

---

---

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЛЩИНЫ ВОДОПРОНИЦАЕМОГО СЛОЯ ОСНОВАНИЯ ПЛОТИНЫ НА ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРАЦИОННОГО ПОТОКА ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**В.И. Елфимов, Д.Е. Кумеров,  
Абу Махади Мохаммед Ибрагим**

Кафедра гидравлики и гидротехнических сооружений  
Инженерный факультет  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Макляя, 6, Москва, Россия, 117198*

В статье рассматривается вопрос влияния толщины водопроницаемого слоя однородной плотины на параметры фильтрационного потока. Установлено, что она значительно влияет на параметры фильтрационного потока и это влияние различно.

**Ключевые слова:** грунтовые воды, фильтрация, однородная плотина, водопроницаемое основание.

Изучению фильтрации посвящены труды многих ученых мира. основоположниками русской (советской) школы являются Н.Е. Жуковский, Н.Н. Павловский, Л.С. Лейбензон. Теория и практика расчета параметров фильтрационного потока имеет большое практическое значение для гидротехнического и гидромелиоративного строительства, для нефте- и газодобывающей промышленности, а также для горного дела. Первые экспериментальные исследования по фильтрации в песчаных грунтах французского инженера Г. Дарси показали линейную зависимость между скоростью фильтрации и потерями напора, получившего название закона Дарси. Однако общей теории фильтрации не было до выхода в свет работы Н.Е. Жуковского «Теоретические исследования о движении подпочвенных вод», где впервые были выведены дифференциальные уравнения фильтрации. Фундаментом российской школы теории фильтрации явилась монография Н.Н. Павловского «Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями и ее основные приложения». В ней автор предложил критерии применимости линейного закона фильтрации, используемые в дальнейшем многими исследователями.

**Лабораторные исследования параметров фильтрационного потока.** Экспериментальная установка изображена на рис. 1. Она изготовлена из прокатного стального профиля и укреплена уголком. Задняя панель изготовлена из оргстекла крепится одиннадцатью оцинкованными болтами на силиконовую подложку, что обеспечивает герметичность и коррозионную стойкость. Передняя панель выполнена из стекла толщиной 10 мм и изготовлена по образцу задней панели. По краям модели располагаются две трубки 3, регулирующие необходимый уровень в верхнем и нижнем бьефах. У основания модели располагается шаровый кран 7, который служит для полного опорожнения лотка.

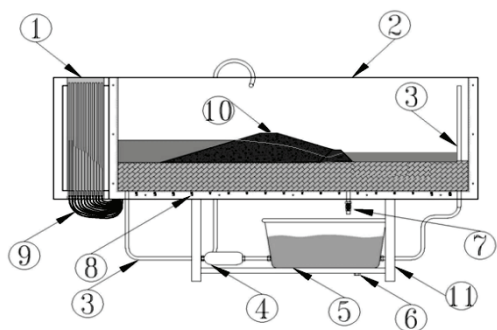


Рис. 1. Экспериментальный стенд

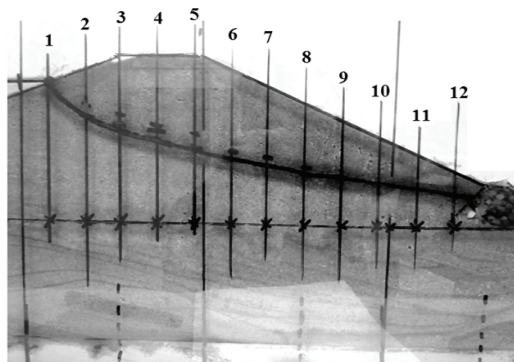
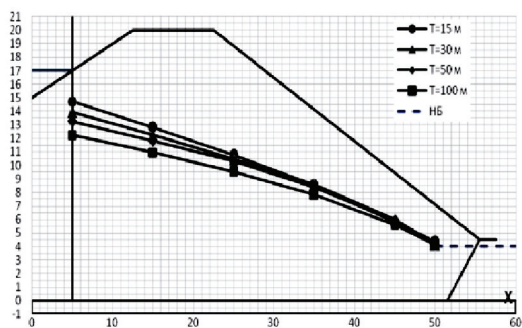


