

## КОМПЛЕКСНАЯ ЭКСПРЕСС ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН

**Осадчий В.С.**, к.т.н., доцент  
**Анисимов К.И.**, доцент  
**Горенко А.В.**, к.т.н., доцент  
**Бааджи В.Г.**,  
*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*  
ovs-55@bk.ru

**Аннотация.** Техническое состояние грунтовых гидротехнических сооружений зависит от точности и объема информации, полученной в результате проведения натурных исследований на объекте. Своевременная и полная информация о фильтрационном состоянии грунтовых сооружений позволяет избежать многих аварий. Особое внимание заслуживают вопросы исследования фильтрации в теле грунтовых гидротехнических сооружениях и их основаниях.

В статье на основании натурных наблюдений и аналитических расчетов дана оценка фильтрационного состояния исследуемой грунтовой плотины. При проведении натурных обследований были определены удельные фильтрационные расходы, температура воды в дренажной канаве, водохранилище и пьезометрических скважинах, положение депрессионной кривой в теле плотины. В процессе работы разработана методика комплексной экспресс оценки фильтрационного состояния грунтовых плотин. Данная методика позволяет за короткий промежуток времени дать полную оценку фильтрационного состояния сооружения.

**Ключевые слова:** грунтовая плотина, пьезометрическая скважина, мерная лента, водослив, температурный датчик, дренажная канава, суффозия.

## КОМПЛЕКСНЕ ЕКСПРЕС ОЦІНЮВАННЯ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СТАНУ ГРУНТОВИХ ГРЕБЕЛЬ

**Осадчий В.С.**, к.т.н., доцент  
**Анісімов К.І.**, доцент  
**Горенко О.В.**, к.т.н., доцент  
**Бааджи В.Г.**,  
*Одеська державна академія будівництва та архітектури*  
ovs-55@bk.ru

**Анотація.** Технічний стан грунтових гідротехнічних споруд залежить від точності і обсягу інформації, отриманої в результаті проведення натурних обстежень на об'єкті. Своєчасна і повна інформація про фільтраційний стан грунтових споруд дозволяє уникнути багатьох аварій. Особливу увагу заслуговують питання дослідження фільтрації в тілі грунтових гідротехнічних споруд та їх основ.

У статті на основі натурних спостережень і аналітичних розрахунків дана оцінка фільтраційного стану досліджуваної грунтової греблі. При проведенні натурних обстежень були визначені питомі фільтраційні витрати, температура води в дренажній канаві, водосховищі і пьезометричних свердловинах, положення депресійної кривої в тілі греблі. У процесі роботи розроблена методика комплексного експрес оцінювання фільтраційного стану грунтових гребель. Дана методика дозволяє за короткий проміжок часу дати повну оцінку фільтраційного стану споруди.

**Ключові слова:** грунтова гребля, пьезометрична свердловина, мірна стрічка, водозлив, температурний датчик, дренажна канава, суффозія.

## COMPLEX EXPRESS ASSESSMENT OF FILTRATIONAL CONDITIONS OF SOIL DAMS

**Osadchy V.S.**, PhD., Assistant Professor  
**Anisimov K.I.**, Assistant Professor  
**Gorenko A.V.**, PhD., Assistant Professor  
**Baadzhi V.G.**

*Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*  
ovs-55@bk.ru

**Abstract.** Technical condition of soil hydraulic engineering constructions depends on accuracy and the volume of information obtained as a result of carrying out natural researches on object. Timely and full information on a filtration condition of soil constructions allows avoiding many accidents. The special attention is deserved by questions of research of a filtration in a body soil hydraulic engineering constructions and their bases.

In article on the basis of natural supervision and analytical calculations the assessment of a filtration condition of the studied soil dam is given. When carrying out on-site investigations specific filtration expenses, water temperature in a drainage ditch, a reservoir and the piezometric wells, the provision of a depression curve in a dam body have been defined. In the course of work the technique complex the express of an assessment of a filtration condition of soil dams is developed. This technique allows giving a full assessment of a filtration condition of a construction for a short period.

**Keywords:** soil dam, pyezometric well, measured tape, spillway, temperature sensor, drainage ditch, suffusion.

**Введение.** В настоящее время на территории Украины и в Одесской области в частности имеется большое количество грунтовых плотин находящихся в предаварийном и аварийном состоянии. Дальнейшее повреждение или разрушение этих сооружений может повлечь за собой экологическую катастрофу. К таким сооружениям можно отнести: хранилище стоков Балтского молочно-консервного комбината, дамбу Хаджибейского лимана, хранилище стоков Припортового завода, Беляевскую плотину.

