014 гг.);

– научно-исследовательская работа «Оценить влияние фильтрационных свойств песчаных грунтов на устойчивость откосов ограждающих дамб с целью прогнозирования возникновения гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ» по заданию 2.1.10 «Исследование устойчивости ограждающих гидротехнических сооружений шламохранилищ и прудов – накопителей мелиоративных и польдерных систем для предупреждения чрезвычайных ситуаций и оценки возможных ущербов» государственной программы научных исследований «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» (номер государственной регистрации 20140928, 2014-2016 гг.);

– научно-исследовательская работа «Оценка экологического риска при возникновении чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ» (грант Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (№ номер государственной регистрации 20142521, 2014-2016 гг.);

– научно-исследовательская работа «Оценить состояние гидротехнических сооружений на водоемах технического назначения с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций» по заданию 3.1.04 «Исследование масштабов и разработка прогнозных моделей развития деформаций гидротехнических сооружений водоемов технического назначения (охладительных, очистных, технологических) для предупреждения и оценки последствий чрезвычайных ситуаций» государственной программы научных исследований «Информатика, космос и безопасность» (номер государственной регистрации 20163549, 2016-2018 гг.).

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является исследование факторов предаварийного состояния эксплуатируемых шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь для прогнозирования вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций и повышения безопасности за счет оценки влияния реологических свойств шлама.

Для достижения поставленной цели потребовалось решить следующие задачи:

1. Разработать методику лабораторных исследований по оценке влияния реологических свойств шлама на процессы фильтрации и устойчивости дамб шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь;

2. Провести экспериментальные исследования параметров (скорости и коэффициента фильтрации) движения фильтрационного потока с учетом реологических особенностей солевого шлама и определить оптимальную конструкцию дамб шламохранилищ калийного производства для снижения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на данном типе сооружений;

3. Оценить возможность использования уравнения скорости фильтрации воды для оценки параметров фильтрационного потока солевого шлама применительно к расчету дамб различной конструкции и определить по результатам лабораторных исследований значение поправочного коэффициента, учитывающего особенности фильтрации такого шлама, а также провести расчеты для увеличения достоверности прогноза возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь;

4. По результатам проведенных лабораторных исследований, учитывающих особенности движения солевого шлама калийного производства, разработать расчетную методику оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь, позволяющую определять предаварийные факторы, способствующие развитию чрезвычайных ситуаций на данном типе сооружений.

Научная новизна исследований.

Впервые определен поправочный коэффициент для классического уравнения по расчету скорости фильтрационного потока для земляных дамб различного исполнения $k_{np} = 0,59-0,86$, учитывающий наличие в фильтрующейся жидкости поверхностно-активных веществ, что позволяет достаточно точно оценить причины и последствия возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь.

Установлена новая эмпирическая зависимость коэффициентов фильтрации песчаных грунтов от содержания в шламе полиакриламида (эффект пристенного скольжения), и подтверждено в результате экспериментальных исследований и натурных испытаний превышение скорости фильтрации шлама по сравнению с водой в 1,2–1,4 раза, что позволило разработать расчетную методику по оценке вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь.

Разработаны оригинальные экспериментальные установки для лабораторных исследований движения фильтрационного потока на моделях грунтовых дамб различной конструкции, удельного фильтрационного расхода, коэффициента фильтрации грунта в теле земляной дамбы, отличающиеся тем, что позволяют оценить скорость фильтрации жидкости с учетом ее реологических свойств.

Предложена оптимальная конструкция ограждающих дамб шламохранилищ, обеспечивающая повышение их устойчивости с уменьшением вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций.

Установлены факторы, позволяющие диагностировать предаварийное состояние сооружений шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь: возникновение местных эрозионных размывов грунта; увеличение интенсивности выноса частиц грунта за пределы низовых откосов дамб по мере увеличения градиента напора и расхода фильтрационного потока с деформациями ограждающих дамб.

Объектом исследования являются шламы и ограждающие грунтовые конструкции гидротехнических сооружений шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь, а **предметом исследования** – расчетная методика оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на шламохранилищах калийного производства Республики Беларусь.

Положения, выносимые на защиту:

1. Впервые экспериментально установленные поправочные коэффициенты k_{np} , лежащие в диапазоне от 0,59 до 0,86, учитывающие эффект пристенного скольжения

при фильтрации солевых шламов, позволившие достовернее прогнозировать возникновение чрезвычайных ситуаций на различных типах дамб (с ядром; с экраном; с ядром и экраном; с понуром; однородная дамба; с наружным дренажем) ограждающих сооружений шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь.

2. Новая эмпирическая зависимость коэффициента фильтрации песчаных грунтов от содержания в солевом шламе полиакриламида в концентрации 0,17–0,90 мг/дм³ с учетом превышения скорости фильтрации шлама над скоростью фильтрации воды в 1,2–1,4 раза, подтвержденная в результате экспериментальных исследований и натуральных обследований реальных объектов шламохранилищ.

3. Расчетная методика оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на ограждающих грунтовых сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь с разработкой дерева отказов, учитывающая диагностические факторы и позволяющая установить предаварийные состояния таких сооружений.

Личный вклад соискателя ученой степени. Положения, выносимые на защиту, и основные результаты, изложенные в диссертации, получены автором лично. Цель и задачи исследований сформулированы совместно с научным руководителем – доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Водоснабжение и водоотведение» БНТУ В.Е. Левкевичем, с которым также участвовали в натуральных обследованиях шламохранилищ и их анализе. Совместно М.С. Кукшиновым, В.В. Кобяком, С.М. Пастуховым, В.В. Лахвичем, Г.И. Касперовым и В.А. Мильманом проведены лабораторные исследования по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов, итоги которых отражены в совместных публикациях.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные результаты диссертационных исследований и обсуждены на следующих конференциях: VI, VIII–XII Международная научно-практическая конференция курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов) «Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (Минск, Беларусь, 2012, 2014–2018); Международная научно-практическая конференция «Природные риски: анализ, оценка, картографирование» (Москва, Россия, 2013); II Международная научно-методическая конференция «Безопасность в строительстве» (Санкт-Петербург, Россия, 2014); X Международная научно-техническая конференция «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, Россия, 2015).

Опубликованность результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 39 печатных работах, в том числе: 10 статьях, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 5,9 авторского листа (из них без соавторов 1 статья), 29 тезисах докладов и материалов в сборниках научных трудов международных конференций и семинаров. Получено 2 патента на полезные модели.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка из 162 наименований, включая собственные публикации, 7 приложений, 41 рисунка и 15 таблиц.

Полный объем диссертации составляет 212 страниц. Объем, занимаемый иллюстрациями, таблицами, приложениями, составляет 98 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведены анализ и оценка условий хранения шламов в США, Европе, странах СНГ и Республике Беларусь. Изложен анализ чрезвычайных ситуаций, произошедших в мире на шламохранилищах калийных производств, который показал, что наибольшее их количество связано с разрушением земляных дамб, а их основными причинами являются следующие: переполнение шламохранилища (31 %), фильтрация в теле дамб (плотин) (27 %), ошибки при эксплуатации (23 %).

В Республике Беларусь имеется более 30 шламохранилищ калийного производства, однако полномасштабные исследования в области оценки технического состояния этих гидротехнических сооружений с прогнозированием возможных чрезвычайных ситуаций не проводились. В нормативной и научной литературе недостаточное внимание уделяется вопросам безопасной эксплуатации именно сооружениям представленного типа, хотя они обладают рядом особенностей и представляют опасность для жизнедеятельности человека, поскольку жидкие шламы и технологическая вода содержат в своем составе не только соли, но и поверхностно-активные вещества (ПАВ). Эти примеси могут способствовать изменению скорости фильтрации и привести к более тяжелым экономическим и экологическим последствиям при возникновении гидродинамической аварии на сооружениях шламохранилищ калийного производства.

Исходя из имеющихся особенностей гидротехнических сооружений в виде шламохранилищ калийного производства, а также анализа аварий на них, можно сделать вывод, что посвященные им исследования весьма актуальны для предупреждения чрезвычайных ситуаций. Поэтому немаловажное значение имеет определение соотношения причин и факторов возникновения гидродинамических аварий, оценка их влияния на вероятность чрезвычайных ситуаций. В настоящее время отсутствует методика по оценке вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на таких объектах в Республике Беларусь. В связи с этим требуется разработка такого рода расчетных методов, что позволит качественно и количественно оценивать состояния ограждающих дамб, а также прогнозировать вероятность возникновения на гидротехнических сооружениях шламохранилищ чрезвычайных ситуаций, определить им предшествующие основные диагностические факторы и предусмотреть компенсирующие мероприятия для снижения вероятности возникновения гидродинамических аварий.

