

УДК 519.2:627.8.059.22::712.5

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ
НА ГРУНТОВЫХ ПОДПОРНЫХ СООРУЖЕНИЯХ ШЛАМОХРАНИЛИЩ****Миканович Д.С.**

Проведен анализ материалов режимных наблюдений пьезометрического контроля в ограждающих сооружениях тестовых объектов шламохранилищ. В результате обработки данных исследований получены коэффициенты пропорциональности k_{np} для различных типов дамб, позволяющие при проведении фильтрационных расчетов учитывать наличие в жидкости поверхностно-активных веществ. Установлены причины развития возможных чрезвычайных ситуаций, разработана методика и проведена оценка вероятности возникновения гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь.

Ключевые слова: шламохранилище, гидродинамическая авария, вероятность, подпорное сооружение, шлам, коэффициент пропорциональности, критерий устойчивости, нормальный подпорный уровень.

(Поступила в редакцию 10 апреля 2018 г.)

Введение. В Республике Беларусь имеется более 60 сооружений шламохранилищ, однако специальные исследования в области оценки состояния и устойчивости данных сооружений с прогнозированием возможных чрезвычайных ситуаций на них и определением вероятности возникновения гидродинамических аварий до настоящего времени не проводились. В ходе исследований было запланировано два этапа: оценка фильтрационных свойств грунтов и оценка вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на данном типе сооружений, а также выбраны тестовые объекты шламохранилищ – сооружения ОАО «Беларуськалий» (рис. 1). Проводились натурные обследования объектов и определение основных параметров фильтрации жидкости через грунты. Данный этап является базовым для понимания процессов фильтрации чистой воды и шлама, поскольку позволяет изучить основные причины чрезвычайных ситуаций на шламохранилищах.



Рисунок 1. – Тестовые объекты шламохранилищ ОАО «Беларуськалий»

Стоит отметить, что в нормативной и научной литературе недостаточно внимания уделяется вопросам безопасной эксплуатации сооружений шламохранилищ, хотя они обладают рядом особенностей и представляют опасность для жизнедеятельности человека. Данные шламы содержат в своем составе синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ). Эти примеси способны изменять свойства воды и уменьшать ее естественную вязкость в несколько раз. Наличие в шламе различных химических веществ будет способствовать увеличению скорости фильтрации, что может привести к более тяжелым экономическим и экологическим последствиям при аварии на гидротехнических сооружениях шламохранилищ.

Основная часть. Шламохранилище второго рудоуправления на базе карьера «Чепели» располагается в 2 км восточнее промплощадки. Оно введено в эксплуатацию в 1997

году и отнесено к IV классу капитальности. Шламоохранилище занимает площадь 24,0 га, его полезная емкость создана за счет строительства ограждающей грунтовой дамбы, по гребню которой имеется эксплуатационный проезд шириной 4,5 м для автотранспорта. Общая протяженность дамбы шламоохранилища составляет 2,135 км. Шламоохранилище ограничено: с юга – автодорогой Красная Слобода – Любань; с севера – железной дорогой второго рудоуправления; с запада и востока – пашней. В шламоохранилище «Чепели» складировать шламы второе рудоуправление ОАО «Беларуськалий». Основную опасность в составе шлама для природной среды представляют соли NaCl, KCl, содержание которых достигает 200–250 г/л [1].

На основании характеристик объекта исследований и для оценки устойчивости подпорных сооружений шламоохранилища проанализированы данные режимных наблюдений за фильтрацией в течении пяти лет (с 2012 по 2017 г.).

С целью определения положения кривой депрессии по данным пьезометрического контроля в ограждающих конструкциях шламоохранилищ проводился расчет координат кривой депрессии для дамб различного конструктивного исполнения по методике Н.Н. Кожевникова [2]. Расчетная схема для данной методики приведена на рисунке 2. В связи с тем, что при устройстве ограждающих конструкций гидротехнических сооружений Республики Беларусь используются дамбы однородные или с экраном, дальнейший анализ и сравнение проводились только по этим типам дамб.

