

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ПРИСТЕННОГО ДРЕНАЖА БРЫЗГАЛЬНЫХ БАССЕЙНОВ

В. И. Селезнев, кандидат технических наук

И. Ч. Казмирук, кандидат технических наук, доцент

Л. Н. Юшин, магистрант

С. С. Копаченя, студентка

Е. С. Мороз, студентка

Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь

Аннотация

Приведен расчет притока грунтовых вод к пристенному дренажу брызгального бассейна. При невозможности получения данных о водопримной способности конструкций пристенного дренажа из-за граничных условий формулы по определению осредненного коэффициента фильтрации проведена серия лабораторных экспериментов. В лабораторных условиях на экспериментальной установке получены результаты водопримной способности конструкций пристенного дренажа с керамзитом и щебнем в качестве фильтрующих слоев обратного фильтра. По полученным эмпирическим формулам рассчитан отвод воды 1 метром пластового дренажа. Сделаны выводы о целесообразности применения конструкции пристенного дренажа с керамзитом, песком среднезернистым и геотекстилем в роли разделительной мембраны фильтрующих слоев.

Ключевые слова: брызгальный бассейн, геотекстиль, пристенный дренаж, фильтрация.

Abstract

V. I. Seleznev, I. Ch. Kazmiruk, L. N. Yushin, S. S. Kopachenya, E. S. Moroz

STUDY OF WORKING CONDITIONS FOR SIDE DRAINAGE OF SPRAY PONDS

The calculation of groundwater inflow to the side drainage of the spray pond is given. A series of laboratory experiments was carried out to determine the averaged filtration coefficient as it is impossible to obtain data on the water intake capacity of wall drainage structures due to the boundary conditions of the formula. In laboratory conditions at the experimental installation, the results of the water intake of wall drainage structures with expanded clay and crushed stone as filter layers of the inverse filter were obtained. According to the obtained empirical formulas, water drainage was calculated by 1 m of reservoir drainage. Conclusions on the appropriateness of using wall drainage construction with expanded clay, medium-grained sand and geotextiles as the separation membrane of the filter layers and the separation membrane of the filter layers are drawn.

Keywords: spray pond, geotextile, side drainage, filtration.

Введение

Пристенный дренаж применяется в тех случаях, когда основания сооружений находятся на водоупоре. Пристенный дренаж брызгальных бассейнов предназначен для защиты сооружений от всплывания в опорозаполненном состоянии и выполняется в виде трубчатых дрен, уложенных по периметру фундаментных плит. Он состоит из дренажных труб с фильтрующей обсыпкой, заглубленных в водоупор. Дренаж представляет собой незамкнутое кольцо и располагается по контуру защищаемого сооружения. Его действие основано на понижении уровня грунтовых вод внутри защищаемого

контура и со стороны их притока. Дрены закладывают на удалении от брызгального бассейна и располагают в траншее открытого водоотлива. Грунтовые воды удаляются дренажными насосными станциями.

Определение притока грунтовых вод к пристенному дренажу проводится на основании расчетных формул, предложенных С. К. Абрамовым [1]. Конструкция слоев объемного фильтра изменилась за годы его применения в строительстве. Если ранее слои обратного фильтра проектировались из условия непросыпаемости более мелких зерен через поры более крупных,

то в настоящее время имеется возможность разделять слои различной пористости с помощью геотекстиля, тем самым уменьшая объем фильтрующего материала без снижения эффективности работы пристенных дрен. Геотекстиль выполняет роль разделительной мембраны,

пропускающей воду и не позволяющей мелкому фильтрующему материалу (песку) попадать в поры более крупного (щебня, керамзита). Применение геотекстиля позволяет сократить количество дренируемых слоев в пластиковом дренаже.

Основная часть

Геологические условия

Площадка брызгального бассейна находится на спокойном равнинном рельефе местности с уклоном территории менее 5°. Отрицательные формы рельефа представлены озерными котловинами и депрессиями, к которым относятся болота. На фоне равнинного рельефа местами наблюдается расчлененный, происхождение которого связано с аккумулятивной и эрозионной деятельностью ледника, эрозионной деятельностью поверхностных вод, абразией и аккумуляцией.

Современный рельеф в целом повторяет рельеф дочетвертичных пород, поверхность

которых сформировалась в результате эрозионной деятельности ледника. Почвенный покров состоит из дерново-подзолистых почв в сочетании с болотно-подзолистыми и болотными, характерными для понижений рельефа.