Во второй главе проведена оценка технического состояния гидротехнических сооружений шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь, в частности низовых и верховых откосов ограждающих сооружений, а также определены факторы, способствующие разрушению незащищенных верховых и низовых откосов:

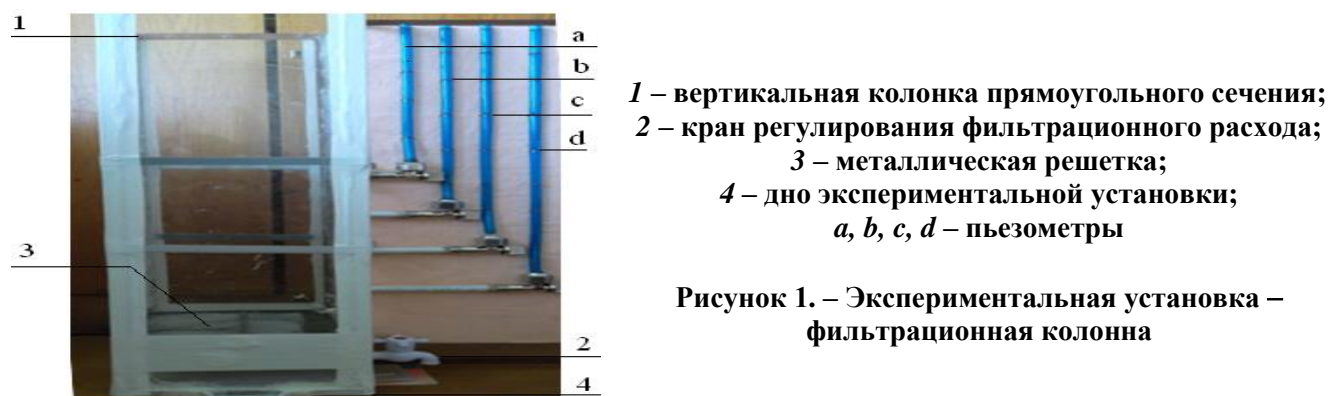
- возникновение местных эрозионных размывов грунта на верховых откосах, имеющих малые (до 1,0 м) линейные деформации при суффозионном выносе частиц грунтов на низовых откосах – более 30 % обследованных водоемов;
- рост интенсивности выноса частиц грунта по низовому откосу за пределы ограждающих конструкций по мере увеличения градиента напора – более 10 % обследованных водоемов;
- увеличение расхода фильтрующей жидкости – около 3 % обследованных водоемов;

– общая деформация (проседание) ограждающих конструкций – около 1,5 % обследованных водоемов.

Исходя из анализа аварий и натуральных обследований шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь сделано предположение, что основным фактором при возникновении на них чрезвычайных ситуаций является увеличение фильтрационной скорости потока жидкости. В связи с этим необходимо провести лабораторные исследования по определению влияния режима фильтрации шлама на устойчивость грунтовых ограждающих конструкций сооружений шламохранилищ калийного производства.

В результате изучения технологического процесса обогащения сильвинитовых руд на ОАО «Беларуськалий» было установлено, что обогащение происходит в водном растворе, насыщенном KCl и NaCl с добавлением поверхностно-активных веществ, способных влиять на реологические свойства жидкости, что будет способствовать интенсификации скорости фильтрации шлама.

Для определения основных параметров фильтрации шлама через различные грунты при оценке влияния процессов фильтрации на вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ калийного производства была создана оригинальная экспериментальная установка в виде фильтрационной колонны (рисунок 1) и разработана методика лабораторных исследований.



1 – вертикальная колонка прямоугольного сечения;
2 – кран регулирования фильтрационного расхода;
3 – металлическая решетка;
4 – дно экспериментальной установки;
a, b, c, d – пьезометры

**Рисунок 1. – Экспериментальная установка –
фильтрационная колонна**

Разработанная методика регламентирует порядок проведения лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов при фильтрации шламов, содержащих соли и ПАВ.

Лабораторная установка, на полезную модель которой получен патент, предназначена для определения в разных образцах грунта коэффициента фильтрации шламов с учетом содержания в них поверхностно-активных веществ. Использование данной мобильной установки позволило повысить точность определения потерь напора за счет увеличения количества пьезометров; предотвратить вымывание из грунта мелкой фракции (мелкозема) за счет отсыпки гравия в нижней части колонны; визуализировать процесс фильтрации через прозрачную стенку колонны из оргстекла; использовать ее в полевых условиях.

Для проведения лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации в лабораторных условиях отбирались представительные (характерные) образцы грунта и шлама на исследуемых шламохранилищах калийного производства и определялся гранулометрический состав грунтов в зависимости от весового содержания в нем водостойких микроагрегатов различной крупности, выраженных в процентах по отношению к весу взятой для анализа сухой пробы грунта. В результате выполненных

исследований было установлено, что в условиях шламохранилищ Республики Беларусь характерен грунт в виде песка средней крупности с коэффициентом неоднородности $\eta=1,96-2,18$. Точность измерений с помощью лабораторных весов составляет 0,01 г.

С целью оценки влияния температуры на процессы фильтрации были проведены исследования вязкости образцов шлама в зависимости от изменения температуры (5–35°C). Для сравнения и оценки результатов измерялась также вязкость воды в данном диапазоне температур, в результате чего выявили, что кинематическая вязкость шлама больше чем у воды на 30–35%.

Затем были проведены три серии однотипных опытов с песчаными грунтами и тремя различными жидкостями: вода, шлам, вода с ПАВ. В качестве ПАВ использовали полиакриламид, применяемый при производстве калийных удобрений (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты эксперимента по определению средней скорости фильтрации жидкостей в песках

№ опыта	Количество профильтрованной воды (W), см ³	Вода		Шлам		Вода с ПАВ	
		Время (t), с	Скорость фильтрации (V), см/с	Время (t), с	Скорость фильтрации (V), см/с	Время (t), с	Скорость фильтрации и (V), см/с
1	500	19,35	0,0382	17,25	0,0429	13,85	0,0534
2	500	19,45	0,0380	17,45	0,0424	13,90	0,0532
3	500	19,35	0,0382	17,55	0,0421	13,95	0,0530
4	500	19,25	0,0384	17,50	0,0423	13,85	0,0534
5	500	19,20	0,0385	17,30	0,0428	13,95	0,0530
6	500	19,10	0,0387	17,35	0,0426	13,95	0,0530

В результате выполненных исследований по определению скорости фильтрации жидкого шлама обнаружен эффект пристенного скольжения. Возникновение данного эффекта способствует увеличению скорости фильтрации шлама в сравнении с водой в 1,2–1,4 раза, хотя кинематическая вязкость шлама больше чем у воды на 30–35%. Данное явление способствует интенсивному выносу грунта из тела дамбы и увеличивает вероятность достижения откосом сооружения критических градиентов фильтрации, что может вызвать его разрушение, а также привести к возникновению чрезвычайной ситуации. Определена зависимость скорости фильтрации от коэффициента неоднородности грунта: чем выше однородность грунта, тем меньше скорость фильтрации. Установлена зависимость скорости и коэффициента фильтрации шлама от концентрации поверхностно-активных веществ: скорость фильтрации для проб шлама с содержанием поверхностно-активных веществ в концентрации 0,17 мг/дм³ меньше скорости фильтрации для проб шлама с содержанием поверхностно-активных веществ в концентрации 0,9 мг/дм³ в среднем в 1,9 раза. Экспериментально установлено, что скорость фильтрации шлама через песок средней группы крупности приближается к критическим значениям предела размываемости ($V = 0,05$ см/с).

В третьей главе с целью определения параметров движения фильтрационного потока, коэффициента фильтрации грунта тела дамбы при фильтрации шлама с учетом возникновения эффекта пристенного скольжения и использования полученных данных при определении критической скорости фильтрации и предаварийного режима эксплуатации тестовых шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» разработана методика лабораторных исследований и экспериментальная установка – фильтрационный лоток. Эта методика определяет порядок проведения исследований по изучению водопроницаемости и суффозионной устойчивости песчаных грунтов, применяемых при строительстве ограждающих грунтовых дамб шламохранилищ калийного производства.

Экспериментальная установка представляет собой лоток оригинальной конструкции размером $2,9 \times 1,2 \times 0,85$ м, разделенный на 6 секций герметичными перегородками, которые препятствуют гидравлическому сообщению секций. Водоупором для моделей являлось днище лотка. В лотке одновременно устанавливались 6 моделей земляных дамб наиболее распространенных конструкций: с ядром; с ядром и экраном; однородная земляная плотина; с наружным дренажем; с экраном; с понуром. Каждая модель имела следующие размеры: высота – 0,4 м; ширина по гребню – 0,25 м; заложение низового откоса – 1:2; верхового откоса – 1:3 (масштаб 1:250). Низовой откос дамбы поочередно устраивался с низовой призмой, без низовой призмы и с дренажным каналом. Для измерения уровня воды (шлама) в теле моделей дамб устанавливали трубчатые пьезометры (5 шт. по каждой модели), выведенные на общий щиток, которые обеспечивали точность измерения уровней воды и шлама в 0,5 мм. Для сброса и измерения профильтровавшейся через нижний бьеф воды (шлама) стенка лотка у дна имела отверстие с водоотводящей трубкой.