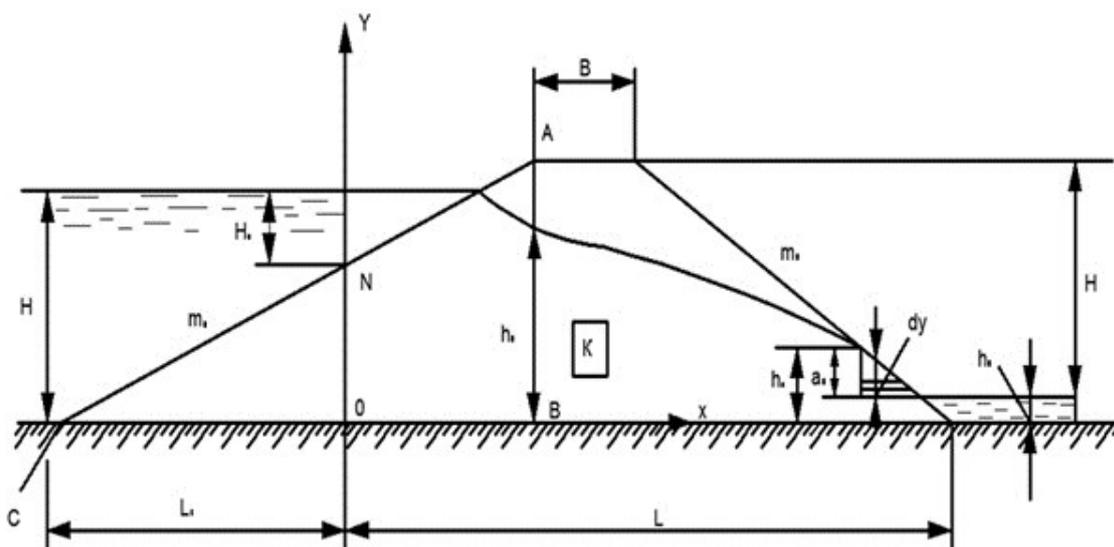


Рисунок 2. – Расчетная схема

Согласно методике [2], часть верхового откоса в фильтрации не участвует и заменяется условной трапецией $ONAB$. В компенсацию этого допущения положение раздельной линии $0-N$ определяется значением ε , принимаемым от 0,3 до 0,4 (в зависимости от заложения откоса) [2].

Тогда

$$ON = H - \varepsilon H, \quad (1)$$

где H – напор в верхнем бьефе плотины.

А отрезок от начала координат до сопряжения откоса m_1 с основанием в точке C будет равен

$$L_1 = (H - \varepsilon H)m_1, \quad (2)$$

где m_1 – коэффициент заложения верхнего откоса.

Параметр L определяется по формуле

$$L = H_1 m_1 + B + H_1 m_2 - L_1, \quad (3)$$

где H_1 – высота плотины; m_2 – коэффициент заложение нижнего откоса; B – ширина плотины по гребню.

Высота выклинивания кривой депрессии на низовом откосе будет определяться по формуле

$$h_1 = \frac{L}{m_1} + h_0 - \left[\frac{L^2}{m_2^2} - (H - h_0)^2 \right]^{0,5}, \quad (4)$$

где h_0 – уровень воды в нижнем бьефе.

При отсутствии воды в нижнем бьефе

$$h_0 = 0. \quad (5)$$

Фильтрационный расход на 1 м длины плотины определяется по формуле

$$q_1 = k \frac{H^2 - h_1^2}{2(L - m_2 h_1)}, \quad (6)$$

где k – коэффициент фильтрации грунта плотины; h_1 – высота выклинивания линии депрессии на низовом откосе.

Ординаты депрессионной кривой находятся из уравнения:

$$y = \left[H^2 - \frac{2q}{k} x \right]^{0,5}. \quad (7)$$

Далее проводился расчет положения кривой депрессии по данной методике. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты расчета положения кривой депрессии

№ п/п	Однородная земляная дамба		Земляная дамба с экраном	
	Значение X, м	Значение Y, м	Значение X, м	Значение Y, м
1	0	0,324	0	0,324
2	0,066	0,307	0,079	0,314
3	0,1	0,298	0,1	0,305
4	0,2	0,270	0,2	0,290
5	0,3	0,238	0,3	0,257
6	0,4	0,202	0,4	0,233
7	0,5	0,158	0,5	0,177
8	0,6	0,098	0,6	0,121

В результате проведенных исследований были определены положения кривой депрессии при фильтрации шлама через земляные дамбы различного исполнения. По результатам обработки всех экспериментальных данных установлены координаты депрессионных кривых для земляных дамб в пяти точках для каждой кривой при фильтрации воды и шлама. Далее находилось отношение координат точки y_1 для кривой депрессии при фильтрации воды и y_2 для кривой депрессии при фильтрации шлама (в пяти точках). В результате нахождения среднего между полученными значениями были определены коэффициенты пропорциональности k_{np} между координатами для кривой депрессии воды и кривой депрессии шлама (табл. 2).