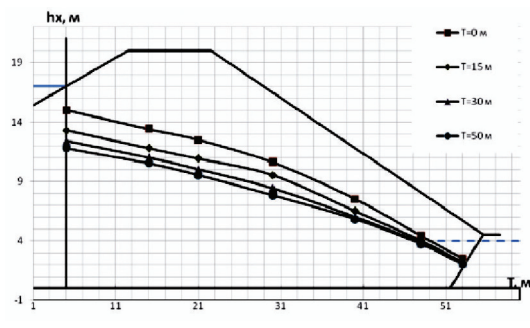
Рис. 2. Экспериментальная модель плотины

Восемнадцать штучеров 8, расположенных на дне лотка, позволяют подсоединить пьезометры 1 при помощи патрубков 9 и измерить уровень воды в сечении с большой точностью, что позволит получить истинное положение кривых депрессии.

На модели песчаной однородной плотины (рис. 2), изготовленной в масштабе 1 : 100, было проведено одиннадцать экспериментов. Два эксперимента были проведены на модели плотины, которая устанавливалась на дне лотка (водонепроницаемое основание). По три эксперимента было проведено на моделях плотин, которые располагались на водопроницаемом основании различной толщины (15, 30, 50 см). На этих моделях определялось положение кривых депрессии (по показаниям пьезометров) (рис. 3) и фильтрационные расходы (объемным способом) (рис. 4). Результаты исследований представлены на рис. 3; 4. Осредненные градиенты (рис. 5) определялись как тангенсы угла наклона кривых депрессии к горизонту ( $I_{cp} = \Delta H/L_p$ ). На рис. 6 значение  $L$  — расстояние от конца дренажа до точки определения выходного градиента. Расход фильтрационного потока, прошедшего через плотину, определялся на модели, расположенной на водонепроницаемом основании.



a)



b)

Рис. 3. Кривые депрессии при различных  $T$  по данным расчета (a) и эксперимента (b) ( $T$  — глубина заложения водоупора)

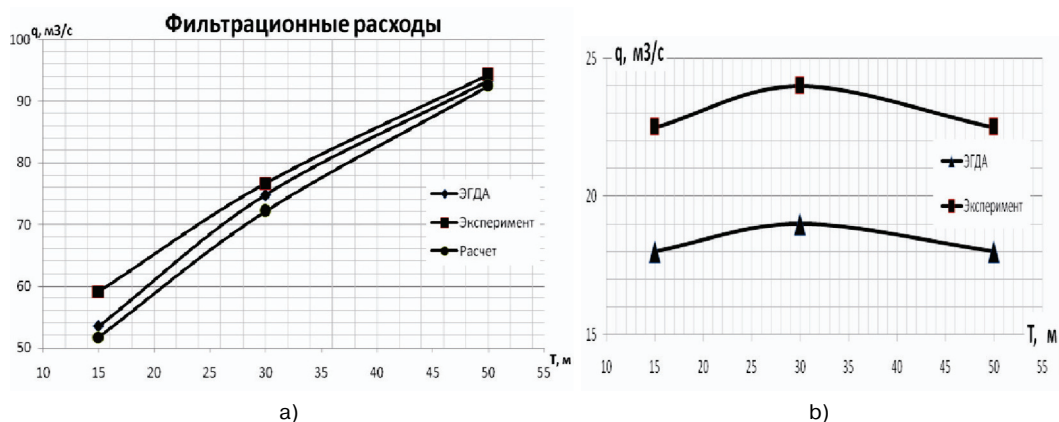


Рис. 4. Значения фильтрационных расходов в теле плотины (а) и в основании (б)