На территории района размещения брызгального бассейна почвообразующие породы представлены четвертичными рыхлыми отложениями различного генеза. Состав и физико-механические характеристики грунтов установлены лабораторными исследованиями и полевыми методами (табл. 1).

Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия площадки характеризуются тремя водоносными горизонтами подземных вод, выделяющимися в разрезе верхней песчано-глинистой толщи, разделенными относительным водоупором. Водовмещающие породы – песчаные, супесчаные и гравийно-галечные отложения

с невыдержанными прослоями глин и суглинков. Последние являются локальными водупорами. Уровень грунтовых вод в весенний период находится на глубине 2 м. Их питание осуществляется по всей площади распространения горизонта за счет инфильтрации атмосферных осадков и поверхностных вод.

Таблица 1 – Физико-механические (геотехнические) характеристики грунтов основания фундаментов

Наименование показателей	Песчаники	Суглинки
Плотность, кг/м ³	2160	2140
Плотность частиц грунта, кг/м ³	2700	2730
Влажность, %	13	16
Показатель текучести	–	–0,43
Число пластичности	–	14
Коэффициент фильтрации, м/сут	1,1	0,05
Модуль упругости, МПа	380	105
Модуль общей деформации, МПа	150	35
Коэффициент Пуассона (статический)	0,29	0,36
Коэффициент Пуассона (динамический)	0,47	0,47
Угол внутреннего трения, град.	42	18
Удельное сцепление, кПа	34	42

Верхний водоносный горизонт представлен песками и сильновыветрелыми, сильнотрещиноватыми песчаниками, залегающими с поверхности или под четвертичными отложениями и подстилаемыми кембрийскими глинами. Режим фильтрации верхней зоны безнапорный. Мощность верхнего водоносного горизонта переменна, максимальное значение 4,5 м. Средний коэффициент фильтрации опытно-фильтрационных работ – 1,3 м/сут., коэффициент пьезопроводности составляет $8 \cdot 10^3$ м²/сут., коэффициент фильтрации – от 0,25 до 5,8 м/сут. Подземные воды четвертичных отложений и верхнего водоносного горизонта имеют тесную гидравлическую связь, участвуют в его питании.

Средний водоносный горизонт представлен песчаниками более уплотненными и менее трещиноватыми, чем вышележащий. Водоносная зона перекрыта пластичными глинами

Конструктивные решения

Брызгальные установки представляют собой открытые водоемы с расположенными над поверхностью воды в бассейне разбрызгивающими соплами, через которые под напором циркуляционных насосов подается охлаждаемая вода (рис. 1). Охлаждение воды в самом бассейне играет при этом уже незначительную роль сравнительно с охлаждением капель, образующихся при разбрызгивании воды соплами. Обеспечивается отвод тепла от промконтра, который, в свою очередь, выполняет охлаждение насосных агрегатов, задействованных в проведении циркуляционной промывки первого контура. Нагретая вода отводится по отводящим водоводам к камерам переключения брызгальных бассейнов и далее к распределительным трубопроводам для охлаждения. На электростанции предусмотрено восемь насосных агрегатов по два на канал безопасности. Производительность каждого канала – 1700 м³/ч. Основное назначение данной системы – подача охлаждающей воды для отвода тепла от ответственных потребителей при работе блока на мощности, штатном разогреве, расхолаживании и перегрузке топлива, а также отвод остаточных тепловыделений и охлаждение потребителей, участвующих в устранении аварий с использованием брызгальных бассейнов.

мощностью 1–2 м и подстлается мощной (до 10–12 м) толщей нижнекембрийских глин, по данным проведенных ранее исследований – трещиноватых. Режим фильтрации средней зоны напорный. Мощность среднего водоносного горизонта – 6,5–7 м. Средний коэффициент фильтрации опытно-фильтрационных работ – 1,0 м/сут., коэффициент пьезопроводности составляет величину порядка 10^4 м²/сут. Связь верхних и средних песчаников осуществляется также на участках, где отсутствует разделяющая их глинистая прослойка.

Нижний водоносный горизонт имеет высоконапорный режим фильтрации. Подробно в статье не рассматривается, поскольку его характеристики не участвуют в расчетах.

Величина рН находится в пределах ПДК. Средняя температура подземных вод составляет 2–6 °С. Поэтому введение температурной поправки в расчет не требуется.



