

МРНТИ 67.09.05 : 70.17.54

И.И. Бекбасаров¹- основной автор,
К.Т. Суйеншбаева², Е.И. Атенов³. Н.А. Шаншабаев⁴ | ©



¹Д-р техн. наук, ^{2,4}Магистр, ³PhD

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-3250-7853> ²<https://orcid.org/0000-0003-4734-1091>

³<https://orcid.org/0000-0002-2907-6610> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-4930-0488>



^{1,2,3,4}Таразский университет им. М.Х. Дулати,



г. Тараз, Казахстан



²guralai.toqqa@gmail.com

<https://doi.org/10.55956/BVXN7131>

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ИЗУЧЕНИЮ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ОБРАЗЦЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО КОМПОНЕНТА КРУПНООБЛОМОЧНОГО ГРУНТА

Аннотация. В статье представлены результаты лабораторных исследований фильтрационных свойств мелкозернистых компонентов грунтовых смесей, используемых при устройстве земляных гидroteхнических сооружений. Проведены лабораторные испытания шести групп образцов с размерами частиц до 5 мм и различным весовым содержанием фракций. Изучено влияние весового количества и размеров частиц различных фракций мелькоzemса на скорость и объем фильтрации воды через образцы. Показано, что зависимость понижения уровня воды от времени фильтрации является линейной и зависит от характеристик фракций мелкозёма. Для крупных фракций (размером 5-2 мм и 2-1 мм) влияние на скорость фильтрации оказывает преимущественно весовое содержание, в то время как для мелких фракций (менее 1 мм) большую роль играют размеры частиц. Полученные экспериментальные зависимости могут быть использованы для оценки фильтрационной устойчивости грунтовых смесей и оптимизации их состава при проектировании земляных сооружений.

Ключевые слова: мелкозем, грунтовая смесь, фильтрация, фильтрационная устойчивость, весовое содержание, размер частиц, скорость фильтрации.

Бекбасаров, И.И. Результаты лабораторных исследований по изучению некоторых параметров фильтрации воды через образцы мелкозернистого компонента крупнообломочного грунта [Текст] / И.И. Бекбасаров, К.Т. Суйенишбаева, Е.А. Атенов, Н.А. Шаншабаев // Механика и технология / Научный журнал. – 2025. – №3(89). – С.309-318. <https://doi.org/10.55956/BVXN7131>

Введение. Одним из распространенных грунтовых материалов, используемых для устройства земляных сооружений, является крупнообломочные грунты (природные и искусственные грунтовые смеси). Традиционно грунтовые смеси, применяемые в гидroteхническом строительстве, подразделяются на крупнозернистый и мелкозернистый компоненты. Мелкозернистый компонент представляет собой часть смеси, в котором размеры твердых частиц составляют 5 мм и менее, а крупнозернистый

компонент – часть грунта, в котором размеры частиц более 5 мм. Весовое соотношение этих компонентов оказывает существенное влияние на поведение смеси как в период его укладки в тело плотины, так и в период эксплуатации. В гидротехнической сфере, при проектировании и возведении земляных сооружений особое внимание уделяется содержанию в грунтовых смесях мелкозернистого компонента (далее – мелкозема), так как от него во многое зависит фильтрационная и суффозионная устойчивость сооружений и их элементов. Так Пособие [1] устанавливает следующие требования к мелкозему, при которых обеспечивается суффозионная устойчивость грунтовой смеси:

- количество мелкозёма в смеси должно составлять не менее 50% от полного объема смеси;
- плотность мелкозёма должна быть не меньше (0,92-0,95) $\rho_{d,max}$ (где, $\rho_{d,max}$ – максимальная плотность мелкозема в сухом состоянии). Требования к содержанию мелкозема в смесях содержаться и в работах [2-5]. Все они относятся к мелкозёму, но не распространяются на фракции, из которых он состоит. Из данных, представленных в работе [6] следует, что мелкозем включает в себя как минимум следующие четыре фракции:
 - гравий (мелкий или очень мелкий) или дресву (с размерами частиц более 2 и менее 5 мм);
 - песчаные (с размерами 0,05-2 мм);
 - пылеватые (с размерами 0,005-0,05 мм);
 - глинистые (с размерами менее 0,005 мм).

