**Письменский, Владимир Владимирович. Защита днищ судоходных шлюзов с использованием геосинтетических материалов : диссертация ... кандидата технических наук : 05.22.19 / Письменский Владимир Владимирович; [Место защиты: Моск. гос. акад. вод. трансп.].- Москва, 2011.- 230 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/3353**

Московская государственная академия водного транспорта

На правах рукописи

*627.42*

**ЛЛ2.01 1 6 5450**

ПИСЬМЕНСКИИ Владимир Владимирович

ЗАЩИТА ДНИЩ СУДОХОДНЫХ **шлюзов**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Специальность 05.22Л9 - Эксплуатация водного транспорта, судовождение

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Костюков Виктор Дорофеевич

Москва -2011

Содержание

Определения, обозначения и сокращения 5

введение: ... 8

1. Анализ существующих методик расчета параметров обратных фильтров .13 Г. 1 Процесс суффозии\* ; 13
   1. Назначение обратных фильтров ..14
   2. Рекомендуемые нормами методики подбора обратных фильтров из;

песчано-щебёночных материалов 15

1:3:ИПодбор обратных фильтров для оснований из связных грунтов‘(по методике ВНИИГ им. Б:Е. Веденеева).....:....... 17

1:3:2‘Подборюбратных фильтров:для оснований из несвязных грунтов (по методике ВНИИГ им: Б.Е. Веденеева): 19

* + 1. Подбор обратных фильтров для оснований-из несвязных:грунтов, когда карьерные характеристики грунтов заданы (по методике В/о «Союзводпроекг»). ..... 2Р

Г.3.4. Методика подбора гранулометрического:состава фильтровой ПОДГОТОВКИ ПОД каменные И железобетонные крепления оснований ИЗ; несвязного грунта, когда гранулометрический состав фильтра не известен и его надо подобрать (ВНИИГ им. Б;Е. Веденеева) 30

1. Методика подбора гранулометрического состава фильтровой

подготовки для защиты основанийнз связного грунта, когда гранулометричесісий состав фильтра не задан (методика В/о «Союзводпроект», согласно рекомендаций по проектированию П 92-80 ВНИИГ и ВЄН 47-71) 35

1. Методика подбора гранулометрического состава фильтровой подготовки для защиты оснований из связного грунта, когда

гранулометрический состав фильтра известен. (Методика В/о

‘ ... *2* • . . . ' . '

«Союзводпроект», согласно рекомендаций по проектированию П 92-80 ВНИИГ и ВСН 47-71) 40

1. Общие сведения о геосинтетических материалах 43
2. Общие сведения 43
3. Основные функции геосинтетических материалов 45
4. Классификация геосинтетических материалов 46
5. Сырье для изготовления геосинтетических материалов 48
6. Свойства геосинтетических материалов 48
7. Физические свойства 49
8. Механические свойства 49
9. Ползучесть 50
10. Устойчивость к негативным воздействиям 51
11. Гидравлические свойства 51
12. Эффективный диаметр пор 54
13. Расчетное обоснование методики подбора параметров обратных фильтров с

использованием геосинтетических материалов 59

1. Исходные данные 59
2. Расчет параметров обратных фильтров для оснований из несвязных

грунтов, когда заданы карьерные характеристики (по методике В/о «Союзводпроект»). Числовой пример 61

1. Предложение новой методики расчета параметров обратных фильтров с

использованием геосинтетических материалов и ее обоснование на примере геосинтетического материала «Terrain 1В1» 65

1. Лабораторные исследования 75

4. 1 Цель лабораторных исследований 75

4.2 Методика исследований 75

3

1. Результаты испытаний 79
2. Подтверждение теоретической составляющей опытным путем 87
3. Разработка «инструмента», упрощающего определение расхода

фильтрационного потока при решении фильтрационной задачи 136

1. Технико-экономические показатели параметров обратных фильтров 140

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 145

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 151

ПРИЛОЖЕНИЯ 163

**Определения, обозначения и сокращения**

В настоящей диссертационной работе приняты следующие определе­ния, обозначения и сокращения:

