

**КОМИТЕТ ПО АРХИТЕКТУРЕ И СТРОИТЕЛЬСТВУ  
ПРИ ПРАВИТЕЛЬСТВЕ РЕСПУБЛИКИ ТАДЖИКИСТАН**

Государственное унитарное предприятие «Научно-исследовательский институт  
«Строительство и архитектура»

---

*На правах рукописи*

УДК 624.131.37: 627



**РАХМАНОВ Азим Абдуллаевич**

**РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ КОНСОЛИДАЦИИ СЛАБЫХ  
ВОДОНАСЫЩЕННЫХ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ  
В ОСНОВАНИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук по специальности

2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура

(2.1.8. Гидротехническое строительство)

Душанбе – 2026

Работа выполнена в Государственном унитарном предприятии «Научно-исследовательский институт «Строительство и архитектура»» Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан

**Научный  
консультант**

**Комилов Одина Комилович**

доктор технических наук, Заслуженный работник Таджикистана, академик Инженерной академии РТ, профессор кафедры «Гидрогеология и инженерная геология» Таджикского национального университета

**Официальные  
оппоненты**

**Койбаков Сейитхан Мелдебекевич**

доктор технических наук, профессор, эксперт-консультант по направлению водное хозяйство, гидротехническое строительство и сооружения  
ОО «Содействие устойчивому развитию регионов «ТУҒАЙ ӨЛКЕ» (г. Тараз, Республика Казахстан).

**Муртазаев Уктам Исматович**

доктор географических наук, профессор кафедры «Физическая география» Таджикского государственного педагогического университета им. С. Айни

**Шарифов Абдумумин Шарифович**

доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Водородная энергетика» Института химии им. В.И.Никитина НАНТ

**Ведущая  
организация**

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова»» (г.Москва, Российская Федерация)**

Защита состоится «18» июня 2026 г. в 9:00 часов на заседании диссертационного совета 6Д.КОА-059 при Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана по адресу: 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Бофанда 5/2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана и на сайте [www.imoge.tj](http://www.imoge.tj)

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
совета 6Д.КОА-059, к.т.н.



Шаймуратов Ф.И.

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Одной из важнейших задач в области прикладной геомеханики в строительстве является совершенствование методов прогноза деформаций инженерных сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах, характеризующихся значительной нелинейной деформируемостью и переменной проницаемостью. Одновременный учет в задачах консолидации изменчивости указанных свойств, а также параметров грунтов в исходном напряженно-деформируемом состоянии с изменением первоначальной высоты массива в процессе консолидации составляет актуальность темы диссертационных исследований.

**Степень изученности данной темы.** В развитие теории и практики исследования консолидации грунтов весомый вклад внесли ученые Абелев Ю.М. [8], Денисов Н.Я.[20], Польшин Д.Е.[13,23], Маслов Н.Н.[3, 18], Сорокина Г. В. [22], Роза А.С. [24], Флорин В.А.[6], Цытович Н.А. [7, 19] , Вялов С.С.[15, 38], Зарецкий Ю.К.[2, 12, 17, 37], Абелев М.Ю.[8], Тер-Мартirosян З.Г [5, 14, 28, 36] и др.

Вопросам исследования свойств слабых водонасыщенных лессовых грунтов посвящены исследования Ахмедова Д.Д. [29], Мусаэяна А.А. [31], Комилова О.К. [30], Тахирова И.Г. [32] и др. исследователей.

Влиянию различных факторов на процесс консолидации водонасыщенных грунтов посвящены работы: а) начальному градиенту напора на процесс фильтрации поровой жидкости - исследования Роза А.С.[24], и др.; б) газосодержащей поровой жидкости - исследования Тер-Мартirosяна З.Г.[5] , Зарецкого Ю. К.[2], Абелева М.Ю.[8] и др.; в) реологическим свойствам грунтов - исследования Вялова С.С.[15, 38], Цытовича Н.А.[7, 19], Маслова Н. Н. [3,18], Гольдштейна Н.М.[16, 25] и др. Среди зарубежных исследователей процесса консолидации водонасыщенных грунтов следует отметить труды Бардена Л. [40], Леонардса Г. [41], Ло К. [42], Поскита Т. [43], Раймонда Г. [44], Ямбу Н. [45] и др. исследователей.

**Связь темы с научными программами.** Исследования, положенные в основу диссертационной работы, начаты в 1980-х годах и дальнейшие исследования были продолжены в соответствии с принятыми Постановлениями Правительства Республики Таджикистан: Постановлением № 450 от 31.08.2012 г. «О государственной программе по освоению новых орошаемых земель и восстановлению выбывших из сельскохозяйственного оборота земель в Республике Таджикистан на 2012 – 2020 годы» и Постановлением № 203 от 27.04.2022 г. «О Стратегии развития строительной отрасли Республики Таджикистан на период до 2030 года».

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Цель исследований** заключалась в реализации комплекса научных и практических исследований по разработке количественной и качественной

оценки деформаций слабых водонасыщенных глинистых грунтов большой мощности, обеспечивающих эксплуатационную надежность и безопасность гидротехнических и других инженерных сооружений, являющихся актуальной задачей развития нового направления в области наук о Земле.

**Задачи исследования** включали:

1. Проведение экспериментальных исследований деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов на приборах одноосного и трехосного сжатия (стабилометрах) с замером величины порового давления. В экспериментах исследовать образцы илистых грунтов верхних горизонтов, характеризующихся мягко- и текучепластичной консистенцией и полученных посредством новой конструкции грунтоотборника, разработанной при участии автора;

2. Решение теоретической задачи по определению объемной деформации разуплотнения слабых водонасыщенных глинистых грунтов при поднятии на дневную поверхность (снятии природной нагрузки) и методики определения параметров грунтов, входящие в полученную зависимость;

3. Разработку методики построения графика исходной (природной) компрессии грунтов в массиве и выявления степени уплотненности (нормальной уплотненности или недоуплотнения) массива в природном напряженно-деформируемом состоянии;

4. Разработку научно-теоретических основ консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов в основании гидротехнических и других инженерных сооружений с учетом нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформируемого состояния.

5. Разработку методики определения высоты капиллярного поднятия поровой жидкости в подтопленном массиве при переменном (поднимающемся, опускаемом) уровне грунтовых вод;

6. Постановка и решение задачи фильтрационной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов численным методом с учетом нелинейной деформируемости, переменной проницаемости, исходного напряженно-деформированного состояния и изменяющейся во времени высоте массива. При этом разработана и предложена новая методика определения реологических параметров (скорости ползучести ( $\dot{\delta}$ ) и затухания ползучести ( $\delta''$ )) слабых водонасыщенных глинистых грунтов в процессе вторичной консолидации.

**Объектом исследования** в диссертации являлись слабые водонасыщенные глинистые (илистые, водонасыщенные лессовые) грунты, служащие основанием различных инженерных сооружений.

**Предметом исследования** являлось совершенствование и разработка метода расчета консолидации оснований гидротехнических и других инженерных сооружений, при их возведении на слабых водонасыщенных глинистых грунтах.

**Теоретические основы исследования** заключались в выявлении причинно-следственной связи процесса консолидации слабых водонасыщенных

глинистых грунтов под приложенной нагрузкой и уплотнением грунтов в исходном (природном) напряженно-деформированном состоянии, а также учет физических свойств грунтов, сложившихся в массиве в исходном напряженно-деформированном состоянии, на процесс консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов

**Научная новизна исследований** заключалась в следующем:

- получено теоретическое решение задачи определения объемной деформации разуплотнения слабых водонасыщенных глинистых грунтов при их отборе из массива и снятии природной нагрузки от вышележащих слоев грунта и выводе уравнения исходной (природной) компрессии грунтов в исходном напряженно-деформируемом состоянии;

- на основе изотермического закона Бойля-Мариотта и закона растворимости газов (закона Генри) впервые получены значения радиусов пузырьков заземленного газа и степени влажности водонасыщенных глинистых грунтов в зависимости от глубин отбора грунтов;

- на основе закона поднятия жидкости в капиллярах (закона Борелли-Жюрэна), получены значения высоты поднятия поровой жидкости ( $h_{\text{кап}}$ ) по глубине массива слабых водонасыщенных глинистых грунтов;

- предложена методика определения мощности сжимаемой толщи ( $h_a$ ) массива слабых водонасыщенных глинистых грунтов при действии внешних нагрузок и методика учета влияния органических включений и различных слоев грунта, залегающих в массиве, на величину конечной осадки;

- получено решение задачи определения осадки гидротехнических и других инженерных сооружений при учете нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния массива слабых водонасыщенных глинистых грунтов;

- получено решение задачи нелинейной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов численным методом при совместном учете исходного напряженно-деформированного состояния и изменяющейся во времени высоте массива под действием приложенной внешней нагрузки.

**Основные положения диссертации, выносимые на защиту:**

1) теоретическое решение задачи по определению объемной деформации разуплотнения грунтов при их отборе из массива и определение физических показателей слабых водонасыщенных глинистых грунтов в исходном (природном) напряженно-деформируемом состоянии;

2) методика построения графика исходной (природной) компрессии в массиве слабых водонасыщенных глинистых грунтов по их физическим показателям и оценка степени природной уплотненности (нормальное уплотнение, недоуплотнение) массива в условиях естественного залегания;

3) решение теоретической задачи определения деформаций (осадок) гидротехнических и других инженерных сооружений, возведенных на слабых водонасыщенных глинистых грунтах с учетом их нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-

деформированного состояния;

4) численное решение задачи фильтрационной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом их нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния массива;

5) определение времени завершения первичной фильтрационной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов при учете изменяющейся высоты массива;

6) определение реологических параметров консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов (скорости ползучести ( $\dot{\delta}$ ) и затухания ползучести ( $\delta''$ )) при изменяющейся во времени высоте массива.

**Теоретическая значимость исследования** заключается в получении зависимости по определению величины объемного расширения образцов грунта при поднятии из массива на дневную поверхность; разработке метода расчета деформаций (осадок) гидротехнических и других инженерных сооружений, возводимых на слабых водонасыщенных глинистых основаниях; получении зависимости изменения радиусов пузырьков растворенного газа в поровой жидкости, а также изменения степени влажности грунтов по глубине массива; определении высоты капиллярного поднятия поровой жидкости на различной глубине подтопленного массива; решении численным методом задачи консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов при учете их нелинейной деформируемости и переменной проницаемости под действием внешней нагрузки, а также природного напряженно-деформированного состояния и изменяющейся во времени высоте массива.

**Практическая значимость работы** заключается в использовании разработанной методики расчета консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом нелинейной деформируемости, переменной проницаемости, а также природного напряженно-деформированного состояния и изменяющейся высоты массива при прогнозе деформаций возводимой земляной плотины Днепро-Бугского гидроузла на аналогичных грунтах большой мощности.

Некоторые задачи и положения работы отражены в научных трудах проф. Тер-Мартirosяна З.Г., включая: «Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов» (М.: Недра, 1986.- 292 с.) и «Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений» (М.: Стройиздат, 1990.-200 с.), а также в учебниках «Механика грунтов» (М.: АСВ, 2005.- 488 с.) и «Механика грунтов» (М.: АСВ, 2009.- 553 с.), рекомендованные студентам строительных специальностей ВУЗов, инженерам-геологам, гидрогеологам, а также другим специалистам смежных отраслей.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности** состоит в повышении надежности гидротехнических сооружений различного назначения и соответствует пунктам 1, 6 и 9 паспорта специальности 2.1.8

Гидротехническое строительство:

1. Разработка теории, методов расчетного обоснования, проектирования и строительства плотин из грунтовых материалов;

6. Развитие теории, методов расчета, проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений мелиоративных систем и строительных систем природоохранного назначения;

9. Разработка методов оценки влияния гидротехнического строительства на прилегающие территории, создание новых методов расчетов и проектирования сооружений инженерной защиты.

**Степень достоверности результатов** заключалась в:

- применении существующих современных методов и средств исследований;
- подтверждении результатов исследований, полученных в диссертации, с данными исследований других авторов;

- подтверждении теоретических положений, полученных в диссертации, результатами экспериментальных исследований и данными других исследователей;

- одобрении полученных результатов исследований на научных семинарах, республиканских и международных конференциях.

**Личный вклад соискателя** состоит в выборе объектов исследований, постановке цели и задач; обосновании и формулировке научных положений; анализе результатов экспериментальных исследований; обосновании результатов теоретических исследований, а также предложении практических рекомендаций; единоличных и в соавторстве публикациях о проведенных исследованиях и результатов работ.

**Апробация и применение результатов диссертации.** Основные научные положения диссертационной работы и результаты исследований докладывались на международных и республиканских научных и научно-практических конференциях: Республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (г. Душанбе, 1984); Всесоюзной научно-практической конференции «Современные проблемы нелинейной механики грунтов» (г. Челябинск, 1985); Республиканской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (Душанбе, 1987); XVII-й Республиканской научно-практической конференции (секция техн. наук)» (г. Душанбе, 1990); III-м Центрально-Азиатском Международном Геотехническом Симпозиуме «Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах» (г. Душанбе, 2005); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы архитектуры и градостроительства» (г. Душанбе, 2021); Международной научно-практической конференции «Проблемы инженерной геологии, гидрогеологии гидрологии и разработки месторождений полезных ископаемых Таджикистана и сопредельных территорий» (г. Душанбе, 2022); Международной научно-практической конференции «XII Ломоносовские чтения», посвященные 30-летию установления дипломатических отношений между Республикой

Таджикистан и Российской Федерацией» (Душанбе, 2022), ); Международной научно-практической конференции «Современные достижения и актуальные проблемы в науках о Земле» (г. Душанбе, 2024).

**Публикации по теме диссертации.** Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований, составляющих содержание диссертационной работы, освещены в 34 научных работах, в т. ч. в 17-и публикациях в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан, 4-х отраслевых нормативных документах и 2-х авторских свидетельствах.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения и списка использованных литературных источников из 367 наименований и 5-ти приложений. Общий объем диссертации составляет 323 страницы, включая 62 рисунка и 14 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, степень научной разработанности изучаемой проблемы, изложена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи, определены объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, освещен личный вклад автора, изложены основные защищаемые положения, приведена структура работы, сведения по ее апробации и реализации результатов, приведены сведения о публикации, краткое содержание диссертации.

**В первой главе «Современное состояние исследований деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов»** представлен обзор современного состояния исследований деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов. Отмечено, что в развитие теорий консолидаций водонасыщенных глинистых грунтов значительный вклад внесли труды Герсеванова Н.М. [1], Зарецкого Ю.К. [2], Маслова Н.Н. [3], Терцаги К. [4], Тер-Мартirosяна З.Г. [5], Флорина В.А. [6], Цытовича Н.А. [7] и др. Ряд задач консолидации водонасыщенных глинистых грунтов были решены Абелевым М.Ю. [8], Гольдиным А.Л. [9], Гореликом Л.В. [10], Далматовым Б.И. [11] и др. Вопросам экспериментальной проверки теорий консолидации для слабых водонасыщенных глинистых грунтов посвящены работы Зарецкого Ю.К. [12], Польшина Д.Е. [13], Тер-Мартirosяна З.Г. [14] и др. исследователей. Отмечено, что исследованиям реологических свойств слабых водонасыщенных глинистых грунтов посвящены труды Вялова С.С. [15], Гольдштейна М.Н. [16], Зарецкого Ю.К. [17], Маслова Н.Н. [18], Цытовича Н.А. [19] и др. ученых.

В работе проведен анализ применимости теорий консолидации, включая теории, учитывающие реологические свойства слабых водонасыщенных глинистых грунтов и проанализированы теоретические исследования

напряженного состояния грунтов природного сложения. На основании приведенного обзора существующих теорий консолидации отмечается, что в настоящее время, не имеется обобщающих работ, учитывающих закономерности уплотнения слабых водонасыщенных глинистых грунтов в исходном (природном) напряженно-деформируемом состоянии. Опубликованные труды, рассматривающие вопросы уплотнения этих грунтов с общетеоретических позиций (Денисов Н.Я. [20], Ломтадзе В.Д. [21], и др.), а также с точки зрения конкретных вопросов их использования в качестве оснований зданий и сооружений (Сорокина Г.В. [22], Польшин Д.Е. [23], Роза А.С. [24] и др.), объясняя физическую сторону этого процесса, в недостаточной степени оценивают количественную и качественную стороны деформирования во времени. Это требует дополнительных исследований по совершенствованию методов расчета осадок при комплексном учете закономерностей деформирования данных грунтов, а также их параметров в условиях естественного формирования, т.е. в исходном (природном) напряженно-деформируемом состоянии.

В вопросах исследования строительных свойств слабых водонасыщенных грунтов, а также разработке теории и практики строительства зданий и сооружений на слабых водонасыщенных грунтах, существенный вклад внесли ученые: Абелев М.Ю. [8], Гольдштейн М.Н. [25], Далматов Б.И. [26], Ломтадзе В.Д. [27], Тер-Мартirosян З.Г. [28], и многие другие. Существенный вклад в исследовании данного вопроса внесен зарубежными учеными: Терцаги К. [4], Пек Р. [33], Барденом Л. [40], Леонардсом Г. [41], Ло К. [42], Поскитом Т. [43], Раймондом Г. [44], Ямбу Н. [45] и др.

О важности рассматриваемых вопросов для Республики Таджикистан говорит приводимая д.т.н. Фазыловым А.Р. [39] оценка объемов гидротехнического строительства, отмечающая, что «...в Таджикистане ранее возведены, возводятся и эксплуатируются 11 крупных гидроузлов (в т.ч. Рогунский, Нурекский, Гидроузел «Сангтуда», Байпазинский, Каттасойский, Даганасойский, Сарбанд, Муминабадский, Кайракумский, Гидроузел «Сангтуда -2), а также каналы (Вахшский, Гиссарский, Далварзинский, Чубекский, Канал Дехканабад и др.), головные водозаборные сооружения на реках (Вахш, Пяндж, Исфара и др.), гидротехнические каналы (из водохранилища Байпазинской ГЭС, Нурекской ГЭС и в Яванском районе), а также дюкеры (Шурабадский, Лакайсойский, Ишмасойский и др.)...». Все указанные гидротехнические сооружения, возведенные для выработки дешевой электроэнергии, одновременно являются источниками орошения ранее неосвоенных земель и, как следствие, причиной обводнения обширных территорий и поднятия уровня грунтовых вод.

В Республике Таджикистан исследованиями свойств макропористых лессовых грунтов, а также вопросами строительства на таких грунтах и обводняемых территориях, посвящены труды Ахмедова Д.Д. [29], Комилова О.К. [30], Мусаэляна А.А. [31], Тахирова И.Г. [32] и др. исследователей.

В работе приводится краткий обзор работ по теоретическому исследованию моделей глинистых грунтов, объясняющих работу оснований при действии внешних нагрузок. Они нашли свое отражение в трудах Терцаги К. [33], Флорина В.А. [35], Тер-Мартirosяна З.Г. [36], Зарецкого Ю.К. [37], Вялова С.С. [38] и др. исследователей.

Во второй главе «*Объекты и методы исследований слабых водонасыщенных глинистых грунтов*» приведены физические показатели исследованных грунтов, особенности конструкций приборов и оборудования, использовавшихся при выполнении исследований, а также методика проведения экспериментальных работ.

В диссертационной работе рассматриваются слабые водонасыщенные глинистые грунты, представленные слабыми водонасыщенными илистыми (г. Очаков, Украина) и водонасыщенными лессовыми грунтами Дангаринского района (Хатлонская область, Республика Таджикистан).

Обводненные лессовые грунты данного района характеризуются повышающимся уровнем грунтовых вод, сезонно выходящим на низинных участках на дневную поверхность. Согласно Мелиоративного кадастра РТ «...повышение уровня технического водообеспечения и состояния орошаемых мелиоративных земель Республики Таджикистан по состоянию на 01.01.2014 г.», в г. Дангаре «уровень грунтовых вод, опасно залегающий от поверхности земли составляет территорию, равную 240 гектарам».

В диссертационной работе исследовались слабые водонасыщенные глинистые грунты, включая грунты верхних горизонтов илистых оснований, отбор которых существующими устройствами для отбора грунтов является достаточно проблемным.

Для решения вопроса отбора илистых грунтов мягкопластичной и пластичной консистенций, автором, совместно с доктором техн. наук, проф. Тер-Мартirosяном З.Г. (МГСУ, РФ) и канд. техн. наук Погосяном Р.Г. (МГСУ, РФ) была разработана, изготовлена и внедрена конструкция грунтоотборника принципиально новой конструкции (авт. свид. СССР № 1488715 (51) Е 02 Д1/00) (рисунок 1).