Как видно, в целом, мелкозём представляет собой многокомпонентную среду и, несомненно, что каждый компонент будет оказывать влияние на его физические и механические свойства. Так авторами в работе [7] оценено влияния содержания (по массе) различных фракций мелкозёма на его максимальную плотность и оптимальную влажность. Установлено, что для достижения наибольших значений максимальной плотности мелкозёма в сухом состоянии и его наименьших значений оптимальной влажности целесообразно содержание мелкозёма в грунтовой смеси повышать за счет содержания фракций с размерами частиц от 0,5 до 5,0 мм. Причем, чем мельче фракция и больше его количество, тем выше значения плотности мелкозёма в сухом состоянии и ниже его значения оптимальной влажности. Показано, что за счет увеличения определенной фракции можно добиться наибольшего значения плотности и наименьшего значения влажности мелкозёма при его требуемом количестве в смеси.

На современном этапе, авторами, ведутся работы по установлению особенностей влияния на фильтрационные способности мелкозема весового количества и размеров частиц фракций, содержащихся в нем. Ниже изложены результаты экспериментов, отражающие закономерности изменения уровня воды в образцах при фильтрации.

Актуальность проводимых исследований и полученных экспериментальных данных продиктована тем, что они необходимы для разработки методики подбора оптимальных состав мелкозема, при которых будет обеспечиваться требуемая фильтрационная устойчивость земляных гидротехнических сооружений.

Целью исследований является выполнение лабораторных испытаний образцов мелкозема в фильтрационном приборе (в лабораторных условиях)

для оценки влияния весового количества и размеров частиц фракций мелкозема на его водопропускную способность.

Условия и методы исследований. *Методика и состав образцов мелкозема.* Исследования проведены с применением искусственных составов грунтовых смесей, получаемых на основе неоднородного гравийного крупнообломочного грунта (масса частиц крупнее 2 мм – 53,65%) с супесчаным заполнителем (содержание глинистого заполнителя – 30,65%).

Путем дозированного отбора и добавки частиц грунта составлены шесть групп опытных образцов мелкозернистого компонента (далее – мелкозема) с размерами частиц 5 мм и менее:

- 1 группа: образцы с содержанием фракций m_{5-2} , в которых вес твердых частиц с размерами 5 мм и менее, но более 2 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;
- 2 группа: образцы с содержанием фракций m_{2-1} , в которых вес твердых частиц с размерами 2 мм и менее, но более 1 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;
- 3 группа: образцы с содержанием фракций $m_{1-0,5}$, в которых вес твердых частиц с размерами 1 мм и менее, но более 0,5 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;
- 4 группа: образцы с содержанием фракций $m_{0,5-0,25}$, в которых вес твердых частиц с размерами 0,5 мм и менее, но более 0,25 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;
- 5 группа: образцы с содержанием фракций $m_{0,25-0,1}$, в которых вес твердых частиц с размерами 0,25 мм и менее, но более 0,1 мм изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема;
- 6 группа: образцы с содержанием фракций $m_{\leq 0,1}$, в которых вес твердых частиц с размерами 0,1 мм и менее изменяется от 50 до 75% от общего веса мелкозема.

Как видно каждая опытная фракция в образцах характеризуется определенным диапазоном изменения размеров твердых частиц и их конкретным весовым количеством в составе мелкозема. Интервал изменения весового количества фракций в составе образцов принят равным 5% от их общего веса. Увеличение весового количества каждой опытной фракции мелкозёма осуществлялось за счет уменьшения весового содержания крупнозернистого компонента грунтовой смеси.

Фильтрационные свойства опытных образцов мелкозема изучались в научной лаборатории «Наноинженерные методы исследований» НАО «Таразский университет им. М.Х. Дулати» в рамках исследований, предусмотренных научно-технической программой: BR24992867. «Разработка ресурсосберегающих технологий для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжирингового центра».

Опыты проводились с применением компрессионного прибора, входящего в состав полевой лаборатории ПЛЛ-9 и предназначенного для определения коэффициента фильтрации пылеватых и глинистых грунтов [8].

Фильтрационные испытания выполнялись в соответствии с требованиями регламентирующих документов [8,9]. В процессе исследований устанавливались следующие характеристики образцов мелкозема: продолжительность фильтрации воды; уровень понижения воды при

фильтрации. В исследованиях испытанию подвергались 126 образцов мелкозема.