Рисунок 1 – Брызгальный бассейн

Брызгальные бассейны оборудуют двойной защитой от проникновения воды в грунт. Для системы охлаждающей воды ответственных потребителей предусматривается по два брызгальных бассейна на каждый энергоблок. Охлажденная в бассейнах вода самотечными водоводами через камеры переключений подводится к водоприемникам насосных станций ответственных потребителей, проходит через вращающиеся водоочистные сетки на насосы и далее по подводящим водоводам подается к теплообменникам ответственных потребителей в здание безопасности. Брызгальные бассейны относятся к первой категории по условиям ответственности за безопасность.

Расстояние между бассейнами – 25 м, габариты каждого бассейна в плане в осях 69,0×118,4 м, заглубление – 6,1 м.

Водонепроницаемость бассейна обеспечивается применением соответствующего класса бетона, а также устройством внутренней и наружной гидроизоляции. Наружные поверхности стен и фундаментной плиты, соприкасающиеся с грунтом, защищают обмазочной гидроизоляцией, представляющей собой однокомпонентное, эластичное, тонкослойное покрытие на основе резинобитумной эмульсии, которая предназначена для гидроизоляции всех типов бетонных конструкций, расположенных ниже уровня грунтовых вод, и защищает от проникновения воды внутрь конструкции. По внутренней поверхности стен и днища предусматривается обмазочная гидроизоляция компонентным покрытием с низким содержанием растворителя на основе эпоксидно-антраценовой масляной композиции с минеральными наполнителями, рекомендованным как защитное покрытие для бетона и стали для заглубленных и погруженных в воду конструкций. Гидроизоляция может наноситься на влажную бетонную поверхность.

Фундамент брызгального бассейна выполняется в виде двух сплошных монолитных железобетонных плит толщиной 1,2 м. Для них принят класс бетона по прочности на сжатие С 20/25, марка по прочности – М350, по водонепроницаемости – W8, по морозостойкости – F200.

Пристенный дренаж выполнен из асбестоцементных перфорированных труб ВТ-9 диаметром 300 мм, тип 2 по ГОСТ 539-80 в оболочке из пористого бетона. Дренажные трубы имеют уклон 0,002. Уклон дрен обеспечивается за счет отсыпки нижнего слоя песка с переменной толщиной. Соединение труб осуществляется муфтами. Дренажная траншея заполняется песком слоем 150–600 мм и щебнем слоем 500 мм; слои разделены геотекстилем Turar® SF56 (рис. 2). Сначала укладывают слой песка, затем геотекстиль на который отсыпают щебень, сверху его накрывают геотекстилем внахлест для предотвращения просыпания грунта обратной засыпки в проводящий слой щебня дренажной траншеи. Дренажная труба располагается в слое щебня. Фильтрующая обсыпка вокруг дрен выполнена из щебня крупностью 5–20 мм. Для осмотра на дренажной сети устраивают колодцы.

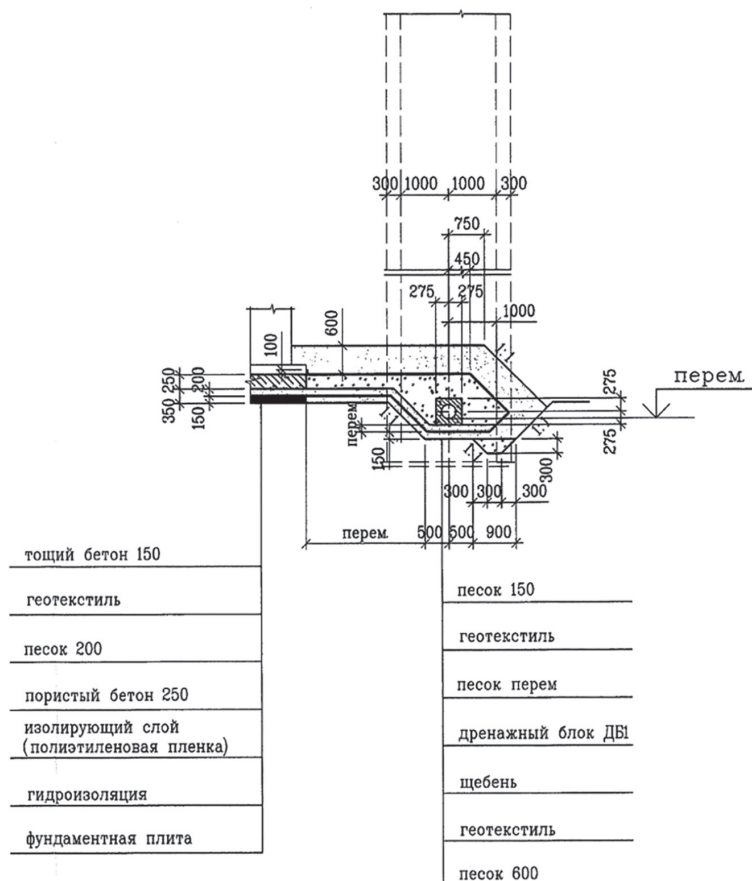


Рисунок 2 – Конструкция пристенного дренажа

Методика расчета

Методика расчета основана на региональных методических документах (РМД) 50-06-2009 [2], формулах С. К. Абрамова [1, 3, 4].