После отбора образцов слабых водонасыщенных глинистых грунтов проводились экспериментальные исследования с использованием компрессионных приборов конструкции д.т.н., проф. Месчяна С.Р. с площадью колец  $A = 40 \text{ см}^2$ , компрессионных приборов с площадью колец  $A = 100 \text{ см}^2$ , разработанных в комплекте к грунтоотборнику, а также и приборы трехосного сжатия радиального типа (тип Б), позволяющие определять деформационные и фильтрационные параметры грунтов при различных внешних нагрузках.

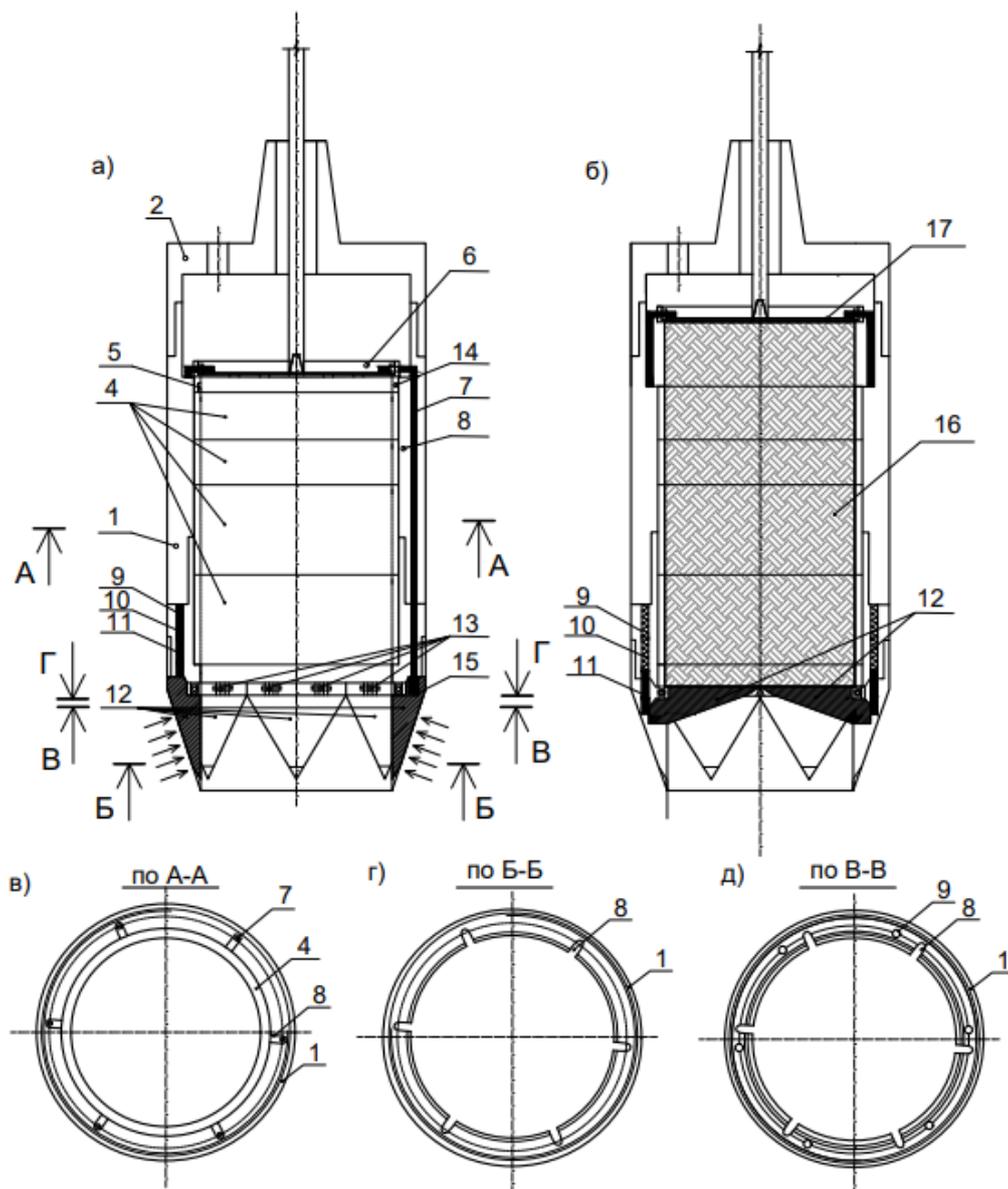


Рисунок 1. Разрезы и сечения устройства для отбора слабых водонасыщенных глинистых грунтов (авт. свид. СССР № 1488715 (51) Е 02 Д1/00): а) – разрез устройства в собранном виде; б) – разрез устройства после отбора пробы грунта: 1 - корпус; 2 – крышка; 3 – заостренный наконечник; 4 – грунтовые кольца; 5 – кольцевые датчики; 6 – диск для направляющих стержней; 7 – направляющие стержни; 8 – вертикальные каналы в корпусе; 9 – каналы для установки пружин; 10 – пружины; 11 – штоки; 12 – жесткие подвижные сектора; 13 – шарниры; 14 – стопорное кольцо с резьбой; 15 – углубления для направляющих стержней; 16 – образец грунта; 17 – резиновое кольцо.

Общий вид грунтоотборника для отбора слабых водонасыщенных глинистых грунтов в разобранном и собранном виде приведен на рис.2.

а)



б)



Рисунок 2. Конструкция грунтоотборника: а) - в разобранном виде, б) - в собранном виде с закрытой грунтоприемной камерой

Величины избыточного порового давления, возникающих в образцах исследуемых водонасыщенных глинистых грунтов, определялась посредством датчиков порового давления компенсационного и аэрогидростатического (капиллярного) типа.

**В третьей главе «Результаты исследований слабых водонасыщенных глинистых грунтов»** приводятся результаты лабораторных исследований, сжимаемости и проницаемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов при действии внешних нагрузок, время стабилизация деформаций, значения деформационных, фильтрационных и реологических параметров и характер рассеивания порового давления во времени.

Результаты исследований выявили, что для слабых водонасыщенных илистых грунтов характерны достаточно большие значения относительных деформаций даже при незначительных первоначально прилагаемых степенях нагрузок. Подтверждается это результатами испытаний образцов грунта с глубины 2,40 – 2,70 м (скважина № 941) при различных степенях загрузки, приведенными на рис.3.

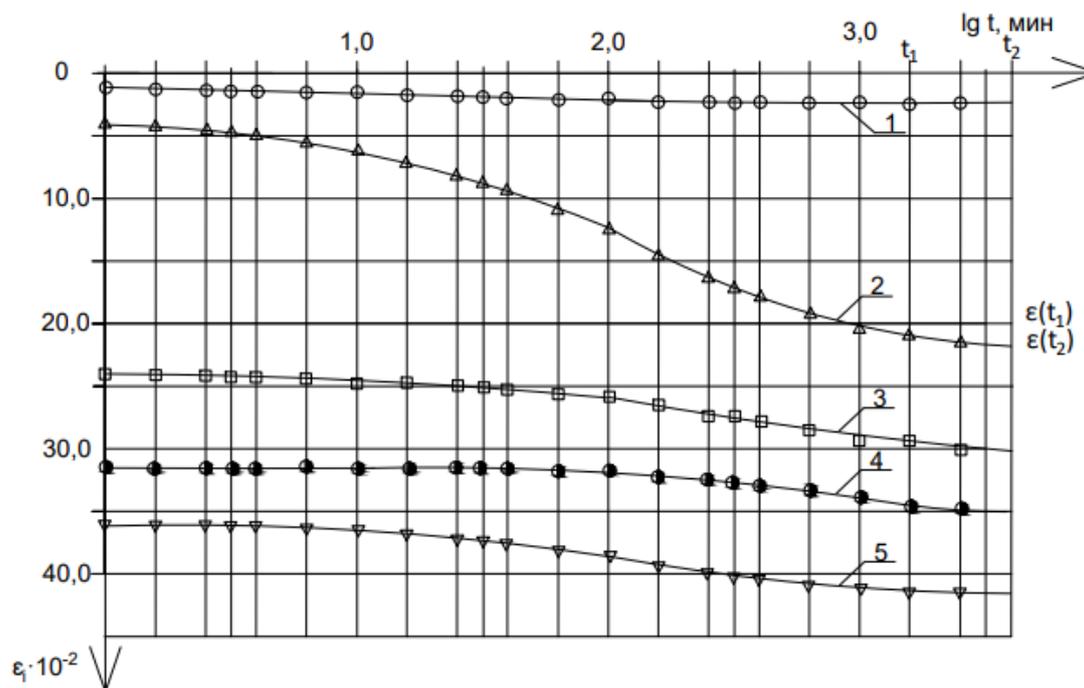


Рисунок 3. Зависимость относительной деформации ( $\epsilon$ ) от логарифма времени ( $\lg t$ , мин.) образца илистого грунта с отм. 2,40 ÷ 2,70 м (скважина № 941): 1 -  $\sigma = 0,01$  МПа; 2 -  $\sigma = 0,03$  МПа; 3 -  $\sigma = 0,06$  МПа; 4 -  $\sigma = 0,10$  МПа; 5 -  $\sigma = 0,20$  МПа;

При сжимающей нагрузке  $\sigma = 0,02$  МПа, величина относительной деформации образца составила  $\epsilon = S/H_0 = 0,41$  (41%) от первоначальной высоты, что говорит о существенной сжимаемости грунтов.

Компрессионные кривые других исследованных образцов, отобранных с различных глубин по скважине № 941, представлены на рисунке 4.

При исследовании водонасыщенных глинистых грунтов наблюдалось характерное уменьшение деформируемости грунтов по глубине массива, что являлось проявлением уплотненности грунтов под действием сил гравитации в исходном (природном) напряженно-деформируемом состоянии.

Полученные данные исследований подтверждали необходимость учета исходного напряженно-деформированного состояния грунтов при расчете деформаций гидротехнических и других инженерных сооружений, возводимых на данных грунтах.

Характерные графики изменения коэффициента порового давления ( $\beta_0$ ) и относительной деформации ( $\epsilon = S/H_0$ ) образцов от логарифма времени исследований ( $\lg t$ , мин) представлены на рисунке 5.

В процессе исследований выявлено, что значения коэффициента порового давления зависят от степени влажности образца грунта.

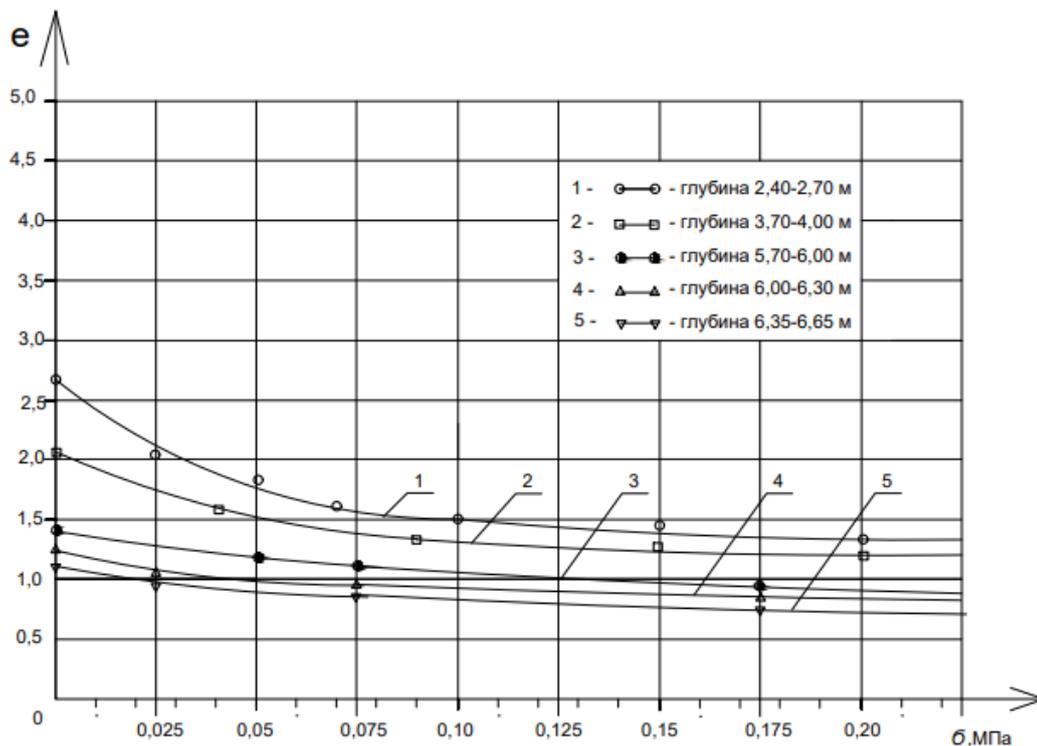


Рисунок 4. Компрессионные кривые исследованных грунтов по скважине № 941

Так, при степени влажности  $S_r = 0,98$ , значения начального коэффициента порового давления были равно  $\beta_0 = 0,96$ , а при  $S_r = 0,93$  значения начального коэффициента порового давления равнялось  $\beta_0 = 0,79$ .

Наряду с водонасыщенными илистыми грунтами в диссертационной работе рассматривались обводненные лессовые грунты на территории Хатлонской области (г. Дангара, Республика Таджикистан).

Данный район относится к обводняемой территории и характеризуется переменным уровнем грунтовых вод. Характерные графики изменений коэффициентов пористости ( $e$ ) и степени влажности ( $S_r$ ) по глубине ( $z$ ) массива водонасыщенных лессовых грунтов представлены на рисунке б.

Изменения коэффициентов пористости образцов водонасыщенных (илистых, лессовых) грунтов по глубине массива успешно аппроксимируются экспоненциальной зависимостью вида:

$$e = e_0 - b\{1 - \exp(-az)\} \quad (1)$$

где  $e$  - текущее значение коэффициента пористости;  
 $e_0$  - начальное значение коэффициента пористости;  
 $a, b$  - коэффициенты, причем  $a$  ( $\text{м}^{-1}$ ).

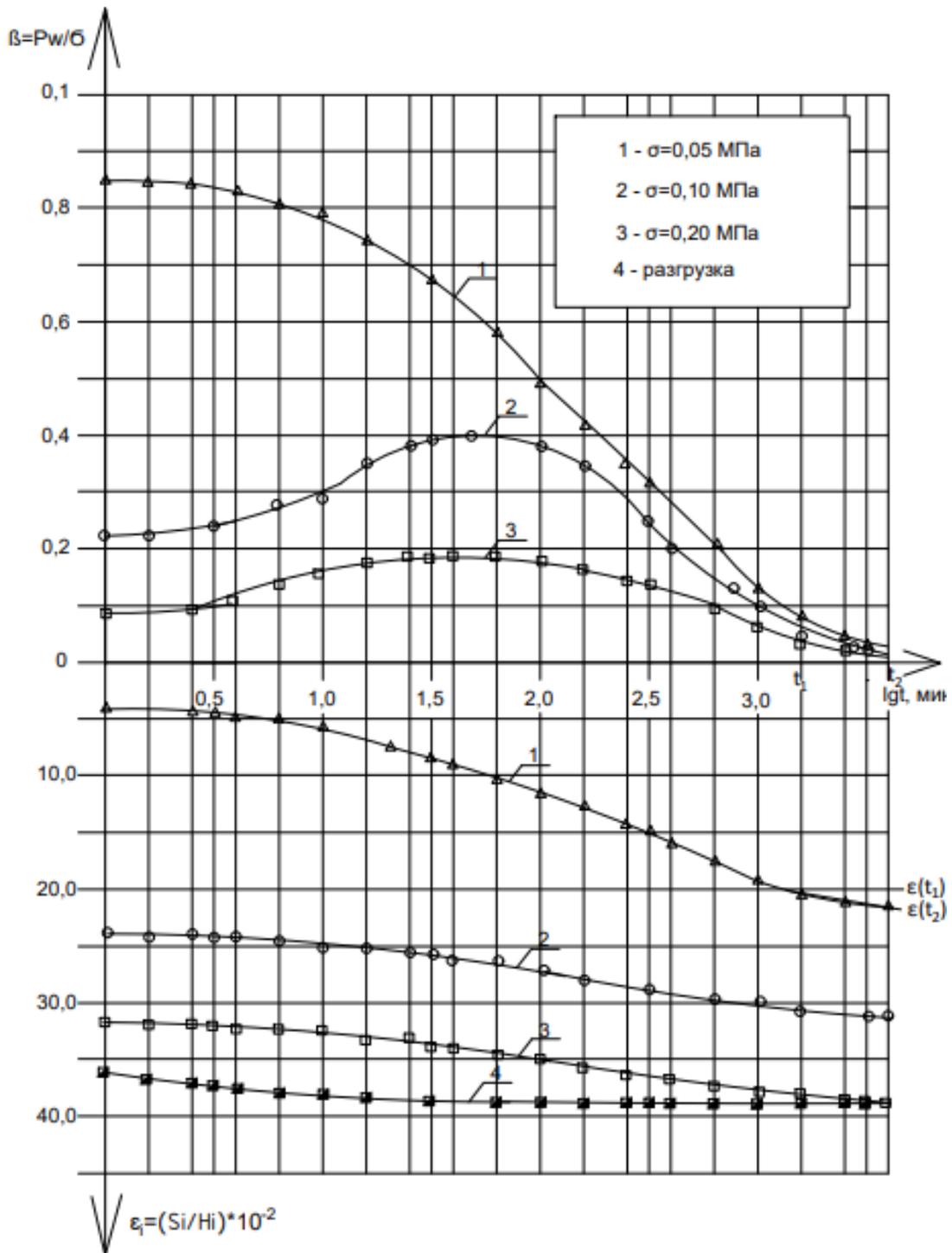


Рисунок 5. Изменение коэффициента порового давления ( $\beta$ ) и относительной деформации ( $\epsilon$ ) во времени ( $lg t$ , мин) грунта высотой  $H=40$  см, с глубины 4,75 – 5,05 м (скважина № 1481) с последующей разгрузкой образца (кривая 4)

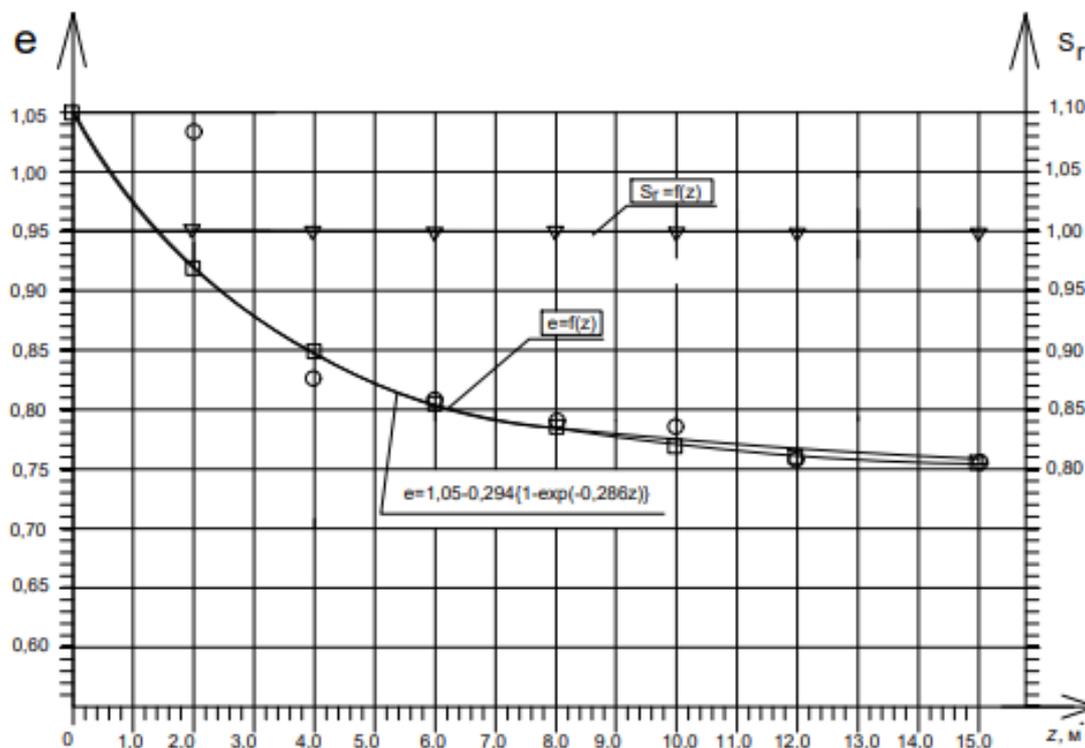


Рисунок 6. Графики изменения коэффициента пористости ( $e$ ) и степени влажности ( $S_r$ ) по глубине ( $z$ ) массива водонасыщенных лессовых грунтов (Хатлонская область, Республика Таджикистан)

Значения параметров  $e_0$ ,  $a$  и  $b$ , входящих в зависимость (1) определяются методом наименьших квадратов отклонений.