В практике гидротехнического строительства нередко случаи разрушений грунтовых плотин, в том числе и с катастрофическими последствиями и человеческими жертвами. При этом около 55% разрушений грунтовых плотин приходится на сооружения высотой от 15 до 30 м. Значительное количество аварий на грунтовых гидротехнических сооружениях происходит вследствие негативного влияния фильтрации. По этой причине весьма актуальными являются вопросы, связанные с исследованиями фильтрационного режима сооружений.

Известно, что техническое состояние грунтовых гидротехнических сооружений во многом зависит от точности и объема информации, полученной в результате проведения натурных исследований на объекте. Своевременная и полная информация о техническом состоянии грунтовых сооружений позволяет избежать многих аварий. Главным образом это относится к проблемам фильтрации в теле сооружения, оснований и береговых примыканий. Особое внимание заслуживают вопросы исследования фильтрации в теле грунтовых гидротехнических сооружениях и их основаниях.

**Цели и задачи.** Целью работы являлась разработка метода комплексной экспресс оценки фильтрационного состояния грунтовых плотин.

Исходя из цели работы, задачи настоящего исследования можно сформулировать следующим образом:

- 1) оценить фильтрационное состояние плотины Беляевского водохранилища;
- 2) разработать методику экспресс оценки фильтрационного состояния грунтовых

гидротехнических сооружений с учетом местных особенностей сооружения.

Оценка фильтрационного состояния плотины подразумевает определение положения кривой депрессии в теле плотины, оценку степени фильтрационной неоднородности по высоте и длине плотины и нахождение фильтрационных расходов. Это позволит оценить действующие градиенты фильтрации и фильтрационную прочность, а также определить степень устойчивости плотины и сосредоточенные пути фильтрации.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования являлась грунтовая плотина, расположенная в Беляевском районе, Одесской области и входящая в состав Нижнеднестровской оросительной системы. Основанием грунтовой плотины служит ил мощностью до 6 м, подстилаемый слоями песков мелкозернистых и гравелистых мощностью 1...1,5 м. Ниже на отметках - 7...9 м отмечены серые глины. С пикета ПК0 до ПК2 основанием плотины служат средние суглинки, серовато-желтые с прослойками легких суглинков.

Плотина с ПК3 до ПК4 + 66,0 м имеет заложение верхового откоса  $m=8$ , который защищен сборными железобетонными плитами размерами в плане  $4,0 \times 2,0$  м, толщиной 0,1 м. Плиты уложены на слой обратного фильтра толщиной 0,2 м. Ширина гребня плотины составляет 4,5 м. Низовой откос имеет заложение  $m=8$  и защищен от атмосферных воздействий посевом многолетних трав. С пикета ПК3 +24 верховой откос плотины не имеет облицовки, поэтому для придания ему устойчивости при волновом действии, заложение откоса принято  $m=10$ . Эти два участка плотины также различны и в конструктивном отношении. На первом участке плотина насыпана из суглинка с  $k_f=0,3$  м/сут. (рис. 1, а). Второй участок плотины представлен неоднородным профилем в виде экрана из суглинка с  $k_f=0,3$  м/сут. и низовой призмой из разнородного грунта с  $k_f=0,6$  м/сут. (рис. 1, б).

Плотина связана с грунтовым основанием зубом глубиной 1,5 м, с заложением откосов 1:2. Дренажным устройством плотины является дренажная канава глубиной 0,5 м и шириной по дну 1,0 м.

Водосброс плотины переходит в отводящий канал шириной по дну 2,5 м и длиной 95 м. Дно и откосы канала облицованы сборными железобетонными плитами. Далее канал переходит в необлицованное русло, которое выходит на пойму. Через пойму проходит автодорога по насыпи, в которой устроен однопролетный мостовой переход. Высота подмостового габарита 2,28 м, ширина 12,5 м.

