

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.12.4.007

УДК 627.514:622.5

© Т.В. Михайлова, 2019

Т.В. МИХАЙЛОВА

канд. техн. наук,

заведующая кафедрой

КузГТУ, г. Кемерово

e-mail: mtv238@mail.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ГРУНТОВЫХ ДАМБ НАКОПИТЕЛЕЙ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Приведен алгоритм построения системы мониторинга безопасности грунтовых дамб накопителей жидких отходов горнопромышленных предприятий.

Предложена модель системы мониторинга безопасности грунтовых дамб, структурированная методом системного анализа и описываемая следующими признаками: тип (конструкция) дамбы, объекты мониторинга (конструктивные элементы дамбы), количественные и качественные контролируемые показатели состояния сооружения и их критерии безопасности, а также состав натуральных наблюдений за состоянием сооружений.

Для определения элементов мониторинга безопасности грунтовых дамб использован экспертный метод, основанный на анализе риска аварий гидротехнических сооружений методом «Анализ опасности и работоспособности» (Hazard and Operability Study – HAZOP) с учетом их конструктивных особенностей и условий эксплуатации.

Используя алгоритм процедуры идентификации опасностей методом HAZOP, в качестве примера для насыпной грунтовой дамбы с дренажными сооружениями определены объекты мониторинга и их контролируемые показатели, а также предложен состав наблюдений, позволяющий фиксировать опасные отклонения состояния сооружения от критериев безопасности и предотвращать возникновение аварийной ситуации.

Ключевые слова: ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ СООРУЖЕНИЯ, ГРУНТОВАЯ ДАМБА, МОНИТОРИНГ БЕЗОПАСНОСТИ, КРИТЕРИЙ БЕЗОПАСНОСТИ, ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ АВАРИЯ, АНАЛИЗ РИСКА.

Введение

Гидротехнические сооружения (ГТС) накопителей жидких отходов являются объектами, непосредственно обеспечивающими технологические процессы предприятий горнодобывающей и смежных отраслей промышленности. Эксплуатация таких объектов в большинстве случаев сопряжена с риском возникновения аварий.

По данным статистики аварийность на гидротехнических сооружениях в России в 2,5 раза превышает средний мировой показатель [1]. Наиболее уязвимыми являются

плотинные накопители, созданные путем возведения напорных гидротехнических сооружений. Чаще всего аварии на напорных гидротехнических сооружениях сопряжены с разрушением их тела (~47 %) и оседания (25 %), что приводит к гидродинамическим авариям: затопление и загрязнение промышленными отходами земель территории нижнего бьефа; подтопление и разрушение дорог, частных жилых домов и дачных строений; загрязнение прилегающих земель и поверхностных водных объектов [2]. В зависимости от последствий гидродинамические аварии ГТС создают чрезвычайные ситуации от локального характера до федерального.

С целью своевременного обнаружения деструктивных процессов и прогнозирования возможных деформаций, а также оперативного принятия мер по предупреждению возникновения чрезвычайной ситуации нормативными документами [3, 4] предусматривается организация мониторинга безопасности гидротехнических сооружений.

В настоящее время в практике ГТС методы визуальных и инструментальных наблюдений с использованием контрольно-измерительной аппаратуры в целом обеспечивают контроль состояния грунтовых дамб, свойств слагающих их грунтов, интенсивность протекающих в теле и основании сооружений фильтрационных и деформационных процессов [5, 6, 7]. Вместе с тем, не установлены взаимосвязи между конструктивными особенностями грунтовых сооружений, подверженных воздействию на них нагрузок природного и техногенного характера, и объектами мониторинга, количественными и качественными критериями безопасности этих сооружений, видами и методами натуральных наблюдений, что в отдельных случаях приводит к невозможности фиксации опасных деструктивных процессов, вследствие чего происходят деформации сооружений, нарушающие технологический режим работы ГТС и предприятия в целом.