В четвертой главе «Теоретические основы нелинейной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом исходного напряженно-деформированного состояния» рассмотрены основы консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов при учете нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния.

В диссертации получено решение задачи определения объемной деформации разуплотнения ( $\Delta e$ ) при отборе из массива (снятии природной нагрузки) слабых водонасыщенных глинистых грунтов в виде зависимости:

$$\Delta e = \frac{-e^{II}(1+e^{II})\Delta\sigma}{\{(n^{II}/\alpha_z) + (1/\alpha_w) + (1+2e^{II})\Delta\sigma\}} \quad (2)$$

где  $e^{II}$ ,  $n^{II}$  – значения коэффициента пористости и пористости образца

грунта на поверхности земли;

$\Delta\sigma$  – изменение общих напряжений, действующих на образец при отборе;

$\alpha_z = \left(\frac{1-2\nu}{E_{el}}\right) / \Delta\sigma_z$  – коэффициент объемного расширения твердых минеральных частиц (скелета) грунта,

где  $\nu = 0,42$  – коэффициент Пуассона;

$E_{el}$  – модуль упругости при декомпрессии (разгрузке) грунта;

$\Delta\sigma_z$  – изменение эффективных напряжений при перемещении грунта на дневную поверхность.

$\alpha_w = \frac{1}{\Delta\sigma_w} \left(1 - \frac{S_r^{II}}{S_r^I}\right)$  – коэффициент объемного расширения поровой жидкости;

$\Delta\sigma_w$  – приращение нейтрального давления при перемещении образца из глубины отбора на дневную поверхность;

$S_r^I, S_r^{II}$  – соответственно величины степени влажности образца на глубине отбора и поверхности земли.

В работе рассмотрены случаи отбора образцов водонасыщенных глинистых грунтов при различных инженерно-геологических условиях:

- 1) массив илистого грунта, залегающего под слоем воды;
- 2) массив водонасыщенного лессового грунта;
- 3) подтопляемый массив лессовых грунтов с переменным (поднимающимся) уровнем грунтовых вод.

Для рассмотренных случаев приведены изменения значений напряжений (общих, эффективных и нейтральных) в процессе отбора грунтов. Уменьшение сжимающих действующих нагрузок (собственного веса вышележащих грунтов) при подъеме на дневную поверхность вызывают увеличение радиусов пузырьков заземленного газа в порах грунта. Приведена методика определения значений радиусов пузырьков заземленного газа на дневной поверхности ( $r^{II}$ ) и на глубине отбора грунта ( $r^I$ ).

В работе показано, что высота капиллярного поднятия поровой жидкости ( $h_{кап}$ ) в массиве водонасыщенных глинистых грунтов зависит от размеров пузырьков заземленного газа в порах грунта. На основе формулы Борелли – Журена предложен метод определения высоты капиллярного поднятия поровой жидкости ( $h_{кап}$ ) в водонасыщенном массиве при изменяющемся уровне грунтовых вод (УГВ).

На основе изотермического закона Бойля-Мариотта и закона растворимости газов (закон Генри) решена задача изменения степени влажности грунтов ( $S_r^I$ ) по глубине массива, зависящая от его значения на дневной поверхности ( $S_r^{II}$ ).

Определяемые согласно (2) изменения коэффициента пористости при отборе (снятии природной нагрузки) и их значения на дневной поверхности позволяют установить фактические значения коэффициентов пористости

грунтов по глубине массива. При этом величины природного давления для водонасыщенных глинистых грунтов по глубине массива будут изменяться по зависимости

$$\sigma_z = D_0 \ln[B_0 + C_0 \exp(az)] + 2T \left( 1/r^I - 1/r_0^I \right) \quad (3)$$

где  $f_0$  - коэффициент размерностей ( $1 \text{ кН/м}^3 = 10^{-3} \text{ МПа/м}$ ),

$$B_0 = b / (1 + e_0) \quad (4)$$

$$C_0 = [1 - b / (1 + e_0)] \quad (5)$$

$$D_0 = (\gamma_s - \gamma_w) / f_0 a (1 + e_0 - b) \quad (6)$$

Совместное решение (1) и (3) приводит к зависимости:

$$e = e_0 - b \left\{ 1 - \frac{C_0}{\left[ \exp\left(\frac{\sigma_z^I}{D_0}\right) - B_0 \right]} \right\} \quad (7)$$

где

$$\sigma_z^I = \sigma_z - 2T \left( 1/r^I - 1/r_0^I \right) \quad (8)$$

а  $r_0^I$  – значение радиусов пузырьков газа на поверхности.

Зависимость (7) является зависимостью изменения коэффициентов пористости ( $e$ ) по глубине массива под действием собственного веса вышележащих слоев грунта ( $\sigma_z^I$ ). Графики природной компрессии, построенные, согласно зависимости (7), позволят установить деформационные показатели слабых водонасыщенных грунтов в массиве и могут использоваться в расчетах осадок возводимых гидротехнических и других инженерных сооружений.

В диссертационной работе в качестве постулата принята аналогия процессов уплотнения слабых водонасыщенных глинистых грунтов в массиве в исходном напряженно-деформируемом состоянии и в условиях компрессионного сжатия, т.е. когда:

- 1) в массиве на глубине  $z$  на грунт действует давление от вышележащих слоев грунта ( $\sigma_{zg}$ ) равные приложенной нагрузке к образцам, т.е. при  $\sigma_{zg} = \sigma$ ;
- 2) образцы в компрессионном приборе находятся под нагрузкой ( $\sigma$ ), равной природной нагрузке ( $\sigma_{zg}$ ), т.е. при  $\sigma = \sigma_{zg}$ .

При совместном рассмотрении графиков природной компрессии и результатов компрессионных испытаний при завершении фильтрационной

консолидации (по Казагранде) могут наблюдаться 2 варианта:

1) кривая природной компрессии в массиве в исходном напряженно-деформированном состоянии будет проходить ниже экспериментальной компрессионной кривой, т.е. график компрессии грунтов в природном состоянии будет в более уплотненном состоянии (рисунок 7).

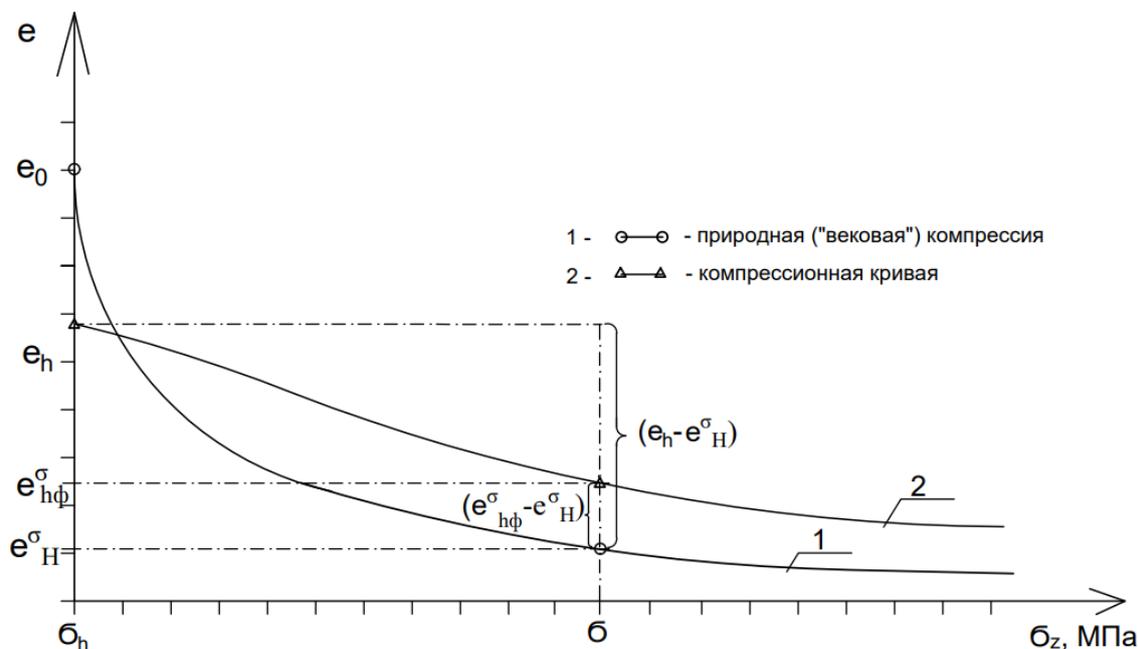


Рисунок 7. Определение прогнозируемой деформации ползучести грунтов при действии внешней нагрузки: 1 - график исходной (природной) компрессии в массиве, 2 – экспериментальные данные

Для оценки графиков введем понятие «показателя доуплотнения» ( $\eta$ ) грунта в природном состоянии, который будет равен

$$\eta = \frac{(e_{h\phi}^{\sigma} - e_H^{\sigma})}{(e_h - e_H^{\sigma})} \quad (9)$$

где  $e_h$  - начальный коэффициент пористости образца грунта с глубины  $h$  и испытанного в компрессионном приборе;

$e_{h\phi}^{\sigma}$  - коэффициент пористости образца в компрессионном приборе при завершённой фильтрационной консолидации от приложенной нагрузки  $\sigma$  (по Казагранде);

$e_H^{\sigma}$  - коэффициент пористости в исходном напряженно-деформированном состоянии от собственного веса вышележащих слоев, равного  $\sigma = \sigma_{zg}$ .

Значения «меры доуплотнения»  $\eta$  может меняться в пределах

$$0 \leq \eta \leq 1 \quad (10)$$

2) кривая природной компрессии грунтов в массиве в исходном напряженно-деформированном состоянии будет проходить над экспериментальной компрессионной кривой, т.е. в условиях 100% фильтрационной консолидации, грунт в природном состоянии, будет в менее уплотненном состоянии (рисунок 8).

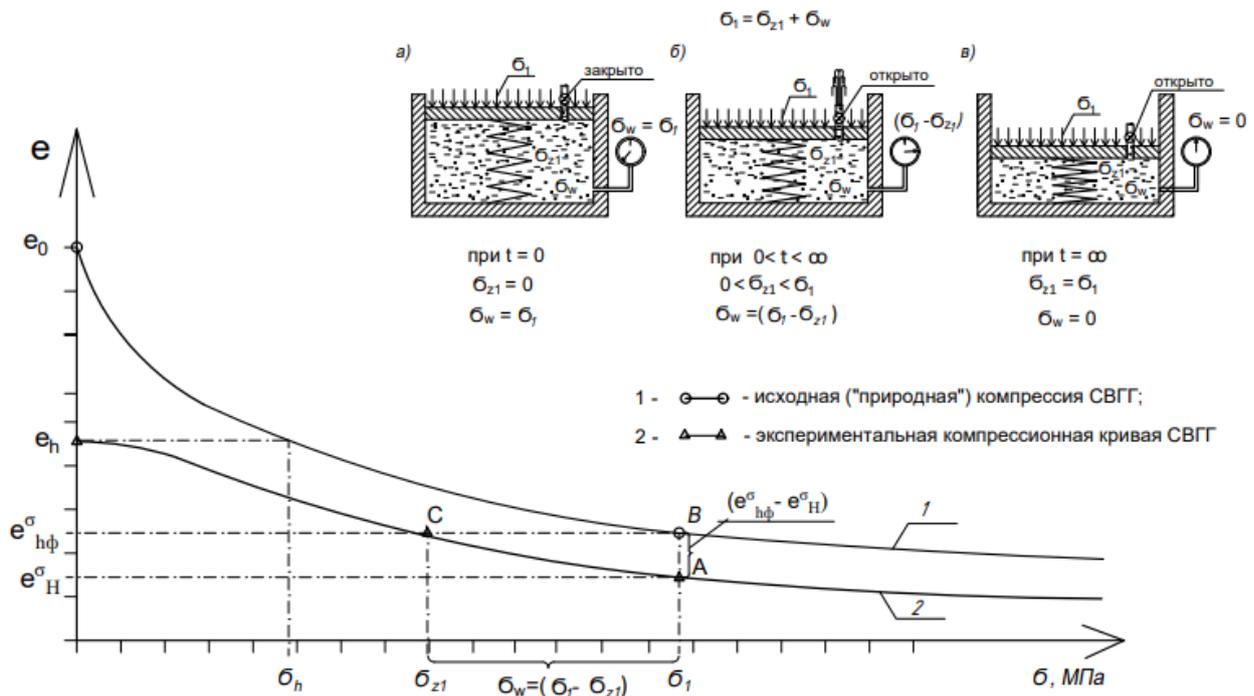


Рисунок 8. Определение природной «недоуплотненности» массива водонасыщенных глинистых грунтов: 1 – кривая исходной (природной) компрессии; 2 – экспериментальные данные

Второй случай характеризует природную «недоуплотненность» массива слабых водонасыщенных грунтов в исходном напряженно-деформируемом состоянии. Природная недоуплотненность грунта, равная  $(e_{h\phi}^{\sigma} - e_H^{\sigma})$ , будет обусловлена наличием в массиве избыточного порового давления, равного

$$\sigma_{w1} = (\sigma_1 - \sigma_{z1}),$$

где  $\sigma_1$  - величина сжимающей нагрузки от вышележащих слоев грунта.

Это можно объяснить отсутствием путей свободной фильтрации поровой жидкости и образования в массиве условий «закрытой системы», не

позволяющей полной передаче нагрузки от вышележащих слоев на «скелет» грунта.

На величины конечных осадок сооружений, возводимых на слабых водонасыщенных глинистых (илистых) грунтах, может влиять наличие органических включений (например, ракушек), а также залегание по глубине массива различных, отличающихся друг от друга слоев грунта. Для решения данных вопросов, в диссертации приводится методика учета органических остатков посредством коэффициента неоднородности ( $\chi_M$ ), а при наличии отличающихся слоев грунта по глубине массива – посредством средневзвешенного модуля общей деформации грунтов ( $E_0^{np}$ ).

В работе получена зависимость для расчета осадки основания («осадочной мульды») земляной насыпной плотины, возводимой на слабом водонасыщенном илистом основании.

**В пятой главе «Численное решение задачи консолидации водонасыщенного глинистого грунта с учетом нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния»** приводится численное решение задачи нелинейной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом вышеуказанных факторов.

В данной постановке задача консолидации сводилась к решению дифференциального уравнения, учитывающего сжимаемость газосодержащей поровой жидкости, нелинейную деформируемость и переменную проницаемость, и имеющего вид:

$$\frac{\partial e}{\partial t} + a_w e \frac{\partial P_w}{\partial t} = \frac{(1+e)f_0}{\gamma_w} \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial P_w}{\partial z} \right) \quad (11)$$

где  $a_w$  – сжимаемость газосодержащей поровой жидкости, равная

$$a_w = \frac{1-S_r(1-\mu)}{P_{ар}} \quad (12)$$

$f_0 = 1000$  - коэффициент размерностей ( $1 \text{ кН/м}^3 = \frac{1}{f_0} \text{ МПа/м}$ ).

Значения коэффициента пористости ( $e$ ) при компрессии слабых водонасыщенных глинистых грунтов аппроксимировались зависимостью вида

$$e = e_0 - b\{1 - \exp[-a_1(\sigma - P_w)]\} \quad (13)$$

Значения коэффициента фильтрации при этом описывались уравнением вида

$$k = k_0 \psi^n \quad (14)$$

где  $\psi = \exp[-a_1(\sigma - P_w)] \quad (15)$

тогда 
$$e = e_0 - b(1 - \psi) \quad (16)$$

После внесения обозначений и некоторых преобразований получалось уравнение фильтрационной консолидации в виде

$$\left[ \frac{a_w B + (a_1 + a_w) \psi}{a_1 \psi (A + \psi)} \right] \frac{\partial \psi}{\partial t} = C_V^{(0)} \frac{\partial}{\partial z} \left[ \psi^{n-1} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right] \quad (17)$$

где  $A = (1 + e_0 - b)/b$ ;  $B = (e_0 - b)/b$  и;  $C_0 = k_0 f_0 / \gamma_w a_1$  (18)

Зависимость (17) представляет собой дифференциальное уравнение фильтрационной консолидации с учетом сжимаемости газосодержащей поровой жидкости, нелинейной деформируемости и переменной проницаемости.

Полученное дифференциальное уравнение для случая двухстороннего дренажа поровой жидкости решалось при начальных и граничных условиях:

$$t = 0; \quad \psi = \exp[-a_1 \sigma (1 - \beta_0)] = \psi_0 \quad (19)$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 0 \\ z = h \end{array} \right]; \quad \psi = \exp(-a_1 \sigma) = \psi_2 \quad (20)$$

Для решения уравнения (17) использовался прием перехода от нелинейного уравнения к квазилинейному путем применения интегральных подстановок:

$$H(\psi) = \int_{\psi_{min}}^{\psi} \frac{a_w B + (a_1 + a_w) \psi}{C_V^{(0)} a_1 \psi (A + \psi)} d\psi \quad (21)$$

$$\Phi(\psi) = \int_{\psi_{min}}^{\psi} \psi^{n-1} d\psi = \frac{1}{n} (\psi^n - \psi_{min}^n)$$

где  $\psi_{min}$  - минимальное значение функции в интервале изменения (при  $P_w = 0$ ,  $\psi_{min} = \psi_2 = \exp(-a_1 \sigma)$ ).

С учетом этих подстановок уравнение (17) преобразовывалось к виду:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \quad (22)$$

Функции  $H(\psi)$  и  $\Phi(\psi)$  при этом зависят от величины порового давления.

Полученное уравнение справедливо для всей исследуемой области, и вся нелинейность входила в выражения для  $H(\psi)$  и  $\Phi(\psi)$ , поэтому функции,

стоящие под знаком интеграла, могли быть произвольными.

Преобразование уравнения (17) вызывали необходимость соответственного изменения начальных и граничных условий, которые определялись интегрированием функций (21).

Начальные и граничные условия при этом принимали вид:

$$t = 0; H(z, 0) = \frac{1}{C_v^{(0)}} \ln \left\{ \left( \frac{A + \psi_1}{A + \psi_{min}} \right)^{(1 + a_w/a_1)} \left[ \left( \frac{A + \psi_{min}}{A + \psi_1} \right) \frac{\psi_1}{\psi_{min}} \right]^{(a_w B/a_1 A)} \right\}$$

$$\Phi(z, 0) = \frac{1}{n} (\psi^n - \psi_{min}^n) \quad (23)$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 0 \\ z = h \end{array} \right]; \quad H(z, t) = 0; \quad \Phi(z, t) = 0 \quad (24)$$

При численном решении задачи определялись значения порового давления  $P_w(z, t)$  и степени консолидации  $U(t)$  в расчетные моменты времени.

В классической теории фильтрационной консолидации степень уплотнения ( $U(t)$ ) определяется как отношение текущей осадки  $U(t)$  к ее конечному значению  $S_{фк}^{(0)}$ .

Результаты исследований показали, что для слабых водонасыщенных грунтов характерна большая сжимаемость и величина относительной деформации ( $\varepsilon$ ) при действии внешней нагрузки: например, при  $\sigma = 0,2$  Мпа, значение относительной деформации достигает значений  $\varepsilon = 0,4 \div 0,45$ .

Ввиду большой сжимаемости в слабых водонасыщенных грунтах наблюдаются значительные изменения первоначальной высоты массива, т.е. его геометрические размеры. Это, при оттоке свободной поровой жидкости и осадке массива, будет способствовать значительному уменьшению ее путей фильтрации.

В целях определения влияния изменения путей фильтрации поровой жидкости в целом на процесс фильтрационной консолидации, автором разработана и предложена методика пошагового расчета, учитывающая одновременные изменения первоначальной высоты массива, и основных параметров деформируемого грунта в процессе фильтрационной консолидации (рисунок 9).

Особенность разработанного пошагового метода расчета заключалась в том, что весь период фильтрационной консолидации  $0 \leq t \leq t_{фк}$  разбивается на  $M$  временных интервалов (периодов), каждый из которых соответствует этапу уменьшения высоты массива и содержал  $N$  шагов по времени.