Результаты исследований. В процессе фильтрации, в образцах, происходит понижение уровня воды. На рисунках 1-4 в качестве примера приведены графики зависимости величины понижения уровня воды S от продолжительности фильтрации t_f , характерные для образцов, содержащих фракции m_{5-2} , m_{2-1} , $m_{1-0,5}$ и $m_{\leq 0,1}$. Установлено, что по мере увеличения продолжительности фильтрации t_f величина понижения уровня воды S увеличивается, и зависимость $S = f(t_f)$ представляет собой прямолинейную функцию.

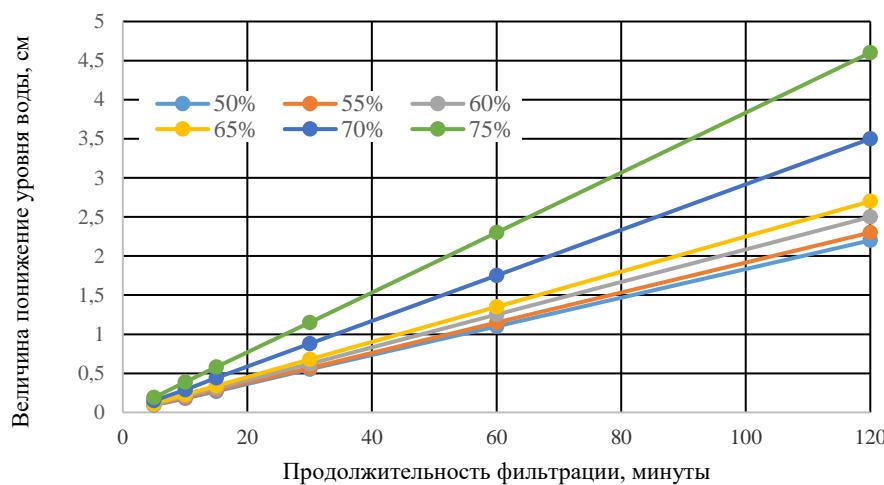


Рис.1. Зависимость величины понижения уровня воды S от продолжительности фильтрации t_f для образцов, содержащих фракций m_{5-2}

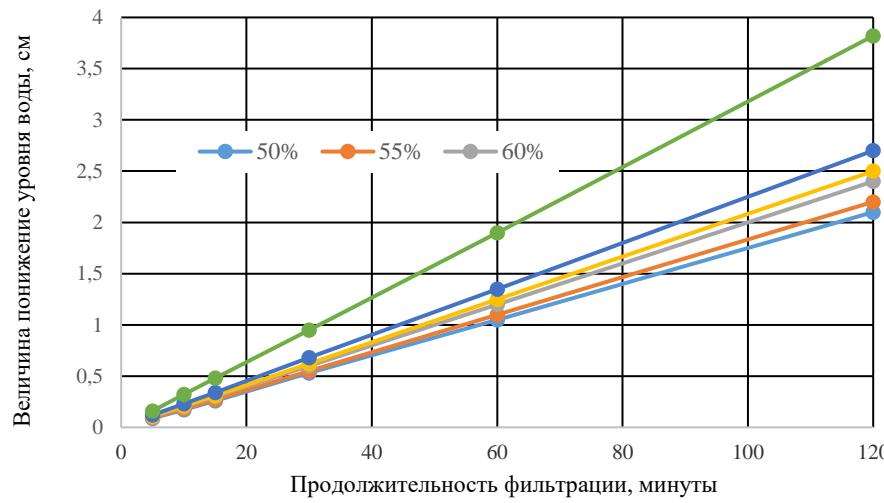


Рис. 2. Зависимость величины понижения уровня воды S от продолжительности фильтрации t_f для образцов, содержащих фракций m_{2-1}

