

УДК 628.393: 001.891.53

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ФИЛЬТРАЦИИ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШЛАМОХРАНИЛИЩ

Касперов Г.И.*, к.т.н., доцент, Левкевич В.Е.**, к.т.н., доцент,
Пастухов С.М.*, к.т.н., доцент, Кукшинов М.С.***, к.г.н., Бузук А.В.*,
Миканович Д.С.*, Кобяк В.В.****, к.т.н.

*Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь

**Институт экономики Национальной академии наук Беларуси

***Научно-практический центр Минского городского управления МЧС Республики Беларусь

****Научно-исследовательский институт пожарной безопасности
и проблем чрезвычайных ситуаций

e-mail: dmikanovich@list.ru

Усовершенствована экспериментальная установка-прибор Дарси и разработана методика лабораторных исследований для определения основных параметров фильтрации жидкости через различные грунты с целью прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях.

For the purpose of forecasting the occurrence of emergencies on hydraulic structures the experimental facility Darcy-device has been improved and the methods of laboratory studies aimed at the determination of basic parameters of fluid filtration through various soil types have been developed.

(Поступила в редакцию 30 марта 2015 г.)

Введение. Характеристики фильтрационных свойств грунтов являются важнейшими исходными данными при проектировании любого напорного гидротехнического сооружения. Прежде всего, они необходимы для выбора рациональной схемы его подземного контура, расчета конструкции водоупорного элемента, а также для оценки фильтрационных утечек, скорости консолидации грунта в основании и т. п. [1]. Кроме того, для прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на гидротехнических сооружениях шламохранилищ необходимо знать свойства грунта: водопроницаемость и суффозионную устойчивость, а также оценивать скорость и коэффициент фильтрации жидкости через тело плотина. Именно последняя составляющая является наиболее важной с точки зрения прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

За 1968-2014 гг. в мире произошло более 100 аварий на гидротехнических сооружениях шламохранилищ. Наиболее известная авария произошла 4 октября 2010 на (производственной компании MAL Zrt) крупном глиноземном комбинате (Ajkaí Timfoldgyar Zrt) в 160 километрах западнее Будапешта. В результате аварии произошло разрушение бетонных стен, из хранилища вылились около 1,1 миллиона кубометров красного шлама, который представляет собой нерастворимый осадок, образующийся при производстве глинозема и содержит щелочь и тяжелые металлы. Авария привела к гибели 7 человек, 10 человек получили ожоги, пострадали порядка 160 человек, 390 человек были временно переселены, около 5 тыс. чел. готовились к эвакуации. На территории подверженной разрушению был введен режим чрезвычайного положения в трех областях, существовала опасность попадания ядовитых веществ в воды Дуная [7].

Что касается Республики Беларусь, то в нашей стране имеется более 50 шламохранилищ, однако полномасштабные исследования в области оценки технического состояния их гидротехнических сооружений с прогнозированием возможных чрезвычайных ситуаций не проводились. Стоит отметить, что в нормативной и научной литературе не достаточно внимания уделяется вопросам безопасной эксплуатации именно представленного типа сооружений, хотя они обладают рядом особенностей и представляют опасность для жизнедеятельности человека, поскольку шламы и технологическая вода содержат в своем составе синтетические поверхностно-активные вещества. Эти примеси способны уменьшать вязкость воды в

несколько раз. Наличие в шламе различных химических веществ будет способствовать увеличению скорости фильтрации и может привести к более тяжелым экономическим и экологическим последствиям при аварии на гидротехнических сооружениях [8].

Исходя из представленных особенностей гидротехнических сооружений шламохранилищ, можно сделать вывод, что их изучение является актуальным направлением в сфере предупреждения чрезвычайных ситуаций. Поэтому немаловажное значение имеет изучение взаимодействия причин и факторов, оценка их влияния на риск возникновения чрезвычайных ситуаций. В настоящее время в Республике Беларусь отсутствует методика по оценке риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях шламохранилищ.

Для определения основных параметров фильтрации жидкости через различные грунты с целью прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях была разработана методика лабораторных исследований и усовершенствована экспериментальная установка-прибор Дарси.