В пределах каждого временного интервала  $t_{i-1} \leq t \leq t_i$  высота слоя  $h_i$  принимается постоянной. Тогда расчет заключается в том, что в конце  $(i - 1)$ -го этапа, т.е. при  $t = t_{i-1}$  определяется степень консолидации  $U(t_{i-1})$  и максимальное поровое давление  $P_w^{(i-1)}|_{z=\frac{h}{2}}$ , равное давлению недоуплотнения

$$(\sigma - \sigma_{z(min)}^{(i-1)}).$$

Далее, по формуле для определения степени консолидации

$$U(t) = S(t) / S_{\text{фк}}^{(0)} \quad (25)$$

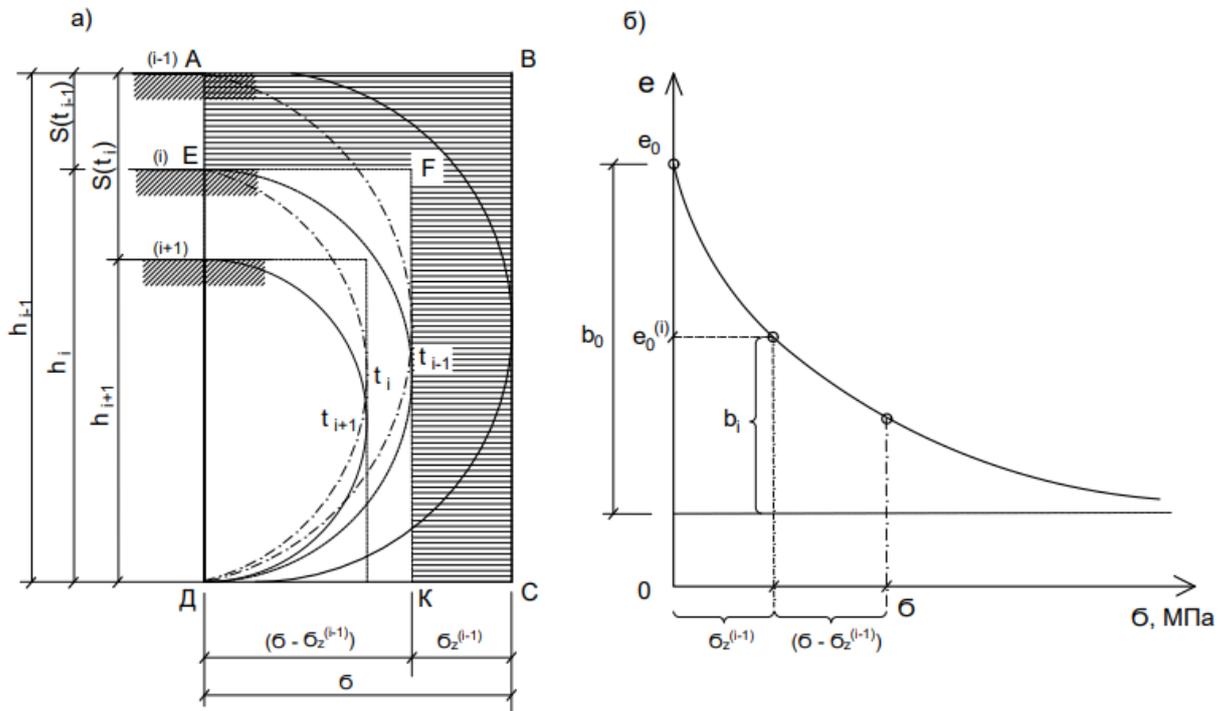


Рисунок 9. Расчет фильтрационной консолидации грунта (оттока поровой жидкости) при уменьшающейся высоте массива

определяется величина осадки  $S(t_{i-1})$ , соответствующая  $(i - 1)$ -му этапу и эффективным напряжениям  $\sigma_z^{(i-1)}$ .

С учетом прошедшей осадки  $S(t_{i-1})$  и напряжений  $\sigma_z^{(i-1)}$  формировался новый массив с высотой  $h_i$ , соответствующий следующему этапу, в котором действуют новые расчетные характеристики и начальное напряжение  $\sigma_z^{(i)}$ .

Рассмотрим порядок коррекции начальных условий на  $i$  – том этапе. Пусть после завершения  $(i - 1)$ -го этапа получена величина осадки  $S(t_{i-1})$  (см. рисунок 9 а). При этом величина минимальных эффективных напряжений, воспринимаемых скелетом грунта в середине массива, будет равна  $\sigma_z^{(i-1)}$ . Степень уплотнения  $U(t_{i-1})$  будет характеризоваться отношением заштрихованной части эпюры к площади прямоугольника  $ABCD$ .

Соответствующая высота массива к  $i$  – ому этапу расчета принималась равной

$$h_i = h_{i-1} - S(t_{i-1}); \quad (26)$$

а новое начальное поле напряжений принималось равным площади прямоугольника *EFKD*:

$$\sigma_z^{(i)} = \sigma - \sigma_z^{(i-1)}; \quad (27)$$

При этом производился пересчет всех расчетных характеристик в зависимостях (13) – (18) согласно следующих зависимостей (см. рисунок 9 б):

$$e_0^{(i)} = e_0^{(i-1)} - b^{(i-1)} \cdot [1 - \exp(-a_1 \sigma_z^{(i-1)})]; \quad (28)$$

$$b^{(i)} = b^{(i-1)} - (e_0^{(i-1)} - e_0^{(i)}) \quad (29)$$

$$k_0^{(i)} = k_0 \cdot [1 - \exp(-na_1 \sigma_z^{(i-1)})] \quad (30)$$

$$C_{Vi}^{(0)} = k_0^{(i)} / \gamma_w a_1 \quad (31)$$

$$A_i = (1 + e_0^{(i)} - b^{(i)}) / b^{(i)} \quad (32)$$

$$B_i = (e_0^{(i)} - b^{(i)}) / b^{(i)} \quad (33)$$

Величина полной осадки прямоугольника *EFKD* для *i*-го этапа определялась по зависимости

$$S_{\text{фк}}^{(i)} = [1 - \exp(-a_1 \sigma_z^{(i)})] \cdot \left\{ h_i - \frac{1}{a} \ln \left[ \frac{1 + A_i \exp(ah_i)}{1 + A_i} \right] \right\}; \quad (34)$$

Так как степень консолидации на *i*-том этапе определялась по отношению к новому массиву *EFKD*, то для пересчета по отношению к первоначальным размерам массива *ABCD* использовалась зависимость:

$$U^0(t) = 1 - [1 - U_i(t_i)] \frac{S_{\text{фк}}^{(i)}}{S_{\text{фк}}^{(0)}}; \quad (35)$$

где  $U^0(t)$  - степень консолидации массива относительно первоначальной высоты в момент времени *t*;

$U_i(t_i)$  - степень консолидации при измененной высоте массива  $h_i$  и измененных начальных эффективных напряжениях  $\sigma_z^{(i)}$  в расчетный момент

времени  $t$ .

В шестой главе «Практическое приложение результатов теоретических исследований» рассмотрено применение результатов теоретических исследований. Рассмотрен пример определения объемной деформации разуплотнения образца при отборе.

По данным гранулометрического состава грунта на дневной поверхности определено значение радиуса пузырьков заземленного газа на дневной поверхности ( $r^{II} = 12$  мкм).

По полученной в работе зависимости определено значение радиуса пузырьков заземленного газа на глубине отбора ( $r^I = 9,32$  мкм). Величина относительного изменения радиуса пузырьков заземленного газа при подъеме грунта на дневную поверхность составила 22,3%.

Полученные значения радиусов пузырьков заземленного газа на глубине отбора, позволили определить высоту капиллярного поднятия поровой жидкости на рассмотренной глубине 5,2 метра, составившей  $h_{\text{кап}} = 1,576$  м.

По величине степени влажности образца грунта на дневной поверхности, равной  $S_r^{II} = 0,97$ , по полученной в работе зависимости определена величина степени влажности на той же глубине 5,2 метра, составившей  $S_r^{II} = 0,998$ . Значение коэффициента объемного сжатия поровой жидкости составила  $\alpha_w = -0,271$  (МПа<sup>-1</sup>), а значение коэффициента объемного растяжения скелета грунта -  $\alpha_z = -0,044$  МПа<sup>-1</sup>. Изменение значения коэффициента пористости, подсчитанное по полученной зависимости, получилось равным  $\Delta e = -0,027$ , что составляет 1,80% от значения на дневной поверхности. Фактическое значение коэффициента пористости в массиве, в исходном напряженно-деформированном состоянии, при этом будет равно  $e^I = (1,50 - 0,027) = 1,473$ .

Аналогичным образом определялись значения приращений коэффициента пористости для других образцов слабых водонасыщенных глинистых грунтов и устанавливались значения коэффициентов пористости образцов в массиве на глубине отбора.

По определяемым значениям коэффициентов пористости грунтов ( $e^I$ ) в исходном напряженно-деформированном состоянии строится график зависимости " $e^I - z$ " и аппроксимируется зависимостью вида (1).

Значения коэффициентов  $e_0$ ,  $a$  и  $b$ , в данной зависимости (1) определяются методом наименьших квадратов.

В диссертации рассмотрено численное решение задачи нелинейной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния массива. Некоторые из полученных результатов расчета представлены на рисунке 10.

Полученные в результате экспериментальный исследований значительные по величине относительные деформации грунтов при действии

внешней нагрузки, позволили сформулировать задачу влияния уменьшающейся высоты массива на продолжительность процесса фильтрационной консолидации (см. рисунок 9).

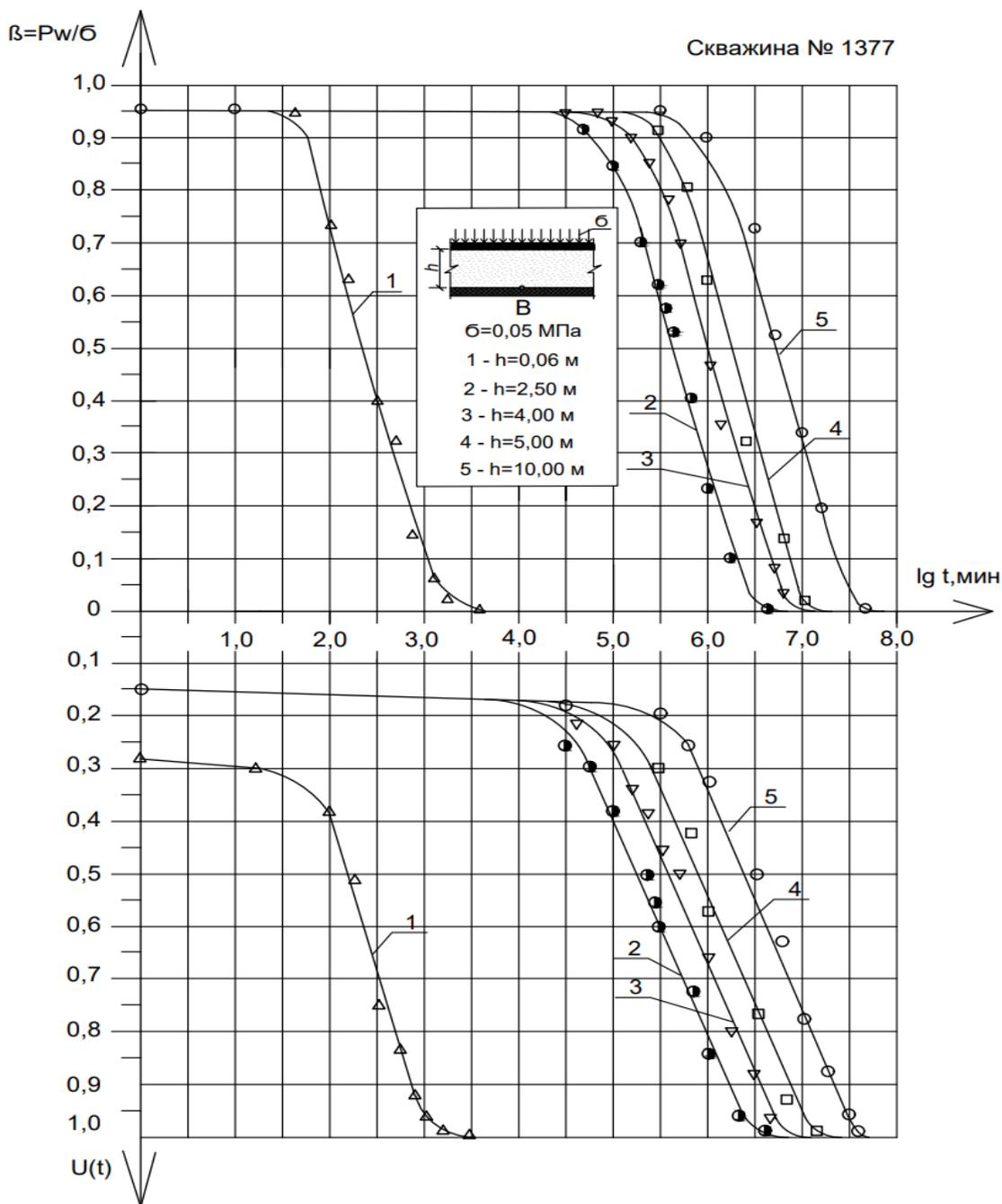


Рисунок 10. Изменение коэффициента порового давления ( $\beta$ ) и степени консолидации ( $U(t)$ ) во времени ( $lgt$ , мин) при различной высоте массива ( $h$ )

С целью решения данной задачи был применен приведенный в предыдущей главе пошаговый метод расчета. При этом, вначале проводился расчет фильтрационной консолидации при постоянной высоте массива и строился график изменения степени консолидации во времени на ближайшие

50 лет (1000 шагов). Данный график приведен на рис.11 (кривая 1).

Последующий расчет консолидации проводился с временной разбивкой на расчетные периоды (шаги), например, шаг в 10 лет.

По истечении 10 лет, наблюдалось падение порового давления и происходила осадка массива, для которой вычислялась степень консолидации  $U(t)$  за прошедшие 10 лет. В последующем, с учетом произошедшей осадки и падения величины порового давления, переформировывалась и решалась новая задача, с новыми измененными начальными и граничными условиями, на следующий расчетный период (шаг), равный 10 годам. По завершению последующего расчетного шага определялась степень консолидации по отношению к первоначальным размерам массива и определялась суммарная степень уплотнения, с учетом степени уплотнения в предыдущие расчетные периоды (шаги). В последующем расчет проводился с формированием новых полей напряжений ( $\sigma_z^{(i)}$ ) и высоты массива ( $h_i$ ) с учетом произошедших осадок ( $S(t_i)$ ) через каждые 200, 100 и 50 и 0,8 шага, что соответствовало по времени 10; 5; 2,5 и 0,04 годам. Такая последовательность действий выполнялась до полного завершения процесса фильтрационной консолидации (оттока поровой жидкости и падения порового давления) в массиве грунта.

Графики фильтрационной консолидации (оттока поровой жидкости) при изменяющейся во времени высоте массива через принятые расчетные шаги (периоды) приведены на рисунке 11 (графики 2, 3, 4 и 5).

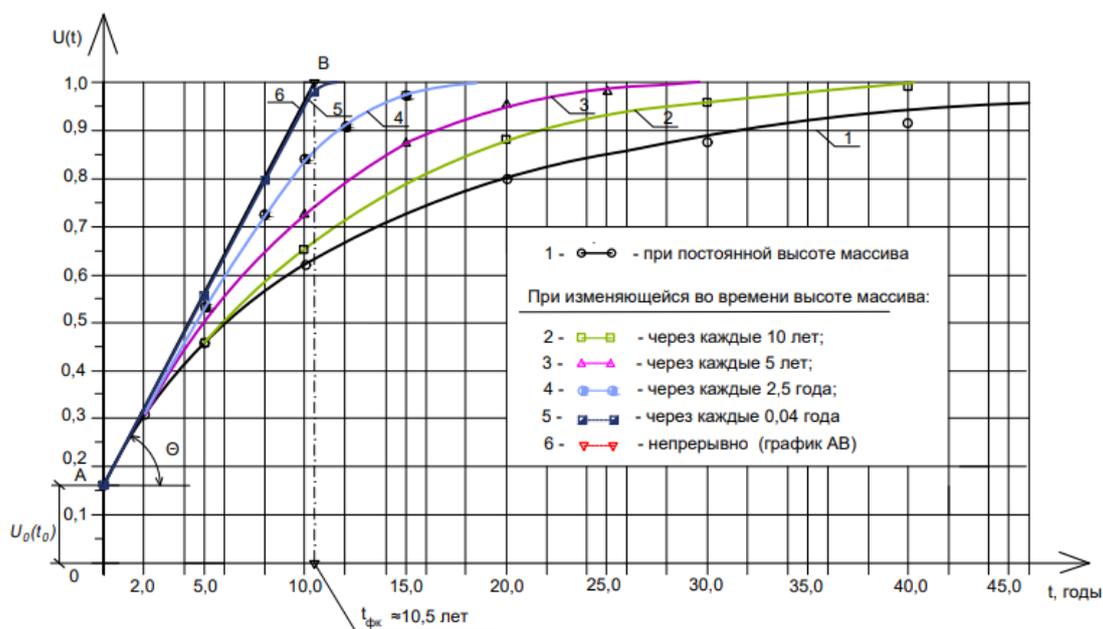


Рисунок 11. Результаты расчета степени консолидации  $U(t)$  при постоянной (кривая 1) и деформирующейся во времени высоте массива (графики 2, 3, 4 и 5) ( $t_{фк}$  - время окончания фильтрационной консолидации)

Полученные результаты расчетов показывают, что уменьшение расчетного временного шага, приводит к ускорению оттока поровой жидкости (процесса фильтрационной консолидации) в массиве. Так, например, при величине временного шага равного 10 годам, время стабилизации составило около 40 лет (рисунок 11, график 2), а при уменьшении расчетного шага до 5 лет, 2,5 лет и 0,04 года время завершения фильтрационной консолидации составило соответственно 25, 17 и 11 лет (рисунок 11, графики 3, 4 и 5). При дальнейшем уменьшении величины расчетного шага, график фильтрационной консолидации последовательно приближается к прямой, являющейся касательной к графику 1 в точке условно-мгновенной деформации ( $U_0(t_0)$ ), т.е. прямой АВ (рисунок 11, график 6). При этом перпендикуляр, опущенный из точки В на ось времени  $t$ , показывает время завершения фильтрационной консолидации (оттока свободной поровой жидкости и падения порового давления) в рассматриваемом массиве, что составило  $t_{\text{фк}} = 10,5$  лет.

График изменения степени консолидации ( $U(t)$ ) от времени  $t$  при постоянной высоте массива (рисунок 11, график 1) аппроксимируем зависимостью вида

$$U(t) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t)\} \quad (36)$$

где  $\lambda$  - обобщенный коэффициент, имеющий размерность обратную времени, и зависящий от первоначальных размеров массива, условий дренирования, параметров деформируемости, проницаемости и т.п.

Тогда производная по времени от функции (36) будет равна

$$\frac{\partial U(t)}{\partial t} = \lambda \cdot [1 - U_0(t_0)] \exp(-\lambda t) = tg\Theta \quad (37)$$

где  $\Theta$  - угол наклона касательной к кривой 1 в точке условно- мгновенной консолидации. На рисунке 11 видно, что

$$tg\Theta = \frac{[1 - U_0(t_0)]}{t_{\text{фк}}} \quad (38)$$

Совместное решение (37) и (38) относительно  $t_{\text{фк}}$  (при  $t = 0$ ), даст в явном виде время завершения фильтрационной консолидации, которое будет равно:

$$t_{\text{фк}} = 1/\lambda \quad (\text{лет}) \quad (39)$$

Анализ полученных результатов показывает что в процессе фильтрационной консолидации в слабых водонасыщенных глинистых грунтах наблюдается одновременное протекание нескольких процессов: сжатие

газосодержащей поровой жидкости, фильтрация (отток) свободной поровой воды и ползучесть скелета грунта (рисунок 12).