Структуризация системы мониторинга безопасности ГТС

Многообразие типов грунтовых дамб (земляные насыпные, земляные намывные, каменно-земляные и каменно-набросные), классифицируемых по конструктивным особенностям на однородные и неоднородные, последние из которых разделяются на сооружения с противофильтрационными устройствами в теле (экран из негрунтовых материалов, грунтовое ядро, негрунтовая диафрагма, грунтовый экран и др.) и основании (зуб, инъекционная завеса, стенка, шпунт, понур и др.), а также дренажными устройствами (дренажный банкет, наклонный дренаж, трубчатый дренаж, горизонтальный дренаж и др.) [8],

предопределило необходимость структуризации системы мониторинга безопасности для определения перечня объектов, состава контролируемых показателей и критериев безопасности с учетом классификационных признаков и конструктивных особенностей гидротехнических сооружений.

В качестве научного метода, позволяющего выполнить системную структуризацию мониторинга безопасности грунтовых дамб, принят метод системного анализа, идея которого заключается в разделении сложной проблемы на подпроблемы (этапы) до определенного уровня, т. е. построение иерархической модели системы мониторинга безопасности ГТС (рис. 1).

Первый уровень иерархической модели системы мониторинга безопасности ГТС — тип (конструкция) дамбы; второй — объекты мониторинга безопасности (элементы грунтовой дамбы: гребень и берма, верховой и низовой откосы, дренажные и противофильтрационные элементы, тело, подошва); третий — контролируемые показатели (количественные и качественные показатели состояния сооружения, непосредственно измеренные с помощью технических средств или вычисленные на основе измерений) и критерии безопасности; четвертый — виды натуральных наблюдений (способ контроля); пятый — методика контроля для каждого вида наблюдений, включающая метод и точность наблюдений, а также средства измерений (контрольно-измерительную аппаратуру и приборы) [9].

Таким образом, исходя из главной цели мониторинга — обеспечение безопасности ГТС, предложена модель системы мониторинга безопасности (рис. 1), адекватно отражающая необходимую последовательность работ по контролю состояния грунтовых дамб.

Обоснование элементов и программы мониторинга

Для определения элементов мониторинга безопасности грунтовых дамб предложен экспертный метод, основанный на анализе риска