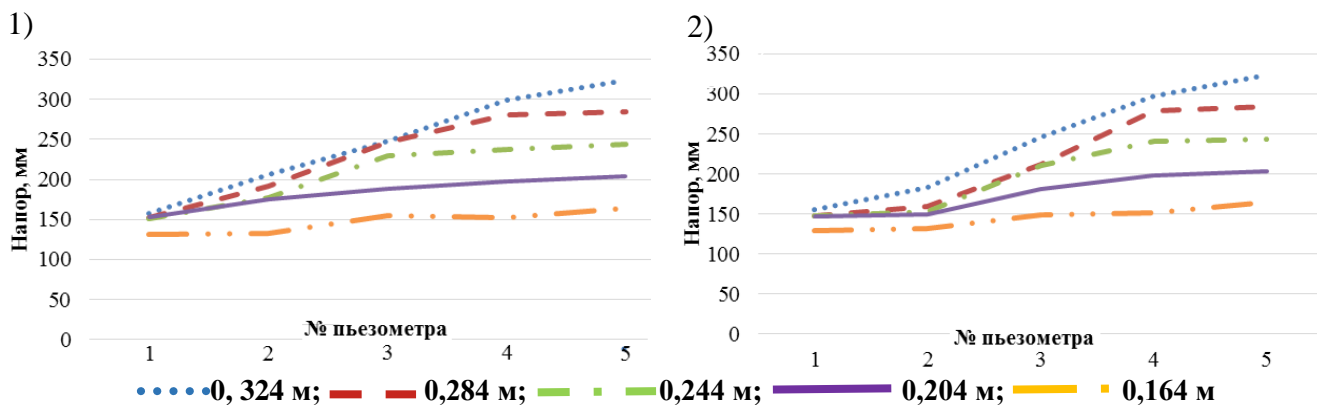
Данная установка позволяла моделировать земляные дамбы в масштабах от 1:15 до 1:1000 за счет перемещения внутренних герметичных перегородок, поддерживать различные уровни воды в нижнем бьефе за счет регулирования пропускной способности сливной воронки, изменять конфигурацию размещения пьезометров. При этом все шесть моделей дамб одновременно можно испытывать в лаборатории с жидкими шламами.



В лабораторных условиях было проведено 10 серий экспериментов с двумя типами жидкостей: водой и шламом, пробы которого отбирали из шламохранилищ второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» в количестве 3000 л.

Опыты на каждой модели с фиксацией всех элементов фильтрационного потока проводили при различных уровнях верхнего бьефа: 0,324 м; 0,284; 0,244; 0,204; 0,164 м. Погрешность измерения уровней – 0,5 мм.

При анализе полученных результатов сравнивались кривые депрессии фильтрующих через тело дамбы воды и шлама с указанными разными уровнями их напора в верхнем бьефе. Такие кривые депрессии для однородной дамбы с противофильтрационной защитой представлены на рисунке 3.



1 – фильтрация воды; 2 – фильтрация шлама

Рисунок 3. – Кривые депрессии для однородной дамбы с низовой призмой

Проведенные исследования показали, что при небольших напорах в верхнем бьефе шламонакопителя положения кривых депрессии воды и шлама отличаются примерно на 15 %. Однако, с возрастанием напоров (до 10 метров и более) в верхнем бьефе за счет изменения положения кривой депрессии увеличиваются коэффициенты фильтрации у всех моделей земляных дамб при любом типе противофильтрационной защиты. Это подтверждает возникновение эффекта пристенного скольжения шлама.

Помимо этого, для каждой модели земляной дамбы путем фиксации нарушения ламинарного режима фильтрации шлама из тела модели дамбы и факта выноса грунта на низовом откосе были определены ее критические скорости (таблица 2).

Таблица 2 – Критическая скорость фильтрации для дамб различного типа

Модель земляной плотины	Скорость фильтрации, см/мин
Однородная земляная дамба	0,63
Земляная дамба с ядром	1,57
Земляная дамба с экраном	1,93
Земляная дамба с понуром	2,69
Земляная дамба с наружным дренажем	0,74
Земляная дамба с ядром и экраном	4,18

Посредством анализа этих критических скоростей фильтрации установлено, что оптимальными для шламохранилищ являются земляные дамбы с ядром или с экраном, поскольку они наиболее устойчивы к процессам фильтрации (значения критической скорости находятся в диапазоне 1,57–1,93 см/мин), а также менее сложны и более технологичны при возведении.

В ходе дальнейших исследований оценивали влияние сезонности (зима, весна, лето, осень) на коэффициенты фильтрации жидкостей (воды и шлама) в грунтах ограждающих дамб шламохранилищ калийного производства, что предназначено для уточнения прогнозных расчетов возникновения чрезвычайных ситуаций на таких сооружениях. Основные шламохранилища калийного производства сосредоточены в Солигорском промышленном районе, поэтому при исследованиях использовали данные по средней месячной температуре воздуха, почвы, воды, глубине промерзания почвы в области размещения сооружений.

В результате проведенных исследований установлено, что изменение коэффициента фильтрации шлама по сезонам года не превышает 20–30% с учетом

особенностей состава шлама и технологического процесса на шламохранилищах калийного производства. Поскольку отбор отстоявшегося шлама в объеме до 30 м³ с обогатительной фабрики и подача его в сооружения осуществляют 1 раз в 2–3 дня, температура его жидкой фазы в зимнее время выше чем в водоемах данной местности, причем является стабильной в течение года. Глубина промерзания грунта на сооружениях шламохранилищ на 0,1–0,15 м меньше глубины промерзания почв для данной местности в связи с накоплением солей (рисунок 4).

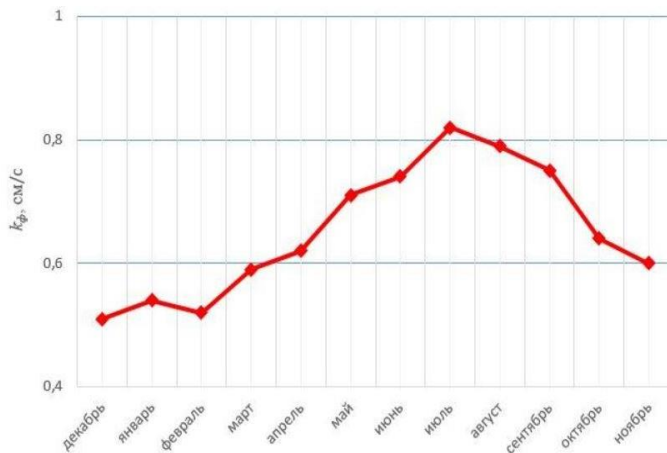


Рисунок 4. – Зависимость коэффициента фильтрации шлама от сезона

Для оценки влияния на процессы фильтрации растворов солей, интенсивности их проникновения и распределения в теле дамб была проведена отдельная серия экспериментов. При анализе проб шламов, отобранных на моделях, были получены данные по химическому содержанию различных элементов в пробах (Na, Mg, K, Ca), позволяющие оценить влияние изменения проницаемости грунта моделей земляных дамб. В лабораторных опытах пробы грунта отбирали из тел моделей

дамб в разных точках. Всего было отобрано 24 пробы грунта (по 4 в каждой модели дамбы) и подготовлено 24 водных вытяжки для определения в них с помощью спектрометра OffitePPT содержания ионов металлов Na⁺, Mg⁺, K⁺, Ca⁺. Повторность опытов – 5-кратная, относительная погрешность измерений составила 10 %.

Такие исследования показали, что при фильтрации шлама через грунт дамбы происходит накопление солей щелочных и щелочноземельных металлов и ПАВ в грунте. При этом наибольшей адсорбцией в грунте характеризуются ионы Na⁺, а не K⁺, Ca⁺. Накопление ПАВ в несвязных грунтах дамбы способствует увеличению скорости фильтрационного потока с достижением критических градиентов напора и приводит к росту вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на земляных дамбах шламохранилищ калийного производства.

В четвертой главе приведена оценка устойчивости подпорных сооружений шламохранилищ с учетом анализа данных пятилетних режимных наблюдений за процессом фильтрации на тестовых объектах шламохранилищ. Тестовые шламохранилища второго рудоуправления на базе карьера «Чепели» расположены в 2 км восточнее промплощадки. Оно введено в эксплуатацию в 1997 г. и отнесено к IV классу капитальности. В шламохранилище «Чепели» складировать шламы второе рудоуправление ОАО «Беларуськалий», состав которых образуют соли NaCl, KCl. Содержание данных элементов достигает 200–250 г/л.