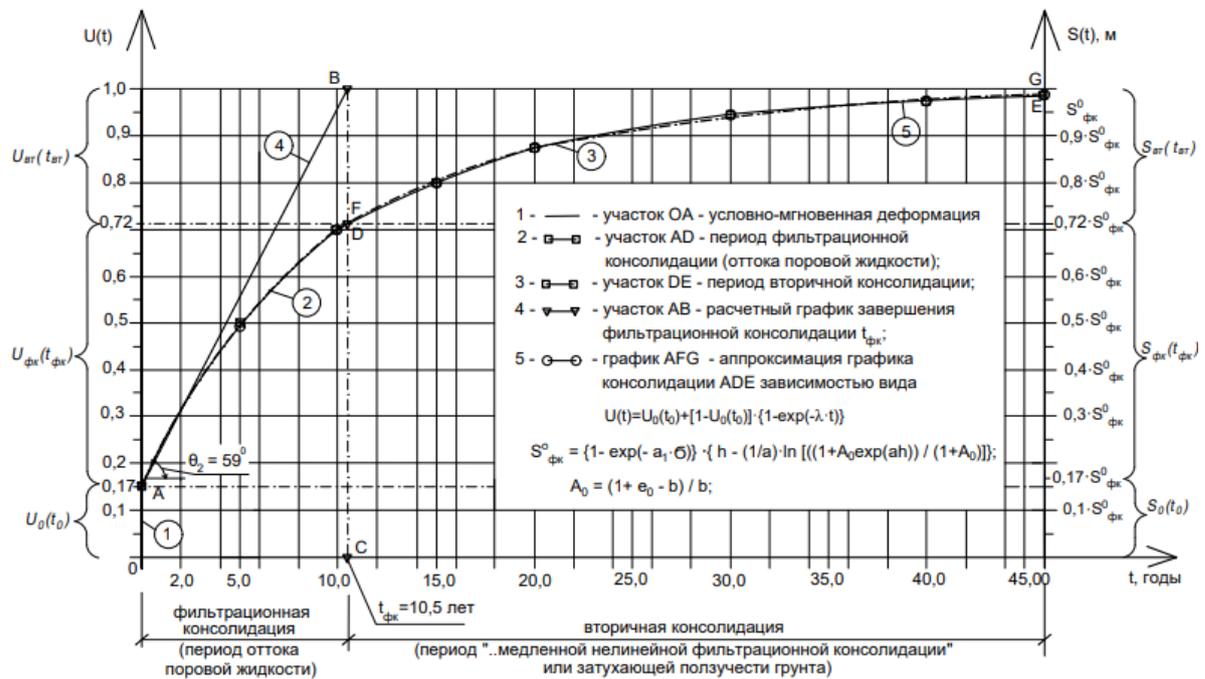


Рисунок 12. Определение степени консолидации  $U(t)$  и деформации  $S(t)$ : водонасыщенного глинистого грунта: 1 - участок OA ( $U_0(t_0)$  – условно-мгновенная деформация) 2- участок AD ( $U_{фк}(t_{фк})$  – фильтрационная консолидация), 3 – участок DE ( $U_{вт}(t_{вт})$  – вторичная консолидация,  $t_{фк}$  - время завершения фильтрационной консолидации)

По мере завершения фильтрационной консолидации (оттока свободной поровой жидкости) наблюдается постепенное возрастание роли вторичной консолидации (ползучести скелета) грунта.

Таким образом, процесс консолидации слабого водонасыщенного глинистого грунта можно разделить условно на 3 участка (периода):

1) участок OA - уплотнение водонасыщенного глинистого грунта от условно-мгновенной сжимаемости поровой жидкости ( $U_0(t_0)$ );

2) участок AD - уплотнение грунта за счет оттока поровой жидкости (фильтрационной консолидации) ( $U_{фк}(t_{фк})$ );

3) участок DE - уплотнение грунта (по Доброву Э.М.) - «...медленно протекающей нелинейной фильтрационной консолидации» или вторичной консолидации, ( $U_{вт}(t_{вт})$ ).

В общем виде степень уплотнения грунта  $U(t)$  можно выразить зависимостью

$$U(t) = U_0(t_0) + U_{фк}(t_{фк}) + U_{вт}(t_{вт}) \quad (40)$$

При аппроксимации графика уплотнения грунта зависимостью (36),

можно получить значения степени консолидации грунта  $U(t)$  в различные периоды времени:

1) степень консолидации при условно-мгновенной деформации  $U_0(t_0)$  определится по результатам экспериментов;

2) степень консолидации в процессе фильтрационной консолидации  $U_{фк}(t_{фк})$  в период времени  $0 < t_1 \leq t_{фк}$ , будет соответствовать:

$$U_{фк}(t_{фк}) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t_1)\} \quad (41)$$

где  $t_{фк}$  – время завершения фильтрационной консолидации (оттока поровой жидкости) в массиве, определяемое по зависимости (39).

3) степень консолидации в период вторичной (после фильтрационной) консолидации  $U_{вт}(t_{вт})$  на момент времени  $t_{фк} < t_2 \leq t_{вт}$  будет равно:

$$U_{вт}(t_{вт}) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t_2)\} \quad (42)$$

где  $t_2$  – расчетное время в период вторичной консолидации, принимаемое в пределах  $t_{фк} < t_2 \leq t_{вт}$ ;

$t_{вт}$  – время вторичной консолидации.

Величина текущей деформации  $S(t)$  определится по зависимости:

$$S(t) = S_{фк}^0 \cdot U(t) \quad (43)$$

где  $U(t)$  – степень уплотнения массива на момент времени  $t$ ,

$S_{фк}^0$  – значение общей деформации в период фильтрационной консолидации, определяемой по зависимости, имеющей вид:

$$S_{фк}^0 = [1 - \exp(-a_1 \sigma)] \cdot \left\{ h - \frac{1}{a} \ln \left( \frac{1 + A_0 \exp(ah)}{1 + A_0} \right) \right\} \quad (44)$$

где значение  $A_0$  равно  $A_0 = (1 + e_0 - b) / b \quad (45)$

На графике консолидации отрезок DE (рисунок 12, участок 3) является участком вторичной консолидации (ползучести) слабого водонасыщенного глинистого грунта, позволяющий определять значения реологических показателей грунтов:

а) скорость ползучести грунта ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) в расчетные моменты времени ( $t_i > t_{фк}$ );

б) затухание ползучести грунта ( $\delta_{t_i}^{\ddot{}}$ ) в расчетные моменты времени ( $t_i > t_{фк}$ );

При нахождении значения скорости ползучести грунта ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) определяется первая производная по времени  $t$  в зависимости (44):

$$\dot{\delta}_{t_i} = \frac{\partial S(t)}{\partial t} = S_{\text{фк}}^0 \cdot \lambda \cdot [1 - U_0(t_0)] \cdot \exp(-\lambda(t_i)) \quad (46)$$

где  $t_i > t_{\text{фк}}$  - расчетный момент времени в период вторичной консолидации.

Для определения значений затухания ползучести грунта ( $\ddot{\delta}_{t_i}$ ) в расчетные периоды вторичной консолидации определяется вторая производная по времени  $t$  в зависимости (44):

$$\ddot{\delta}_{t_i} = \frac{\partial^2 S(t)}{\partial t^2} = -S_{\text{фк}}^0 \cdot \lambda^2 \cdot [1 - U_0(t_0)] \cdot \exp(-\lambda(t_i)) \quad (47)$$

где  $t_i > t_{\text{фк}}$  - расчетный момент времени в период вторичной консолидации.

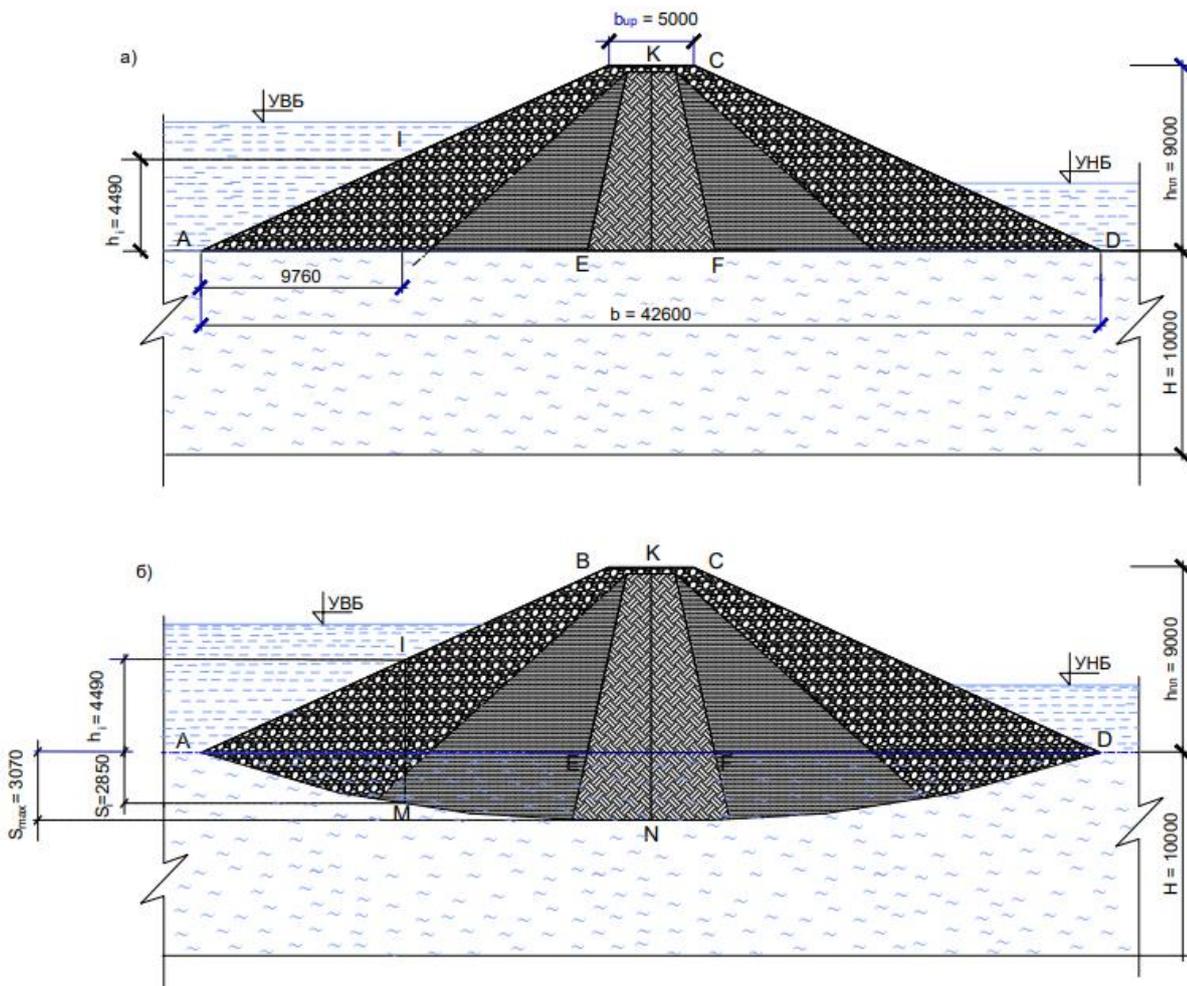


Рисунок 13. Результаты расчета эксплуатационных осадок («осадочной мульды») насыпной земляной плотины: а) – размеры плотины, б) – значения осадок в расчетных точках,  $h_{\text{пл}}$  – высота плотины,  $H$  – мощность грунта в основании,  $b_{\text{гр}}$  – ширина плотины по гребню,  $b$  – ширина плотины по подошве,  $h_i$  – высота точки  $i$  на откосе плотины,  $S_i$  – величина осадки в точке  $i$ ,  $S_{\text{max}}$  – максимальная осадка под гребнем плотины

Полученные данные показывают, что при  $t_i > t_{\phi k}$ , значения скорости ползучести грунтов ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) уменьшаются во времени, а значения затухания ползучести грунтов ( $\dot{\delta}_{t_i}^*$ ), наоборот, имеет тенденцию к возрастанию во времени. Зависимость (36) позволяет определить общую продолжительность процесса консолидации до достижения предельного значения  $U_{\pi}(t_{\pi})$ :

$$U_{\pi}(t_{\pi}) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda T_{\pi})\} \quad (48)$$

где  $T_{\pi}$  – время, в течении которого будет достигнута устанавливаемая степень консолидации  $U_{\pi}(t_{\pi})$  массива грунта.

По зависимости (44) можно рассчитать значение конечной деформации сооружения, возводимого на слабых водонасыщенных глинистых грунтах.

В работе приведен пример расчета осадки земляной плотины высотой  $h_{пл} = 9,00$  м, возводимой на слое основания, сложенного слабыми водонасыщенными илистыми грунтами мощностью  $H = 10,00$  м

Согласно рисунка 13, величина максимальной расчетной осадки под гребнем плотины составила  $S_{max} = 3,07$  м.

## ВЫВОДЫ

1. Исследованные образцы слабых водонасыщенных глинистых грунтов характеризуются, в основном, возрастающей плотностью и уменьшающейся влажностью по глубине отбора. Относительная деформируемость исследованных грунтов под действием внешних нагрузок имеет тенденцию к уменьшению в зависимости от глубины отбора, что можно отнести к проявлению сил гравитации в массиве [2-А], [10-А], [16-А], [26-А].

2. Слабые водонасыщенные глинистые грунты обладают значительной пористостью и нелинейной сжимаемостью, уменьшающейся по глубине массива. Проницаемость данных грунтов также существенно зависит от величины приложенной нагрузки. Это можно отнести к природному самоуплотнению грунтов под действием собственного веса вышележащих слоев грунта [11-А], [18-А], [23-А], [27-А], [29-А].

3. Полученное решение показало, объемная деформация разуплотнения при отборе водонасыщенных глинистых грунтов зависит от значений коэффициента пористости ( $e^{II}$ ) и пористости ( $n^{II}$ ) грунтов на дневной поверхности, коэффициентов объемного разуплотнения твердых минеральных частиц ( $\alpha_z$ ) и поровой жидкости ( $\alpha_w$ ), радиусов пузырьков заземленного газа и степени влажности грунтов в массиве ( $r_I$  и  $S^I$ ) и на дневной поверхности ( $r_{II}$  и  $S^{II}$ ), а также изменения общих напряжений ( $\Delta\sigma$ ), действующих на образец в процессе отбора [1-А], [3-А], [10-А], [16-А], [18-А], [26-А], [29-А].

4. Построенные по предложенной методике кривые исходной

(«природной») компрессии и изменения значений коэффициента пористости ( $e$ ) по глубине массива ( $z$ ) позволяют определить деформационные показатели (коэффициент сжимаемости, модуль общей деформации) грунтов в исходном напряженно-деформированном состоянии. Сопоставление графиков «природной» компрессии и результатов компрессионных испытаний грунтов при различных действующих нагрузках позволяет оценить степень природной уплотненности (нормальное уплотнение, недоуплотнение) массива в исходном напряженно-деформированном состоянии [2-А], [7-А], [8-А], [10-А], [18-А], [23-А], [27-А], [33-А].

5. Впервые предложена методика определения высоты капиллярного поднятия поровой жидкости в массиве ( $h_{\text{кап}}$ ), в зависимости от глубины и значений радиусов пузырьков заземленного газа на данной отметке [2-А], [8-А], [18-А], [27-А], [34-А].

6. В диссертационной работе впервые получено численное решение задачи фильтрационной консолидации с одновременным учетом нелинейной деформируемости, переменной проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния грунтов в массиве. Впервые разработан временной (пошаговый) метод расчета консолидации грунтов, позволяющий учитывать происходящую деформацию массива в процессе уплотнения и установить влияние данного фактора на длительность протекания процесса консолидации [3-А], [4-А], [14-А], [24-А], [28-А], [29-А], [31-А].

7. Впервые предложена методика определения реологических параметров (скорость ползучести ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) и затухание ползучести ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) слабых водонасыщенных глинистых грунтов) по графику консолидации [7-А], [14-А], [18-А], [27-А], [29-А].

### **Рекомендации по внедрению научных результатов работы**

1. Внедрение полученных в диссертации результатов исследований при возведении гидротехнических и других инженерных сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах.

2. Использование разработанной конструкции грунтоотборника при отборе образцов слабых водонасыщенных глинистых грунтов мягкопластичной и пластичной консистенций, отбор которых до настоящего времени существующими конструкциями грунтоотборников не представляется возможным.

3. Некоторые результаты исследований автора отражены в книгах и учебниках по курсу «Механика грунтов» (Тер-Мартirosян З.Г. Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов // М.: «Недра», 1986, 292 с.); Тер-Мартirosян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений // М.: Стройиздат, 1990. -220с.).

4. Основные результаты исследований можно внедрить в программу курсов подготовки инженеров строительных специальностей.

## Список использованной литературы:

- [1]. **Герсеванов Н.М.** Теоретические основы механики грунтов и их практическое приложение [Текст] / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. - Москва: Стройиздат, 1948. - 248 с.
- [2]. **Зарецкий Ю.К.** Теория консолидации грунтов [Текст] / Ю.К. Зарецкий. - Москва: Наука, 1967. - 268 с.
- [3]. **Маслов Н.Н.** Прикладная механика грунтов [Текст] / Н.Н. Маслов. - Москва, 1959. - 328 с.
- [4]. **Терцаги К.** Теория механики грунтов [Текст] / К. Терцаги. – Москва: Госстройиздат, 1961. - 508 с.
- [5]. **Тер-Мартirosян З.Г.** Проблемы консолидации и ползучести оснований сооружений [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян // Материалы XI Междун. симпозиума по реологии грунтов: сб. тр. - Москва, 2003. - С. 111-112.
- [6]. **Флорин В.А.** Основы механики грунтов, т. I (общие зависимости и напряженное состояние оснований сооружений) [Текст] / В.А. Флорин. – Ленинград - Москва: Госстройиздат, 1959. - 357 с.; т. 2 (деформация и устойчивость оснований сооружений) [Текст] / В.А. Флорин. – Ленинград - Москва: Госстройиздат, 1961. - 543 с.
- [7]. **Цытович Н.А.** Вопросы теории и практики строительства на слабых глинистых грунтах [Текст] / Н.А. Цытович // Слабые глинистые грунты. Таллин, 1965. – С.5-17.
- [8]. **Абелев М.Ю.** Исследование напряженно-деформированного состояния оснований, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами [Текст] / М.Ю.Абелев // Материалы Всесоюзного Совецания по новым методам возведения промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Проблемы строительства на слабых грунтах: сб. тр.- Рига: РПИ, 1972. - С.65-72.
- [9]. **Гольдин А.Л.** Об исследовании порового давления и консолидации ядер грунтовых плотин [Текст] / А.Л. Гольдин // Энергетическое строит-во, 1978. - №12. - С.57-60.
- [10]. **Горелик Л.В.** К вопросу об одномерной нелинейной задаче консолидации водонасыщенного грунта [Текст] / Л.В. Горелик, Б.М. Нуллер. – Москва: Изв. ВНИИГ, 1965. - т. 79. - С.168-177.
- [11]. **Далматов Б.И.** Строительство в условиях слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / Б.И. Далматов // Проблемы строительства на слабых грунтах: сб. статей. – Рига: Изд-во НТИ, 1972. - С.105-116.
- [12]. **Зарецкий Ю.К.** Статика и динамика грунтовых плотин [Текст] / Ю.К. Зарецкий, В.Н. Ломбардо. - Москва: Энергоатомиздат, 1983. - 256 с.
- [13]. **Польшин Д.Е.** Расчеты осадок фундаментов сооружений во времени: труды НИИОСП. Механика грунтов [Текст] / Д.Е. Польшин, Ю.К. Ткачев – Москва, 1977. - вып.68 - С.128-132.
- [14]. **Тер-Мартirosян З.Г.** Учет ползучести и нелинейной

деформируемости при расчете сильносжимаемых водонасыщенных оснований. [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, С.С. Вялов, И.И. Демин, Н.Е. Шахурина // В сб. трудов II Балтийской конференции по механике грунтов и фундаментостроению /Т.2. Строительство на торфах и деформации сооружений на сильносжим. грунтах. - Таллин; 1988. - С. 13-18.

[15]. **Вялов С.С.** Реологические основы механики грунтов [Текст] / С.С. Вялов. - Москва: Высшая школа, 1978. - 447 с.

[16]. **Гольдштейн М.Н.** Механические свойства грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн. - Москва: Стройиздат, 1971. - 368 с.

[17]. **Зарецкий Ю.К.** Вопросы консолидации слабых водонасыщенных грунтов [Текст] / Ю.К. Зарецкий // Проблемы строительства на слабых грунтах. – Рига: НШ, 1972. - С.51-64

[18]. **Маслов Н.Н.** Прикладная механика грунтов [Текст] / Н.Н. Маслов. - Москва, 1959. - 328 с.

[19]. **Цытович Н.А.** Основы прикладной геомеханики в строительстве [Текст] / Н.А. Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян. - Москва: Высшая школа, 1981.– 318 с.

[20]. **Денисов Н.Я.** Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве [Текст] / Н.Я. Денисов. – Москва - Ленинград: Госэнергоиздат, 1956. - 288 с.

[21]. **Ломтадзе В.Д.** Геологическая природа свойств слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / В.Д. Ломтадзе // Материалы Всесоюзн. Совещания о строительстве на слабых водонасыщенных грунтах / Слабые глинистые грунты: сб. тр. - Таллин, 1965. - С.28-42.

[22]. **Сорокина Г.В.** Строительные свойства морских илов [Текст] / Г.В. Сорокина // Слабые глинистые грунты. - Таллин, 1965. - С.56-62.

[23]. **Польшин Д.Е.** Расчеты осадок фундаментов сооружений во времени: труды НИИОСП. Механика грунтов [Текст] / Д.Е. Польшин, Ю.К. Ткачев – Москва, 1977. - вып.68 - С.128-132.

[24]. **Роза А.С.** Расчет осадок сооружений гидроэлектростанций [Текст] / А.С. Роза. – Москва: Госэнергоиздат, 1959. - 330 с.