Таблица 2. – Результаты расчета коэффициента k_{np} для моделей земляных дамб

№ п/п	Модель земляной дамбы	шлам/вода
1	наружный дренаж	0,84
2	однородная	0,80
3	понур	0,65
4	экран	0,59
5	ядро	0,59
6	ядро и экран	0,86

С учетом полученных коэффициентов пропорциональности предложен основанный на методике Н.Н. Кожевникова [2] метод определения положения кривой депрессии в ограждающих конструкциях гидротехнических сооружений шламохранилищ с учетом наличия в жидкости синтетических поверхностно-активных веществ. Путем использования полученных коэффициентов и их введения в формулу (7) определены координаты депрессионной кривой с учетом содержания в жидкости СПАВ:

$$y = k_{np} \left[H^2 - \frac{2q}{k} x \right]^{0,5} \quad (8)$$

В результате проведенных расчетов установлено, что экспериментальная модель фильтрации шлама через однородные земляные дамбы и дамбы с экраном соответствует фильтрации шлама на исследуемых объектах (табл. 3, рис. 3).

Таблица 3. – Координаты кривой депрессии

№ п/п	Однородная земляная дамба (фильтрация шлама, расчетное значение)		Однородная земляная дамба (фильтрация шлама, режимные наблюдения)	
	Значение X, м	Значение Y, м	Значение X, м	Значение Y, м
1.	0	0,324	0	0,317
2.	0,05	0,246	0,05	0,241
3.	0,1	0,239	0,1	0,233
4.	0,2	0,216	0,2	0,210
5.	0,3	0,191	0,3	0,179
6.	0,4	0,162	0,4	0,151
7.	0,5	0,127	0,5	0,118
8.	0,6	0,119	0,6	0,107