Проводилось сравнение экспериментально полученных данных о положении кривой депрессии при фильтрации шлама через тело дамб с различным конструктивным исполнением, с данными пьезометрического контроля в ограждающих конструкциях шламохранилищ второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий», на основании которых было определено положение кривой депрессии в этих сооружениях. В связи с тем, что при устройстве ограждающих конструкций гидротехнических сооружений ОАО «Беларуськалий» используются дамбы однородные или с экраном, дальнейший

анализ и сравнение проводился только по этим типам дамб. Проводился расчет кривой депрессии по методике Н.Н. Кожевникова* (формула (1)).

Ординаты депрессионной кривой находятся из следующего уравнения:

$$y = [H^2 - (2q/k)x]^{0,5}, \quad (1)$$

где H – напор в верхнем бьефе плотины, м;

k – коэффициент фильтрации грунта плотины м/ч;

q – фильтрационный расход на 1 м длины плотины м³/ч.

В результате исследований были определены положения кривой депрессии при фильтрации шлама через земляные дамбы различных конструкций и установлено, что экспериментальная модель фильтрации шлама через однородные земляные дамбы и дамбы с экраном соответствует фильтрации шлама на объектах шламоохранилищ ОАО «Беларуськалий» с погрешностью 11%, т. е. результаты моделирования подтверждают данные натуральных режимных наблюдений.

По результатам обработки экспериментальных данных определены координаты депрессионных кривых для земляных дамб в пяти точках для каждой модели при фильтрации воды и шлама, а затем выполнено их сравнение путем соотношения координат точки y_1 для кривой депрессии при фильтрации воды и y_2 для кривой депрессии при фильтрации шлама. В результате определены поправочные коэффициенты k_{np} (таблица 3) кривых депрессий воды и шлама как среднее значение величин (формула (2)):

$$k_{i\ np} = \frac{y_{i1}}{y_{i2}}, \quad (2)$$

где y_{i1} и y_{i2} – уровень воды и шлама в i – том пьезометре.

Таблица 3 – Поправочные коэффициенты (k_{np}) для различных моделей земляных дамб

Модель земляной дамбы	Шлам/вода
Наружный дренаж	0,84
Однородная	0,80
Понур	0,65
Экран	0,59
Ядро	0,59
Ядро и экран	0,86

С учетом полученных поправочных коэффициентов была предложена методика определения положения кривой депрессии в ограждающих конструкциях гидротехнических сооружений шламоохранилищ с учетом наличия в жидкости поверхностно-активных веществ. За основу принят метод Н.Н. Кожевникова. Модифицировав формулу (1), определили координаты депрессионной кривой с учетом эффекта пристенного скольжения (формула (3)).

$$y = ([H^2 - (2q/k)x]^{0,5}) k_{np}. \quad (3)$$

Сравнение экспериментальной и расчетной кривой депрессии однородной земляной дамбы показало, что экспериментальная модель фильтрации шлама через однородные земляные дамбы соответствует фильтрации шлама на исследуемых объектах (рисунок 5).

*Кожевников, Н.Н. Проектирование и строительство земляных плотин / Н.Н. Кожевников. – М.: Издательские решения, 2016. – 26 с.

Полученные данные позволяют перейти к разработке расчетной методики по определению вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на подпорных сооружениях шламохранилищ калийного производства.

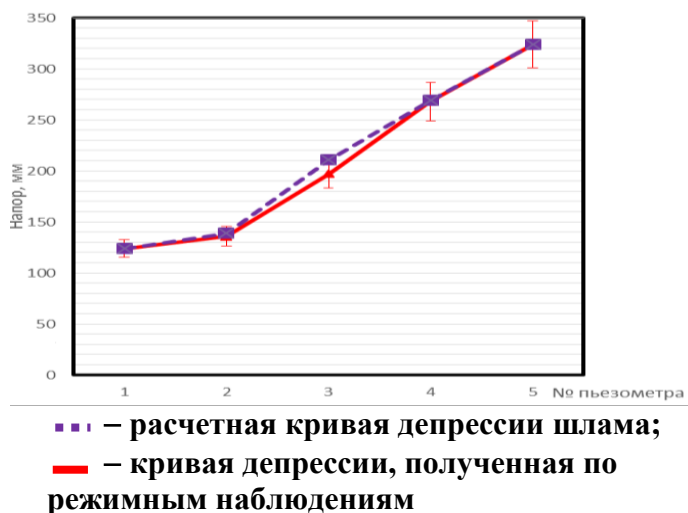


Рисунок 5. – Кривые депрессии для однородной дамбы

развития аварийной ситуации в виде поэтапного возникновения событий и наиболее полно отражает причинно-следственные связи между ними.

Данный метод предусматривает то, что в штатном режиме функционирования сооружения шламохранилищ вероятность потери устойчивости дамб (плотин) данного гидротехнического сооружения при проектных напорах крайне малы. Основными факторами повреждения или разрушения дамб – обвалований шламохранилищ являются нештатные ситуации, вызванные возникновением экстремальными явлений, нарушением прочности (устойчивости) сооружений, нарушением фильтрационной прочности различных частей дамб и большими фильтрационными потерями.

С целью прогноза возникновения ЧС, согласно данного метода, вначале разрабатывается дерево отказов, которое описывает совокупность причинно-следственных связей, объединяющих суть явления и последовательность событий в нем. В вершине дерева располагается непосредственно аварийное событие, а ветви образуют исходные события, для которых значения вероятностей известны либо определена среднегодовая частота возникновения. Далее дерево отказов подвергается качественному и количественному анализу.

Затем, с учетом статистических данных, проведенных лабораторных исследований было составлено дерево отказов для вероятных причин возникновения ЧС на гидротехнических сооружениях шламохранилищ калийного производства (рисунок 6).

Построение дерева отказов выполнено на основании модели возникновения гидродинамической аварии. Исходя из представленного на рисунке 6 дерева отказов определена вероятность возникновения каждого сценария и ЧС в целом.

С целью определения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на подпорных сооружениях шламохранилищ проведен анализ причин их возникновения на данном типе сооружений за период более 50 лет. Установлено, что наибольшее количество ЧС произошло на земляных дамбах. Их основными причинами явились: переполнение шламохранилища (31 %), нарушение режима фильтрация (27 %), ошибки персонала (23 %).

При оценке такой вероятности использован метод Э. Дж. Хенли и Х. Кумамото, описывающий механизм

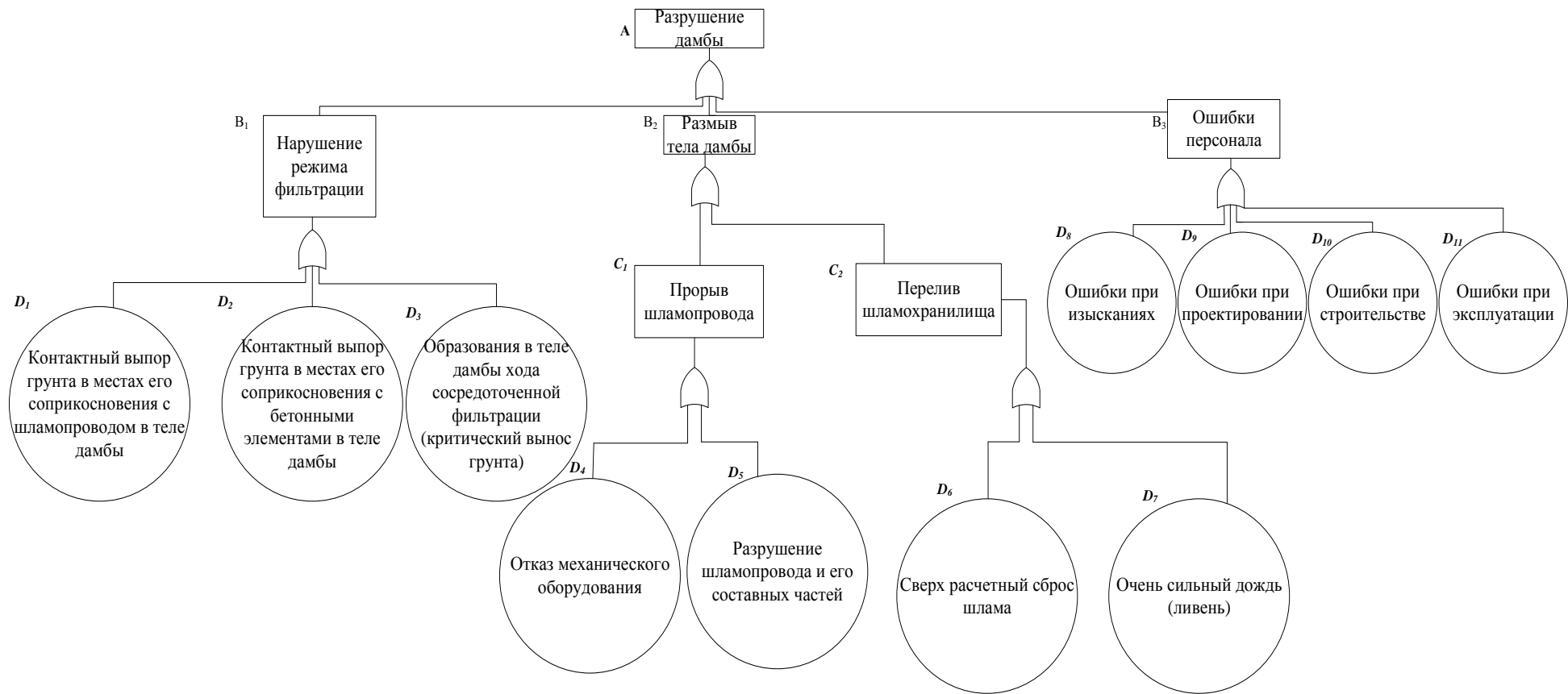


Рисунок 6. – Дерево отказов для оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ калийного производства