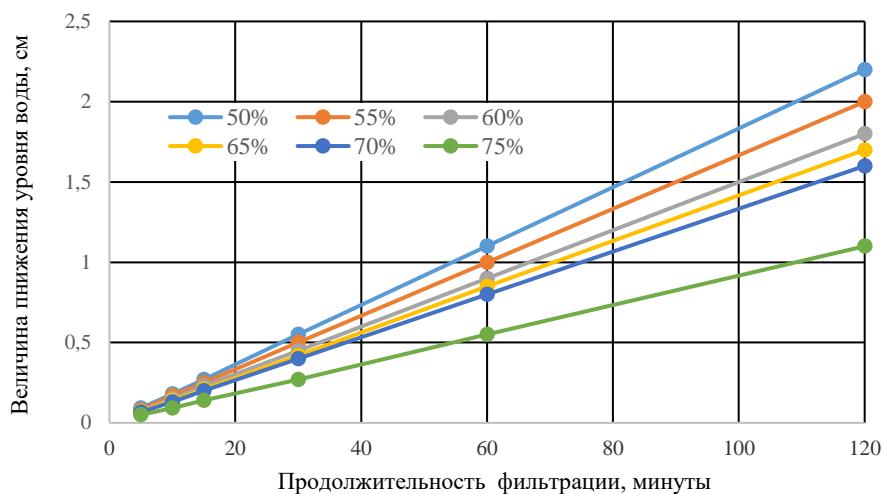


Рис. 3. Зависимость величины понижения уровня воды S от продолжительности фильтрации t_f для образцов, содержащих фракций

$m_{1-0.5}$

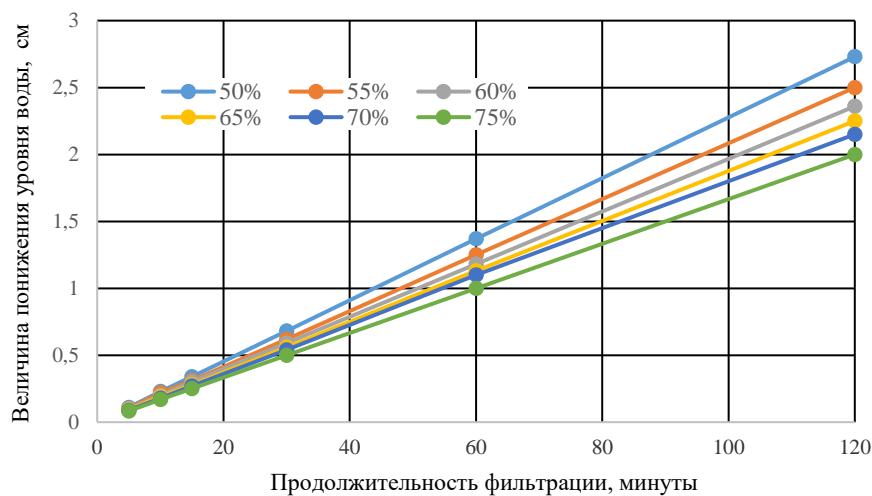


Рис. 4. Зависимость величины понижения уровня воды S от продолжительности фильтрации t_f для образцов, содержащих фракций $m_{\leq 0.1}$

Величина понижения уровня воды S зависит также и от размеров частиц и весового количества фракций m_f . Из графиков, представленных на рисунках 5 и 6, следует, что для опытных образцов, содержащих фракции m_{5-2} и m_{2-1} , величина понижения уровня воды S в фильтрационном приборе тем больше, чем больше размеры частиц и весовое количество фракций m_f в мелкоземе. Зависимость $S = f(m_f)$ для образцов, содержащих фракции m_{5-2} и m_{2-1} , интенсивно возрастает по мере увеличения весового количества фракций m_f , и имеет криволинейный характер. Данное обстоятельство обусловлено, тем, что с увеличением размеров частиц и весового количества крупных фракций m_f в образцах, увеличивается объем пор в мелкоземе, что и обеспечивает большее понижение уровня воды при фильтрации.

Как видно из графиков, представленных на рисунках 5 и 6, несколько иная закономерность наблюдается для образцов, содержащих

фракции $m_{1-0,5}$, $m_{0,5-0,25}$, $m_{0,25-0,1}$ и $m_{\leq 0,1}$. Для этих образцов зависимость $S = f(m_f)$ по мере увеличения весового количества фракций m_f , равномерно снижается, и близка к прямолинейной функции. Причем величина понижения уровня воды S тем меньше, чем меньше размеры частиц фракций. Выявленные особенности объясняются тем, что с уменьшением размеров частиц и увеличением весового количества мелких фракций в образцах, уменьшается объем пор мелкозема, что и обеспечивает малое понижение уровня воды при фильтрации.