[25]. **Гольдштейн М.Н.** Деформируемость и прочность грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн, С.С. Бабицкая, Г.М. Ломизе и др. // Труды VIII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению. - Москва: Стройиздат, 1973. - С.24-40.

[26]. **Далматов Б.И.** Строительство в условиях слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / Б.И. Далматов // Проблемы строительства на слабых грунтах: сб. статей. – Рига: Изд-во НТИ, 1972. - С.105-116.

[27]. **Ломтадзе В.Д.** Геологическая природа свойств слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / В.Д. Ломтадзе // Материалы Всесоюзн. Совещания о строительстве на слабых водонасыщенных грунтах / Слабые глинистые грунты: сб. тр. - Таллин, 1965. - С.28-42.

[28]. **Тер-Мартirosян З.Г.** Прогноз механических процессов в массивах

многофазных грунтов [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян. - Москва: Недра, 1986.- 292 с.

[29]. **Ахмедов Д.Д.** Расчет осадок фундаментов на водонасыщенных лессовых грунтах с учетом структурной прочности [Текст] / Д.Д. Ахмедов, П.А. Коновалов, В.Г. Федоровский // Основания и фундаменты: тр. ВНИИОСП. - Москва, 1988. - Вып. 90. - С.201-208.

[30]. **Комилов О.К.** Теория и методы освоения и орошения территорий на лессовых просадочных грунтах [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук (06.01.02) / Комилов О. К.; САНИИРИ. -Ташкент, 1991. – 51 с.

[31]. **Мусаэлян А.А.** Совершенствование методов устройства оснований и фундаментов в Таджикской ССР [Текст] / А.А. Мусаэлян // Основания, фундаменты и механика грунтов. - Москва, 1982. - № 6. - С. 9-11.

[32]. **Тахиров И.Г.** Современные методы уплотнения и закрепления лессовых просадочных и водонасыщенных грунтов в Таджикской ССР (обзор) - Душанбе: ТаджикНИИТИ, 1979. - 44 с

[33]. **Терцаги К.** Механика грунтов в инженерной практике [Текст] / К. Терцаги, Р. Пек. - Москва: Госстройиздат, 1958. - 608 с.

[34]. **Маслов Н.Н.** Прикладная механика грунтов [Текст] / Н.Н. Маслов. - Москва, 1959. - 328 с.

[35]. **Флорин В.А.** Теория уплотнения земляных масс [Текст] / В.А. Флорин. - Москва: Стройиздат, 1948. - 284 с.

[36]. **Тер-Мартirosян З.Г.** Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян. - Москва: Стройиздат, 1990. - 200 с.

[37]. **Зарецкий Ю.К.** Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений [Текст] / Ю.К. Зарецкий. – Москва: Стройиздат, 1988. - 352 с.

[38]. **Вялов С.С.** О проблемах реологии грунтов [Текст] /С.С. Вялов // Труды I Всесоюз. Симпоз. по реологии грунтов. - Москва, 1973.- С.6-23.

[39]. **Фазылов А.Р.** Законодательная база в области безопасности гидротехнических сооружений в Таджикистане [Текст] / А.Р.Фазылов. – Душанбе, 2021.-27 с.

[40]. **Borden L., Berry P.** Consolidation of normally consolidated clay. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, SM5, № 4481, 1965ю - p.15-35.

[41]. **Leonards GA, Altchaeffd A.G.** Compressibility of clay. J. Soil. Mech. Fnds. Div. Am. Soc. civ. Engr. - p.133-155.

[42]. **Lo K.Y.** Secondary consolidation, J ASCE N4, v1, 1960.

[43]. **Poskitt T.J.** The consolidation of saturated clay with variable permeability and compressibility. Geotechnique 19, 1969.-№ 2. - p. 234-252.

[44]. **Davis E.H., Raymond G.P.** A non-linear -theory, of consolidation. Geotechnique, 15 1965, № 2. - p.161-173.

[45]. **Jambu N.** Consolidation of clays layers on non-linear stress - strain. Proceeding Sixth International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Montreal, 1965. - p. 83-87.

## Основные публикации по теме диссертации:

### Статьи в изданиях, рекомендуемых ВАК при Правительстве РТ:

[1-А]. **Рахманов А.А.** К вопросу определения деформаций разуплотнения образца слабого водонасыщенного грунта при снятии природной нагрузки [Текст] / А.А. Рахманов, В.А. Тищенко // ВНИИИС Госстроя СССР. Рег. № 5033, реф. сб. НТЛ "Строительство и архитектура" разд. Б, вып.5. - Москва, 1984.- 7 с.

[2-А]. **Рахманов А.А.** Теоретические основы расчета осадок слабых водонасыщенных грунтов с учетом исходного напряженного состояния и свойств ползучести [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, А.А. Рахманов // ВНИИИС Госстроя СССР, регистрац. № 5032, реф. сб. НТЛ "Строительство и архитектура", разд. Б, вып.5. -, Москва, 1984.- 20 с.

[3-А]. **Рахманов А. А.** Консолидация сильносжимаемого глинистого грунта / [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, И.И. Демин, А.А. Рахманов // В сб. «Современные проблемы нелинейной механики грунтов». - Челябинск, 1985. – С.168-169.

[4-А]. **Рахманов А. А.** Численный метод решения задач консолидации слабых водонасыщенных грунтов [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, И.И. Демин, А.А. Рахманов // В сб. «Приложение численных методов к задачам геомеханики» (Межвуз. сб. научных трудов). Москва; МИСИ, 1986. - С.62-67.

[5-А]. **Рахманов А.А.** Прогноз нелинейной деформируемости опоры моста с учетом реологических свойств оснований [Текст] / А.А. Рахманов, А.И. Корнилов // В сб. «Повышение технического уровня дорожного хозяйства Таджикистана» - Душанбе, 1987.- С.6-8.

[6-А]. **Рахманов А.А.** Прогноз скорости осадок массива лессовых просадочных грунтов после уплотнения гидровзрывным способом [Текст] / А.А. Рахманов, А.Р. Рузиев // сб. науч. статей: секция техн. наук. – Душанбе: ТПИ, 1990.- С.34-36.

[7-А]. **Рахманов А.А.** Учет компрессионной ползучести грунта и природного напряженно-деформированного состояния массива при расчете конечных осадок сооружений [Текст] /А.А. Рахманов, О.С. Ашуров // Труды Тадж. техн. университета. Серия “Строительство и архитектура”, вып. 3. - Душанбе: ТТУ, 1993. - С. 22-28.

[8-А]. **Рахманов А.А.** Прогноз нелинейной деформируемости массива лессовых просадочных грунтов при гидровзрывном методе [Текст] /А.А. Рахманов // Труды Тадж. техн. университета. Серия “Строительство и архитектура”, вып. 5. - Душанбе: ТТУ, 2000.- С.25-29.

[9-А]. **Рахманов, А.А.** Учет нелинейной деформируемости скелета и нелинейной водопроницаемости грунтов при прогнозе осадок оснований сооружений. [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. «Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах». Душанбе:

САНИИОСП, 2005.- С. 96-97, ISBN: 9965-25-409-5.

[10-А]. **Рахманов А.А.** Изменение физических параметров при отборе слабых водонасыщенных лессовых грунтов [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. Вестник филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе // Секция естественных наук. Том 1, № 1 (21). – Душанбе: МГУ, 2022.- С.136-143, ISSN-2709-6238.

[11-А]. **Рахманов А.А.** К определению физико-механических показателей слабых водонасыщенных глинистых грунтов в исходном напряженно-деформированном состоянии [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. Вестник филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе // Секция естественных наук. Том 1 № 1 (21). - Душанбе: МГУ, 2022.- С. 144 – 150, ISSN-2709-6238.

[12-А]. **Рахманов А.А.** Устройство для отбора, приборы, оборудование и методика экспериментальных исследований порового давления в слабых водонасыщенных глинистых грунтах. [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. Политехнический вестник: сер. Инженерные исследования, № 2 (58) 2022. – Душанбе: ТТУ, 2022. - С.152-159, ISSN-2520-2227.

[13-А]. **Рахманов А.А.** Устройство для отбора проб грунта, приборы и оборудование для исследования консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. Вестник филиала МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе. Секция естественных наук. Том 1, № 1 (21) - Душанбе: МГУ, 2022- С. 152 – 159, ISSN-2709-6238.

[14-А]. **Рахманов А.А.** Консолидация слабых водонасыщенных глинистых грунтов при изменяющейся во времени высоте массива [Текст] / А.А. Рахманов // Политехнический вестник: сер. Инженерные исследования. - Душанбе: ТТУ, 2023. – № 3 (63). – С. 154-161, ISSN-2520-2227.

[15-А]. **Рахманов А.А.** Расчет устойчивости многослойного откоса при переменном значении сцепления грунтов [Текст] / О.К. Комилов, Т.А. Негматов, А.А. Рахманов А.А.// Политехнический вестник: сер. Инженерные исследования. -Душанбе: ТТУ, 2024.- № 4 (68). – с. 162-180, ISSN-2520-2227.

#### **Авторские свидетельства и патенты:**

[16-А]. **Рахманов А.А.** Способ определения деформационных характеристик слабых водонасыщенных грунтов [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, А.А. Рахманов, Р.Г. Погосян // Авт. свид. СССР № 1357495 (51) Е 02 Д1/00 // Бюл. № 45. – Москва, 1987. - С.2.

[17-А]. **Рахманов А.А.** Устройство для отбора проб грунта [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, А.А. Рахманов, Р.Г. Погосян // Авт. свид. СССР № 1488715 (51) Е 02 Д1/00 // Бюл. № 45. – Москва, 1987. - С.2.

#### **Статьи в материалах конференций:**

[18-А]. **Рахманов А.А.** Экспериментальные исследования деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных грунтов [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. Республиканская научно-практическая конференция

молодых ученых и специалистов (секция технических). - Душанбе: Ирфон, 1984. - С.44-45.

[19-А]. **Рахманов А.А.** Инженерно-геологические проблемы застройки Восточных холмов г. Душанбе [Текст] / А.А. Рахманов // Респ. научно-практ. конф. «Благоустройство территории г. Душанбе» (арх - худ., эколог. и инж. проблемы). – Душанбе: Ирфон, 1991. - С.67-68.

[20-А]. **Рахманов А.А.** К расчету количества воды для замачивания массива при уплотнении лессовых просадочных грунтов гидровзрывным способом. [Текст] / А.А. Рахманов // Респ. научно-практ. конф. (секция технических). – Душанбе: Ирфон, 1987. - С.12-13.

[21-А]. **Рахманов А.А.** Использование метода трех кривых для прогноза деформаций при уплотнении массива лессовых просадочных грунтов гидровзрывным способом [Текст] / А.А. Рахманов // Респ. научно-практ. конф. – Душанбе: Ирфон, 1987. - С.137-138.

[22-А]. **Рахманов А.А.** Опыт замачивания грунтов в стесненных условиях строительства [Текст] / Рузиев А.Р., Джалилов Т.Ф., Рахманов А.А., Зехниев Ф.Ф. // В сб. докладов XVII науч. отч. конф. преподавателей. – Душанбе: Дониш, 1989. - С.12-14.

[23-А]. **Рахманов А.А.** Аналитический метод оценки исходного напряженного состояния водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / А.А. Рахманов // Труды III-го Центрально-Азиатского Международного Геотехнического Симпозиума Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах» // Научно-исслед. и проектно-изыск. институт САНИИОСП Гос. комитета строительства и архитектуры Республики Таджикистан. – Душанбе: САНИИОСП, 2005.- С.94-95, ISBN: 9965-25-409-5.

[24-А]. **Рахманов, А.А.** Учет нелинейной деформируемости скелета и нелинейной водопроницаемости грунтов при прогнозе осадок оснований сооружений. [Текст] / А.А. Рахманов // Труды III-го Центрально-Азиатского Международного Геотехнического Симпозиума Геотехнические проблемы строительства на просадочных грунтах в сейсмических районах. // Научно-исслед. и проектно-изыск. институт САНИИОСП Гос. комитета строительства и архитектуры Республики Таджикистан. – Душанбе: САНИИОСП, 2005.- С.96-97, ISBN: 9965-25-409-5.

[25-А]. **Рахманов А.А.** Приборы и оборудование для отбора и испытания слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / А.А. Рахманов // Междун. научно-практ. конф. «Проблемы инж. геологии, гидрогеологии и разраб. месторожд. полезных. ископ. Таджикистана и сопред. территорий// - Душанбе: ТНУ, 2022. – С.241-249, ISSN-2664-1534.

[26-А]. **Рахманов А.А.** Изменение степени влажности и радиусов пузырьков заземленного газа при отборе образца из массива водонасыщенных глинистых грунтов [Матн] / А.А. Рахманов // Междун. научно-практ. конф. «Проблемы инж. геологии, гидрогеологии и разраб. месторожд. полезных.

ископ. Таджикистана и сопред. Территорий. – Душанбе: ТНУ, 2022. – С.270 – 276, ISSN- ISSN-2664-1534.

[27-А]. **Рахманов А.А.** Экспериментальные исследования деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Матн] / А.А. Рахманов., О.К. Комилов // Междун. научно-практ. конф. «Проблемы инж. геологии, гидрогеологии и разраб. месторожд. полезных. ископ. Таджикистана и сопред. территорий». - Душанбе, ТНУ, 2022. - с. 232-241, ISSN- ISSN-2664-1534.

[28-А]. **Рахманов А.А.** Численное решение нелинейной задачи консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом переменной высоты массива [Текст] / А.А. Рахманов // Междун. научно-практ. конф. Проблемы инж. геологии, гидрогеологии и разраб. месторожд. полезных. ископ. Таджикистана и сопред. территорий. – Душанбе: ТНУ, 2022. – С. 207– 213, ISSN- ISSN-2664-1534.

[29-А]. **Рахманов А.А.** О первичной и вторичной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов» [Текст] / А.А. Рахманов // В сб. трудов Междун. научно-практ. конф. XII Ломоносовские чтения, посвященная 30-летию установл. дипломат. отнош. между Республикой Таджикистан и Российской Федерацией. Секц. естествен. наук. Часть 1. – Душанбе: МГУ, 2022.- С.322-329, ISSN-2709-6238.

[30-А]. **Рахманов А.А.** Расчет устойчивости откоса при изменяющемся сцеплении по глубине массива. [Текст] / А.А. Рахманов, З.М. Ширнджанов // Сб. трудов Междун. научно-практ. конф. «Современные достижения и актуальные проблемы в науках о земле», Душанбе: ТНУ, 2024. - С. 338 –344, ISSN-2664-1534.

[31-А]. **Рахманов А.А.** Консолидация массива слабых водонасыщенных глинистых грунтов во времени. Сб. трудов Междун. научно-практ. конф. Современные достижения и актуальные проблемы в науках о земле, Душанбе: ТНУ, 2024. – С. 344 – 349, ISSN-2664-1534.

[32-А]. **Рахманов А.А.** Расчет устойчивости многослойного откоса при переменном значении сцепления по глубине / Комилов О.К., Негматов Т.А., Рахманов А.А. В сб. Политехнический вестник, Сер. Инженерные исследования, № 4 (68) 2024. - Душанбе: ТТУ, 2024. - С. 162 -170, ISSN-2520-2227.

[33-А]. **Рахманов А.А.** Изменение напряженного состояния грунта при отборе из массива, залегающего под слоем воды. / Рахманов А.А., Джалилов Т.Ф. / В сб. Матер. XXIII междун. научн. конф. Качество воздуха и окружающей среды. – Душанбе: ТТУ, 2025. – с.558-562, ISSN-978-5-9652-1089-3.

[34-А]. **Рахманов А.А.** Определение высоты поднятия капиллярной поровой жидкости при колебаниях уровня грунтовых вод. В сб. Матер. XXIII междун. научн. конф. Качество воздуха и окружающей среды. – Душанбе: ТТУ, 2025. – с.562-568, ISSN-978-5-9652-1089-3.

**КУМИТАИ МЕЪМОРӢ ВА СОХТМОНИ НАЗДИ ҲУКУМАТИ  
ҶУМҲУРИИ ТОҶИКИСТОН**

Корхонаи воҳиди давлатии «Пажӯҳишгоҳи илмию тадқиқотӣ «Сохтмон ва  
меъморӣ»

---

*Дар ҳуқуқи дастнавис*



ВБД 624.131.37: 627

**РАХМАНОВ Азим Абдуллаевич**

**РУШДИ НАЗАРИЯИ МУТТАҲИДШАВИИ  
ХОКҲОИ СУСТИ ГИЛИИ СЕРОБ ДАР АСОСҲОИ  
ИНШООТҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ**

Автореферати  
диссертатсия барои дарёфти дараҷаи илмии  
доктори илмҳои техникӣ аз рӯи ихтисоси  
2.1. Геология, геодезия, гидрология, сохтмон, меъморӣ  
(2.1.8. Сохтмони гидротехникӣ)

Душанбе – 2026

Диссертатсия дар корхонаи воҳиди давлатии “Пажӯҳишгоҳи илмӣ-тадқиқотии «Сохтмон ва меъморӣ»-и Кумитаи меъморӣ ва сохтмони назди Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон иҷро шудааст.

**Мушовири  
илмӣ**

**Комилов Одина Комилович**  
доктори илмҳои техникаӣ, Корманди шоистаи Тоҷикистон, академики академияи муҳандисии ҶТ, профессори кафедраи «Гидрогеология ва геологияи муҳандиси»-и Донишгоҳи миллии Тоҷикистон

**Муқарризони  
расмӣ**

**Койбаков Сейитхан Медебекович**  
доктори илмҳои техникаӣ, профессор, мушовир-коршинос дар соҳаи идоракунии об, сохтмони гидротехникаӣ ва иншоотҳо Ташкилоти чамъиятии «Мусоидат ба рушди устувори минтақаҳо «TUFAY ӨLKЕ» (ш.Тараз, Ҷумҳурии Қазоқистон)

**Муртазаев Уктам Исматович**  
доктори илмҳои география, профессори кафедраи «Географияи табиӣ»-и Донишгоҳи давлатии педагогии ба номи С.Айни

**Шарифов Абдумунин**  
доктори илмҳои техникаӣ, профессор, мудирӣ шуъбаи «Энергетикаи гидрогенӣ»-и Институти кимиёи ба номи В. И. Никитини АМИТ

**Муассисаи  
пешбар**

**Муассисаи илмии буҷетии федералии давлатӣ «Маркази илмию федералии гидротехника ва мелиоратсия ба номи А.Н. Костяков»**  
(ш. Москва, Федератсияи Русия)

Ҳимояи рисола «18» юни соли 2026 соати 9:00 дар ҷаласаи шурои диссертатсионии 6D.KOA-059 назди Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон (суроғаи: 734025, Ҷумҳурии Тоҷикистон, ш. Душанбе, кӯч. Бофанда 5/2 баргузор мегардад.

Бо рисола дар китобхонаи Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон ва дар сайти [www. imoge.tj](http://www.imoge.tj) шинос шудан мумкин.

Автореферат «\_\_\_» \_\_\_\_\_соли 2026 ирсол гардид.

Котиби илмии  
шурои диссертационӣ  
6D.KOA-059, н.и.т.



Шаймурадов Ф.И.

## МУҚАДДИМА

**Мубрамияти мавзуи тадқиқот.** Яке аз муҳимтарин вазифаҳои соҳаи геологияи муҳандисӣ ва механикаи хокҳо ин такмил додани усулҳои ҳисоб кардани тағйири шакл дар иншоотҳои муҳандисӣ воқеъ дар хокҳои сусти гилии сероб, ки бо назаррасӣ ғайрихаттӣ ва нуфузпазирии тағйирёбанда хос аст, мебошад. Бо назардоштани масъалаҳои муттаҳидшавӣ, тағйирпазирии хосиятҳои муайяншудаи хок, инчунин, нишондиҳандаҳои хок дар ҳолати шиддатноки тағйирёбандаи ибтидоӣ ва тағйирёбии (камшавии) баландии ибтидоии қисмати замин дар чараёни муттаҳидшавӣ, мубрамияти мавзуи тадқиқоти диссертатсионӣ мебошад.

**Дарачаи коркарди илмии мавзӯ.** Дар рушди назария ва амалияи тадқиқоти равандҳои муттаҳидшавӣ олимони зерин саҳми арзанда гузоштанд: Абелев Ю.М. [8], Денисов Н.Я.[20], Польшин Д.Е.[13,23], Маслов Н.Н.[3, 18], Сорокина Г. В. [22], Роза А.С. [24]Флорин В.А.[6], Цытович Н.А. [7, 19] , Вялов С.С.[15, 38], Зарецкий Ю.К.[2, 12, 17, 37], Абелев М.Ю.[8], Тер-Мартirosян З.Г [5, 14, 28, 36] ва ғайра.