Экспериментальная установка позволяет проводить исследования в лабораторных условиях на водопроницаемость и суффозионную устойчивость образцы грунтов или отдельные фрагменты сооружения. В результате исследований можно определить не только критические состояния фильтрационного потока, но и изучить более общие закономерности взаимодействия грунта с фильтрационным потоком, что редко удается сделать при проведении экспериментов в натуральных условиях [1].

Разработанная методика регламентирует порядок проведения лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации песчаных грунтов и в результате определяются следующие количественные показатели для коэффициента фильтрации песчаных грунтов:

- фильтрационный расход и средняя скорость фильтрации;
- потенциальные напоры;
- потери напора на каждом участке;
- средняя потеря напора и средний гидравлический уклон;
- критическая и действительная скорости фильтрации.

Согласно методике лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации различных грунтов в лабораторных условиях необходимо произвести определение гранулометрического состава грунта в соответствии с [4] в зависимости от весового содержания в нем водостойких микроагрегатов различной крупности, выраженных в процентах по отношению к весу сухой пробы грунта, взятой для анализа. Пределы допускаемой относительной погрешности измерений составляют около 15%.

Описание лабораторной установки. Лабораторная установка применяется для определения скорости и коэффициента фильтрации различных образцов грунта. Схема лабораторной установки представлена на рисунке 1.

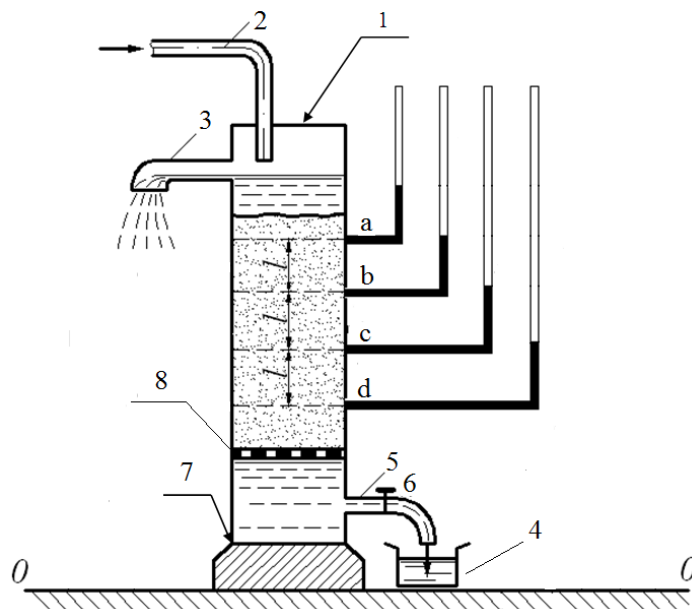
Разработанная установка обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными установками:

1. увеличено количество пьезометров, что позволило более точно определить потери напора;
2. для предотвращения вымывания из грунта мелкой фракции (мелкозема) предусмотрена отсыпка из гравия в нижней части колонны;
3. установка изготовлена из прозрачного материала (оргстекло), что позволило визуализировать процесс фильтрации;
4. установка обладает мобильностью, что позволяет использовать ее в полевых условиях.

Исходя из схемы, представленной на рисунке 1 установка состоит из вертикальной колонки (1) прямоугольного сечения площадью с глухим закрытым дном (7). В нижней части колонки на определенной высоте (0,3 м) от дна закреплена металлическая решетка (8), которая разделяет колонку на две части. В верхнюю часть загружается грунт, в нижней располагается кран для регулирования фильтрационного расхода (6). Верхняя часть колонки имеет четыре отверстия со штуцерами, к которым подключены 4 пьезометра (a, b, c и d).

Со стороны грунта отверстия закрыты металлической сеткой. Все пьезометры выведены на щиток, нуль шкалы которого совпадает с плоскостью сравнения 0–0, расположенной ниже основания прибора. Расстояния между пьезометрами одинаковые и равны 0,25 м.