Вероятность возникновения ЧС по сценарию 1 (рисунок 6, событие B_1) определена из выражения:

$$P(B_1) = P(D_1) + P(D_2) + P(D_3) - P(D_1D_2) - P(D_2D_3) - P(D_1D_3) + P(D_1D_2D_3) = 1,997 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год.} \quad (4)$$

В формуле (4) вероятность возникновения контактного выпора грунта в местах его соприкосновения со шламопроводом $P(D_1)$ и бетонными элементами в теле дамбы $P(D_2)$ (рисунок 6) принималась исходя из анализа открытых источников равной $1,5 \cdot 10^{-4}$ 1/год. Вероятность образования в теле дамбы хода сосредоточенной фильтрации (критический вынос грунта) $P(D_3)$, по данным А.М. Козлитина*, на стадии введения плотины в эксплуатацию составляет $1 \cdot 10^{-3}$ 1/год.

Вероятность возникновения ЧС по сценарию 2 (рисунок 6, событие B_2) определена из выражения:

$$P(B_2) = P(C_1) + P(C_2) - P(C_1C_2) = 1,20 \cdot 10^{-4} \text{ 1/год,} \quad (5)$$

где $P(C_1)$ – вероятность возникновения прорыва шламопровода, 1/год;

$P(C_2)$ – вероятность возникновения перелива в результате переполнения шламоохранилища, 1/год.

Вероятность возникновения прорыва шламопровода $P(C_1)$ определена из выражения:

$$P(C_1) = P(D_4) + P(D_5) - P(D_4D_5), \quad (6)$$

где $P(D_4)$ – вероятность отказа механического оборудования, 1/год;

$P(D_5)$ – вероятность износа тела шламопровода, 1/год.

Вероятность возникновения перелива в результате переполнения шламоохранилища $P(C_2)$ определена из выражения:

$$P(C_2) = P(D_6) + P(D_7) - P(D_6D_7), \quad (7)$$

где $P(D_6)$ – вероятность возникновения очень сильного дождя (ливня), 1/год;

$P(D_7)$ – вероятность возникновения сверх расчетного сброса шлама, 1/год.

Значения вероятности по событиям $P(D_4)$ ($1,1 \cdot 10^{-4}$) и $P(D_5)$ ($1 \cdot 10^{-5}$) принимаются исходя из анализа производственной и технической документации тестовых объектов гидротехнических сооружений шламоохранилищ второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий», методики А.М. Козлитина и других источников по анализу развития возможных чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях. Значение вероятности по событию $P(D_6)$ принято равным $1 \cdot 10^{-5}$, вероятность по событию $P(D_7)$ – $1,3 \cdot 10^{-4}$ 1/год.

*Козлитин, А.М. Теоретические основы и практика анализа техногенных рисков. Вероятностные методы количественной оценки опасностей техносферы / А.М. Козлитин, А.И. Попов, П.А. Козлитин. – Саратов: СГТУ, 2002. – 180 с.

Вероятность возникновения ЧС по сценарию 3 (рисунок 6, событие B_3) определена из выражения:

$$P(B_3) = P(D_8) + P(D_9) + P(D_{10}) + P(D_{11}) - P(D_8D_9) - P(D_9D_{10}) - P(D_{10}D_{11}) - P(D_8D_{10}) - P(D_8D_{11}) - P(D_9D_{11}) + P(D_8D_9D_{10}) + P(D_8D_9D_{11}) + P(D_9D_{10}D_{11}) + P(D_8D_9D_{10}D_{11}) = 4,1 \cdot 10^{-5} \text{ 1/Год}, \quad (7)$$

В формуле (7) вероятности возникновения ошибок при изысканиях $P(D_8)$ ($9,1 \cdot 10^{-4}$), ошибок при проектировании $P(D_9)$ ($5,0 \cdot 10^{-3}$), ошибок при строительстве $P(D_{10})$ ($9,0 \cdot 10^{-4}$), ошибок при эксплуатации $P(D_{11})$ ($3,5 \cdot 10^{-3}$) принимаются исходя из анализа производственной и технической документации тестовых объектов гидротехнических сооружений шламохранилищ второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» и других открытых источников по оценке риска возникновения ЧС на гидротехнических сооружениях.

В ходе дальнейшей обработки данных проводилась оценка значимости, чувствительности и неопределенности данной модели определения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ.

При оценке чувствительности установлено, что вероятность по сценарию 1 наиболее существенно изменяется при изменении вероятности базового события $P(D_3)$, по сценарию 2 – при увеличении вероятности базового события $P(D_4)$, по сценарию 3 – при увеличении вероятности базовых событий $P(D_9)$, $P(D_{11})$.

При оценке значимости определили, что на вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ максимально влияют базовые события: образование в теле дамбы хода сосредоточенной фильтрации (критический вынос грунта) – D_3 ; очень сильный дождь (ливень) – D_7 ; ошибки при проектировании – D_9 .

При оценке неопределенности установлено, что она не превышает 30% в представленной модели расчета вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ.

В результате проведенных исследований разработана расчетная методика по оценке вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь с определением диагностических факторов. Определены сценарии развития возможных чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» Республики Беларусь и вероятность для каждой из приведенных причин возникновения гидродинамических аварий на данном типе сооружений. Методика внедрена в производственный процесс ОАО «Белгорхимпром» в части проведения оценки вероятности возникновения гидродинамических аварий при проектировании сооружений шламохранилищ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. В результате анализа и обобщения выполненных в рамках настоящей диссертационной работы натурных обследований более 60 % подпорных сооружений шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь с произошедшими на них чрезвычайными ситуациями выявлены основные диагностические (предаварийные) факторы (возникновение местных эрозионных размывов грунта; увеличение интенсивности выноса частиц грунта за пределы низовых откосов дамб по мере увеличения градиента напора; изменение (увеличение) расхода фильтрации; деформация ограждающих дамб), способствующие возникновению чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ. Установлено, что грунт относится к средней крупности, а кинематическая вязкость шлама больше кинематической вязкости воды на 30–35% [1, 2, 3, 7, 10, 21].

2. Разработана методика лабораторных исследований и оригинальная экспериментальная установка – фильтрационная колонна. Проведены лабораторные исследования по определению фильтрационных расходов, средней скорости и коэффициентов фильтрации для песчаных грунтов в зависимости от наличия в жидкости поверхностно-активных веществ, позволившие установить возникновение эффекта пристенного скольжения, способствующего увеличению скорости фильтрации шлама в сравнении с водой в 1,2–1,4 раза. Установлено, что скорость фильтрации для проб шлама с содержанием поверхностно-активных веществ в концентрации 0,17 мг/дм³ меньше скорости фильтрации для проб шлама с содержанием поверхностно-активных веществ в концентрации 0,9 мг/дм³ в 1,9 раза. Установлена зависимость скорости фильтрации от неоднородности грунта: чем выше однородность грунта, тем меньше скорость фильтрации. Результаты исследований послужили основой для разработки методики по оценке вероятности возникновения ЧС на подпорных грунтовых сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь [4, 18].

3. Разработана методика лабораторных исследований и экспериментальная установка оригинальной конструкции – фильтрационный лоток. Проведены лабораторные исследования движения фильтрационного потока на моделях грунтовых дамб различной конструкции, оценено положение кривой депрессии, а также определен удельный фильтрационный расход с коэффициентом фильтрации грунта в теле модели земляной дамбы, в результате чего установлена критическая скорость фильтрации для профиля дамб различного исполнения. На основании лабораторных экспериментов определено, что оптимальной конструкцией дамбы (с точки зрения минимальной скорости фильтрации и максимальной устойчивости для предотвращения возникновения чрезвычайных ситуаций) на шламохранилищах являются профили земляной дамбы с ядром или земляной дамбы с экраном, поскольку они наиболее устойчивы к процессам фильтрации (значения критической скорости находятся в пределах 1,57–1,93 см/мин), а также менее сложны и более технологичны при строительстве [6, 7].