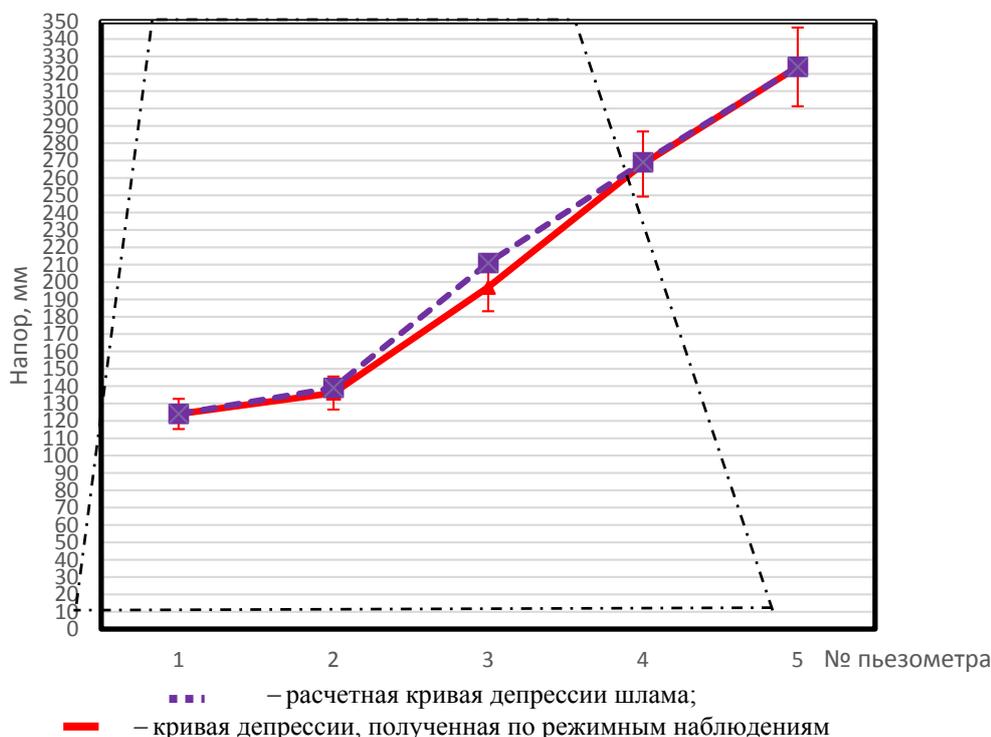


Рисунок 3. – Кривые депрессии, полученные для однородной плотины

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что скорость фильтрации шлама значительно выше скорости фильтрации воды. Получены коэффициенты пропорциональности k_{np} , позволяющие при проведении фильтрационных расчетов для грунтовых дамб учитывать наличие в жидкости СПАВ. Данное обстоятельство будет способствовать повышению устойчивости гидротехнических сооружений шламохранилищ и уточнению параметров фильтрации, тем самым снижая вероятность возникновения гидродинамических аварий на данном типе сооружений.

С целью определения вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на подпорных сооружениях шламохранилищ проведен анализ причин возникновения гидродинамических аварийных на данном типе сооружений в разрезе мировой статистики (период выборки – более 50 лет). В результате анализа установлено, что наибольшее их количество про-

изошло на земляных дамбах, их основными причинами являются: переполнение шламохранилища (31 %), нарушение режима фильтрация (27 %), ошибки при эксплуатации (23 %).

За основу подхода по оценке вероятности возникновения гидродинамических аварий на подпорных сооружениях шламохранилищ был использован метод, предложенный А.М. Козлитиним в работе [3]. Суть данного метода заключается в том, что в штатном режиме функционирования вероятность переполнения сооружения шламохранилища, потеря устойчивости основания дамб при проектных напорах крайне мала, и при оценке ими пренебрегают. Основными факторами повреждения или разрушения дамб на хранилищах производственных отходов являются нештатные ситуации, вызванные экстремальными явлениями природы, нарушением прочности (устойчивости) сооружений, нарушением фильтрационной прочности различных частей дамб и большими фильтрационными потерями. Непосредственными причинами повреждений и нарушений могут быть как случайные отклонения от расчетных значений, так и ошибки в прогнозах и расчетах при строительстве и эксплуатации сооружений.

Для оценки вероятности развития гидродинамической аварии на сооружениях рассчитывается относительная частота $Q(\Delta t)$ возникновения инициирующего события (ИС) и вероятность q развития аварийной ситуации на потенциально опасном объекте при условии нахождения его в зоне действия поражающих факторов [3, 4].

Относительная частота $Q(\Delta t)$ возникновения хотя бы одного экстремального инициирующего события за интервал времени Δt описывается распределением Пуассона. Это распределение моделирует случайную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга [3].

При определении вероятности q развития аварии на объекте исходили из анализа причин и последствий от возникновения гидродинамических аварий на сооружениях шламохранилищ, приведенных выше, а также лабораторных исследований по определению закономерностей движения фильтрационного потока. Далее на основании статистических данных, проведенных лабораторных исследований и методики [3] составили дерево событий для вероятных причин возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ (рис. 4).

Исходя из натурных обследований сооружений шламохранилищ Республики Беларусь (более 30) было определено, что для них характерно расположение шламопроводов не в теле, а по гребню плотины, а также установлено отсутствие бетонных конструктивных элементов в теле ограждающих сооружение конструкций. Следует отметить, что на имеющихся сооружениях шламохранилищ ведутся постоянные работы по их реконструкции с целью экономии отводимых площадей для хранения шлама, а также имеется возможность откачки жидкости для производственного процесса с производительностью около 40 л/с и отсекающие клапана на шламопроводах. Исходя из вышесказанного, возникновение чрезвычайных ситуаций по таким причинам, как ошибки при эксплуатации и переполнения шламохранилища, для сооружений Республики не характерны. Для определения вероятности q развития аварии на объектах Республики Беларусь дерево событий было упрощено (рис. 5).

Нарушение режима фильтрации на сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь может происходить по причине сильных дождей (ливней) и прорыва шламопровода. Если данные условия выполняются (рис. 5), то вероятность q развития аварии принимается равной единице, а если не выполняются, то величина может находиться исходя из статистических данных гидродинамических аварий на наблюдаемом сооружении по формуле

$$q = \frac{N_{авар}}{T \cdot \kappa}, \quad (9)$$

где $N_{авар}$ – количество аварий за расчетный период; T – период выборки по причинам аварий, лет; κ – количество наблюдаемых сооружений.