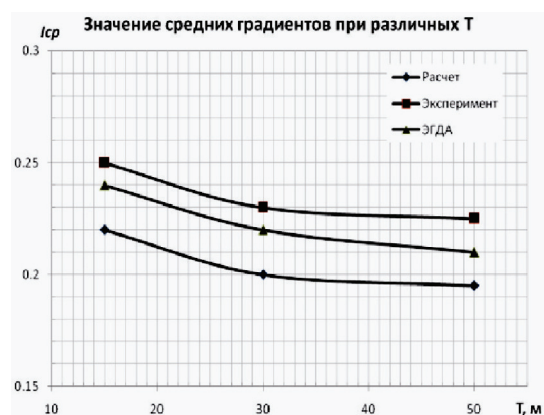


Рис. 5. Значения средних градиентов при различных T

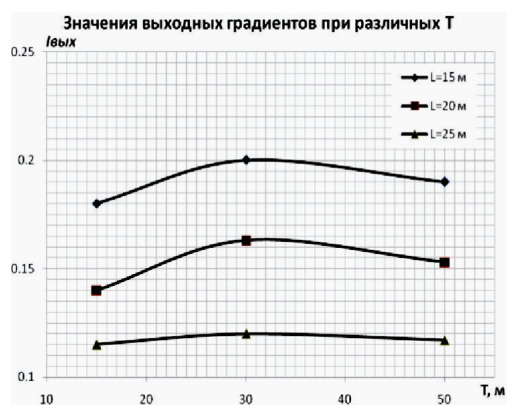
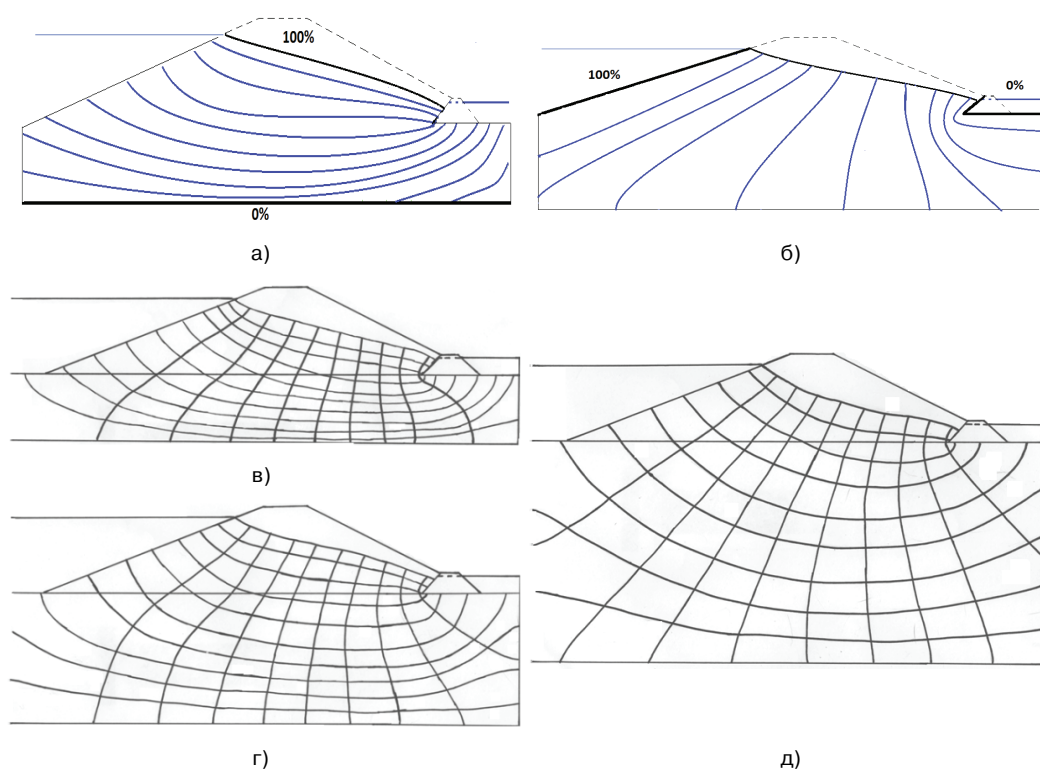