Ба масъалаҳои хосиятҳои хокҳои зарди гилии сероб тадқиқотҳои Ахмедов Д.Д. [29], Мусаэлян А.А. [31], Комилов О.К.[30], Тахиров И.Г.[32] , ва дигар тадқиқотчиён бахшида шудааст.

Таъсири омилҳои гуногун ба раванди муттаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб корҳои: а) ба градиенти ибтидоии фишор ба раванди таровиши моеъи ковокӣ Роза А.С.[24], ва ғайра; б) ба моеъи ковокии газдор тадқиқотҳои Тер-Мартirosян З.Г.[5] , Зарецкий Ю. К.[2], Абелев М.Ю.[8]. ва ғ.; в) ба хосиятҳои реологии хокҳо тадқиқотҳои Вялов С.С.[15, 38], Цытович Н.А.[7, 19], Маслов Н. Н. [3,18], Гольдштейн Н.М.[16, 25] ва ғайра бахшида шудаанд. Дар байни тадқиқотчиёни хориҷӣ раванди муттаҳидшавии хокҳои гилии сероб дар корҳои Барден Л.[40], Леонардс Г.[41], Ло К. [42], Поскит Т.[43], Раймонд Г. [44], Ямбу Н. [45] ва дигарон инъикос ёфтаанд.

**Робитаи тадқиқот ба барномаҳо ва мавзӯҳои илмӣ.** Тадқиқоти диссертатсионӣ аз соли 1980 оғоз ёфта, дар робита ба қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон аз 31.08.2012, № 450 «Дар бораи барномаи давлатии азхудкунии заминҳои нави обёришаванда ва барқарор намудани заминҳои аз истифодаи кишоварзӣ хориҷ шуда, дар Ҷумҳурии Тоҷикистон барои солҳои 2012-2020» ва қарори Ҳукумати Ҷумҳурии Тоҷикистон 27.04.2022, № 203 «Дар бораи Стратегияи рушди саноати сохтмони Ҷумҳурии Тоҷикистон барои давраи то соли 2030» тадқиқоти диссертатсионӣ гузаронида шуд.

## ТАВСИФОТИ УМУМИИ ТАДҚИҚОТ

**Мақсади тадқиқот** ин амалишавии маҷмуи тадқиқоти илмӣ ва амалӣ оид ба коркарди микдоран ва сифатан баҳодиҳии шаклтағйирдиҳии хокҳои сусти гилии сероби ғафсияш калон, ки эътимоднокии истифодабарӣ ва бехатарии

иншооти гидротехникӣ ва дигар иншооти муҳандисиро таъмин намуда, дар рушди илм оид ба замин мусоидат менамояд.

#### **Вазифаҳои тадқиқот:**

1. Гузаронидани тадқиқоти таҷрибавӣ оид ба шаклтағйирдиҳӣ ва гузарониши хокҳои лойии сусти гилии сероб дар асбобҳои якмеҳвара ва семехвараи фишурдашавӣ (стабилومترҳо) бо ченкунии бузургии фишори ковокӣ. Дар таҷрибаҳо намунаҳои хокҳои лойқаи уфукҳои болоӣ, ки бо мувофиқати нармӣ ва шорандаи пластикӣ тавсифшаванда ва бо ёрии конструктории нави хокгиранда, ки бо иштироки бевоситаи муаллиф коркард шудааст, таҳқиқ карда шаванд;

2. Ҳалли масъалаи назариявӣ оид ба муайян намудани шаклтағйирдиҳии ҳаҷмии вайроншавии зичии хокҳои гилии сероб ҳангоми бардоштан ба сатҳи болоӣ (гирифтани сарбории табиӣ) ва муайян намудани параметрҳои хокҳои, ки дар вобастагии гирифташуда дохил мебошанд;

3. Коркарди усули сохтани чадвалӣ компрессияи хокҳои ибтидоӣ (табиӣ) дар ноҳия (массив) ва ошкор намудани дараҷаи зичшавии (зичшавии муътадил ва нокифоя) массив дар ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии табиӣ;

4. Коркарди асосҳои илмию назариявии муттаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб дар асоси иншооти гидротехникӣ (ва дигар иншооти муҳандисӣ) бо назардошти шаклтағйирдиҳии ғайриҳаттӣ, гузариши тағйирёбанда ва ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ;

5. Коркарди усули муайян намудани баландии болоравии капиллярии моеъи ковокӣ дар массиви обпахшшуда дар ҳолати тағйирёбии (болоравӣ, пастшавии) сатҳи обҳои зеризаминӣ;

6. Шарҳ додан ва бо усули рақамӣ ҳалли вазифаи муттаҳидшавии полоишии хокҳои сусти гилии сероб бо назардошти шаклтағйирдиҳии ғайриҳаттӣ, обгузаронии тағйирёбанда, ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ ва бо мурури вақт тағйирёбии баландии массиви муттаҳидшаванда. Коркарди усули муайян намудани параметрҳои реологии (суръати хазандагӣ ( $\delta$ ) ва хомушшавии хазандагии ( $\delta$ )) хокҳои сусти гилии сероб дар раванди муттаҳидшавии дубора.

**Объекти тадқиқот.** Объекти тадқиқот хокҳои сусти гилии обдор (лойқадор, зардохҳои обдор) буданд, ки асоси ҳаргуна иншооти муҳандисӣ мебошанд.

**Мавзӯи тадқиқот.** Такмили усули ҳисобкунии муттаҳидсозии асосҳои иншооти гидротехникӣ ва дигар иншооти муҳандисӣ, ки аз хокҳои сусти гилии обдор иборатана мебошад.

**Усулҳои тадқиқот** аз тадқиқоти таҷрибавӣ ва назариявӣ иборат буда, бо истифодаи усулҳои стандартӣ амалкунанда ва тавсияи дигар тадқиқотчиён гузаронида шуд.

#### **Навгониҳои илмӣ тадқиқот:**

- ҳалли назариявии масъалаи муайянкунии таъғири шакли ҳаҷмии густариши хокҳои сусти гилии обдор, ҳангоми баргараф кардани бори табиӣ ва

муодилаи компрессияи ибтидоии (табии)-и хокҳои гилии обдор дар ҳолати ибтидоии шиддату тағйири шакл муайян гардид;

– дар асоси қонуни изотермикии Бойл-Мариотт ва қонуни Ҳенри дар бораи ҳалшавандагии газҳо арзишҳои радиуси буғумҳои гази фишурда ва дараҷаи намии хокҳои гилии обдор дар чуқурии интихобӣ муайян карда шуд;

- дар асоси қонуни Борелли-Журен арзиши баландии баландшавии моеъи ковок ( $h_{\text{кап}}$ ) дар массиви хокҳои сусти гилии обдор муқаррар карда шуд;

- усули муайян кардани қувваи ғафсии фишурдашаванда ( $h_a$ ) дар массиви хокҳои сусти гилии обдор ҳангоми таъсири бори беруна ва усули ба назар гирифтани таъсир ба андозаи тағйири шакли дохилшавии органикӣ ва қабатҳои гуногуни хок дар чуқурии массив пешниҳод карда шуд;

- ҳалли масъалаи пешгӯии таҳшинии иншооти гидротехникӣ ва дигар иншооти муҳандисӣ бо назардошти тағйири шакли ғайрихаттӣ, гузариши тағйирёбанда ва ҳолати ибтидоии шиддату тағйири шакли хок ба даст оварда шудааст;

– ҳалли рақамии масъалаи муттаҳидшавии ғайрихаттии хокҳои сусти гилии сероб бо назардошти ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ ва бо мурури вақт тағйирёбии баландии массив дар раванди зичкунии хокҳо ба даст оварда шуд.

#### **Аҳамияти назариявӣ ва амалии тадқиқот.**

Аҳамияти назариявии тадқиқот аз муайян кардани бузургии васеъшавии ҳаҷмии намунаҳои хок ҳангоми баланд шудан ба сатҳи болои иборат аст; таҳияи усули ҳисоб кардани таҳшинҳои гидротехникӣ ва дигар иншооти муҳандисӣ дар асосҳои сусти гилии обдор; муайян кардани тағйирот дар радиуси хубобҳои гази ҳалшуда дар моеъи ковок ва дараҷаи намии хок аз рӯи умқи массив; муайян кардани баландии капиллярии баландшавии моеъи ковок дар массив; ҳалли рақамии вазифаҳои муттаҳидсозии хокҳои сусти гилии обдор бо назардошти тағйирёбии ғайрихаттӣ, гузариши тағйирёбанда, ҳолати табиӣ шиддату шаклтағйирӣ ва баландии тағйирёбандаи қабат.

Аҳамияти амалии тадқиқот аз истифодаи усули таҳияшудаи ҳисоб кардани муттаҳидсозии хокҳои сусти гилии обдор ҳангоми пешгӯии тағйирёбии сарбанди хокии гидроузли Днепр-Буг, ки дар хокҳои сусти гилии обдор бо иқтидори калон сохта мешавад, иборат аст.

Баъзе муқаррароти тадқиқоти диссертатсионӣ дар асарҳои илмии проф. Тер-Мартirosян З.Г. «Пешгӯии равандҳои механикӣ дар қисми заминҳои хокии бисёрҳолата (многофазные)» (М.: Недра, 1986.-292 с.) ва «Андозаҳои реологии хок ва ҳисобкунии таҳкурсии иншоот» (М.: Стройиздат, 1990. -200 с.), инчунин, дар китобҳои дарсии «Механикаи хок» (М.: АСВ, 2005. -488 с.; М.: АСВ, 2009. - 553 с.) ворид карда шудааст, ки ин китобҳои дарсӣ барои донишҷӯёни ихтисосҳои сохтмонӣ, мактабҳои олий, муҳандисон-геологҳо, гидрогеологҳо, инчунин, мутахассисони соҳаҳои сохтмон тавсия карда мешаванд.

#### **Нуқтаҳои асосии ба ҳимоя пешниҳодшуда:**

1) ҳалли назариявии масъала оид ба муайян намудани шаклтағйирдиҳии

ҳаҷмии вайроншавии зичии хокҳо ҳангоми гирифтани онҳо аз массив ва муқаррар намудани нишондиҳандаҳои воқеии сусти гилии сероб дар ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ (табӣ);

2) сохтани графикӣ компрессияи ибтидоӣ аз рӯи нишондиҳандаҳои воқеии хокҳои сусти гилии сероб, чуқурии массив ва баҳодиҳии дараҷаи зичшавии (зичшавии муътадил ва нокифоя) массив дар шароити ҷойгиршавии табӣ;

3) ҳалли назариявии масъалаи муайян намудани шаклтағйирдиҳии (таҳшиниҳои) иншооти гидротехникӣ ва дигар иншооти муҳандисӣ дар хокҳои сусти гилии сероб бо назардошти шаклтағйирдиҳии ғайриҳаттӣ, гузариши тағйирёбанда ва ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ;

4) ҳалли рақамии масъалаи муттаҳидшавии полоишии сусти гилии сероб бо дарназардошти шаклтағйирдиҳии ғайриҳаттӣ, гузарши тағйирёбанда ва ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоии ноҳия (массив);

5) муайян кардани вақти муттаҳидшавии полоишии хокҳои сусти гилии обдор ҳангоми тағйирёбии баландии ноҳия;

б) усули муайян намудани параметрҳои реологӣ (суръати ҳазандагӣ ( $\delta$ ) ва хомушшавии ҳазандагӣ ( $\delta''$ )) ҳангоми муттаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб бо назардошти мурури вақт тағйирёбии баландии массив.

**Дараҷаи эътимоднокии натиҷаҳои илмӣ** иборатанд аз:

- истифодаи усулҳо ва воситаҳои тадқиқоти муосир;

- тасдиқи натиҷаҳои тадқиқот дар интишороти маводди илмӣ ва нахустпатент инъикос меёбад;

- тасдиқи муқаррароти назариявӣ дар тадқиқоти диссертатсионӣ бо натиҷаҳои тадқиқотҳои таҷрибавӣ ва нишондодҳои дигар муҳаққиқон зоҳир мегардад;

- натиҷаҳои ноилгардидаи илмӣ аз апробатсия дар конференсияҳои ҷумҳуриявӣ байналмилалӣ ва маҷаллаҳои тақризшавандаи илмӣ гузаштаанд.

**Мутобиқати диссертатсия ба шиносномаи ихтисоси илмӣ.**

Мундариҷаи мавзӯи тадқиқоти диссертатсионӣ ба бандҳои 1, 6 ва 9 шиносномаи ихтисоси илмӣ 2.1.8. Сохтмони гидротехникӣ мутобиқат мекунад:

1. Коркарди назария, усулҳои асосноккунии ҳисобӣ, лоиҳакашӣ ва сохтмони саддҳо аз масолеҳҳои хокӣ;

6. Рушди назария, усулҳои ҳисоб, лоиҳакашӣ, сохтмон ва истифодабарии иншооти гидротехникии системаҳои обёрӣ ва системаҳои сохтмони таъиноти муҳофизати табиат;

9. Коркарди усулҳои баҳодиҳии таъсири сохтмони гидротехникӣ ба ҳудудҳои ҳамшафат, ташкили усулҳои нави ҳисобҳо ва лоиҳакашии иншооти муҳофизати муҳандисӣ.

**Саҳми шахсии муаллиф** дар интиҳоб намудани мавзӯҳои тадқиқот, асоснок намудани натиҷаҳои тадқиқоти назариявӣ, инчунин, коркард ва пешниҳод намудани тавсияҳои амалӣ, таҳия ва нашри маводди илмӣ дар конференсияву маҷаллаҳои илмӣ мебошад.

**Тасвиб ва амалисозии натиҷаҳои диссертатсия.** Натиҷаҳои тадқиқоти ноилгардидаи илмӣ дар конференсияҳои илмӣ зерин аз апробатсия гузаштанд, аз ҷумла: Конференсияи илмӣю техникии олимон ва мутахассисони ҷавон (ш. Душанбе, 1984), конференсияи умумииттифоқии илмӣю амалӣ «Мушкилиҳои муосири механикаи хокҳои ғайрихаттӣ» (ш. Челябинск, 1985), конференсияи ҷумхуриявӣю илмӣю техникии олимон ва мутахассисони ҷавон (ш. Душанбе, 1987), конференсияи XVII-уми Ҷумхуриявӣю илмӣю амалӣ (бахши илмҳои техникӣ) (ш. Душанбе, 1990), Симпозиуми III-юми Геотехникии Осиёи Марказӣ «Мушкилиҳои геотехникии сохтмон дар хокҳои фӯрӯраванда дар минтақаҳои сейсмикӣ» (ш. Душанбе, 2005), конференсияи байналмилалӣю илмӣю амалӣ «Масъалаҳои муҳими меъморӣ ва шахрсозӣ» (ш. Душанбе, 2021), конференсияи байналмилалӣю илмӣю амалӣ «Мушкилиҳои геологияи муҳандисӣ, гидрогеология, гидрология ва коркарди конҳои чинсҳои фӯиданоки Тоҷикистон ва ҳудудҳои ҳамшафат» (ш. Душанбе, 2022), конференсияи байналмилалӣю илмӣю амалӣ XII «Хонишҳои Ломоносовӣ» бахшида ба 30 солагии баргузорию муносибатҳои дипломатӣ байни Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Россия (ш. Душанбе, 2022), конференсияи байналмилалӣю илмӣю амалӣ «Дастовардҳои муосир ва масоили мавҷудбуда дар илми геология (илмҳои заминшиносӣ)» (ш. Душанбе, 2024).

**Интишороти аз рӯйи мавзӯи диссертатсия.** Натиҷаҳои асосии тадқиқот дар 34 маводи илмӣ, аз ҷумла 17 мақола дар маҷаллаҳои тақризшавандаи тавсиянамудаи КОА ҚТ, 4 ҳуҷҷати меъёрии сохтмонӣ ва 2 шаходатномаҳои муаллифӣ (патент) шарҳи худро ёфтааст.

**Сохтор ва ҳаҷми диссертатсия** аз муқаддима, 6 боб, хулоса ва рӯйхати манбаъҳои адабии истифодашуда аз 367 ном ва 5 замима дорад. Ҳаҷми умумии рисола 323 саҳифа, аз ҷумла 62 расм ва 14 ҷадвалро ташкил медиҳад.

## ҚИСМҲОИ АСОСИИ ТАДҚИҚОТ

Дар муқаддима мубрамию кор асоснок гардида, дараҷаи коркарди илмӣю мушкилию омӯхташаванда, тавсифоти умумии кор шарҳ дода шуда, мақсад ва вазифаҳо баён гардидаанд, объект ва мавзӯи тадқиқот муайян шудааст, ба навгонии илмӣ, аҳамияти назариявӣ ва амалӣю кор, саҳми шахсии муаллиф равшанӣ андохта шудааст, муқаррароти асосии ҳифзшаванда сохторию кор, маълумот оид ба муаррифии он ва амалишавии натиҷаҳо, маълумот оид ба асарҳо, мундариҷаи муҳтасари диссертатсия оварда шудааст.

Дар боби якум ҳолати кунунии «*Тадқиқоти шаклтағйирдиҳӣ ва гузарониши хокҳои сусти гилии сероб*», муттаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб баррасӣ мегардад. Дар соҳаи таҳияи назарияи муттаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб саҳми арзандаро Герсеванов Н.М.[1], Зарецкий Ю.К. [2], Маслов Н.Н. [3], Терцаги К. [4], Тер-Мартirosян З.Г. [5], Флорин В.А. [6], Цытович Н.А. [7] ва дигарон гузоштаанд. Баъзе масъалҳои муттаҳидшавии хокҳои гилии сероб корҳои Абелев М.Ю. [8], Гольдин А.Л. [9], Горелик Л.В.

[10], Далматов Б.И. [11] ва дигарон бахшида шудаанд. Ба ҳалли масъалаҳои таҳлили амалии назарияи муттаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб корҳои Зарецкий Ю.К. [12], Польшин Д.Е. [13], Тер-Мартirosян З.Г. [14] ва ғайра бахшида шудаанд. Ба тадқиқоти хосиятҳои реологии хокҳои сусти гилии сероб корҳои Вялов С.С. [15], Гольдштейн М.Н. [16], Зарецкий Ю.К. [17], Маслов Н.Н. [18], Цытович Н.А. [19] ва ғайра бахшида шудаанд.

Дар диссертатсия татбиқи назарияҳои муттаҳидшавии (консолидация) таҳлил карда мешаванд, аз ҷумла назарияҳо бо назардошти хусусиятҳои реологии хокҳои сусти гилии сероб ва тадқиқоти назариявии ҳолати шиддатноки хоки табиӣ таҳлил шудааст. Дар асоси баррасии масъалаҳои болозикр қайд карда мешавад, ки дар айни замон ягон корҳои умумисозӣ вучуд надоранд, ки намунаҳои зичкунии (уплотнение) хокҳои сусти гилии серобро дар ҳолати ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии шакл дар зери таъсири қувваи гравитатсионӣ ба назар гирифта шаванд. Нашрияҳои мавҷуда бо назардошти масъалаҳои зичкунии ин хокҳо аз мавқеи умумии назариявӣ (Денисов Н.Я. [20], Ломтадзе В.Д. [21] ва ғайра), инчунин, аз нуқтаи назари масъалаҳои аниқ истифодабарии онҳо ҳамчун таҳкурсии биноҳо ва иншоот (Сорокина Г.В. [22], Польшин Д.Е. [23], Роза А.С. [24] ва дигарон) тарафи физикии ин равандро шарҳ дода, тарафи микдорӣ ва сифатии тағйирёбии шакл дар воҳиди вақт ба таври кофӣ баҳо дода нашудаанд. Ин ҳолат тадқиқоти иловагиро талаб мекунад, ки барои тақмил додани тарзи ҳисобу китоби таҳшинӣ дар асоси баҳисобгирии мукаммали қонунҳои тағйирёбии шакли ин хокҳо, инчунин, андозаҳои онҳо дар ҳолати ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии шакл.

Дар омӯзиши масъалаҳои хосиятҳои бинокорӣ хоки сусти гилии сероб, инчунин, кор карда баромадани назария ва амалия дар сохтмони биноҳо ва иншоот дар хокҳои гилии сероб, саҳми олимони Абелев М.Ю. [8], Гольдштейн М.Н. [25], Далматов Б.И. [26], Ломтадзе В.Д. [27], Тер-Мартirosян З.Г. [28] ва дигарон қалон аст.

Дар таҳқиқи ин масъала олимони хориҷӣ саҳми назаррас гузоштаанд: Терцаги К. [4], Пек Р. [33], Барден Л. [40], Леонардс Г. [41], Ло К. [42], Поскит Т. [43], Раймонд Г. [44], Ямбу Н. [45] ва ғайра.