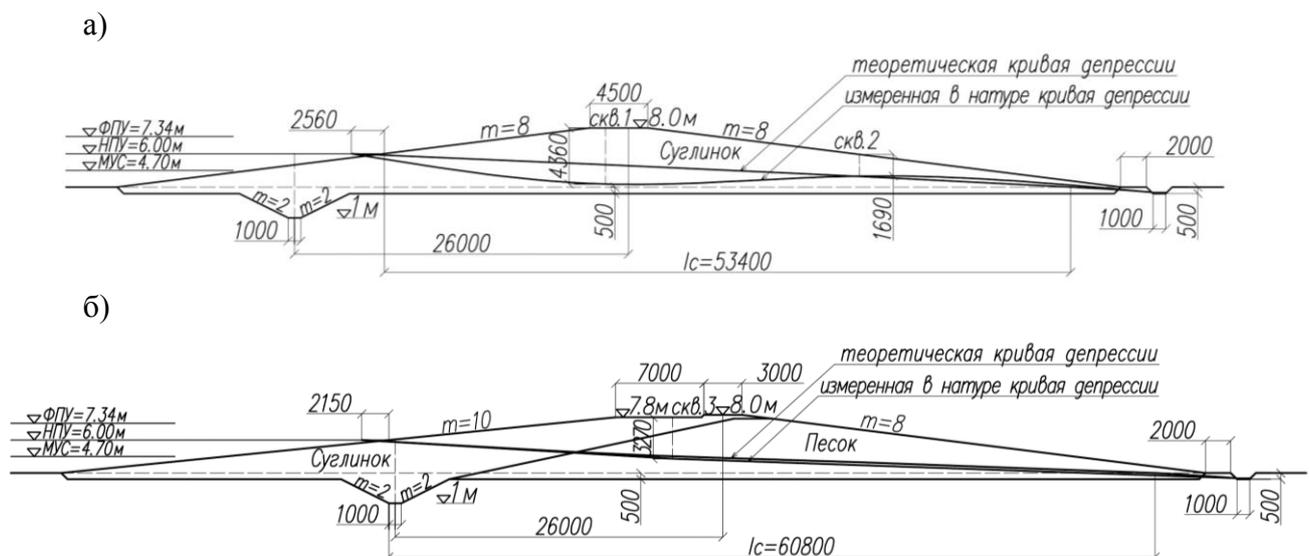


Рис. 1. Поперечные разрезы однородной (а) и неоднородной (б) частей плотины

Исследование фильтрационного состояния грунтовой плотины производилось с использованием натуральных методов исследований на объекте. Полученные результаты были проверены при помощи ряда аналитических расчетов, направленных на определение

удельных фильтрационных расходов и положения кривой депрессии в теле плотины.

**Результаты исследований.** В процессе работы возникла необходимость провести натурные экспериментальные исследования фильтрационных процессов, происходящих в теле и основании грунтовой плотины. Для этого был произведен ряд подготовительных работ, связанных с устройством пьезометрических скважин. В пьезометрических скважинах измерялось реальное положение кривой депрессии в теле грунтовой плотины. Измерение уровней проводилось мерной лентой с хлопущкой на конце, что позволяет достичь точности измерения до 1 см.

Поскольку в основании и теле плотины залегают грунты с низкими коэффициентами фильтрации, то было предположено, что установление стабильного уровня в пробуренных пьезометрических скважинах произойдет со временем. Поэтому измерение уровней производилось несколько раз с периодичностью в неделю.

В пробуренных скважинах кроме замеров пьезометрических уровней были произведены измерения температуры фильтрационного потока (рис. 2). Также, замеры температуры воды были произведены непосредственно в водохранилище и по длине дренажной канавы. Измерение температуры проводилось с помощью температурного датчика DS18B20, подключенного через адаптер 1-WIRE сети DS 9097 U-E к компьютеру. Температурный датчик, управляемый по 1-WIRE интерфейсу представляет собой высокоточный цифровой термометр с однопроводным интерфейсом в стандарте MICRO LAN. Диапазон измеряемых температур от  $-55^{\circ}\text{C}$  до  $+125^{\circ}\text{C}$ . Цифровой код, который считывается с прибора, является прямым непосредственным кодом измеренного значения температуры и не нуждается в превращениях. Абсолютная погрешность превращения менее  $0,125^{\circ}\text{C}$  в диапазоне контролируемых температур от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+85^{\circ}\text{C}$ .



Рис. 2. Измерение температуры воды в пьезометрической скважине

Температурный датчик был установлен в металлическую трубку и защищен от действия окружающей среды резиновой капсулой. Трубка была герметически закрыта пробкой из эпоксидного клея, чтобы исключить контакт цифрового термометра с водой.

В результате произведенных замеров было установлено, что температура воды в первой скважине составляет  $13,25^{\circ}\text{C}$ ; во второй скважине  $9,125^{\circ}\text{C}$ ; в третьей  $12,625^{\circ}\text{C}$ . Температура воды в водохранилище  $5,31^{\circ}\text{C}$ . Измерения температуры воды по длине

дренажной канавы производились через каждые 10...20 м. Результаты измерений температуры воды в дренажной канаве приведены на графике (рис. 3).