Сначала определяют безопасное расстояние дренажи от наружных стен проектируемого брызгального бассейна:

$$l_{lim} = b + \frac{B}{2} + \frac{H-h}{tg\alpha}, \quad (1)$$

- где b – уширение фундамента, м;
- B – ширина дренажной траншеи, м;
- H – глубина заложения дренажи, м;
- h – глубина заложения фундамента, м;
- α – угол внутреннего трения грунта, град.

Цель расчета – определить зону риска для исключения негативных воздействий на прилегающие здания, инженерную и приповерхностную инфраструктуру.

Расчет горизонтальных трубчатых дренажных устройств, работающих в условиях установившегося режима фильтрации, безнапорных вод и однородной среды следует производить по приведенным ниже расчетным формулам. Расчетный уровень грунтовых вод принимается на основе прогнозных значений многолетнего среднегодового уровня грунтовых вод на площадке строительства [5]. Расчет производят исходя из гидрогеологических условий площадки строительства, фактического проектного положения дренажа.

При неоднородном строении водовмещающей толщи средневзвешенное значение K_{cp} рассчитывают по формуле

$$K_{cp} = \frac{K_1 m_1 + K_2 m_2 + \dots + K_n m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (2)$$

где $K_1 + K_2 + \dots + K_n$ – коэффициенты фильтрации отдельных осушаемых слоев грунта, м/сут.;

$m_1 + m_2 + \dots + m_n$ – мощность соответствующих слоев, м, которую принимают на основе исходных данных и расчетной схемы дренажа.

Область использования формулы (2) ограничивается соотношением коэффициентов фильтрации различных слоев не больше 1:20:

$$K_n : K_{n+1} < 20. \quad (3)$$

Интенсивность просачивания атмосферных осадков определяют с учетом характера грунта, количества выпадающих осадков и степени благоустройства участка застройки. Для территории, где расположены брызгальные

бассейны, ориентировочные значения интенсивности просачивания, согласно [5], следует принимать для районов новой застройки 0,00129 м/сут., старой – 0,00246 м/сут.

Для совершенных дренажей, расчетная схема которых представлена на рис. 3, удельный расход определяют по формуле (4) – для одностороннего притока грунтовых вод:

$$Q_0 = \frac{KH^2}{R}, \quad (4)$$

где R – радиус депрессии дренажа, м, который рассчитывают по формуле (5) или определяют по рис. 4.

$$R = h \sqrt{\frac{K}{2W}}. \quad (5)$$

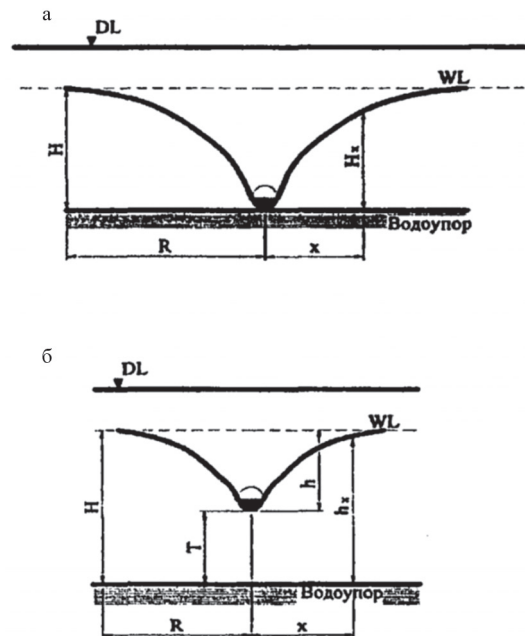


Рисунок 3 – Расчетная схема однолинейного дренажа совершенного типа

Расход дренажных вод для дренажной линии общей длиной L определяют по формуле

$$Q = Q_0 \cdot L. \quad (6)$$

Расход дренажных вод для контурных систем дренажа совершенного типа, расчетная схема которых показана на рис. 5, определяют по формуле

$$Q = \frac{\pi KH^2}{\ln \frac{R}{r_0}}. \quad (7)$$

В том случае, когда r_0 больше R , знаменатель формулы (7) можно принять равным единице.