Геосинтетическиий материал - материал, в котором как минимум одна из составных частей изготовлена из синтетических или натуральных полиме­ров в виде плоских форм, лент или трехмерных структур, применяемый в геотехнике или других областях строительства в контакте с грунтом» и/или другими строительными материалами;

Фильтрация - движение жидкости (воды) сквозь пористую среду в естественных пластах грунта под поверхностью земли;

Обратный фильтр - конструкция, которая предусматривается в местах выхода фильтрационного потока, для предотвращения,процесса суффозии;

Дренаж - метод сбора и отвода грунтовых вод;

Грунт суффозионный - в составе\* которого более 5% частиц, подвер­женных выносу;

Грунт несуффозионный - в составе которого менее 5% частиц, подвер­женных выносу;

Гранулометрический состав грунта - относительное содержание в грунте частиц различных размеров независимо от их химического или мине­ралогического состава.

Фильтровая подготовка - как правило, первый слой обратного фильтра.

Водопроницаемость грунта - свойство грунта пропускать сквозь себя воду под влиянием перепада давлений, силы тяжести или вакуума в зависи­мости от гранулометрического состава и степени уплотнения.

ВВП - внутренние водные пути;

НСМ - нетканый синтетический материал;

ГМ - геосинтетический материал;

*щ* = D60/ Dio - коэффициент разнозернистости (неоднородности) матери­алов обратных фильтров (где D60 - диаметр частиц, содер­жащихся в грунте 60%; Dio - диаметр частиц, содержащих­ся в грунте 10%);

* размер фракции защищаемого грунта, масса которого вместе с массой более мелких фракций составляет i% массы всего грунта, мм









****





g









к

к

q





■

н

* размер фракций первого слоя обратного фильтра, масса которых вместе с массой более мелких фракций составляет i% массы всего грунта, мм
* коэффициент неоднородности защищаемого грунта
* коэффициент неоднородности первого слоя обратного фильтра
* коэффициент междуслойности
* максимальный диаметр фильтрационного хода, мм
* расчетный диаметр фильтрационных пор, мм
* размер сводообразующих частиц слоя, покрываемого об­ратным фильтром, мм
* ускорение силы тяжести, см/с2
* пористость

коэффициент, определяющий несуффозионность грунта фильтровой подготовки

* осредненный коэффициент фильтрации грунтов основа­ния и обратного фильтра, м/с
* максимальный коэффициенты фильтрации, м/с -минимальный коэффициенты фильтрации, м/с
* фильтрационный расход через основание сооружения, м3/с
* полная глубина водопроницаемого основания, в том числе слои обратного фильтра, м
* напор, м

n - поправочный коэффициент

В - ширина фильтровой подготовки, м

v - коэффициент кинематической вязкости воды, м /с;

**Дшіп** - минимальный диаметр частиц в данном грунте, мм

Д17 - диаметр фракций расчетного состава грунта первого слоя

фильтра, мм

W - объем воды, прошедший через образец грунта, см3

W„a4 - начальное значение объема воды, по шкале колбы, см3

<5

WK0H - конечное значение объема воды, по шкале колбы, см

Т - время фильтрования воды через образец грунта, с

Кф - коэффициент фильтрации грунта, м/с

t - температура воды, проходящей через образец грунта, °С

г - поправочный коэффициент на температуру воды

S - площадь цилиндра, заполненного образцом грунта, см2

Кф. **Ср.** - осредненный коэффициент фильтрации, м/с

п - число измерений, шт.

**ВВЕДЕНИЕ**

***Актуальность работы***.

Судоходные шлюзы являются важным звеном в цепи многочисленных гидротехнических сооружений внутренних водных путей Российской Феде­рации. Они необходимы для. бесперебойной работы воднотранспортных со­единений.

Многие из действующих гидротехнических сооружений внутренних водных путей России, в т.ч. судоходные шлюзы, к настоящему моменту вре­мени нуждаются в капитальном-ремонте или1 реконструкции; либо же необ­ходимо строительство новых сооружений.