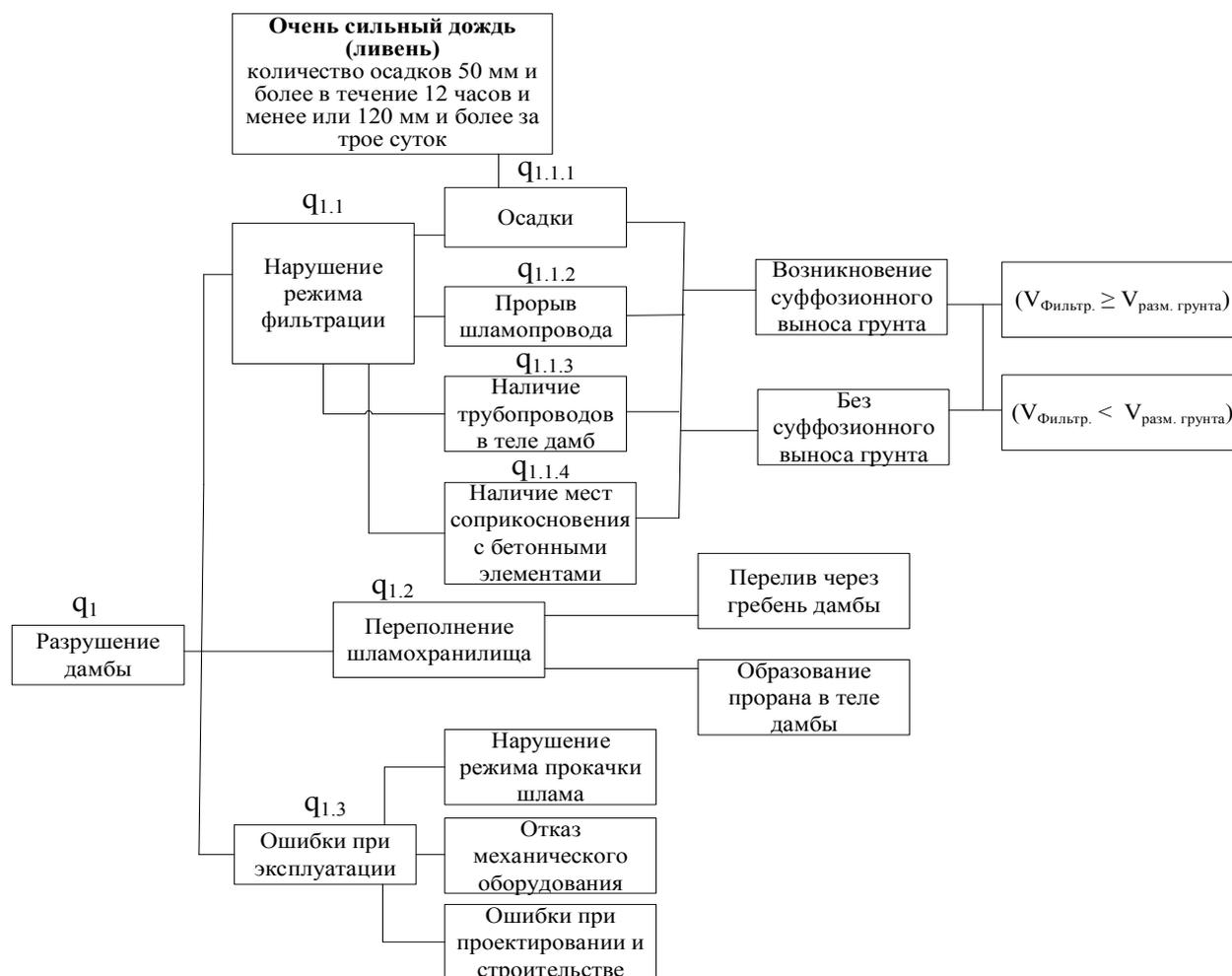


Рисунок 4. – Дерево событий при возникновении ЧС на сооружениях шламохранилищ

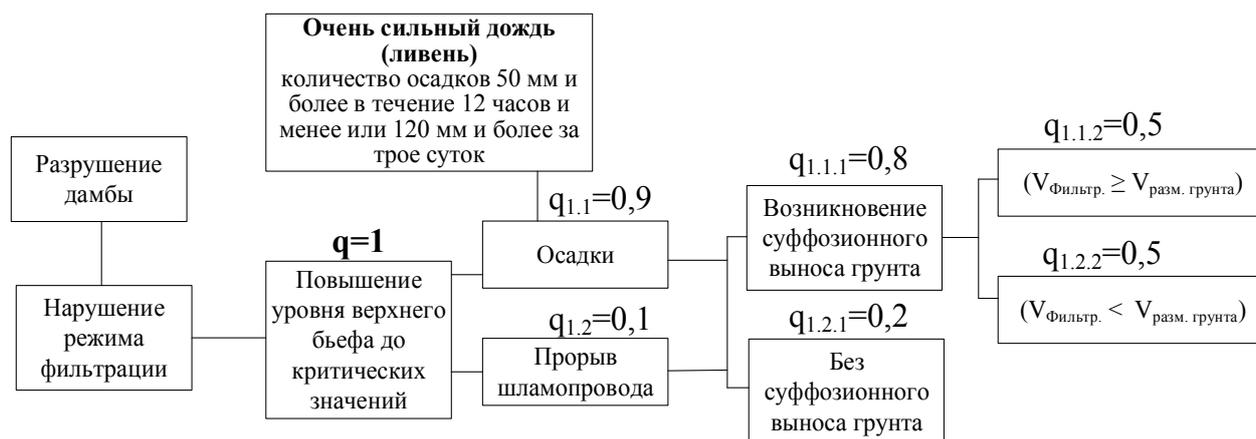


Рисунок 5. – Дерево событий при возникновении ЧС на сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь

Исходя из анализа данных [5, 6] сделан вывод, что очень сильный дождь (ливень) возможен в Республике Беларусь с вероятностью 90 % в течение 25 лет. Исходя из данных [5] вероятность прорыва шламопровода на хранилищах производственных отходов не превышает 10 % в течении 20 лет. В связи с вышеизложенным вероятность q развития аварии на объектах Республики Беларусь по причине сильных дождей (ливней) принимали равной 0,9, а по причине прорыва шламопровода – 0,1. Проводилась оценка возникновения суффозионного выноса грунта из тела дамб. Исходя из данных проведенных лабораторных ис-

следований установлено, что на 80 % экспериментальных моделей дамб наблюдается возникновение суффозионного выноса грунта при повышении уровня верхнего бьефа. Это обстоятельство приводит к увеличению скорости фильтрации в среднем в 1,4 раза на всех типах экспериментальных дамб, а для однородных моделей – более чем в 2 раза. Данное обстоятельство способствует вымыванию из грунта мелкой фракции, в связи с чем вероятность возникновения суффозионного выноса грунта при повышении уровня верхнего бьефа принималась равной 0,8, а без суффозионного выноса – 0,2. Далее вероятность возникновения (не возникновения) гидродинамических аварий по причине суффозионного выноса принимались с вероятностью 50 %. В связи с этим вероятности q равны 0,5, соответственно, для каждого события (рис. 5).