Приведенный радиус r_0 определяют по формуле $r_0 = \sqrt{\frac{F}{\pi}}$, (8)

а радиус депрессии R – из уравнения $R\sqrt{\ln R - \log r_0 - 0,217} = 0,66\sqrt{\frac{KH^2}{W}} - 0,5r_0$, (9)
 где F – площадь, ограниченная контуром, м².

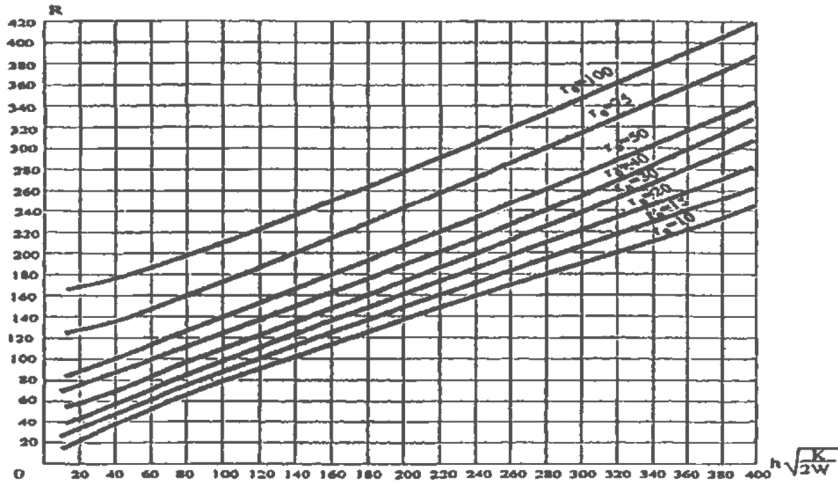


Рисунок 4 – График определения радиуса депрессии контурных дрен

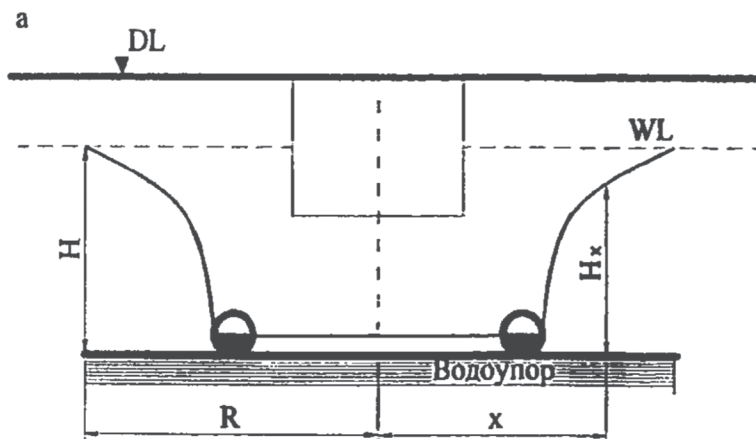


Рисунок 5 – Расчетная схема пристенного дренажа совершенного типа

Данные результатов расчета и лабораторных экспериментов

Расчет притока грунтовых вод к пристенному дренажу брызгального бассейна выполнен в наиболее низкой отметке – минус 6,8 м от поверхности земли по формулам (1, 4–9). Определяем безопасное расстояние дрены от наружных стен проектируемого брызгального бассейна по формуле (1):

$l_{lim} = 0,3 + 1/2 + (6,8 - 6,1) / tg42 = 1,6$ м – при расположении пристенного дренажа на песчанниках;

$l_{lim} = 0,3 + 1/2 + (6,8 - 6,1) / tg18 = 3,0$ м – при расположении пристенного дренажа на суглинках.

Принимаем безопасное расстояние 3,0 м.

Исходя из геометрических размеров бассейна и безопасного расстояния до дрены, определяем приведенный радиус по (8):

$r_0 = \sqrt{\frac{427,6 * 120}{\pi}} = 127,8$ м – для максимального притока.