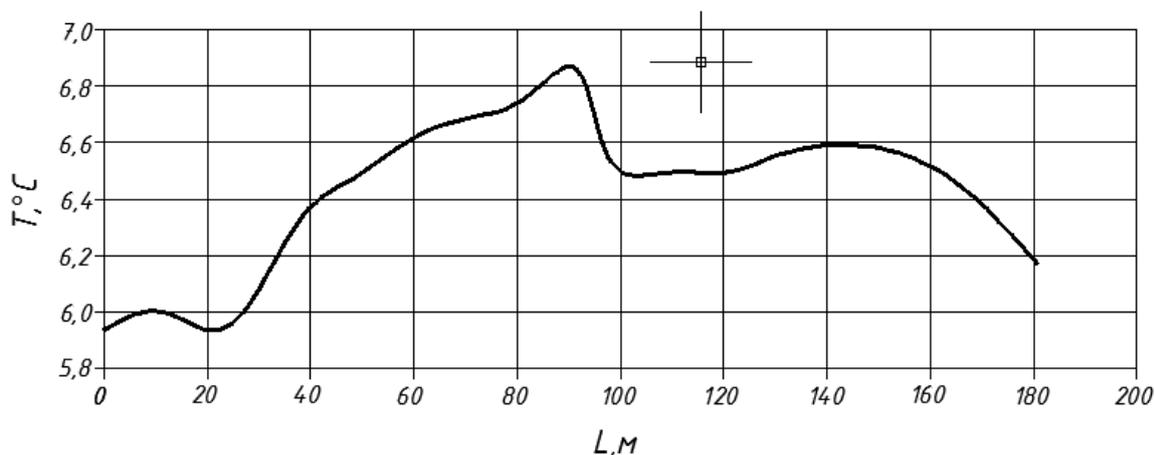


Рис. 3. График изменения температуры воды по длине дренажной канавы

Расход воды через плотину был получен путем установки в дренажной канаве мерных водосливов, по напору на которых определялся расход на водосливе (рис. 4). Водослив предварительно был протарирован в лаборатории кафедры энергетического и водохозяйственного строительства. Замер напора на водосливе осуществлялся в трех точках и производился с помощью штангенциркуля. Напор на водосливе определялся, как среднее арифметическое от трех значений, найденных в различных точках. По разности расходов, полученных на двух соседних створах, зная расстояние между створами, получен расход через плотину на каждом участке.



Рис. 4. Измерение расхода в дренажной канаве с помощью радиального водослива

Помимо натуральных наблюдений, также был выполнен ряд аналитических расчетов, направленных на:

- а) теоретическое определение положения кривой депрессии по двум характерным сечениям;
- б) определение расхода воды через плотину.

По полученным результатам были сделаны следующие выводы о реальном состоянии фильтрационного режима исследуемой грунтовой плотины.

Положение депрессионной кривой в теле однородной плотины ниже проектного на 1,5 м, в теле неоднородной плотины на 0,2 м. Это обстоятельство свидетельствует о повышении водонепроницаемости верхового откоса и хорошей дренирующей способности песчаной прослойки, которая в основании прорезана зубом. Данный результат оказывает положительное влияние на сооружение, поскольку низкий уровень кривой депрессии повышает степень устойчивости плотины.

Измеренный фильтрационный расход на участке неоднородной плотины составил 0,22 м<sup>2</sup>/сут. на один метр длины плотины. Теоретический же расход составил 0,15 м<sup>2</sup>/сут. на метр длины. На участке однородной плотины измеренный расход равен 0,26 м<sup>2</sup>/сут, а теоретический расход равен 0,20 м<sup>2</sup>/сут. Учитывая точность определения полевыми методами и коэффициенты фильтрации грунтов основания, а также приблизительность принятых коэффициентов фильтрации грунтов тела плотины, можно считать погрешность рассчитанных расходов и измеренных в натуре удовлетворительной.

В результате измерений температуры фильтрующего потока не было обнаружено сосредоточенных путей фильтрации.

Поскольку в настоящее время весьма актуальными являются вопросы, связанные с проведением натурных исследований фильтрации, то для проведения быстрого анализа фильтрационного состояния сооружений необходимо иметь четкую методику. Однако на сегодняшний день не существует такой методики, позволяющей за короткий промежуток времени дать полную оценку фильтрационного состояния сооружений. По этой причине в данной работе была предпринята попытка создания такой методики.

Таким образом, при проведении работ по натурному обследованию фильтрации на грунтовых плотинах, целесообразно производить работы в следующей последовательности:

1. На первом этапе следует произвести визуальное обследование плотины с целью выявления фильтрационных аномалий (выходов фильтрации на низовом откосе, фильтрационного выпора, суффозии).