Нормальная работа гидротехнического сооружения, и недопущение наступления предельных состояний в т.ч. выполняется при обеспечении фильтрационной прочности основания; определяемой при решении филь­трационной, задачи и параметров фильтрации. В месте выхода фильтрацион­ного потока1 выполняются обратные фильтры из природных; минеральных ма­териалов, что представляется весьма, трудно и затратно1 в> районах; где наблюдается дефицит надлежащего качества и размеров по фракциям, требу­емых строительных материалов.1

Учитывая вышесказанное, можно отметить, что в настоящее время ак­тивно используются *геосинтетические материалы (ГМ),* которые частично заменяют дорогостоящие песчаные и гравийно-щебеночные материалы об­ратных фильтров - для повышения надежности сооружений.

Устройство в конструкции обратного фильтра одного слоя геосинте­тического материала заменяет отсыпку слоя толщиной не менее 20 - 30 см из среднесортированного песка.

Геосинтетический материал гарантирует отсутствие перемешивания различных грунтов на контакте между собой, задерживает частицы грунта или другие частицы, которые под действием гидродинамических сил потока жидкости могут проходить через него.

Использование геосинтетических материалов в конструкции обратного фильтра призвано надежно защитить основание сооружения от суффозион- ных процессов, а следовательно и от деформации.

Стоимость, трудоемкость, продолжительность возведения конструкции в значительной степени определяют эффективность всего строительства, ка­питального ремонта- илиг реконструкции. Следовательно, поиск оптимальных конструкций, выбор материалов и методов расчета параметров обратных фильтров являются наиболее важными задачами, как в техническом, так и экономическом плане. Решение этих задач осуществляется во взаимной увяз­ке.

***Научная задача***

Настоящая диссертационная работа посвящена вопросу разработки но­вой. методики расчета параметров обратных фильтров в основании судоход­ного шлюза с использованием геосинтетических материалов.

***Цели и задачи исследования***

Основными целями диссертационной работы являются:

* разработка новой методики расчета параметров обратных фильтров с использованием геосинтетических материалов;
* разработка «инструмента», упрощающего определение удельного расхода фильтрации при решении фильтрационной задачи.

Для достижения указанных целей были поставлены и решены следую­щие основные задачи:

* проведён сбор и анализ данных об отечественных и зарубежных геосинтетических материалах;
* на основании сбора и анализа данных по существующим методикам расчета параметров обратных фильтров найдено решение по расчету пара­метров обратных фильтров с использованием геосинтетических материалов;
* разработана методика подбора обратных фильтров с использованием геосинтетических материалов — теоретическая часть;
* выполнены экспериментальные исследования, проведен ряд экспе­риментов по определению осредненного коэффициента фильтрации системы грунт - геотекстиль - грунт;
* построены номограммы для определения удельного расхода

фильтрации. .

***Объект исследования***

В качестве объекта исследований был выбран судоходный шлюз на не­скальном основании; представленном песчаными грунтами. В качестве объ­екта, на примере которого выполнялись расчеты, был выбран Пермский шлюз. •

***Предмет исследования***

При выборе предмета исследования учитывались следующие факторы:

* широкое распространение геосинтетических материалов в мире; и на территории Российской Федерации;
* принципиальная' и практическая возможность применения геосинте­тических материалов практически во всех отраслях строительного комплекса;
* возможность принять за основу существующие методики расчета па­раметров обратных фильтров.

Предметом исследования был выбран обратный\* фильтр в основании камеры судоходного шлюза.

***Методы исследования***

Теоретические исследования: с экспериментальной проверкой результа­тов являлись основными методами достижения поставленных в настоящей работе целей и задач. .

***Научная новизна работы***

Разработана новая методика расчета параметров обратных фильтров с использованием геосинтетических материалов.

Построены номограммы, позволяющие достаточно быстро определять удельный фильтрационный расход, проходящий через основание сооруже­ния и обратный фильтр в зависимости от типа грунтов, и действующих напо­ров.

***Теоретическая значимость***

Теоретическая значимость настоящей работы выражается в том, что раз­работанная методика позволяет не дополнять геосинтетическим материалом рассчитываемую конструкцию, а учитывать его характеристики непосредствен­но в самих расчетах и рассматривать его как составляющий элемент сооруже­ния. '

***Практическая значимость***

Разработанная методика позволяет достаточно полно, и обосновано определить эффективные параметры слоев фильтра с учетом физико­механических и фильтрационных свойств применяемого-геосинтетического материала, что значительно позволяет упростить его выбор. В свою, очередь это позволяет сократить объемы фильтра по песчано-гравийным материалам.