Размеры частиц и весовое количество фракций m_f в образцах оказывает влияние и на скорость понижения уровня воды v_b , которая определяется в виде отношения S/t_f . В пределах испытания одного образца скорость v_b практически остается постоянным, но для разных образцов она неодинаковая и зависит от весового количества фракций m_f в них. Так диапазон изменения скорости v_b в опытах составил:

- 0,0184 – 0,038 см/мин в образцах, содержащих фракций m_{5-2} от 50% до 75%;
- 0,0176 – 0,032 см/мин в образцах, содержащих фракций m_{2-1} от 50% до 75%;
- 0,0183 – 0,010 см/мин в образцах, содержащих фракций $m_{1-0,5}$ от 50% до 75%;
- 0,0204 – 0,015 см/мин в образцах, содержащих фракций $m_{0,5-0,25}$ от 50% до 75%;
- 0,0216 – 0,0158 см/мин в образцах, содержащих фракций $m_{0,25-0,1}$ от 50% до 75%;
- 0,0228 – 0,0166 см/мин в образцах, содержащих фракций $m_{\leq 0,1}$ от 50% до 75%;

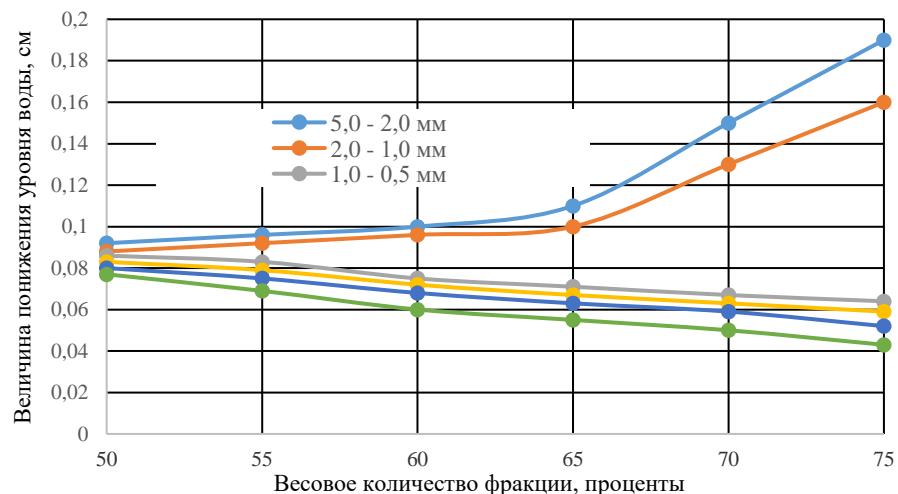


Рис. 5. Зависимость величины понижения уровня воды S от весового количества фракции m_f при продолжительности фильтрации $t_f = 5$ мин

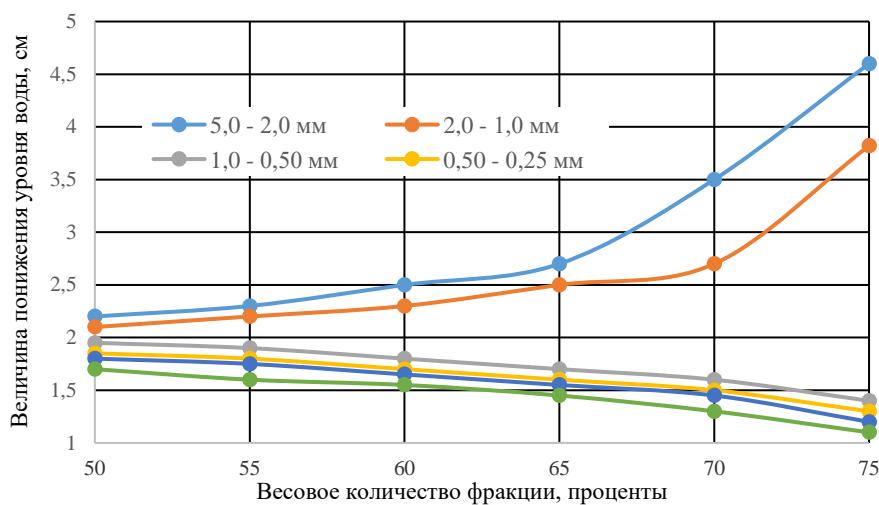


Рис. 6. Зависимость величины понижения уровня воды S от весового количества фракции m_f при продолжительности фильтрации $t_f = 120$ мин

Из приведенных данных следует, что для образцов, содержащих фракций m_{5-2} и m_{2-1} наименьшие значения скорости v_b относятся к образцам с малым весовым количеством фракций, а наибольшие – к образцам с большим весовым количеством фракций. Так увеличение весового количества фракций m_{5-2} в 1,1-1,5 раза (от 50% до 75%) вызывает повышение скорости v_b в 1,04-2,07 раза. Для фракций m_{2-1} такое повышение скорости v_b составляет – 1,1-1,83 раза. При этом скорость v_b с уменьшением размеров частиц фракций снижается (при одинаковом весовом количестве фракций). Снижению диапазона размеров частиц фракций с 5-2 мм до 2-1 мм соответствует уменьшение скорости v_b на 4,35-15,79%. Из сравнения данных, относящихся к образцам, содержащим фракции m_{5-2} и m_{2-1} , следует, что на скорость понижения уровня воды v_b большее влияние оказывает весовое количество фракций, а меньшее – размеры частиц фракций.