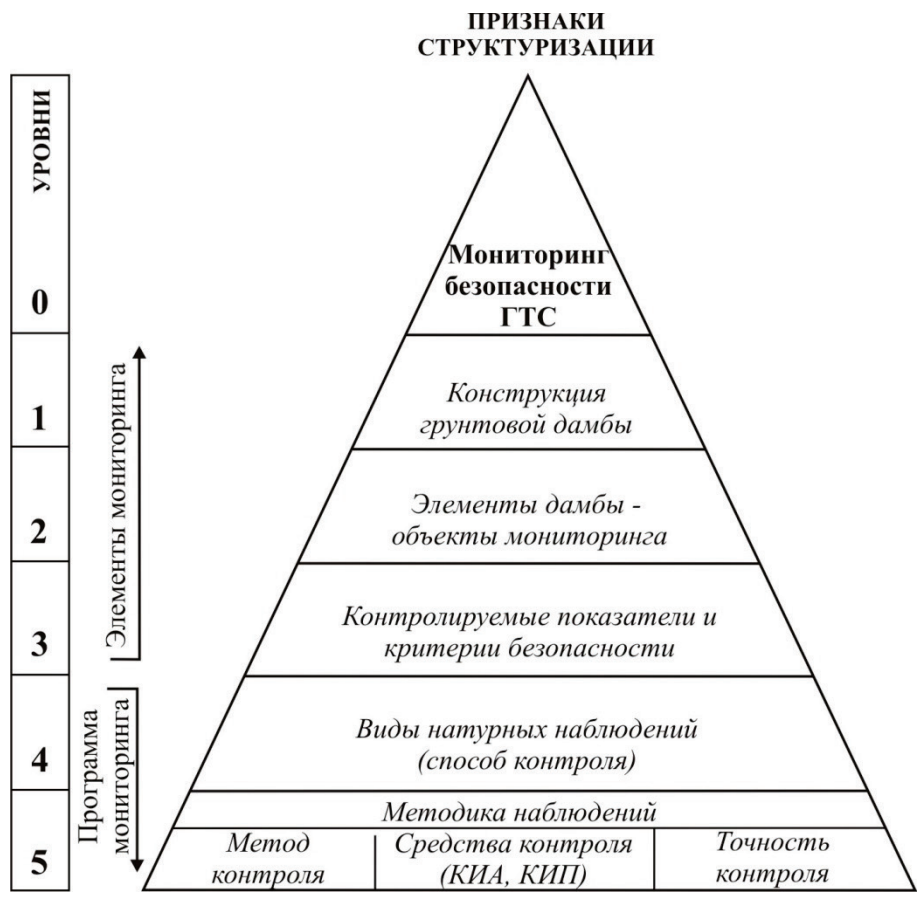


Рис. 1. Модель системы мониторинга безопасности ГТС

аварий ГТС с учетом их конструктивных особенностей и условий эксплуатации, а также оценки влияния деструктивных процессов, которые могут привести к гидродинамической аварии.

Интегральным показателем безопасности гидротехнического сооружения является уровень риска аварии, выражаемый в вероятностной форме либо в форме детерминистического показателя (уровня безопасности ГТС), характеризующего степень отклонения состояния сооружения и условий его эксплуатации от требований нормативных документов [10, 11].

Анализ риска аварии ГТС включает три основных стадии (рис. 2):

1) идентификация опасностей — выявление всех возможных нежелательных явлений, процессов и событий, способных привести к аварии анализируемого сооружения; по результатам идентификации опасностей

разрабатывают перечень сценариев аварий, возможных на анализируемом гидротехническом сооружении с учетом его конструкции и влияния на него нагрузок и воздействий;

2) анализ частоты — оценка (качественная и/или количественная) среднегодовой вероятности реализации выявленных на предыдущей стадии нежелательных явлений, процессов и событий, а также основных сценариев аварий, возможных на сооружении;

3) анализ последствий — оценка (качественная и/или количественная) ущерба (вреда) от возможных на анализируемом гидротехническом сооружении аварий, наносимого персоналу объекта, населению, имуществу и окружающей природной среде.

В настоящее время известны следующие методы анализа риска, используемые на этапе идентификации опасностей [11, 12]: «Что будет, если ...?» (What if?), «Проверочный лист» (CheckList), анализ вида и последствий



Рис. 2. Основные составляющие процедуры анализа риска аварий ГТС

отказов (Failure Mode and Effects Analysis — FMEA), анализ вида, последствий и критичности отказов (Failure Mode, Effects and Critical Analysis — FMECA), анализ «дерева отказов» (Fault Tree Analysis — FTA), анализ «дерева событий» (Event Tree Analysis — ETA), анализ опасности и работоспособности (Hazard and Operability Study — HAZOP).

С целью выявления элементов системы мониторинга (объектов мониторинга и контролируемых показателей) и обоснования состава наблюдений за состоянием грунтовых дамб для предотвращения их аварийного отказа, т. е. своевременного фиксирования опасных отклонений показателей состояния сооружения от предельно допустимого значения (ПДЗ), как наиболее подходящий из вышеизложенных методов анализа риска выбран метод «Анализ опасности и работоспособности» (Hazard and Operability Study — HAZOP).

Метод HAZOP основывается на предположении, подтверждаемом обширным опытом эксплуатации гидротехнических сооружений, согласно которому развивающиеся или уже имеющиеся повреждения и неполадки проявляются в той или иной мере в отклонениях значений показателей состояния ГТС от обычно наблюдаемого или предельно допустимого значения (критерия безопасности).