***Достоверность полученных результатов ,***

Экспериментальные исследования подтвердили данные, полученные в. результате теоретических исследований и разработки теоретической части- диссертационной работы. Расхождение в значении величины удельного рас­хода фильтрации, полученного\* теоретическим, и экспериментальным путем, составляет около 5,0%.

***Научные положения, выносимые на защиту***

* итоги анализа существующих методик расчета параметров обратных фильтров;
* новая методика расчета параметров обратных фильтров с использова­нием геосинтетических материалов - теоретическая часть;
* результаты экспериментальных исследований;
* номограммы для определения удельного расхода фильтрации.

***Личный вклад автора в получении научных результатов***

Автором проведена работа по изучению основных существующих мето­дик расчета параметров обратных фильтров, проведён сбор и анализ данных об отечественных и зарубежных геосинтетических материалах, найдено ре­шение по расчету параметров обратных фильтров с использованием геосин­тетических материалов и разработана новая методика, выполнены экспери­ментальные исследования и построены номограммы для определения удель­ного расхода фильтрации.

***Апробация диссертации***

Основные положения и установленный эффект разработанной методики доложены на прошедшей *в г.* Санкт-Петербурге в 2010 г. первой международ­ной научно-технической конференции «Геосинтетические материалы в про­мышленном и гидротехническом строительстве».

***Публикации основных положений работы***

По материалам диссертационной работы имеется 7 публикаций, в т. ч. 1 в журнале, входящем в перечень ВАК.

***Реализация результатов работы***

Разработанная методика предназначена для инженерного персонала при выполнении фильтрационных расчетов в проектных и строительных организа­циях вне зависимости от их профильной ориентации.

***Структура и объем работы***

Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, основных выводов и результатов, списка литературы и приложений. Работа из­ложена на 230 страницах машинописного текста, содержит 71 таблицу, 27 ри­сунков, 15 приложений, 63 формулы, библиография включает 110 наименова­ний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей диссертационной работе поставлена и решена важная научно-техническая проблема по защите днищ судоходных шлюзов с ис­пользованием FM от неблагоприятных процессов суффозии.

В первой главе приведен анализ і существующих методик расчета пара­метров обратных фильтров. Все расчеты фильтров, устраиваемых из песчано­щебеночных материалов; выполняются на основании- кривых гранулометри­ческого\* состава карьерных данных при их наличии- или; при их отсутствии; путем расчета и построения кривой\* гранулометрического\* состава фильтро­вой подготовки- моделирования грунтов; Однако? данные кривые не могут быть смоделированы с высокой точностью; точно также как и не может быть смоделирован- и рассчитан; с; высокой; точностью диаметр пор; что в. свою очередь может привести к кольматации и повышению фильтрационного про­тиводавления под основанием; судоходного шлюза,, а; также к процессу суф­фозии.

Наиболее подробно расчет параметррв обратного фильтра описан в ме­тодиках, .изложенных в пунктах, 1.3.3, 1.3.4, 1.3.5, 1.3.6. В;настоящих мето­диках наиболее подробно и детально, описаны решения по расчету парамет­ров? обратного фильтра, приведены формулы для расчета, фильтрационных пор и диаметров расчетных фракций грунта, в независимости от наличия или отсутствия данных по карьерным грунтам, предполагаемых к укладке в фильтр. В случае если кривых гранулометрического состава фильтра нет в наличии, то в вышеуказанных методиках приведены кривые-аналоги по; ко­торым можно выполнить расчет, а на практике укладывать в фильтр грунты именно с такими же характеристиками.

Существующие строительные нормы и правила не охватывают методы расчета параметров обратных фильтров гидротехнических сооружений с ис­пользованием ГМ.

Во второй главе рассмотрены основные понятия о ГМ.