Для образцов, содержащих фракций $m_{1-0,5}$, $m_{0,5-0,25}$, $m_{0,25-0,1}$ и $m_{\leq 0,1}$ наименьшие значения скорости v_b относятся к образцам с большим весовым количеством фракций, а наибольшие – к образцам с малым весовым количеством фракций. Увеличение весового количества фракций $m_{1-0,5}$, $m_{0,5-0,25}$, $m_{0,25-0,1}$ и $m_{\leq 0,1}$ в 1,1-1,5 раза приводит к уменьшению скорости v_b на 3,92-45,35%. Снижение диапазона размеров частиц фракций с 1-0,5 мм до 0,1 мм и менее (при одинаковом весовом количестве фракций) сопровождается повышением скорости v_b в 1,24-1,66 раза. Из сравнения данных, относящихся к образцам, содержащим фракции $m_{1-0,5}$, $m_{0,5-0,25}$, $m_{0,25-0,1}$ и $m_{\leq 0,1}$, следует, что на скорость понижения уровня воды v_b меньшее влияние оказывает весовое количество фракций, а большее – размеры частиц фракций.

Из представленных результатов опытов следует, что для рассмотренных двух групп образцов, закономерности изменения скорости понижения уровня воды v_b , значительно отличаются.

Обсуждение результатов исследований. Зависимость $S = f(t_f)$ может быть представлена в виде формулы (1), в которой параметры a и b зависят от весового количества и размеров частиц фракций мелкозема:

$$S = at_f - \varepsilon, \quad (1)$$

При известной площади сечения образца F данная корреляционная зависимость может быть использована для установления объема воды V , профильтрованного через образец, и представлена в виде:

$$V = (at_f - \varepsilon)F, \quad (2)$$

Зависимость $S = f(m_f)$ для образцов, содержащих фракций m_{5-2} и m_{2-1} , описываются формулой (3), а для образцов, содержащих фракций $m_{1-0,5}$, $m_{0,5-0,25}$, $m_{0,25-0,1}$ и $m_{\leq 0,1}$ – формулой (4):

$$S = am_f^2 - bm_f + d, \quad (3)$$

$$S = -cm_f^2 + pm_f - g, \quad (4)$$

где: a, b и d – коэффициенты, принимаемые в зависимости от весового количества и размеров частиц фракций m_{5-2} и m_{2-1} ; c, p и g – коэффициенты, принимаемые в зависимости от весового количества и размеров частиц фракций $m_{1-0,5}$, $m_{0,5-0,25}$, $m_{0,25-0,1}$ и $m_{\leq 0,1}$.

При известной площади сечения образца F , представленные корреляционные зависимости, могут быть использованы для установления объема воды V , профильтрованного через образец, и представлены в виде:

$$V = (am_f^2 - bm_f + d)F, \quad (5)$$

$$V = (-cm_f^2 + pm_f - g)F, \quad (6)$$

Заключение. Выполненные лабораторные исследования позволяют сделать следующие основные выводы:

1. Величина понижения уровня воды при ее фильтрации через мелкозем зависит от продолжительности фильтрации, и эта зависимость описывается прямолинейной функцией, параметры которой изменяются в зависимости от размеров частиц и весового количества фракций, содержащихся в мелкоземе;

2. Размеры частиц и весовое количество фракций в мелкоземе оказывает влияние также и на скорость понижения уровня воды при ее фильтрации. При наличии крупных фракций в мелкоземе на скорость понижения уровня воды в нем большее влияние оказывает весовое количество фракций, а меньшее – размеры частиц фракций. При мелких фракциях на скорость понижения уровня воды меньшее влияние оказывает весовое количество фракций, а большее – размеры частиц фракций;

3. Зависимости (1)-(6) могут быть использованы для приближенной оценки параметров фильтрационного процесса опытных образцов мелкозема при выполнении сравнительного анализа влияния на них весового количества и размеров фракций.