Чтобы найти R из графика (см. рис. 4), считаем соотношение

$$h \sqrt{\frac{K}{2W}} = 4.2 \sqrt{\frac{1,1}{2 \cdot 0,00246}} = 62,8.$$

Из графика получаем значения R = 190 м. Тогда приток воды к контурному дренажу (7) составит

$$Q = \pi \cdot 1,1 \cdot 4,2^2 / 0,397 = 153,47 \text{ м}^3 / \text{сут.}$$

Водоотводящая способность контурных дрен проявляется в возможности отводить избыточную воду с осушаемой территории. Она зависит от диаметра дрен, материала, из которого изготовлены трубы, величины их шероховатости, уклона дренажных линий, режима работы, наличия подпора, местных сопротивлений потоку воды по длине водоотводящей трубы и других показателей.

Рассчитать теоретически водопримную способность 1 метра трубы с многослойным фильтром пристенного дренажа не представляется возможным из-за невозможности определения средневзвешенного значения коэффициента фильтрации по формуле (2), поскольку не выполняется условие (3): соотношение меж-

ду коэффициентами фильтрации отдельных слоев более 20.

$$K_n : K_{n+1} > 20,$$

поэтому в лабораторных условиях была построена модель и определен расход 1 м трубы.

Для исследования водопримной способности 1 м трубы пристенного дренажа использовались следующие материалы: песок среднезернистый (табл. 2, рис. 6, 7) с коэффициентом фильтрации 15 м/сут. (определен в трубке Г. Н. Каменского), щебень фракции 5–20 мм с $K_\phi \leq 1000$ м/сут. (справочные данные), керамзит фракции 5–10 мм с $K_\phi \geq 500$ м/сут. (справочные данные), геотекстиль TYPAR SF56 с коэффициентом фильтрации 40 м/сут. (определен в фильтрационном приборе ФП-1 типа Дарси).

Определение водопримной способности трубчатой дрены с многослойным разнородным фильтром осуществлялось в грунтовом лотке путем построения физической модели. Лабораторная установка соответствовала по своим параметрам реальной конструкции пристенного дренажа. Схема грунтового лотка приведена на рис. 8.

Таблица 2 – Гранулометрический состав песка среднезернистого

Диаметр, мм	Проба 1			Проба 2	
	Диаметр, мм	Масса, г	%	Масса, г	%
1,6	1,6	36,161	3,616	41,5	4,15
1,5	1,5	16,690	1,669	22,2	2,22
1	1	82,058	8,208	69,6	6,961
0,5	0,5	318,498	31,850	245,9	24,592
0,315	0,315	360,223	36,022	379,2	37,923
0,2	0,2	127,955	12,796	228,1	22,813
0,16	0,16	6,954	0,695	1,5	0,15
0,1	0,1	36,161	3,616	3	0,3
0,063	0,063	11,127	1,113	4,4	0,44
0,05	0,05	2,782	0,278	3	0,3
<0,05	<0,05	1,391	0,139	1,5	0,15
		Σ1000		Σ1000	

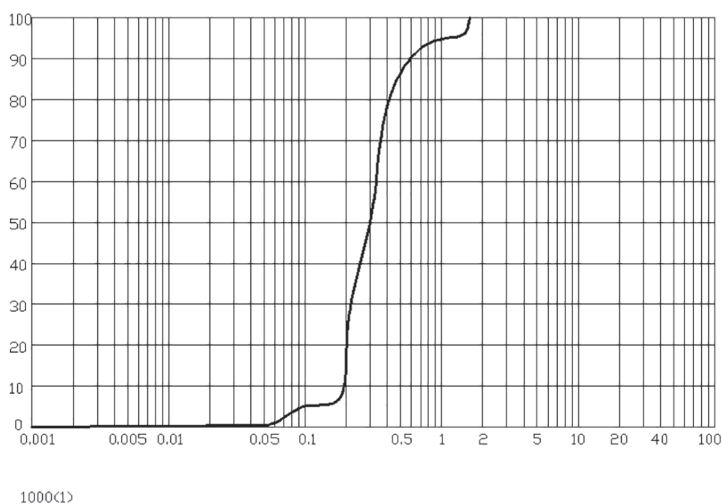


Рисунок 6 – Диаграмма гранулометрического состава песка среднезернистого (проба 1)