Первый этап идентификации опасностей для гидротехнических сооружений методом HAZOP начинают с исследования компоновки и структуры элементов анализируемого гидротехнического сооружения, воздействий и нагрузок на ГТС, а также особенностей жизненного цикла сооружения, включая уже имевшие место повреждения, аварии и неполадки, т. е. выделяют объекты мониторинга. На втором этапе изучают весь перечень контролируемых показателей состояния ГТС и анализируют возможные отклонения пока-

зателей состояния от критериев безопасности. На третьем этапе выявляют возможные причины и следствия этих отклонений. На четвертом (завершающем) этапе определяют состав наблюдений, позволяющий своевременно фиксировать деформационные процессы и выявлять опасные отклонения контролируемых показателей состояния ГТС от критериев безопасности.

При этом степень опасности отклонений показателей состояния анализируемого сооружения от критериев безопасности в рамках метода HAZOP может быть определена как качественно (экспертные оценки), так и количественно — путем расчетных оценок показателей фильтрационной прочности и устойчивости сооружения, вероятностей (среднегодовых частот) реализации причин неполадок и повреждений, границ зоны аварийного воздействия и масштабов последующих возможных опасных отклонений.

В процессе изучения возможных отклонений показателей состояния ГТС от предельно допустимых значений используют ключевые слова («нет», «больше», «меньше», «другой», «иначе чем» и т. д.), содержание которых заключается в следующем: «нет» — отсутствие воды в дренажных сооружениях; невозможность открытия водосбросных сооружений; отсутствие крепления откоса и т. д.; «больше» — уровень воды в верхнем бьефе выше отметки форсированного подпорного уровня; значения порового давления в намывном массиве превышают критические; расход

воды в дренажном коллекторе больше обычного и т. д.; «меньше» — отметка гребня дамбы на отдельном участке меньше проектного значения; расход воды в дренажном коллекторе меньше обычного значения и т. д.; «другой» — на территории ГТС ведутся несанкционированные работы; в тело дамбы уложены грунты, не предусмотренные проектом, и т. д.; «иначе чем» — появления выходов фильтрационных вод на низовой откос сооружения; в дренажном стоке отмечена мутность воды; не выполнено крепление откосов и т. д.

Таким образом, используя алгоритм процедуры идентификации опасностей методом «HAZOP» (рис. 3), для соответствующего типа грунтовой дамбы определяют ее элементы, т. е. выделяют объекты мониторинга и контролируемые показатели состояния этих элементов, а также назначают состав наблюдений, позволяющий фиксировать опасные отклонения состояния сооружения от критериев безопасности и предотвращать возникновение аварийной ситуации [2].

Пример (табл. 1) дифференцированного подхода к определению элементов системы мониторинга (объектов мониторинга и контролируемых показателей) и обоснования состава наблюдений на основе идентификации опасностей риска аварий методом HAZOP приведен для насыпной грунтовой дамбы (из суглинка с пригрузом низового откоса из вскрышной породы) с дренажными сооружениями (трубчатый продольный и поперечный каменный дренажи).