Производилось определение вероятности P возникновения ЧС на хранилищах производственных отходов Республики Беларусь для каждой из рассмотренных выше причин. Вероятность P возникновения ЧС на хранилищах производственных отходов при наличии статистических данных о возникновении ЧС на наблюдаемых сооружениях шламохранилищ может определяться по формуле

$$P = Q(\Delta t) \cdot q. \quad (10)$$

В связи с отсутствием данных о возникновении гидродинамических аварий на шламохранилищах Республики Беларусь вероятность P возникновения чрезвычайных ситуаций на данных сооружениях вычислялась исходя из анализа причин и вероятности возникновения ЧС, приведенных выше (анализ причин ЧС на аналогичных сооружениях в мире) (табл. 4).

Таблица 4. – Расчет вероятности основных причин возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь

№ п/п	Причины аварий	Вероятность аварий (R), 1/год,
1	Нарушение режима фильтрация в теле дамб	$1,98 \cdot 10^{-3}$
2	Переполнение шламохранилища	$2,61 \cdot 10^{-3}$
3	Ошибки при эксплуатации	$1,43 \cdot 10^{-3}$

Сравнивая полученные значения вероятности возникновения гидродинамических аварий (ГДА) для тестовых объектов шламохранилищ, можно сделать вывод о том, что они в целом не превышают предельно допустимых (для сооружений III класса вероятность возникновения аварии не более $3,0 \cdot 10^{-3}$ 1/год в соответствии с ТКП 45–3.04–169–2009 [12]).