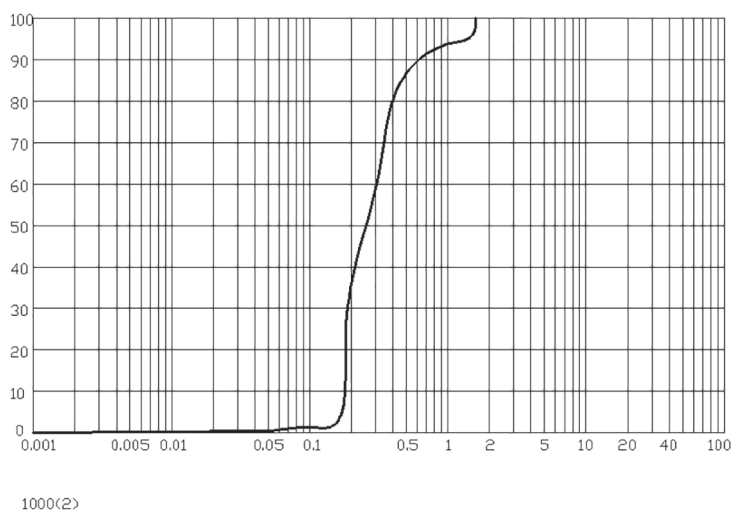


Рисунок 7 – Диаграмма гранулометрического состава песка среднезернистого (проба 2)

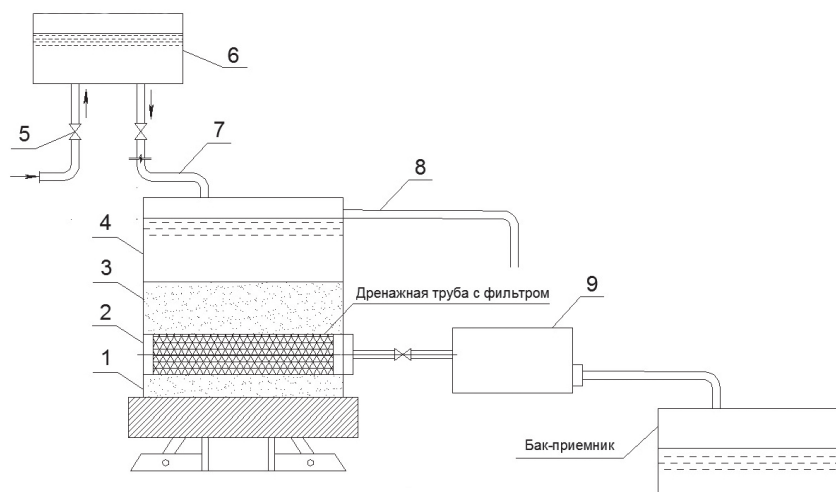


Рисунок 8 – Схема грунтовой лотка

Исследования проводились по следующей схеме. В грунтовой лоток (1) укладывалась полиэтиленовая гофрированная перфорированная труба (2) диаметром 63 мм (площадь перфорации трубы 2 % – 38 см²/м), обернутая

защитно-фильтрующим материалом, затем укладывались слои обратного фильтра (3): щебень или керамзит, геотекстильное полотно в качестве фильтрующей мембраны и песок средней крупности. Лоток заполнялся водой

(4) из напорного бака (6) с помощью регулирующего вентиля (5) по подающему трубопроводу (7), максимум уровня воды регулировался переливной трубой (8). Расход из трубы измерялся в баке-измерителе (9). По изменяющемуся напору над дренажной трубой были построены графики зависимости водоприемной способности от напора (рис. 9).

Проводилось два различных эксперимента, каждый в четырехкратной повторности. Первый эксперимент: в качестве слоев обратного фильтра закладывались в грунтовый лоток щебень фракции 5–20 мм слоем 250 мм, геотекстиль ТУРАР SF56 (один слой материала), песок средней крупности ($K_{\phi}=15$ м/сут.) слоем 150 мм. Получен график зависимости расхода от напора «Керамзит 5-10» (см. рис. 9). Второй эксперимент отличался от первого тем, что керамзит в грунтовом лотке был заменен на щебень фракции 5–20 мм слоем 250 мм, остальные слои те же. Получен график зависимости расхода от напора «Щебень 5-20» (см. рис. 9).

Анализ данных лабораторного эксперимента показывает, что при равном напоре над конструкцией пристенного дренажа больший расход наблюдается у конструкции со щебнем. Например, при напоре 40 см над осью дренажной трубы расход у конструкции с керам-

зитом составил 34 м³/сут., а у конструкции со щебнем – 52 м³/сут., что больше на 18 м³/сут. При напоре 60 см у конструкции с керамзитом расход составил 51 м³/сут., а у конструкции со щебнем – 81 м³/сут., что на 30 м³/сут. больше. Достоверность аппроксимации в двух случаях более чем 0,9 (высокая точность).