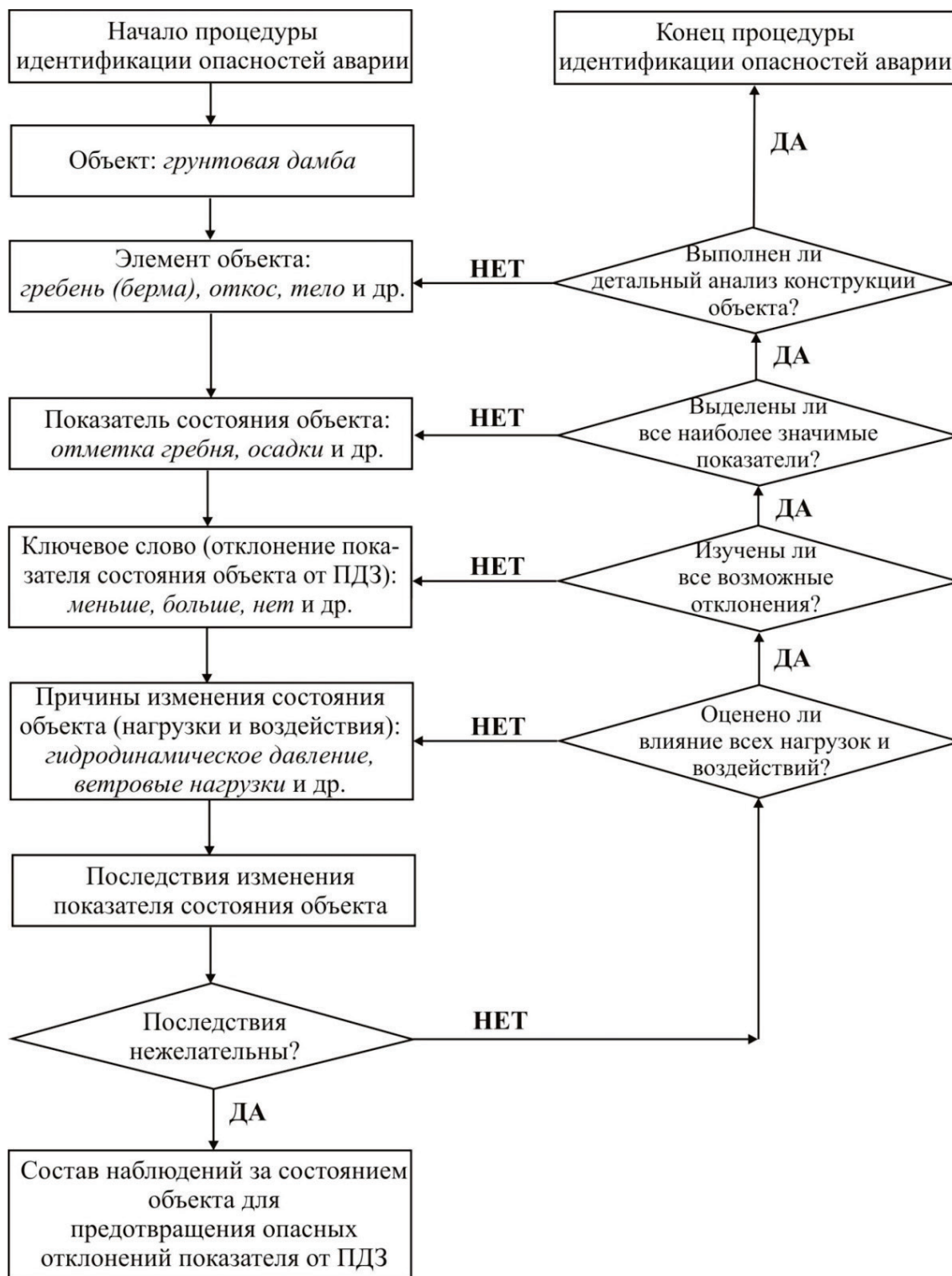


Рис. 3. Алгоритм процедуры идентификации опасностей методом HAZOP для определения элементов системы мониторинга безопасности грунтовой дамбы

Таблица 1
 Определение состава наблюдений за состоянием земляной насыпной дамбы на основе анализа опасностей риска аварий