4. Экспериментально доказано, что эффект пристенного скольжения при фильтрации шлама через тело дамбы способствует увеличению расхода Q_f по сравнению с обычной водой на 25–45 %, причем коэффициент фильтрации в различных грунтах возрастает соразмерно увеличению температуры от 5 до 35°C в пределах 30 %, а от сезона года (зима, весна, лето, осень) – в пределах 20–30 %. Это связано с

особенностями состава шлама и технологического процесса на шламохранилищах калийного производства [10].

5. В результате исследования методом атомно-электронной спектроскопии концентрации в составе шлама соединений Na, K, Ca, Mg установлено, что при его фильтрации через дамбу в грунте накапливаются соли щелочных и щелочноземельных металлов и ПАВ при снижении их концентрации в шламе от 1896,3 до 654,5 мг/л. Кроме того, наибольшей адсорбцией в грунте характеризуются ионы Na^+ . Таким образом, накопление ПАВ в грунте дамбы способствует увеличению скорости фильтрационного потока, а при критических градиентах напора в несвязных грунтах повышается вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на земляных дамбах шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь [4, 8, 9 13].

6. В ходе сравнения кривых депрессий, полученных на основе статистического анализа материалов натуральных режимных наблюдений (пьезометрического контроля) сооружений шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» и измеренных в лаборатории, показано, что экспериментальная модель фильтрации жидкого шлама через однородные земляные дамбы и с наличием в них экранов адекватно описывает процесс фильтрации шлама на объектах шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» с погрешностью 11% [9].

7. Впервые получен поправочный коэффициент k_{np} , который позволяет при проведении фильтрационных расчетов и оценке вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на подпорных сооружениях шламохранилищ учитывать возникновение эффекта пристенного скольжения для различных типов дамб (с ядром; с экраном; с ядром и экраном; с понуром; однородная дамба; с наружным дренажем). Использование поправочного коэффициента способствует уточнению параметров фильтрации и повышению точности прогноза устойчивости гидротехнических сооружений шламохранилищ калийного производства, тем самым снижая вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций на данном типе сооружений [9, 13].

8. Разработана расчетная методика оценки вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь, позволяющая прогнозировать сценарии развития и определять вероятность возникновения возможных чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ ОАО «Беларуськалий» Республики Беларусь, что обеспечивает своевременное принятие адекватных мер по их предотвращению [9].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Расчетная методика по определению вероятности возникновения гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь внедрена в производственный процесс ОАО «Белгорхимпром» в части проведения оценки вероятности возникновения гидродинамических аварий при проектировании сооружений шламохранилищ на месторождениях «Петриковское» и «Любонское» и может быть использована на других аналогичных объектах.

2. Разработаны и внедрены в производственный процесс ОАО «Доломит» расчетные методы по прогнозу режима фильтрации подземных вод в прибрежной части карьеров «Руба» и «Гралево» с учетом новых гидрогеологических условий, вызванных строительством и вводом в эксплуатацию водохранилища Витебской ГЭС. Указанные методы позволили провести анализ вероятности возникновения ЧС природного и

техногенного характера для подпорных сооружений Витебской ГЭС в границах карьеров «Руба» и «Гралево», а также разработать конструктивные решения по устройству ограждающих конструкций карьеров «Руба» и «Гралево».

3. Экспериментальная установка по определению коэффициента и скорости фильтрации в земляных плотинах внедрена в государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь при проведении практических и лабораторных занятий по следующим темам: 4.11 «Чрезвычайные ситуации и их последствия», 4.12 «Предотвращение чрезвычайных ситуаций на водных объектах» по дисциплине «Специальное водоснабжение» (специальность 1–94 01 01).

4. Экспериментальная установка – фильтрационный лоток для изучения водопроницаемости и суффозионной устойчивости грунтов – внедрена в государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь при проведении практических и лабораторных занятий по следующим темам: 4.11 «Чрезвычайные ситуации и их последствия», 4.12 «Предотвращение чрезвычайных ситуаций на водных объектах» по дисциплине «Специальное водоснабжение» (специальность 1–94 01 01).

5. Результаты исследований могут быть использованы органами и подразделениями по чрезвычайным ситуациям при разработке долгосрочных прогнозов возникновения чрезвычайных ситуаций техногенного характера с указанием значений вероятности на всех этапах существования шламохранилищ.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных рецензируемых журналах

1. Левкевич, В.Е. Оценка технического состояния инженерных сооружений на шламохранилищах и очистных сооружениях Республики Беларусь и зарубежных стран / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2012. – № 1 (15). – С. 50–57.

2. Левкевич, В.Е. Сценарии возникновения аварийных ситуаций на шламохранилищах и очистных сооружениях Республики Беларусь / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, А.В. Врублевский // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2013. – № 1 (17). – С. 24–31.

3. Методика лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов для оценки безопасности при эксплуатации шламохранилищ / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов, С.М. Пастухов, А.В. Бузук, М.В. Кукшинов, В.В. Кобяк // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 22(2). – С. 68–72.

5. **Миканович, Д.С.** Прогноз ущерба от аварий при оценке безопасности напорных гидротехнических сооружений / **Д.С. Миканович**, М.В. Кукшинов, В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2015. – № 1(37). – С. 36–46.

4. Результаты лабораторных исследований фильтрации песчаных грунтов с целью оценки безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений шламохранилищ / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов, С.М. Пастухов, А.В. Бузук, М.В. Кукшинов, В.В. Кобяк // Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь. – 2015. – № 22(2). – С. 73–78.

6. Техническое состояние шламохранилищ-основа их безопасности / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов, А.В. Бузук // Труды БГТУ. – 2015. – № 2 (175). – С. 285–288.

7. База данных гидротехнических сооружений шламохранилищ и прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем для предупреждения чрезвычайных ситуаций / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов, А.В. Бузук, В.В. Кобяк // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2016. – № 2(40). – С. 48–59.

8. Левкевич, В.Е. Натурные обследования технического состояния гидротехнических сооружений прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов // Лесная и деревообраб. пром-сть. Тр. Белорус. гос. ун-та. – 2016. – № 2(184). – С. 315–318.

9. **Миканович, Д.С.** Прогнозирование возникновения чрезвычайных ситуаций на грунтовых подпорных сооружениях шламохранилищ / **Д.С. Миканович** // Вестн. Ун-та граждан. защиты МЧС Беларуси. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 205–212.

10. **Миканович, Д.С.** Исследование фильтрационных свойств грунтов ограждающих сооружений шламохранилищ с учетом влияния эффекта пристенного скольжения / **Д.С. Миканович**, Г.Ф. Ласута // Вестн. Университета гражд. защиты МЧС Беларуси. – 2019. – Т. 3, № 2. – С. 166–176.

Материалы и доклады конференций

10. Левкевич, В.Е. Анализ методик оценки технического состояния инженерных сооружений на шламохранилищах и очистных сооружениях Республики Беларусь и зарубежных стран / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27–28 мая 2012 г. : в 2 ч. / Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: А.А. Поташкин [и др.]. – Гомель, 2012. – Ч.2. – С. 93–94.

11. Левкевич, В.Е. Методика и методы оценки технического состояния сооружений шламохранилищ и очистных сооружений Республики Беларусь и зарубежных стран / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Проблемы техносферной безопасности : материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, Москва, 23–24 марта 2012 г. : в 2 ч. / АГПС МЧС России. – Москва, 2012. – Ч. 2. – С. 142–143.

12. Левкевич, В.Е. Методика оценки технического состояния сооружений шламохранилищ, очистных сооружений предприятий Республики Беларусь и зарубежных стран / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Проблемы и перспективы развития обеспечения безопасности жизнедеятельности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Львов, 20–21 ноября 2012 г. / Львов. нац. ун-т безопасности жизнедеятельности ; редкол.: Г.М. Падик [и др.]. – Львов, 2012. – С. 50–51.

13. Левкевич, В.Е. Оценка технического состояния гидротехнических сооружений шламохранилищ и очистных сооружений стран СНГ и зарубежных стран / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Предотвратить, спасти, помочь: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 12–13 марта 2012 г. : в 2 ч. / Нац. ун-т граждан. защиты Украины ; редкол.: О.Є. Безуглов [и др.]. – Харьков, 2012. – Ч. 2. – С. 74–76.

14. Левкевич, В.Е. Причины возникновения ЧС на шламохранилищах ОАО «Беларуськалий» / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Проблемы гражданской защиты, управления, предупреждения, аварийно-спасательных и специальных работ: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Харьков, 12–13 марта 2013 г. / Нац. ун-т граждан. защиты Украины ; редкол.: О.Є. Безуглов [и др.]. – Харьков, 2013. – С. 167–168.

15. Левкевич, В.Е. Прогнозирование возникновения ЧС на шламохранилищах Республики Беларусь / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Природные риски: анализ, оценка, картографирование: Междунар. науч.-практ. конф., Москва, январь 2013 г. : в 2 ч. / Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова; редкол.: И.Л. Ипатов [и др.]. – Москва, 2013. – Ч.1. – С. 109–113.