Разработанная методика оценки вероятности возникновения ГДА является необходимым элементом их прогнозирования. В соответствии с одним из направлений предупреждения ЧС является их прогнозирование и оценка риска. Данное направление в Республике Беларусь реализуется в рамках функционирования системы мониторинга и прогнозирования ЧС.

При прогнозировании ЧС техногенного характера (в том числе и ГДА) определяются расчетные сценарии возможных аварий и вероятности их возникновения. Однако по причине отсутствия расчетных методик в настоящее время прогнозируются лишь масштабы последствий ГДА (площадь зон затопления, количество разрушенных зданий и сооружений, а также количество людей, у которых нарушены условия жизнедеятельности).

Заключение. В результате исследований по оценке вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ:

- выполнен анализ материалов режимных наблюдений пьезометрического контроля ограждающих сооружений шламохранилищ Республики Беларусь;
- проведено сравнение кривых депрессий, полученных экспериментальным и лабораторным путем, на основании анализа данных пьезометрического контроля и расчетных значений установлено, что экспериментальная модель фильтрации шлама через однородные земляные дамбы и дамбы с экраном являются аналогичными фильтрации шлама на тестовых объектах шламохранилищ;
- получены коэффициенты пропорциональности k_{np} для различных типов дамб, позволяющие при проведении фильтрационных расчетов учитывать присутствие в жидкости СПАВ. Это будет способствовать повышению устойчивости расчетных сооружений и подпорных дамб шламохранилищ;
- проведено определение вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций на сооружениях шламохранилищ Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оценка экологических рисков в регионе освоения Старобинского месторождения калийных солей [Электронный ресурс] – Минск, 2005. – Режим доступа: <http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&url>. – Дата доступа: 14.03.2010.
2. Кожевников, Н.Н. Проектирование и строительство земляных плотин / Н.Н. Кожевников. – М.: Издательские решения, 2016. – 26 с.
3. 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.
4. Козлитин, А.М. Математические модели и методы количественной оценки экологического и интегрированного риска аварий гидротехнических сооружений / А.М. Козлитин, А.И. Попов, Б.Б. Богуш, П.А. Козлитин // Устойчивое экологическое развитие: региональные аспекты: междунар. науч. сб. – Саратов: СГТУ, 2001. – С. 34–62.
5. Козлов, К.А. Параметризация опасных природных процессов и явлений для городов и транспортных коммуникаций / К.А. Козлов, М.М. Максимов, Б.Н. Порфирьев, А.Л. Шныпарков // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, 1998. – Вып. 4. – С. 37–45.
6. Герменчук, М.Г. Климат Республики Беларусь в 2015 году / М.Г. Герменчук. – Минск, 2016. – 32 с.
7. Левкевич, В.Е. 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 // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь, 2015. – № 2 (22). – С. 73–78.
8. Jung, H.G., Hydrogeochemical Groundwater Monitoring in Mailuu-Suu, Kyrgyz Republic / H.G. Jung, T. Himmelsbach. – Final Report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). – Hannover, 2008. – 81 p.
9. Робинсон, П. Горное дело – забота общая / П. Робинсон. – Магадан: Наука, 2005. – 173 с.
10. Типовой проект законодательного акта о безопасности гидротехнических сооружений: приложение к постановлению Межпарламентской Ассамблеи Евразийского экономического сообщества от 04 апр. 2008 г. № 9–10 // Консультант Плюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2018.
11. Грунты, методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава: ГОСТ 12536-79. – Введ. 01.07.1980 взамен ГОСТ 12536-67. – М., 1979. – 39 с.
12. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования = Гідратэхнічныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45–3.04–169–2009. – Введ. 30.12.09. – Минск: М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 45 с.

PREDICTION OF EMERGENCY SITUATIONS IN GROUND SURFACE CONSTRUCTIONS OF SLIMMERS

Dmitry Mikanovich

The state educational establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. Proportionality coefficients k_{pr} for different types of dams are obtained, which allow taking into account the presence of surfactants in the liquid during the filtration calculations. The purpose of the work is to refine the indicators that allow an objective assessment of the risk of emergencies on the retaining structures of the slurry storage facilities of the Republic of Belarus.