Элемент объекта	Показатель состояния	Ключевое слово HAZOP	Нагрузки и воздействия	Последствия изменения показателя состояния	Состав наблюдений для предотвращения опасных отклонений показателя состояния ГТС от критерия безопасности	
Гребень (берма) дамбы	Высотная отметка	меньше	Ветровые и дождевые (снеговые) нагрузки Несанкционированные работы на дамбе	Перелив воды через гребень дамбы на пониженном участке, размыв тела сооружения и излив потока на прилегающую территорию	Маркшейдерский контроль: отметки гребня по пикетам. Визуальный контроль: наличие просадок и промоин	
		больше	Температурные воздействия Несанкционированные работы на дамбе	Деформации морозного пучения грунта проявляются в поверхностной части дамбы, поэтому опасности для нарушения целостности сооружений не представляются и далее не рассматриваются		
	Осадки	больше	Собственный вес сооружения (консолидация грунтов) Вес горнотранспортного оборудования	Потеря устойчивости сооружения; оползание (обрушение) откоса дамбы с образованием прорана и волны прорыва, затопление территории в нижнем бьефе		Маркшейдерский контроль: отметки поверхностных марок на гребне (берме). Визуальный контроль: наличие трещин и просадок, выходов фильтрационных вод на низовом откосе (вне дренажных устройств) с признаками суффозии
			Силовое воздействие фильтрационной воды в теле сооружения (суффозионный вынос частиц грунта из тела фильтрационным потоком)	Нарушение фильтрационной прочности и потеря устойчивости откоса, обрушение участка дамбы с образованием прорана и волны прорыва, затопление территории в нижнем бьефе		
		меньше		Опасности не представляется и далее не рассматривается		
		больше	Динамические нагрузки (землетрясение, взрывы)	Потеря устойчивости откоса, обрушение участка дамбы с образованием прорана в теле и волны прорыва, затопление территории в нижнем бьефе		Маркшейдерский контроль: координаты поверхностных марок на гребне (берме)
	Горизонтальные смещения	больше	Температурные воздействия	Ослабление структурных связей в грунте в результате многократно повторяющихся циклов замораживания и оттаивания грунта проявляются в поверхностной части дамбы, поэтому опасности для нарушения целостности сооружений не представляются и далее не рассматриваются		

Элемент объекта	Показатель состояния	Ключевое слово НАЗОР	Нагрузки и воздействия	Последствия изменения показателя состояния	Состав наблюдений для предотвращения опасных отклонений показателя состояния ГТС от критерия безопасности
Верховой откос дамбы	Целостность поверхности	меньше	Ветровые и дождевые (снеговые) нагрузки	Опасности не представляет и далее не рассматривается	
		иначе чем	Волновые и ледовые воздействия Несанкционированные работы (повреждения откоса при выемке углового шлама из емкости)	Эрозионные повреждения поверхности Размыв («берегопереработка») и нарушение устойчивости откоса дамбы Потеря устойчивости откоса дамбы	Визуальный контроль: наличие повреждений крепления откоса, оползней (оплывин) и промоин
Верховой откос дамбы	Уровень воды	больше	Гидродинамическое давление в результате: - свёрхрасчет паводок, - снижение пропускной способности водосборных сооружений, - увеличение расхода пульпы в накопитель	Переполнение емкости, перелив через гребень дамбы на пониженном участке, размыв сооружения с образованием прорана, излив потока из емкости на территорию в нижний бьеф	Маркшейдерский контроль: отметка нуля водомерной рейки. Визуальный контроль: отметка воды по водомерной рейке
Тело дамбы	Положение поверхности депрессии	меньше	Силовое воздействие фильтрационного потока в теле сооружения в результате: - старение грунтов; - снижение пропускной способности или выхода из строя дренажных устройств (кольматация, перемерзание и пр.); - превышение проектного уровня заполнения	Опасности не представляет и далее не рассматривается	
		больше		Нарушение фильтрационной прочности и потеря устойчивости откоса; обрушение участка с образованием прорана; излив воды и неконсолидированных отложений в нижний бьеф	Маркшейдерский контроль: отметки уровня воды в пьезометрах. Геофизический контроль: уровень воды в теле дамбы
		меньше		Опасности не представляет и далее не рассматривается	