Список литературы

1. П-885-91. Пособие по технологии возведения плотин из грунтовых материалов к СНиП 2.06.05-84 и СНиП 3.07.01-85. – М.: ВПНИИО «Гидропроект», 1991. – 176 с.

2. Борткевич, С.В. О применении пролювиальных отложений для строительства плотин из грунтовых материалов [Текст] // Гидротехническое строительство. – М.: ЗАО НТФ «Энергопрогресс», 2018. – №9. – С.2-6.
3. Ермолаева А.Н., Рельтов Б.Ф., Радченко В.Г., Мамедов Б.А. Искусственная смесь суглинка с дресвино-песчаным грунтом как материал для возведения ядра плотины [Текст] // Известия ВНИИГ. – М.: ВНИИГ, 1976. – Том 1. – С.11-16.
4. Буренкова, В.В. Назначение характеристик глинисто-щебенистых грунтов в противофильтрационных элементах грунтовых плотин // Гидротехническое строительство. – М., 1987. – №7. – С.17-21.
5. Рассказов, А.Л. Гидротехнические сооружения (речные). Учебник для вузов. [Текст] / А.Л. Рассказов, В.Г. Орехов, Н.А. Анискин [и др.] // – М.: Издательство АСВ, 2011. – часть 1.
6. Маслов, Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. [Текст]/ – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.
7. Bekbasarov, I. On the influence of different fraction on the maximum density and optimum humidity of the fine-grained component of the ground mixture / I. Bekbasarov, K. Suienshbayeva // QazBSQA Хабаршысы. – 2023. – №1 (87). – P.173-189
8. Руководство по эксплуатации ПЛЛ.1.00.00 РЭ. Паспорт ПЛЛ.1.00.00 ПС. Лаборатория полевая ПЛЛ-9. – Санкт-Петербург: ООО «ФУТУРУМ», 2011. – 24 с.
9. ГОСТ 25584-2016. Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. – М.: Стандартинформ, 2016. – 17 с.

Исследования выполнены в рамках проекта BR24992867 «Разработка ресурсосберегающих технологий для развития и управления водным хозяйством и перерабатывающей промышленностью Казахстана, создание инновационного инжинирингового центра», профинансированного Комитетом науки МНВО РК.

Материал поступил в редакцию 22.09.25, принят 27.09.25.

И.И. Бекбасаров¹, К.Т. Суйеншбаева¹, Е.И. Атенов¹, Н.А. Шаншабаев¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз қ., Қазақстан

IPI ТҮЙІРШІКТІ ТОПЫРАҚТЫҢ ҰСАҚ ТҮЙІРШІКТІ КОМПОНЕНТИ АРҚЫЛЫ СУДЫҢ СҮЗІЛУДІҢ КЕЙБІР ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ БОЙЫНША ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІҢ НӘТИЖЕЛЕРИ

Аннотация. Мақалада топырақтан жасалған гидротехникалық құрылыштарды салуда қолданылатын топырақ қоспаларының ұсақ түйіршікті компоненттерінің сүзіду қасиеттерін зерттелудің зертханалық нәтижелері көлтірілген. Зертханалық сынақтар 5 мм дейінгі бөлшек өлшемдері бар және әртүрлі салмақтық құрамадас бөліктерден тұратын топтаманың үлгілері бойынша жүргізілді. Ұсақ түйіршікті топырақтардың әртүрлі фракцияларының бөлшек өлшемдері мен салмақтық мөлшерінің үлгілері арқылы судың сүзілу жылдамдығы мен көлеміне тигізетін әсер зерттелді. Судың деңгейі төмендеу жылдамдығы үақыт өткен сайын бірқалыпты өзгереді және ол ұсақ түйіршікті топырақ бөлшектерінің қасиеттеріне байланысты болады. Ipi фракцилар үшін фильтрация жылдамдығына негізінен олардың салмақтық мөлшері әсер етеді, ал ұсақ фракциялар үшін бөлшек өлшемдір үлкен рөл атқарады. Алынған тәжірибелік тәуелділіктерді топырақ қоспаларының фильтрациялық тұрақтылығын бағалау және топырақ бөгөттерінің құрылыштарын жобалау кезінде олардың құрамын онтайландыру үшін қолдануға болады.