ГМ в настоящее время занимают обширную нишу на современном рынке строительных материалов. Мировыми лидерами в области изготовле­ния геосинтетиков являются: Великобритания, Франция, Италия, Австрия. В настоящее время на мировой рынок активно выходят и российские произво­дители. В не зависимости от марок и производителей ГМ их основными функциями является - армирование слабых грунтов основания, фильтрация и дренаж.

ГМ обладают высокой прочностью и стойки к химическим и бактерио­логическим воздействиям.

Обладая легким весом транспортировка и хранение ГМ значительно проще нежели природных минеральных материалов.

Устройство в конструкции обратного фильтра судоходного шлюза од­ного слоя с использованием ГМ заменяет отсыпку из средне- или крупно­сортированного песка толщиной слоя не менее 20 - 30 см, а порой достигает и 40 см. При этом предотвращается разрыхление, эрозия и всплытие мелких частиц грунта основания и нарушение целостности конструкции обратного фильтра.

Сокращение объемов применяемых песчано-щебеночных материалов обратного фильтра обуславливает снижение веса и, как результат - уменьше­ние давления на слабое основание сооружения и удешевление конструкции, также стоит отметить улучшение качества работ и повышение эксплуатаци­онной надежности сооружения, практически исключается кальмотация.

В третьей главе на числовом примере рассмотрена существующая ме­тодика расчета параметров обратных фильтров для защиты несвязных грун­тов оснований. На основании выполненных расчетов предложена новая ме­тодика с обоснованием и подтверждением ее соответствующими расчетами.

Сравнивая результаты, полученные по двум вариантам методики, сле­дует отметить, что при выполнении конструкции фильтра с использованием

ГМ фильтрационный расход, проходящий через основание сооружения,

**146**

идентичен. Таким образом, анализируя и используя различные типы ГМ в конструкции обратного фильтра судоходного шлюза можно - применив предлагаемую методику подбора обратных фильтров осуществлять с учетом значения расходов фильтрации выбор и назначение эффективных параметров фильтров с целью повышения надежности конструкции при эксплуатации таких сооружений.

Использование геосинтетиков позволяет значительно снизить объем фильтра по материалам, снижение объема материала ведет к уменьшению трудоемкости и стоимости работ, в связи с уменьшением объема материалов обратного фильтра происходит снижение давления на основание.

Максимальное снижение объема обратного фильтра по материалам наблюдается в случае использования в конструкции фильтра ГМ Terram NW 1В1 и составляет около 40%, минимальное же снижение составляет около 7% при использовании ГМ МИСТРА.

Наиболее эффективно работу в составе фильтра показали следующие ГМ: Terram NW 700; Terram NW IB 1.

В четвертой главе описаны выполненные лабораторные исследования.

В лабораторной части настоящей работы проведено 48 опытов для 13 экспе­риментов с различными по крупности песками (мелкозернистыми и средне­зернистыми) со следующими марками ГМ: Terram («Террам ЛТД», Велико­британия), Видим («Рон-Пуленк», Франция), MacDrein («Габионы Маккафе- ри СНГ», Италия - Россия), Мистра, Славрос («НПО Славрос», Россия), По- лифельт («Хеми Линц» Австрия).

Результатом каждого опыта было определение осредненного коэффи­циента фильтрации, после чего эти значения пересчитаны на условия натуры для конструкций обратных фильтров, их параметров, предложенных в теоре­тической части настоящей работы в разделе 3. После чего выполнены каме­ральные работы по обработке материалов, полученных опытным путем, и их сравнение с данными, предложенными в теоретической части.

Опыты проведены на приборе «КФ-01», предназначенным для опреде­ления коэффициента фильтрации песчаных грунтов.

Экспериментальными исследованиями подтверждены габаритные и фильтрационные характеристики обратных фильтров, определенные в под­разделе 3.3 при формировании теоретической части (см. таблицу 7, рисунок 12).