Элемент объекта	Показатель состояния	Ключевое слово NAZOP	Нагрузки и воздействия	Последствия изменения показателя состояния	Состав наблюдений для предотвращения опасных отклонений показателя состояния ГТС от критерия безопасности
	Целостность поверхности	другой	Гидродинамическое давление: подтопление («подмывание») откоса за счет переполнения нагорной канавы у подножья дамбы	Потеря устойчивости откоса дамбы	Визуальный контроль: наличие подтопления откоса, повреждение крепления откоса, промоин и размывов
		иначе чем	Ветровые и дождевые (снеговые) нагрузки		

Заключение

Предлагаемая модель системы мониторинга безопасности грунтовых дамб, структурированная методом системного анализа, позволяет дифференцированно подходить к различным видам гидротехнических сооружений, с необходимой и достаточной полнотой диагностировать уязвимые зоны и определять состав объектов мониторинга, перечень количественных и качественных контролируемых показателей, их предельно-допустимые значения (критерии безопасности).

Идентификация опасностей при анализе риска аварий методом HAZOP позволяет диагностировать наиболее уязвимые зоны

грунтовых дамб накопителей жидких отходов горнопромышленных предприятий и определить состав наблюдений за состоянием гидротехнических сооружений, который позволит своевременно зафиксировать опасные деструктивные процессы и оперативно принять меры по предотвращению гидродинамической аварии.

Модель мониторинга безопасности грунтовых дамб может являться основой для составления Проекта мониторинга безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких отходов промышленных предприятий, включающего методику натурных наблюдений, средства измерений и периодичность наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Penman A.D.M., Charles J.A. Geotechnical engineering principles and the safety of embankment dams for waste impoundments. Trans. 18th Int. Congr. Large Dams, Durban, 1994.
2. Бахаева С.П., Михайлова Т.В. Определение объектов мониторинга безопасности ГТС накопителей жидких промышленных отходов // Безопасность труда в промышленности. 2005. № 10. С. 24–28.
3. РД 03-259-98. Инструкция по порядку ведения мониторинга безопасности гидротехнических сооружений предприятий, организаций, подконтрольных органам Госгортехнадзора (утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 12.01.1998 № 2).
4. РД 03-443-02. Инструкция о порядке определения критериев безопасности и оценки состояния гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов на поднадзорных Госгортехнадзору России производствах, объектах и организациях (утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 04.02.02 № 10).
5. Михайлова Т.В., Бахаева С.П. Формирование иерархической схемы мониторинга безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких промышленных отходов // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 5. С. 43–46.
6. Gresz I., Nagy I.M., Karda J. Hasznos dam, Hungary: a case study of the effects of seepage and slope stability on dam safety. Trans. 18th Int. Congr. Large Dams, Durban, 1994.
7. Luccio M. The concrete and the clay: monitoring large structure deformation // GPS World. 2002. Vol. 13. No. 8. P. 16.
8. СП 39.13330.2012. Плотины из грунтовых материалов (Актуализированная редакция СНиП 2.06.05-84*).
9. Михайлова Т.В. Системная структуризация мониторинга безопасности гидротехнических сооружений накопителей жидких горнопромышленных отходов // Маркшейдерский вестник. 2012. № 3. С. 61–63.
10. Методические рекомендации по оценке риска аварий на гидротехнических сооружениях водного хозяйства и промышленности. М.: ДАР/ВОДГЕО, 2009.
11. Методические указания по проведению анализа риска гидротехнических сооружений (СТП ВНИИГ 230.2.001-00). Санкт-Петербург: «ВНИИГ им. Веденеева», 2000.
12. Fell R. Essential components of risk assessments for dams. Workshop on Risk-based Dam Safety Evaluations. Trondheim, Norway, 28-29 June, 1997.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2019.12.4.007

УДК 627.514:622.5

© T.V. Mikhailova, 2019

T.V. MIKHAILOVA

Candidate of Engineering Sciences,

Head of Department

KuzSTU, Kemerovo

e-mail: mtv238@mail.ru

ORGANIZATION SAFETY MONITORING OF GROUNDWATER DAM STORAGE OF LIQUID WASTES OF MINING ENTERPRISES

The algorithm of constructing a system of security monitoring of groundwater dam storage of liquid wastes of mining enterprises.