Для поддержания постоянного уровня воды в приборе в верхней части колонки предусмотрена трубка (3). Подвод воды осуществляется по трубке (2). Через песок пропускается вода при постоянной разности напоров. Толщина слоя песка, его фракционный состав и разность напоров в разных опытах различны. Профильтровавшаяся вода по трубке (5) через кран (6) попадает в мерный сосуд (4).



- 1 – вертикальная колонка прямоугольного сечения; 2 – трубка для подачи воды в установку;
 3 – трубка для поддержания уровня воды; 4 – мерный сосуд; 5 – трубка подвода воды в мерный сосуд;
 6 – кран для регулирования фильтрационного расхода; 7 – дно экспериментальной установки;
 8 – металлическая решетка и отсыпка из гравия; a, b, c, d – пьезометры

Рисунок 1 – Схема лабораторной установки

Для проведения лабораторных исследований по определению коэффициента фильтрации различных грунтов в лабораторных условиях производится отбор проб на исследуемых гидротехнических сооружениях. Пробы грунтов отбираются в соответствии с руководством по проведению инженерно-изыскательских работ [1,2]. Подготавливая грунт к испытаниям на водопроницаемость, сначала отбираются представительные пробы (навески) с учетом следующих требований:

- каждая проба имеет полный набор фракций частиц, содержащихся в грунте;
- места отбора проб и их количество выбираются исходя из предварительно установленной схемы геологического строения массива основания с учетом тех предполагаемых изменений режима фильтрации грунтовых вод, какие могут произойти в результате создания напора на сооружение, для проектирования которого используются определяемые характеристики грунтов;
- по зерновому составу грунт в приборе (образец) не должен отличаться от исходной пробы или грунта с определенными расчетными характеристиками;
- размер наиболее крупных частиц в грунте (образце) не должен превышать одной четверти диаметра рабочей камеры прибора;
- перед самой укладкой грунта в прибор отбираются контрольные пробы на влажность;
- грунт укладывается в прибор отдельными слоями, подвергаясь легкому уплотнению трамбованием, а около стенок камеры – штыкованием;
- перед проведением эксперимента проводится водонасыщение грунта. Во время замачивания открываются выпускные отверстия пьезометрических краников, облегчая тем самым выдавливание воздуха из грунта;

– перед проведением эксперимента проводятся мероприятия предотвращающие пневмокольматаж (весьма существенное снижение проницаемости вследствие закупорки пор воздухом, выделившимся из протекавшей через грунт воды). К таким мероприятиям относятся:

а) предварительный подогрев воды до температуры воздуха в помещении лаборатории (или на 2-3 выше), после чего подогретая вода в течение одних-двух суток отстаивается в водонапорном баке, из которого затем ее подают к установкам;

б) использование кипяченой или дистиллированной воды (если потребление ее в эксперименте сравнительно невелико);

с) предварительное вакуумирование используемой в эксперименте воды.

д) испытание грунта в случае, когда с низовой стороны образца создают достаточно высокое противодавление, препятствующее выделению из воды растворенного в ней воздуха;

е) очень быстрое испытание грунта при малых градиентах напора и расходах фильтрации, вследствие чего пневмокольматаж за время опыта проявляется незначительно.

Проведение лабораторных исследований. При проведении исследований по определению коэффициента фильтрации песчаного грунта проводятся однотипные серии.

По трубке (2) из системы водоснабжения подается вода в колонку (1) с испытуемым грунтом и проводится проверка работы пьезометров (а, б, с, д). При закрытом кране (6) уровни воды во всех четырех пьезометрах должны находиться на одной и той же отметке. После этого открывается кран (6) и после установления неизменного во времени положения уровня воды в пьезометрах при фильтрации воды через грунт проводятся измерения расхода объемным способом при помощи мерного сосуда (4) и секундомера или при помощи мерной иглы. В каждом опыте проводятся измерения температуры воды, в связи с тем, что температура жидкости способна оказывать влияние на ее вязкость.

Далее определяются показания пьезометров, которые соответственно равны потенциальным напорам. Регулирующим краном последовательно устанавливаются несколько различных фильтрационных расходов, все измерения повторяются заново.