2. Независимо от результатов визуального обследования следует производить замеры температуры по длине дренажной канавы через каждые 10 метров с целью выявления всплесков температуры. При этом датчик необходимо выдерживать в воде до полной стабилизации показаний термометра в зависимости от типа измерительного устройства.

3. Определив температуру воды по длине дренажной канавы и обнаружив неоднородность температуры на отдельных участках необходимо в пределах этих участков назначить несколько створов. Затем в этих створах необходимо установить предварительно протарированный мерный водослив с известным коэффициентом расхода. Это позволит определить расход воды, профильтровавшейся через тело грунтовой плотины. С целью получения точных значений расхода, мерные водосливы следует устанавливать при помощи уровня. Замер напора на водосливе осуществлять в трех точках и производить при помощи штангенциркуля. По разности расходов между двумя соседними створами, зная расстояние между этими створами, можно получить удельный фильтрационный расход через плотину на каждом участке.

4. На следующем этапе, получив различные значения фильтрационного расхода, необходимо назначить несколько поперечных створов по длине плотины. Точки наблюдения предполагается назначать между двумя соседними створами, в которых измерялся расход через плотину. Далее требуется пробурить несколько скважин в теле плотины и провести измерения температуры воды и положения кривой депрессии. Измерение уровней проводить мерной лентой с хлопущкой на конце, что позволит достичь точности измерения до 1 см.

5. Получив температуру воды в пьезометрических скважинах и определив положение

кривой депрессии, следует произвести замер температуры воды непосредственно в водохранилище.

6. После проведения натурных обследований на объекте необходимо произвести обработку и систематизацию результатов наблюдений:

- а) построить изотермы на разрезах и в плане на различных отметках;
- б) определить приток к дренажу по длине плотины;
- в) построить кривые депрессии по поперечным и продольным разрезам;

г) по имеющемуся ходу температуры воды в водохранилище и полученным температурам по длине дренажной канавы оценить скорость фильтрации (коэффициент фильтрации) на данных участках.

7. Произвести фильтрационные расчеты:

а) построить кривые депрессии и определить расходы при проектных условиях;

б) произвести расчеты с учетом реальных измеренных характеристик и сравнить их с результатами натурных наблюдений;

в) если данные совпадают, то следует построить гидродинамическую сетку и определить градиенты напора;

г) сравнить действительные градиенты с допустимыми для данного вида грунта и сделать вывод о возможности появления деформаций;

д) если расходы и градиенты являются недопустимыми, требуется разработать технические меры по их уменьшению;

е) проверить устойчивость откосов плотины.

Из выше изложенного следует, что при проведении натурных исследований фильтрации весьма существенную роль играют и аналитические фильтрационные расчеты. Нередко только расчет позволяет произвести анализ данных, полученных в результате натурного обследования и точно оценить фильтрационное состояние сооружения.

**Выводы.** На основании натурных наблюдений и аналитических расчетов, направленных на определение фильтрационного состояния плотины, по данной работе можно сделать следующие выводы:

1. Все фильтрационные расчеты должны сопровождаться натурными исследованиями на объекте, а при необходимости подтверждаться экспериментом, проводимым в лабораторных условиях. Учитывая точность определения величин удельного фильтрационного расхода полевыми методами и коэффициенты фильтрации грунтов основания, а также приблизительность принятых коэффициентов фильтрации грунтов тела плотины, можно считать погрешность рассчитанных расходов и измеренных в натуре удовлетворительной. В результате проведенных измерений температуры фильтрующегося потока не было обнаружено сосредоточенных путей фильтрации. По высоте и длине плотины не выявлено фильтрационной неоднородности. Это обстоятельство свидетельствует о том, что фильтрационный режим плотины не вызывает никаких опасений. Таким образом, фильтрационная прочность, а также устойчивость плотины обеспечены;

2. В процессе исследования была разработана методика комплексной экспресс оценки фильтрационного состояния грунтовых плотин. Данная методика позволяет производить быстрый анализ фильтрационного состояния сооружений и на основании полученных данных дать полную оценку технического состояния сооружения.

## Литература

1. Рассказов Л.Н. Гидротехнические сооружения / Л.Н. Рассказов, В.Г. Орехов, Н.А. Анискин. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 584 с.

2. Недрига В.П. Гидротехнические сооружения / В.П. Недрига, Г.В. Железняков, Ю.А. Ибад-заде. – М.: Стройиздат, 1983. – 543 с.

3. Аравин В.И. Натурные исследования фильтрации / В.И. Аравин, О.Н. Носова. – Л.: Энергия, 1969. – 256 с.