Исходя из рассчитанного ранее максимального притока воды к 1 м пристенного дренажа 153,47 м³/сут. рассчитаем отвод ее 1 метром пластового дренажа по полученным эмпирическим формулам. Напор над дренажной трубой принимаем 2 м (согласно данным инженерно-геологических исследований). При использовании керамзита в качестве фильтрующего слоя

$$Q = 77,416H + 2,41 = 77,416 \cdot 2 + 2,41 = 157,24 \text{ м}^3/\text{сут.};$$

при использовании щебня в качестве фильтрующего слоя

$$Q = 93,618H + 8,94 = 93,618 \cdot 2 + 8,94 = 196,18 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Водоотводящей способности и щебня, и керамзита достаточно, чтобы защитить днище сооружения от соприкосновения с грунтовыми водами при заданных инженерно-геологических условиях. Следует отметить, что долговечность предлагаемой конструкции не изучалась на данном этапе исследований.

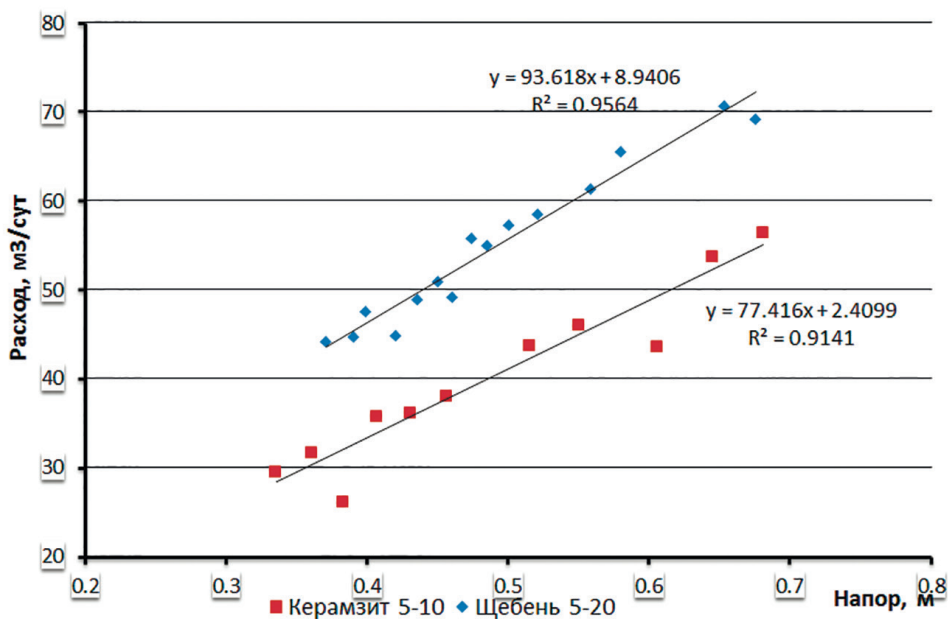


Рисунок 9 – Водоприемная способность 1 м пристенного дренажа

Выводы

Изучены геологические и гидрогеологические условия в районе строительства брызгальных бассейнов. По расчетным формулам С. К. Абрамова определен приток грунтовых вод к пристенному дренажу. Предложена его конструкция с керамзитом в качестве фильтрующего слоя. В лабораторных условиях получены результаты водоприемной способности двух конструкций пристенного дренажа. По эмпирическим формулам рассчитана

величина их водоотводящей способности. Керамзит наряду со щебнем может быть использован в качестве слоя обратного фильтра в пристенном дренаже. При выборе фильтрующих материалов для слоев обратного фильтра следует учитывать гидрогеологические условия места строительства и цели использования зданий и сооружений, защищенных от агрессивного действия подземных вод пристенным дренажем.

Библиографический список

1. Абрамов, С. К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве / С. К. Абрамов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1973. – 280 с.
2. Дренажи в проектировании зданий и сооружений: РМД 50-06-2009. – Санкт-Петербург, 2009. – 31 с.
3. Абрамов, С. К. Дренаж промышленных площадок и городских территорий / С. К. Абрамов, Л. Р. Найфельд, О. Б. Скиргелло. – М. : Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1954. – 428 с.
4. Кольцевые дренажи в промышленном и гражданском строительстве / под общей ред. С. К. Абрамова. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1971. – 185 с.
5. Подтопление территорий грунтовыми водами при строительстве и их инженерная защита : сб. науч. тр. / ВИНТИ РАН. – М. : ВИНТИ, 1982. – Т. 8. – 110 с.

Поступила 10.06.2019