16. Миканович, Д.С. Методы оценки технического состояния сооружений шламохранилищ, очистных сооружений Республики Беларусь, стран СНГ и зарубежных стран / **Д.С. Миканович**, Е.В. Янцевич // Проблемы и перспективы развития обеспечения безопасности жизнедеятельности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Львов, 20–21 ноября 2013 г. / Львов. нац. ун-т безопасности жизнедеятельности ; редкол.: Г.М. Падик [и др.]. – Львов, 2013. – С. 52–53.

17. **Миканович, Д.С.** Сценарии возникновения ЧС на шламохранилищах Республики Беларусь / **Д.С. Миканович**, Д.В. Маскевич // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27–28 мая 2013 г. : в 2 ч. / Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: А.А. Поташкин [и др.]. – Гомель, 2013. – Ч. 2. – С. 74–75.

18. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов, используемых при строительстве дамб шламохранилищ / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, К.А. Давыдчик, Р.В. Каленик, Е.Г. Клепча // Научное обеспечение деятельности оперативно-

спасательных подразделений (теория и практика): Всеукр. науч.-практ. конф., Харьков, 12–13 марта 2013 г./ Нац. ун-т граждан. защиты Украины ; редкол.: О.Є. Безуглов[и др.]. – Харьков, 2013. – С. 154–155.

19. Левкевич, В.Е. Исследование устойчивости ограждающих земляных гидротехнических сооружений шламоохранилищ / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Безопасность жизнедеятельности глазами молодежи: материалы III Всерос. студ. конф. (с междунар. участием), Челябинск, 19 мая 2014 г. / Юж.-Урал. гос. ун-т ; редкол.: А.И.Сидоров [и др.]. – Челябинск, 2014. – С. 250–251.

20. Определение скорости фильтрации жидкости в зависимости от ее химического состава / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, К.А. Давыдчик, Р.В. Каленик, Е.Г. Клепча // Чрезвычайные ситуации: теория, практика, инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 27–28 мая 2010 г. : в 2 ч. / Гомел. инженер. ин-т ; редкол.: А.А. Поташкин [и др.]. – Гомель, 2014. – Ч. 2. – С. 92.

21. **Миканович, Д.С.** Моделирование процесса безнапорной фильтрации и изучение закономерностей движения фильтрационного потока в теле земляных плотин гидротехнических сооружений шламоохранилищ / **Д.С. Миканович**, Е.В. Куделко // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 15–16 дек. 2015 г. / ФГБОУ ВО Воронеж. ин-т ГПС МЧС России ; редкол.: А.М. Гавиов [и др.]. – Воронеж, 2015. – С. 371–374.

22. **Миканович, Д.С.** Результаты лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов с целью оценки безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений шламоохранилищ / **Д.С. Миканович**, В.Е. Левкевич // Пожарная и аварийная безопасность: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Иваново, 26–27 нояб. 2015 г. / ФГБОУ ВО Иванов. пожар.-спас. акад. ГПС МЧС России; редкол.: И.Г.Севастьянов [и др.]. – Иваново, 2015. – С. 377–379.

23. **Миканович, Д.С.** Влияние поверхностно-активных веществ на суффозионную устойчивость грунтов гидротехнических сооружений шламоохранилищ / **Д.С. Миканович**, С.М. Пастухов // Пожарная аварийно-спасательная техника и оборудование для ликвидации чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15 апр. 2016 г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси ; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Минск, 2016. – С. 56–57.

24. **Миканович, Д.С.** Изучение закономерностей движения фильтрационного потока в теле земляных плотин гидротехнических сооружений шламоохранилищ / **Д.С. Миканович**, С.М. Пастухов // Пожарная аварийно-спасательная техника и оборудование для ликвидации чрезвычайных ситуаций: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 15 апр. 2016 г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси ; редкол.: И.И. Полевода [и др.]. – Минск, 2016. – С. 57–58.

25. **Миканович, Д.С.** Экспериментальные исследования влияния химического состава шлама на фильтрационные и прочностные параметры грунтов, используемых при строительстве ограждающих сооружений шламоохранилищ / **Д.С. Миканович**, Е.В. Куделко // Научное обеспечение безопасной жизнедеятельности: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Кокшетау, 25 марта 2016 г. / КТИ КЧС МВД Респ. Казахстан; редкол.: С.Д. Шарипханов [и др.]. – Кокшетау, 2016. – С. 198–202.

26. **Миканович, Д.С.** Анализ данных пьезометрического контроля на объектах шламоохранилищ второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» / **Д.С. Миканович**, С.М. Пастухов // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: курсантов

(студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 18–19 мая 2017 г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси ; редкол.: И.И. Полевода [и др.] – Минск, 2017. – С. 64–65.

27. **Миканович, Д.С.** Анализ развития гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ второго рудоуправления ОАО «Беларуськалий» / **Д.С. Миканович** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 18–19 мая 2017 г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси ; редкол.: И.И.Полевода [и др.]. – Минск, 2017. – С. 65–66.

28. **Миканович, Д.С.** Определение корректирующих коэффициентов при фильтрации различных жидкостей через тело ограждающих конструкций подпорных сооружений / **Д.С. Миканович** // Проблемы гражданской защиты: управление, предупреждение, аварийно-спасательные и специальные работы: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Кокшетау, 17 марта 2017 г. / КТИ КЧС МВД Респ. Казахстан ; редкол.: С.Д. Шарипханов. – Кокшетау, 2017. – С. 206–208.

29. **Миканович, Д.С.** Определение поправочного коэффициента, учитывающего химический состав жидкости при проведении фильтрационных расчетов / **Д.С. Миканович, С.М. Пастухов, А.В. Бузук** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности: проблемы и перспективы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых: курсантов (студентов), слушателей магистратуры и адъюнктов (аспирантов), Минск, 18–19 мая 2017 г. / Ун-т граждан. защиты МЧС Беларуси ; редкол.: И.И. Полевода [и др.]. – Минск, 2017. – С. 64.

30. **Миканович, Д.С.** Экспериментальные исследования по определению коэффициента, учитывающего химический состав жидкости при проведении фильтрационных расчетов / **Д.С. Миканович** // XXIX Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 17 марта 2017 г. / ФГБУ ВНИИПО МЧС России; редкол.: Е.Ю. Сушкина [и др.]. – Москва, 2017. – С. 233–235.

Тезисы докладов конференций

31. Kovaleva, T.G. Prediction of emergency situations for the construction of sludge, sewage treatment enterprises of Belarus and foreign countries / T.G. Kovaleva, V.E. Levkevich, **D.S. Mikanovich** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2012 г.: в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2012. – Ч.2. – С. 367–368.

32. Левкевич, В.Е. Сценарии возникновения аварийных ситуаций на шламохранилищах Республики Беларусь / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2013 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2013. – Ч.2. – С. 74–75.

33. Левкевич, В.Е. Определение коэффициента фильтрации песчаных грунтов / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович** // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2014 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2014. – Ч.2. – С. 72–73.

34. Методика лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов, С.М. Пастухов, А.В. Бузук // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2015 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 2. – С. 63–64.

35. Результаты определения коэффициента фильтрации песчаных грунтов / В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**, Г.И. Касперов, С.М. Пастухов, А.В. Бузук // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2015 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2015. – Ч. 2. – С. 65–66.

36. **Миканович, Д.С.** Влияние химического состава шлама на деформационные и прочностные свойства грунтов, используемых при строительстве гидротехнических сооружений шламохранилищ / **Д.С. Миканович**, С.М. Пастухов, Е.В. Куделко // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2016 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2016. – Ч.1. – С. 61–62.

37. **Миканович, Д.С.** Изучение процесса безнапорной фильтрации в теле земляных плотин гидротехнических сооружений шламохранилищ / **Д.С. Миканович**, С.М. Пастухов, Е.В. Куделко // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2016 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2016. – Ч.1. – С. 72–73.

38. **Миканович, Д.С.** Лабораторные исследования по изучению водопроницаемости и суффозионной устойчивости грунтов, применяемых при строительстве гидротехнических сооружений шламохранилищ / **Д.С. Миканович**, С.М. Пастухов, Е.В. Куделко // Обеспечение безопасности жизнедеятельности проблемы и перспективы : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 4–5 мая 2016 г. : в 2 ч. / Команд.-инженер. ин-т МЧС Респ. Беларусь ; редкол.: Г.Ф. Ласута [и др.]. – Минск, 2016. – Ч.1. – С. 73–75.

Патенты на полезные модели

39. Лабораторная установка для определения коэффициента фильтрации: пат. 11303 ВУ / С.М. Пастухов, В.Е. Левкевич, **Д.С. Миканович**. – Оpubл.: 28.02.2017.

40. Лабораторная установка для исследования безнапорной фильтрации в теле земляных плотин: пат. 11304 ВУ / С.М. Пастухов, В.В. Лахвич, **Д.С. Миканович**. – Оpubл.: 28.02.2017.