Methods. The data of field and experimental studies of the author and the results of their statistical processing, as well as theoretical studies on the development of indicators of the stability of structures are used in the work.

Findings. As a result of the research, scenarios for the development of possible emergency situations at the hydraulic structures of the slurry storage facilities of the Republic of Belarus were established, and a risk calculation for each of the reasons given for the occurrence of hydrodynamic accidents on this type of structures was performed.

Application field of research. The developed methodical approaches to assessing the risk of territories can be used for other risky processes of a technogenic nature.

Conclusions. The results of the assessment of the risk of emergencies in the sludge dumps of Belarus, taking into account the updated data, are of practical importance for the determination of management decisions and technical measures to prevent the occurrence of hydrodynamic accidents in this type of facilities and minimize their consequences.

Keywords: sludge dump, hydrodynamic accident, probability, retaining structure, sludge, coefficient of proportionality, stability criterion, normal retaining level.

(The date of submitting: April 10, 2018)

REFERENCES

1. Otsenka ekologicheskikh riskov v regione osvoeniya Starobinskogo mestorozhdeniya kaliynykh soley, available at: <http://www.google.ru/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CBwQFjAA&ur> (accessed: March 13, 2010). (rus)
2. Kozhevnikov N.N. *Proektirovanie i stroitel'stvo zemlyanykh plotin*. Moscow: Izdatel'skie resheniya, 2016. 26 p. (rus)
3. Kozlitsin A.M., Popov A.I., Kozlitsin P.A. *Teoreticheskie osnovy i praktika analiza tekhnogennykh riskov. Veroyatnostnye metody kolichestvennoy otsenki opasnostey tekhnosfery*. Saratov: SGTU, 2002. 180 p. (rus)
4. Kozlitsin A.M., Popov A.I., Bogush B.B., Kozlitsin P.A. *Matematicheskie modeli i metody kolichestvennoy otsenki ekologicheskogo i integrirovannogo riska avari y gidrotekhnicheskikh sooruzheniy. Ustoychivoe ekologicheskoe razvitiye: regional'nye aspekty*. Saratov: SGTU, 2001. 34–62 p. (rus)
5. Kozlov K.A., Maksimov M.M., Porfir'ev B.N., Shnyarkov A.L. *Parametrizatsiya opasnykh prirodnykh protsessov i yavleniy dlya gorodov i transportnykh kommunikatsiy [Parametrization of dangerous natural processes and phenomena for cities and transport communications]. Problemy bezopasnosti pri chrezvychaynykh situatsiyakh*. 1998. Iss. 4. Pp. 37–45. (rus)
6. Germenchuk M.G. *Klimat Respubliki Belarus' v 2015 godu*. Minsk, 2016. 32 p. (rus)
7. Levkevich V.E., Mikanovich D.S., Kasperov G.I., Pastukhov S.M., Buzuk A.V., Kukshinov M.V., Kobyak V.V. Results of laboratory studies filtration sandy soils to assess the safe operation of the waterworks sludge storage tanks. *Vestnik Komandno-inzhenerenogo instituta MChS Respubliki Belarus'*, 2015. No. 2 (22). Pp.73–78. (rus)
8. Jung H.G., Himmelsbach T. *Hydrogeochemical Groundwater Monitoring in Mailuu-Suu, Kyrgyz Republic*. Final Report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). Hannover, 2008. 81 p.
9. Robinson P. *Gornoe delo – zabota obshchaya*. Magadan: Nauka, 2005. 173 p. (rus)
10. *Typical project act of legislation on the safety of hydraulic structures: annex to the resolution of the Interparliamentary Assembly of the Eurasian Economic Community, 04.04.2018, No. 9–10*. Konsul'tant Plyus, Belarus. OOO «YurSpektr», Nats. tsentr pravovoy inform. Resp. Belarus'. Minsk, 2018 (rus)
11. Soils, methods for laboratory determination of granulometric (grain) and micro aggregate composition: GOST12536-79. Affirmed 12.06.1979. Moscow: Gostandart, 1979. 39 p.(rus)
12. *Gidrotekhnicheskie sooruzheniya. Stroitel'nye normy proektirovaniya: TKP 45–3.04–169–2009*. Affirmed 30.12.09. Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus', 2010. 45 p.