Обработка результатов измерений. По объему W в мерном сосуде и времени t для каждого опыта определяется фильтрационный расход, м³/с:

$$Q = \frac{W}{t}, \quad (1)$$

и далее средняя скорость фильтрации, м/с:

$$V = \frac{Q}{\omega}. \quad (2)$$

Записываются показания пьезометров H_1, H_2, H_3, H_4 и определяются потери напора на первом, втором и третьем участке, м:

$$h_{mp1} = H_1 - H_2. \quad (3)$$

$$h_{mp2} = H_2 - H_3. \quad (4)$$

$$h_{mp3} = H_3 - H_4. \quad (5)$$

Далее определяется средняя потеря напора, м:

$$h_{mp3} = \frac{h_{mp1} + h_{mp2} + h_{mp3}}{3}, \quad (6)$$

средний гидравлический уклон, м:

$$J = \frac{h_{cp}}{l}, \quad (7)$$

где l – путь фильтрации.

Действительная скорость фильтрации, м/с:

$$V_o = \frac{V_{кр}}{m}. \quad (8)$$

Коэффициент фильтрации k подсчитывается по формуле

$$k = \frac{V}{J}. \quad (9)$$

При выполнении измерений применяются следующие средства измерений и вспомогательное оборудование: пьезометры; цилиндры мерные 1-500 (ГОСТ 1770), весы лабораторные аналитические (ГОСТ 24104); набор сит с поддоном (ГОСТ 12536); ступка фарфоровая (ГОСТ 9147); пестик (ГОСТ 9147); чашка фарфоровая (ГОСТ 9147); нож; шкаф сушильный; контрольно-запорная арматура.

Выводы. Для разработки и применения теоретических основ при прогнозировании чрезвычайных ситуаций в Республике Беларусь разработана методика и лабораторная установка для определения вероятности разрушения гидротехнических сооружений шламохранилищ вследствие нарушения режима фильтрации.

При проектировании любого гидротехнического сооружения, следует учитывать химический состав жидкости, поскольку синтетические поверхностно-активные вещества, находящиеся в ней, способны уменьшать вязкость в несколько раз, что будет способствовать увеличению скорости фильтрации и может привести к более тяжелым экономическим и экологическим последствиям при аварии на гидротехнических сооружениях.

Результаты проведенных исследований, положенные в основу методологии оценки величины риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидротехнических сооружениях, позволят осуществлять прогнозирование воздействия аварий и минимизировать возможный ущерб от них. Результаты исследований могут быть использованы при комплексной оценке состояния шламохранилищ, Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь при прогнозировании возникновения ЧС и оценке их последствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. П 12-83 Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость. – Ленинград, 1983 – 38 с.
2. Битюрин, А.К. Фильтрация воды в гидротехнических сооружениях / А.К. Битюрин. – Часть I. Методические указания. – Н.Новгород: Нижегород. гос. архит. – строит.ун-т, 2011 – 22 с.
3. СТБ 943-2007 Грунты. Классификация. – Минск, 2007 – 27 с.
4. ГОСТ 12536-79 Грунты, методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава– Москва, 1979 – 39 с.
5. ГОСТ 8.010-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений – Межгосударственный стандарт, 2006 – 29 с.
6. Бонч-Осмоловская, Н.Е, Механика жидкости и газа. Лабораторный практикум: учебное пособие / Н.Е.Бонч-Осмоловская и др., под ред. И.В. Качанова и В.Н. Юхновца. – 4-е изд., перераб. и доп.. – Мн.: БНТУ, 2006. – 299 с.
7. Информационный сайт [Электронный ресурс] / Из-за катастрофы в Венгрии в Украине начинается внеплановая проверка двух крупных заводов. – Киев, 2010. – Режим доступа: [http:// dozor.kharkov.ua/zhizn](http://dozor.kharkov.ua/zhizn). – Дата доступа: 15.03.2010.
8. Сычѳв, Я.В. Экологическая безопасность при организации деятельности индустриального парка / Я.В. Сычѳв // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2012. – № 4. – С. 47–51.