The model of safety monitoring system of underground dams, a structured method for systems analysis and is described by the following characteristics: type (construction) of the dam, monitoring objects (structural elements of the dam), quantitative and quality-controlled indicators of the condition of facilities and safety criteria) and the field observations of the condition of your buildings.

To determine the elements of safety monitoring of groundwater dams used the expert method, based on the analysis of risk of hydraulic structures the method of «Analysis hazard and operability» (Hazard and Operability Study — HAZOP), taking into account their design features and operating conditions.

Using the algorithm procedure of hazard identification method HAZOP, as an example, for the bulk of an earthfill dam with drainage structures defined monitoring objects and their controllable parameters and the proposed set of observations, allows to fix a dangerous deviation state of a structure from the safety criteria and prevent the onset of an emergency.

Keywords: WATERWORKS, A DIRT DAM, SECURITY MONITORING, SAFETY CRITERIA, HYDRODYNAMIC ACCIDENT, RISK ANALYSIS.

REFERENCES

1. Penman A.D.M., Charles J.A. Geotechnical engineering principles and the safety of embankment dams for waste impoundments. Trans. 18th Int. Congr. Large Dams, Durban, 1994.
2. Bakhaeva S.P., Mikhailova T.V. Definition of objects for monitoring the safety of hydraulic structures for liquid industrial waste storage // Industrial safety [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2005. No. 10. P. 24–28. (In Russ.).
3. RD 03-259-98. Instruction on the Procedure for Monitoring the Safety of Hydraulic Structures of Enterprises, Organizations Controlled by the Bodies of the State Gortekhnadzor (Ed. Resolution of Gosgortekhnadzor of Russia of 12.01.1998 No. 2). (In Russ.).
4. RD 03-443-02. Instruction on the Procedure for Determining Safety Criteria and Assessing the Condition of Hydraulic Structures of Liquid Industrial Waste Accumulators at Russian State Gortekhnadzor's Supervised Industries, Facilities and Organizations (Ed. Resolution of Gosgortekhnadzor of Russia of 04.02.02 No. 10). (In Russ.).
5. Mikhailova T.V., Bahayeva S.P. Formation of hierarchical scheme of monitoring of safety of hydraulic structures of liquid industrial waste accumulators // Industrial safety [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 2010. No. 5. P. 43–46. (In Russ.).
6. Gresz I., Nagy I.M., Karda J. Hasznos dam, Hungary: a case study of the effects of seepage and slope stability on dam safety. Trans. 18th Int. Congr. Large Dams, Durban, 1994.
7. Luccio M. The concrete and the clay: monitoring large structure deformation // GPS World. 2002. Vol. 13. No. 8. 16 p.

8. SP 39.13330.2012. Dams from soil materials (Updated edition of SNiP 2.06.05-84*). (In Russ.).
9. Mikhail T. V. System structurization of monitoring of safety of hydraulic structures of liquid mining waste accumulators // Marksheider Gazette. 2012. No. 3. P. 61–63. (In Russ.).
10. Methodological recommendations for assessment of the risk of accidents at hydraulic structures of water management and industry. M.: DAR/VODGEO, 2009. (In Russ.).
11. Methodological instructions for carrying out risk analysis of hydraulic structures (VNIIG 230.2.001-00 STP). St. Petersburg: VNIIG named after Vedeneeva, 2000. (In Russ.).
12. Fell R. Essential components of risk assessments for dams. Workshop on Risk-based Dam Safety Evaluations. Trondheim, Norway, 28 29 June, 1997.