Тірек сөздер: ұсақ түйіршікті топырақ, топырақ қоспасы, сүзілу, сүзілу тұрақтылығы, салмақтық үлесі, бөлшектердің өлшемі, сүзілу жылдамдығы.

I. Bekbasarov¹, K. Suienshbayeva¹, E. Atenov¹, N. Shanshabaev¹

¹M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

**THE RESULTS OF LABORATORY STUDIES ON THE STUDY OF CERTAIN PARAMETERS OF
WATER FILTRATION THROUGH SAMPLES OF A FINE-GRAINED COMPONENT OF COARSE-
GRAINED SOIL**

Abstract. The article presents the results of laboratory studies of the filtration properties of fine-grained components of soil mixtures used in the construction of earthen hydraulic structures. Laboratory tests of six groups of samples with particle sizes up to 5 mm and different weight fraction contents were carried out. The influence of the weight amount and particle sizes of various fractions of fine earth on the rate and volume of water filtration through the samples has been studied. It is shown that the dependence of lowering the water level on the filtration time is linear and depends on the characteristics of the fine-earth fractions. For large fractions (5-2 mm m 2-1 mm in size), the filtration rate is influenced primarily by the weight content, while for small fractions (less than 1 mm), particle sizes play an important role.

Keywords: fine earth, soil mixture, filtering, filtration resistance, weight content, particle size, filtration rate.

References

1. P-885-91. Posobiye po tekhnologii vozvedeniya plotin iz gruntovykh materialov k SNiP 2.06.05-84 i SNiP 3.07.01-85 [P-885-91. Manual on the technology of constructing dams from ground materials to SNiP 2.06.05-84 and SNiP 3.07.01-85. 1991. 176 p.]. – M.: VPINIO «Gidroproyekt»[Moscow: VPINIO "Gidroproekt"], 1991. – 176 s. [in Russian]
2. Bortkevich S.V. O primenenii prolyuvial'nykh otlozheniy dlya stroitel'stva plotin iz gruntovykh materialov [On the use of proluvial deposits for the construction of dams from soil materials]// Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo [Hydrotechnical construction]. – M.: ZAO NTF “Energoprogress”, 2018. – No. 9. – P.2-6. [in Russian]
3. Yermolayeva A.N., Rel'tov B.F., Radchenko V.G., Mamedov B.A. Iskusstvennaya smes' suglinka s dresyvano-peschannym gruntom kak material dlya vozvedeniya yadra plotiny [Artificial mixture of loam with gruss-sand soil as a material for the construction of a dam core] // Izvestiya VNIIG. – M.: VNIIG, 1976. – Tom 1. – P.11-16. [in Russian]
4. Burenkova V.V. Naznacheniye kharakteristik glinisto-shchebenistykh gruntov v protivofil'tratsionnykh elementakh gruntovykh plotin[Purpose of characteristics of clayey-crushed-stone soils in anti-seepage elements of earth dams] // Gidrotekhnicheskoye stroitel'stvo [Hydrotechnical construction]. – M., 1987. – No.7. – P.17-21. [in Russian]
5. Rasskazov A.L., Orekhov V.G., Aniskin N.A. Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya (rechnyye). Uchebnik dlya vuzov. [Hydraulic structures (river). Textbook for universities.] // – Moscow: ASV Publishing House], 2011. – Vol. 1.
6. Maslov, N.N. Osnovy inzhenernoy geologii i mekhaniki gruntov. [Fundamentals of engineering geology and soil mechanics.] / – Moscow: Higher School, 1982. – 511 p. [in Russian]
7. Bekbasarov, I. On the influence of different fraction on the maximum density and optimum humidity of the fine-grained component of the ground mixture / I. Bekbasarov, K. Suienshbayeva // QazBSQA Хабаршысы. – 2023. – No.1 (87). – P.173-189.
8. Rukovodstvo po ekspluatatsii PLL.1.00.00 RE. Pasport PLL.1.00.00 PS. Laboratoriya polevaya PLL-9 [Operation manual for PLL.1.00.00 RE. Passport for PLL.1.00.00 PS. Field laboratory PLL-9]. – Sankt-Peterburg: OOO «FUTURUM», 2011. – 24 p.
9. GOST 25584-2016. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya koeffitsiyenta fil'tratsii GOST 25584-2016. Soils. Methods for laboratory determination of filtration coefficient. – M.: Standartinform, 2016. – 17 p.