Экспериментальные исследования показали следующее:

* при использовании в конструкции обратного фильтра рассматривае­мых в настоящей работе ГМ во всех случаях подтвердилось соответствие значений удельного расхода фильтрации, полученного теоретическим и экс­периментальным путем, исходному значению равному 0,0006 м2/с. Исключе­ние составляет лишь расчет 6 и 7 подраздела 4.4, в котором рассмотрен ГМ Terram 2000 и 3000. В данном случае отклонение экспериментального значе­ния удельного расхода фильтрации от теоретического и исходного составля­ет 5% в большую сторону;
* определенные экспериментальным путем толщины слоев обратного фильтра соответствуют параметрам слоев, определенным в теоретической части в случае использования в конструкции Фильтра ГМ Terram 1В1 и ГМ МИСТРА, в остальных случаях наблюдается расхождение максимальное до 27% минимальное до 9%. Тем не менее, практические данные подтверждают теоретические исследования.

Наибольшее сокращение толщины обратного фильтра при проведении экспериментальных исследований с исходного 0,7 м наблюдается при ис­пользовании в его конструкции ГМ Terram NW 700 - до 0,404 м и при ис­пользовании ГМ Terram NW 1В1 - до 0,41м.

В подразделе 4.5 разработан «инструмент» для упрощения определе­ния расхода фильтрации.

Разработаны 104 номограммы, отображающие зависимость расхода фильтрации от толщины грунтов основания и обратного фильтра с ГМ.

По разработанным номограммам можно определить удельный расход фильтрации, проходящий через грунт основания и обратный фильтр судо­ходного шлюза. Для чего надо знать коэффициент фильтрации мелкозерни­стого песка, напор на сооружение, мощность слоя грунта основании и марку применяемого геосинтетика. После чего необходимо выбрать номограмму для интервала, в который попадает значение коэффициента фильтрации и определить значение q.

Если значения исходных данных попадают между графиками, приве­денными на номограмме, то значение q необходимо определять методом ин­терполяции.

Подводя итоги можно отметить, что грамотное решение фильтрацион­ной задачи и комплекс мер для реализации этого решения в действительно­сти занимает важное место в совокупности мероприятий по обеспечению нормальной эксплуатации гидротехнических сооружений в течение срока их службы.

Исследования в области ГМ и их использования в качестве фильтраци­онного элемента конструкции обратного фильтра способствуют увеличению продолжительности эксплуатации конструкции в целом.

Конструкция обратного фильтра из песчано-щебеночных материалов обладает рядом характерных особенностей: подвержена процессу суффозии, кольматажу и т.д.

Накопленный опыт теоретических и экспериментальных исследований в области повышения долговечности конструкции обратных фильтров, с уче­том выполнения ими своих прямых функций, а также разработанные методи­ки определения параметров фильтров создают предпосылки для проведения исследований, целью которых является создание более совершенной методи­ки, учитывающей все преимущества и недостатки разработанных ранее.

В результате проведенных работ можно отметить следующее:

1. Решена научная и практическая задача расчета параметров обратных

фильтров с использованием геосинтетических материалов с учетом опреде-

**149**

ления параметров фильтрационного потока, в частности удельного фильтра­ционного расхода.

1. Проведен анализ существующих методик расчета параметров обрат­ных фильтров, выполняемых из природных минеральных материалов.
2. На основании исследований разработана новая методика расчета па­раметров обратного фильтра с использованием геосинтетических материалов.
3. Методика разработана при учете использования в конструкции фильтра геосинтетических материалов следующих марок: Terram, Видим, MacDrein, Мистра, Славрос, Полифельт. При выполнении исследований учи­тывалось влияние фильтрационных свойств геосинтетических материалов на конструкцию фильтра в целом.
4. На основании новой методики, проведения экспериментальных ис­следований и их анализа построены графики зависимости удельного расхода фильтрации от толщины слоев обратного фильтра для каждого из рассмот­ренных в настоящей работе геосинтетических материалов, а также номо­граммы для упрощения определения удельного фильтрационного расхода.
5. Использование в конструкции обратного фильтра геосинтетических материалов позволяет снизить объемы песчано-щебеночных материалов до 40%.
6. Снижение объемов дорогостоящих материалов и производства работ ведут к уменьшению общей трудоемкости и стоимости работ.

Значения удельных фильтрационных расходов устанавливаются подбором в пределах расчетных параметров обратного фильтра для конкрет­ного сооружения, что обеспечивает надежную работу всей конструкции.