РЭЗІЮМЭ

Мікановіч Дзмітрый Станіслававіч

ПРАГНАЗАВАННЕ ЎЗНІКНЕННЯ НАДЗВЫЧАЙНЫХ СІТУАЦЫЙ НА ГРУНТАВЫХ ПАПОРНЫХ ЗБУДАВАННЯЎ ШЛАМАСХОВІШЧАЎ РЭСПУБЛІКІ БЕЛАРУСЬ

Ключавыя словы: верхні б'эф, гідрадынамічная аварыя, гідратэхнічныя збудаванні, ніжні б'эф, нармальны падпорны ўзровень, надзвычайная сітуацыя, шламасховішча, рызыка ўзнікнення надзвычайных сітуацый, фільтрацыя.

Мэта працы: вызначэнне дыягнастычных фактараў, якія спрыяюць разбурэнню верхавых і нізавых адхонаў дамбаў, з разпрацоўкай разліковай metodyкі ацэнкі верагоднасці ўзнікнення гідрадынамічных аварый на збудаваннях шламасховішчаў калійнай вытворчасці Рэспублікі Беларусь з улікам наяўнасці ў вадкасці ПАР.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура. Агульная метадалогія працы ўключае спалучэнне натуральных назіранняў, лабараторных і тэарэтычных даследаванняў, а таксама мадэляванне працэсу фільтрацыі ў целе дамбаў і плацін. Для рэгістрацыі параметраў пры правядзенні натуральных і лабараторных даследаванняў выкарыстоўваліся: волномерная рэйка, нівелір, электронны анемометр, камплект гідралагічных і батыметрычных карт, GPS-сістэма, лазерны далямер, пробаадборнікі, батометр, пьезометры, фота- і відэакамеры.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. На аснове вынікаў натуральных абследаванняў шламасховішчаў Рэспублікі Беларусь вызначаны асноўныя крытэрыі ацэнкі тэхнічнага стану агароджвальных канструкцый грунтовых збудаванняў. Распрацавана metodyка лабараторных даследаванняў і эксперыментальная ўстаноўка па вызначэнні фільтрацыйнага расходу, сярэдняй хуткасці і каэфіцыенту фільтрацыі для пячаных грунтоў у залежнасці ад наяўнасці ў вадкасці павярхнёва-актыўных рэчываў. Праведзены лабараторныя даследаванні па вывучэнні руху ў іх фільтрацыйнай плыні, ацэнкі становішча крывой дэпрэсіі, а таксама вызначэння ўдзельнага фільтрацыйнага расходу з каэфіцыентам фільтрацыі грунту ў целе земляной дамбы. Распрацаваны каэфіцыент прапарцыянальнасці для розных тыпаў дамбаў (плацін) $k_{np} = 0,59-0,86$, які дазваляе пры правядзенні фільтрацыйных разлікаў для падпорных збудаванняў шламасховішчаў улічваць наяўнасць у вадкасці ПАРов. Распрацавана methodology па ацэнцы верагоднасці ўзнікнення надзвычайных сітуацый на гідратэхнічных збудаваннях шламасховішчаў Рэспублікі Беларусь.

Рэкамендацыі па выкарыстанні Вінікі дысертацыйнага даследавання могуць быць выкарыстаны ў праектных арганізацыях пры распрацоўцы часткі праекту «Інжынерна-тэхнічныя мерапрыемствы грамадзянскай абароны, «Мерапрыемствы па папярэджанні надзвычайных сітуацый», а таксама органамі і падраздзяленнямі МНС пры распрацоўцы доўгатэрміновых прагнозаў узнікнення надзвычайных сітуацый.

Вобласць выкарыстання. Праектныя арганізацыі, вышэйшыя навучальныя ўстановы, Міністэрства прыродных рэсурсаў, Міністэрства па надзвычайных сітуацыях, Міністэрства сельскай гаспадаркі і харчавання, Міністэрства будаўніцтва і архітэктуры і інш.

РЕЗЮМЕ

Миканович Дмитрий Станиславович

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА ГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ШЛАМОХРАНИЛИЩ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Ключевые слова: верхний бьеф, гидродинамическая авария, гидротехнические сооружения, нижний бьеф, нормальный подпорный уровень, чрезвычайная ситуация, шламохранилище, риск возникновения чрезвычайных ситуаций, фильтрация.

Цель работы: определение диагностических факторов, способствующих разрушению незащищенных верховых и низовых откосов дамб, с разработкой расчетной методики оценки вероятности возникновения гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ калийного производства Республики Беларусь с учетом наличия в жидкости ПАВ.

Методы исследования и использованная аппаратура. Общая методология работы включает сочетание натурных наблюдений, лабораторных и теоретических исследований, а также моделирования процесса фильтрации в теле дамб и плотин. Для регистрации параметров при проведении натурных и лабораторных исследований использовались: волномерная рейка, нивелир, электронный анемометр, комплект гидрологических и батиметрических карт, GPS-система, лазерный дальномер, проботборники, батометр, пьезометры, фото- и видеокамеры.

Полученные результаты и их новизна. На основе результатов натурных обследований шламохранилищ Республики Беларусь определены основные критерии оценки технического состояния ограждающих конструкций грунтовых сооружений. Разработана методика лабораторных исследований и экспериментальная установка по определению фильтрационного расхода, средней скорости и коэффициента фильтрации для песчаных грунтов в зависимости от наличия в жидкости поверхностно-активных веществ. Проведены лабораторные исследования по изучению движения в них фильтрационного потока, оценки положения кривой депрессии, а также определения удельного фильтрационного расхода с коэффициентом фильтрации грунта в теле земляной дамбы. Разработан коэффициент пропорциональности для различных типов дамб (плотин) $k_{np} = 0,59-0,86$, который позволяет при проведении фильтрационных расчетов для подпорных сооружений шламохранилищ учитывать наличие в жидкости ПАВов. Разработана методика по оценке вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь

Рекомендации по использованию. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в проектных организациях при разработке раздела проекта «Инженерно-технические мероприятия гражданской обороны, «Мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций», а также органами и подразделениями МЧС при разработке долгосрочных прогнозов возникновения чрезвычайных ситуаций.

Область применения. Проектные организации, высшие учебные заведения, Министерство природных ресурсов, Министерство по чрезвычайным ситуациям, Министерство сельского хозяйства и продовольствия, Министерство строительства и архитектуры и др.

SUMMARY

Dmitry Mikanovich

FORECASTING EMERGENCY SITUATIONS ON GROUND SUPPORTING FACILITIES OF SLUDGE STORAGE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

Keywords: upper reach, hydrodynamic accident, hydraulic structures, bottom reach, normal retaining level, emergency, sludge storage, risk of emergency situations, filtration.

Objective. Identification of diagnostic factors contributing to the destruction of unprotected upstream and downstream slopes of dams and assessment of the likelihood of emergency situations at hydraulic structures of sludge storage facilities in the Republic of Belarus, taking into consideration the presence of surfactants in the liquid.

Methods of research and equipment. The general methodology of the research includes the combination of field observations, laboratory and theoretical studies, as well as modeling of the filtration process in the body of dams.. To record the parameters for conducting field and laboratory studies dimensional gauge, level, electronic anemometer, set of hydrological and bathymetric maps, GPS system, laser range finder, samplers, bathometer, piezometers, photo and video cameras were used.

Findings and novelty. On the basis of the results of on-site surveys of sludge storages in the Republic of Belarus, the main criteria for assessing the technical condition of the enclosing structures of ground structures were determined. A laboratory research method and an experimental installation to determine the filtration flow rate, average speed and filtration coefficient for sandy soils depending on the presence of surfactants in the liquid has been developed. The laboratory studies were carried out to research the movement of the filtration flow, to assess the position of the drawdown curve, and to determine the specific filtration flow rate with a soil filtration coefficient in the body of ground dam. The coefficient of proportionality for various types of dams has been developed $k_{pr} = 0,59-0,86$. It allows considering the presence of surfactants in liquid while making filtration calculations for supporting constructions of sludge storage. The methodology for assessing emergency risk at hydro technical structures of sludge storage facilities in the Republic of Belarus. has been developed.

Guidance for use. The results of the dissertation research can be used in planning organizations in the development chapter of the project «Engineering and technical measures of civil defenses, «Emergency preventing measures». Obtained results can also be used under the development of long-term forecasts of emergency occurrence by agencies and departments of MES.

Field of application. Project organizations, higher education institutions, the Ministry of Natural Resources, the Ministry of Emergency Situations, the Ministry of Agriculture and Food, the Ministry of Construction and Architecture, etc.

Научное издание

Миканович Дмитрий Станиславович

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НА ГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ
ШЛАМОХРАНИЛИЩ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.26.02 – безопасность в чрезвычайных ситуациях

Подписано в печать 02.12.2019.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 2,65.
Тираж 60. Заказ 076-2019.

Полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Университет гражданской защиты
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/259 от 14.10.2016.
ул. Машиностроителей, 25, 220118, Минск.