Рис. 6. Значения выходных градиентов при различных T

**Способ исследования фильтрационного потока методом ЭГДА.** Исследования фильтрационного потока методом электрогидродинамической аналогии, основанной на математической (движение фильтрационного потока и движение электрического тока в электропроводящей среде описываются известными дифференциальными уравнениями Лапласа второго порядка) и физической аналогии между ламинарной фильтрацией в пористой среде и движением электрического тока в электропроводящей среде, решают задачи плоской, плановой и пространственной задач. Моделирование методом ЭГДА при обязательном соблюдении граничных условий и геометрического подобия областей фильтрации и прохождения электрического тока позволяют с помощью замеров электрических величин на модели из токопроводящих материалов определить аналогичные параметры фильтрационного потока: по силе тока определяется фильтрационный расход ( $Q$ ), по плотности тока скорость фильтрации ( $v$ ) и по разности потенциалов и расстоянию между ними местный градиент скорости ( $I_{\text{вых}}$ ).

Для получения сетки фильтрационного потока из электропроводной бумаги (графитовой) вырезалась в масштабе 1 : 100 модель однородной плотины с различ-

ными толщинами водопроницаемого слоя. Накладываем шину 100%-ного напора на верховой откос до отметки НПУ с захватом части примыкающего основания и шину с напором 0% на внутренний откос дренажной призмы и части основания (рис. 7) Плотину обрезают по предполагаемой кривой депрессии с небольшим запасом. Получив по этой расстановке шин эквипотенциали, их переносят на предполагаемую кривую депрессии (100%) и основание водоносного слоя (рис. 7 а, б). При этой расстановке шин строят линии тока. Совокупность эквипотенциалей и линий тока дают нам фильтрационную сетку (рис. 7 в, г, д). По фильтрационной сетке рассчитываем параметры фильтрационного потока: фильтрационный расход (см. рис. 4), выходной градиент скорости (см. рис. 6) и положение кривых депрессии (см. рис. 3).



**Рис. 7.** Модель для построения гидродинамической сетки методом ЭГДА:

- а) построение линий тока; б) построение эквипотенциалей;
- в), г), д), гидродинамические сетки, построенные методом ЭГДА при различных глубинах  $T$  (15, 30 и 50 м соответственно)

На рис. 8 показаны кривые депрессии, полученные методом ЭГДА. Однако их положение оказалось несколько круче, чем положение кривых, полученных по эксперименту и расчету (см. рис. 3). Относительная ошибка измерений составила 8,5%, что говорит о необходимости вносить коррективы в расчет или дополнительно провести сравнительный анализ с более совершенными методами определения их положения или сравнить с натурными кривыми.

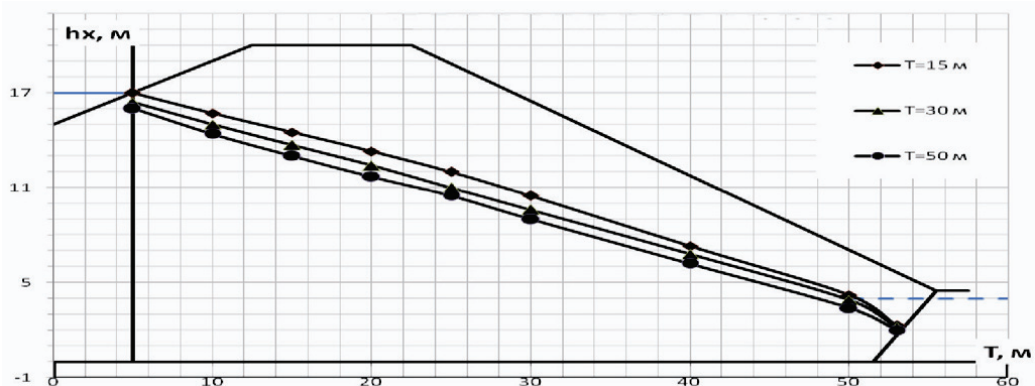


Рис. 8. Кривые депрессии по данным, определенным по методу ЭГДА

Выходные градиенты ( $I_{\text{вых}}$ ) определялись по последнему поясу давления фильтрационной сетки (см. рис. 6). При увеличении толщины водопроницаемого слоя выходные градиенты растут достигая своего максимума при  $T = 30$  м и затем снова начинают уменьшаться, стремясь к величине, которая не зависит от толщины водопроницаемого слоя. Наибольшего своего значения выходной градиент достигает при  $T = 0,3L$ .

Фильтрационные расходы при их определении по различным методикам ведут себя одинаково, с увеличением толщины водопроницаемого слоя они растут и при  $T$ , изменяющемся от 30 м до 50 м, прирост их значительно (почти в 2 раза) уменьшается. Можно предположить, что при увеличении толщины водопроницаемого слоя до  $2L$  расход не будет зависеть от толщины водопроницаемого слоя.

**Выводы.** Гидравлические методы исследования параметров фильтрационного потока подтвердили, что толщина водопроницаемого слоя значительно влияет на них. Если исходить из правила нахождения максимальных значений параметров фильтрационного потока, то необходимо для определения этих величин назначать различную величину водопроницаемого слоя:

- положение кривых депрессии изменяется при изменении толщины водопроницаемого слоя  $T$  (наклон кривых увеличивается при уменьшении толщины водопроницаемого слоя (см. рис. 3);

- выходные градиенты достигают максимальных значений при  $T = 0,33L$ , и затем их значения снова уменьшаются (см. рис. 3) до величин, не зависящих от толщины водопроницаемого слоя (при  $T > 0,5L$ );

- фильтрационные расходы увеличиваются с ростом толщины водопроницаемого слоя, и при  $T \geq 2L$  расход остается постоянным и не зависит от ее толщины ( $T$ ).

Изменение толщины водопроницаемого слоя, в диапазоне которой изменяются параметры фильтрационного потока, находится в пределах от 0 до  $2L$ . Малые значения  $T$  необходимо назначать для определения положения кривых депрессий, средние значения ( $0,3L$ ) для определения выходных градиентов и скоростей фильтрации, а для определения фильтрационных расходов брать максимальные значения толщины до  $2L$ .

Для уточнения высказанных положений необходимо провести дополнительные исследования с использованием современных компьютерных программ, позволяющие решать фильтрационные задачи с высокой степенью точности, а также привлечь натурные исследования параметров фильтрационного потока в грунтовых однородных плотинах для установления истинного положения вещей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Рассказов Л.Н.* и др. Гидротехнические сооружения. Ч. 1. — М.: Стройиздат, 1996.
- [2] Гидротехнические сооружения: Справочник проектировщика / Под ред. В.П. Недриги. — М.: Стройиздат, 1983.
- [3] *Анохаев К.Н.* и др. Расчет фильтрации через земляные плотины на проницаемом основании различной мощности // Гидротехническое строительство. — 2011. — № 2.

### **THE DETERMINATION OF INFLUENCE OF THE WATER-PENETRATING LAYER THICKNESS OF THE MASSIVE DAM BASEMENT FOR THE FILTRATION STREAM PARAMETERS BY HYDRAULIC METHODS**

**V. Elfimov, D. Kumerov,  
Abu Mahadi Mohamed Ibrahim**

Department of Hydraulics and Hydraulic Structures  
Engineering faculty  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Micluho-Maklaja str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The paper says that the filtration stream parameters are definitely depended on thickness of water-penetrating layer at the massive dam. It is founded out that the influence of the layer thickness is rather great and variable.

**Key words:** groundwater, filtering, homogeneous dam permeable foundation.