Дар бораи аҳамияти масъалаҳои баррасишаванда барои Ҷумҳурии Тоҷикистон арзевии ҳаҷми сохтмони гидротехникӣ, ки аз ҷониби д.и.т. Фазилов А. Р [39] оварда шудааст, мегӯяд, ки "...Дар Тоҷикистон қаблан 11 иншооти обии қалон сохта, ва истифода бурда мешаванд (аз ҷумла: Роғун, Норак, иншооти обии Сангтуда-1, Бойғоза, Каттасой, Даганасой, Сарбанд, Кайроқум, иншооти обии Сангтуда -2), инчунин каналҳо (Вахш, Ҳисор, Дилварзин, Чубек, канали Деҳқонобод ва ғайра), иншооти асосии обкашӣ дар дарёҳо (Вахш, Панҷ, Исфара ва ғайра), Каналҳои гидротехникӣ (аз обанбори НБО Бойғоза, НБО Норак ва ноҳияи Ёвон), инчунин обхуриҳои (дюкерҳо) (Шуробод, Лойқасой, Ишмасой ва ғайра)...". Ҳамаи иншооти гидротехникии зикршуда, ки барои истехсоли нерӯи барқӣ арзон сохта шудаанд, ҳамзамон манбаи обериӣ заминҳои қаблан азхуднашуда ва дар натиҷа сабаби обериӣ қаламравҳои васеъ

ва баланд шудани сатҳи обҳои зеризаминӣ мебошанд.

Ба саволҳои тадқиқоти хусусиятҳо, сохтмони биноҳо ва иншоот дар зардхокҳои сусти сероб дар худуди Ҷумҳурии Тоҷикистон корҳои Аҳмедов Д.Д.[29], Комилов О.К. [30], Мусаэлян А.А. [31], Тахиров И.Г. [32] ва дигарон бахшида шудаанд.

Дар адабиёти илмӣ оид ба омӯзиши назариявии моделҳои гуногуни таҷкурсиҳое, ки кори хокро дар зери таъсири бори беруна шарҳ медиҳанд, корҳои зиёде мавҷуданд. Онҳо дар асарҳои илмии Терцаги К. [33], Флорин В.А. [35], Тер-Мартirosян З.Г. [36], Зарецкий Ю.К. [37], Вялова С.С. [38] ва дигарон зикр ёфтаанд.

**Дар боби дуюм «Объектҳо ва усулҳои тадқиқотҳои хокҳои сусти гилии сероб»** дар бораи намудҳои хокҳои сусти гилии сероб, хоки сусти лойқадор (ш. Очаков, Украина) ва зардхоки сероби ноҳияи Данғараи Ҷумҳурии Тоҷикистон маълумот дода мешавад. Ба зардхокҳои зери об мондаи минтақаи ноҳияи Данғара сатҳи тағйирёбандаи обҳои зеризаминӣ хос аст, ки мавсимӣ дар минтақаҳои пастзамин ба рӯйи замин баромада, раванди сохтмон ва истифодабарии иншооти шахрвандӣ ва саноатиро душвор мегардонад. Мувофиқи маълумоти кадастри обёрикунӣ, «Баланд бардоштани сатҳи таъминоти техникий об ва ҳолати заминҳои обёрикунии Ҷумҳурии Тоҷикистон то 01.01.2014» дар ноҳияи Данғара «сатҳи обҳои зеризаминие, ки хавфнок мебошанд, 240 гектар заминро дар бар гирифтаанд».

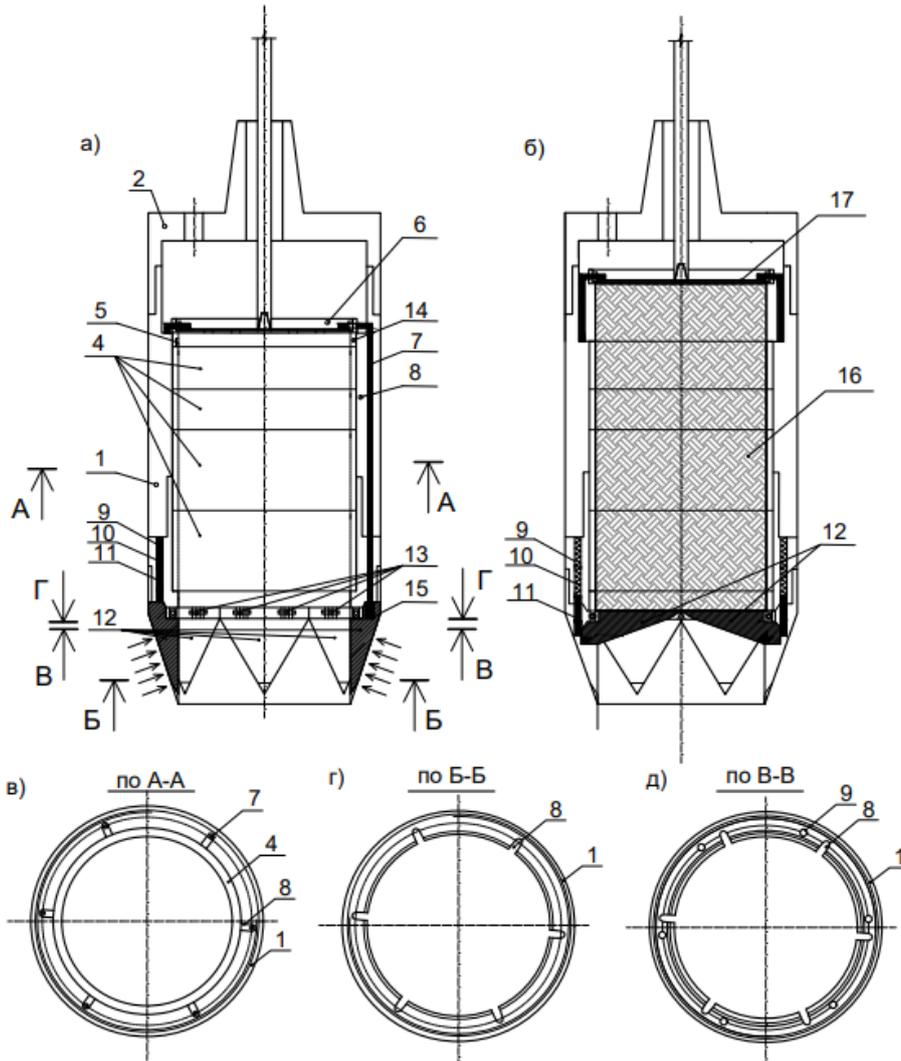
Дар тадқиқоти диссертатсионӣ хокҳои сусти гилии сероби дараҷаи ҳаракатпазирӣ (консистенция) равонӣ-наrm (текучепластичной) ва мулоимӣ-наrm (мягкопластичной) омӯхта шуданд. Барои аз қаҳри замин гирифтани чунин намунаи хок, муаллиф якҷоя бо д.и.т., проф. Тер-Мартirosян З.Г. (МИСИ - МГСУ, Федератсияи Россия) ва н.и.т. Погосян Р.Г. (МГСУ, Федератсияи Россия) конструксияи принципи навӣ таҷҳизоти намунагирандаи хокиро (шаходатномаи муаллифии СССР № 1488715 (51) Е 02 Д1/00), коркард намуда, дар амал ҷорӣ намуданд, ки дар расми 1 нишон дода шудааст.

Намунагирандаи хок аз корпуси дорои сарпӯш ва нӯги тез карда шуда иборат мебошад, ки дар дохили он ҳалқаҳои хок бо гирандаҳои ҳалқавӣ ва чархи уфуқӣ бо меҳварҳои доранда-роҳнамои амудӣ дар милҳои (каналы) амудии бадана (корпус) насб карда шудаанд. Дар тарҳ системаи пружинаҳо бо штокҳои ба секторҳои саҳти ҳаракаткунанда таъя карда, ба воситаи мафсилҳо (шарниры) ба танаи дастгоҳ пайваست шудаанд. Дар тарҳ дар як вақт кандани меҳварҳои амудӣ ба таври синхронӣ баровардани секторҳои ҳаракаткунанда ҳангомӣ бо хок пур кардани дастгоҳ, таъмин карда мешавад. Ба таври автоматикӣ маҳкам шудани қисми поёнии асбоб аз ҳисоби энергияи потенциалии пружинаҳои дар даруни намунагирандаи хок ҷойгиршуда, инчунин, таъсири худӣ хок ба сатҳҳои моили берунии секторҳои ҳаракаткунанда ба амал меояд (расми 1).

Намуди умумии намунагирандаи хок барои гирифтани хокҳои сусти гилии сероб дар шакли ҷудошуда ва ҷамъшуда дар расми 2 нишон дода

шудааст.

Ҳангоми гузарондани тадқиқоти таҷрибавии хокҳои сусти гилии сероб,



Расми 1. Буриши қисмҳои дастгоҳ (намунагирандаи хок) барои гирифтани хокҳои сусти гилии сероб (шаҳодатномаи муаллифӣ СССР №1488715 (51) Е 02 D1/00): а) буриши дастгоҳ дар ҳолати васлшуда пеш аз фарқ шудан ба қисмати замин; б) буриши дастгоҳ пас аз гирифтани намунаи хок. Буришҳои дастгоҳ; в) аз рӯи А - А; г) аз рӯи Б - Б; д) аз рӯи В - В; 1 - корпуси намунагирандаи хок (дастгоҳ); 2 - сарпӯши дастгоҳ; 3 - нӯги тез карда шудаи дастгоҳ; 4 - ҳалқаҳои хок; 5 - гирандаҳои ҳалқавӣ; 6 - чарх барои меҳварҳои роҳнамо; 7 - меҳварҳои роҳнамо; 8 - милҳои (каналы) амудӣ дар бадана (корпус) дастгоҳ; 9 - милҳо (каналы) барои насб кардани фанарҳо (пружини); 10 - фанарҳо; 11 - штокҳо; 12 - қисмҳои саҳти ҳаракаткунанда; 13 - мафсилҳо; 14 - ҳалқаи нигоҳдоранда бо рахпеч; 15 - чуқуриҳо барои меҳварҳои роҳнамо; 16 - намунаи хок; 17 - ҳалқаи резинии фазои холӣ (вакуум).

асбобҳои компрессионии сохташудаи С.Р. Месчан ва асбобҳои компрессионие, ки чун маҷмуа бо намунагирандаи хок сохта шудаанд, инчунин, асбобҳои фишурдани сетираи навъи радиалии (стабилметрҳои навъи Б), ки муайян намудани тавсифҳои тағйири шакл ва таровиши хокро дар сатҳҳои гуногуни

боркунӣ имкон медиҳанд. Қиматҳои фишори зиёдатии ковокиҳо, ки дар намунаҳои хокҳои гилии сероб ҳангоми гузоштани бори беруна ба вучуд меоянд, бо истифода аз гирандаҳои

а)



б)



Расми 2. Намунагирандаи хок: а) -ба қисмҳо ҷудошуда; б) - дар ҳолати ҷамъшуда бо камераи пушидаи хок-кабулкунанда

фишори ковокиҳои навъи компрессионӣ ва қатравӣ муайян карда шуданд.

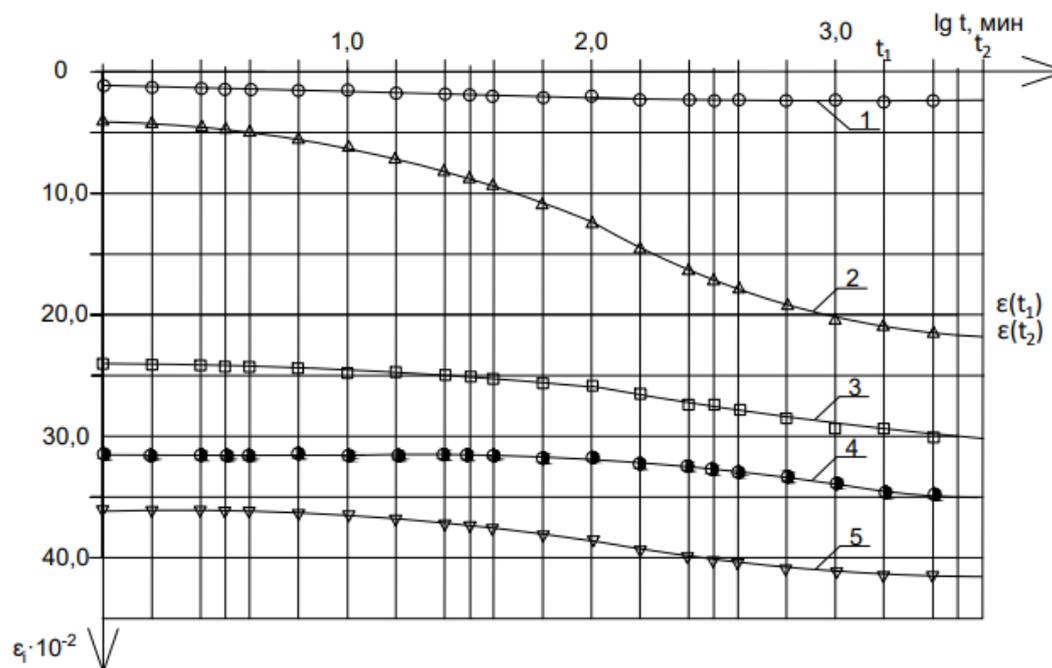
Дар боби сеюм «*Натиҷаҳои тадқиқоти хокҳои сусти гилии сероб*» натиҷаҳои таҳқиқоти лабораторӣ санҷиши фишурдашавии хокҳои сероб дар зерӣ таъсирӣ борҳои беруна, вақти мӯътадилшавии тағйири шакл муайян кардани андозаҳои таровиш, реологӣ ва муайян кардани хусусияти парокандашавӣ ҳангоми фишори ковокиҳо, дар вақти гузоштани бори беруна дида баромада мешавад. Тадқиқоти гузаронидашуда нишон доданд, ки барои хокҳои сусти сероби лойқадор, арзишҳои калони тағйири шакли нисбии намунаҳо, ҳатто дар марҳилаҳои ночизи аввала зина ба зина гузоштани бор хос мебошад. Натиҷаи тадқиқоти намунаи хок аз чуқурии 2,40 - 2,70м (чоҳи №941) дар марҳилаҳои гуногуни боркунӣ дар расми 3 нишон дода шудааст.

Мувофиқи расми 3, дар таҳти бори фишурандаи 0,02 МПа арзиши тағйири шакли нисбии намуна  $\varepsilon = S/H_0 = 0,41$  (41%) баландии ибтидоиро

ташкил дод, ки ин хокҳо ба фишурдашавии баланд хос ҳастанд. Хатҳои компрессионии намунаҳои омӯхташудае, ки аз чуқуриҳои гуногун дар чоҳи № 941 гирифта шудаанд, дар расми 4 нишон дода шудаанд.

Барои хокҳои сусти гилии сероб пастшавии тағйирпазирии шакли

намунаҳо бо чуқурии қисмати замин мушоҳида карда мешавад. Зухуроти зичшавии хок дар ҳолати аввалаи (табӣ) ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии



Расми 3. Вобастагии тағйири шаклдигаркунии нисбӣ ( $\epsilon$ ) аз логарифми вақт ( $\lg t$ , дақ.) намунаи хок аз сатҳи ÷ 22,40,70м (чоҳи №941): 1 -  $\sigma = 0,01$  МПа; 2-  $\sigma = 0,03$  МПа; 3 -  $\sigma = 0,06$  МПа; 4 -  $\sigma = 0,10$  МПа; 5-  $\sigma = 0,20$  МПа

шакл дар зери таъсири қувваҳои ҷозиба мебошад. Ин далел зарурияти ба назар гирифтани ҳолати шиддатноку-тағйирёбии шакли хокро ҳангоми пешгӯи кардани такшинии биноҳо ва иншоот дар ин заминҳо сохташуда, ҳангомӣ ба қисмати замин гузоштани борҳои берунаи амалкунанда тасдиқ мекунад.

Ҳатҳои ҳислатҳои хос доштаи тағйирёбии зарби (коэффитсиенти) фишори ковоқи ( $\beta_0$ ) ва тағйири шакли нисбии ( $\epsilon = S/H_0$ ) намунаҳо аз

логарифми вақт дар ( $\lg t$ , дақ.) расми 5 нишон дода шудаанд. Муайян карда шуд, ки арзишҳои зарби фишори сӯрохиҳо аз бисёр ҷиҳат аз дараҷаи намии намунаи хок вобаста аст. Ҳамин тариқ, дар дараҷаи намии  $S_r = 0,98$  арзишҳои зарби фишори ибтидоии  $\beta_0 = 0,96$  ва дар  $S_r = 0,93$  арзишҳои зарби фишори ибтидоии ковоқи баробаранд  $\beta_0 = 0,79$ .

Дар тадқиқоти диссертсионӣ дар баробари заминҳои лойдор, зардхокҳои сероби минтақаи ноҳияи Данғараи Ҷумҳурии Тоҷикистон ба назар гирифта шудаанд. Ин минтақа бо сатҳи тағйирёбандаи обҳои зеризаминӣ маълум аст, ки мавсимӣ дар минтақаҳои паст ба рӯи замин мебароянд ва сохтмони биноҳо ва иншоотро мушкил мекунад.

Ҳатҳои тағйирёбии зарби ковоқӣ ( $e$ ) ва дараҷаи намӣ ( $S_r$ ) аз чуқурии гирифташудаи хок ( $z$ ), дар расми 6 нишон дода шудаанд. Тағйирёбии зарби ковоқии намунаҳои зардхокҳои сероб аз рӯи чуқурӣ гирифташуда, монанди

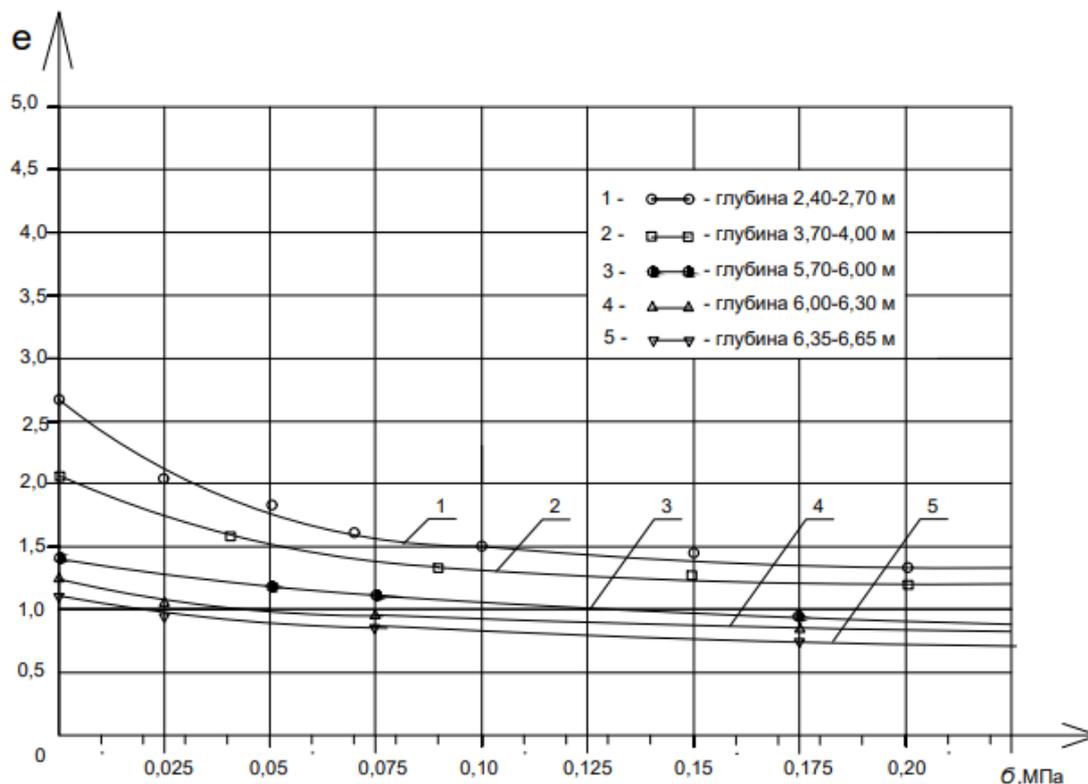
хокҳои лойдори сероб, бомуваффақият бо вобастагии шакли экспоненсиалии зерин аппроксиматсия карда мешаванд:

$$e = e_0 - b\{1 - \exp(-az)\} \quad (1)$$

дар ин ҷо:  $e$  - арзиши ҷорӣи зарби ковокӣ;

$e_0$  - арзиши ибтидоӣи зарби ковокӣ;

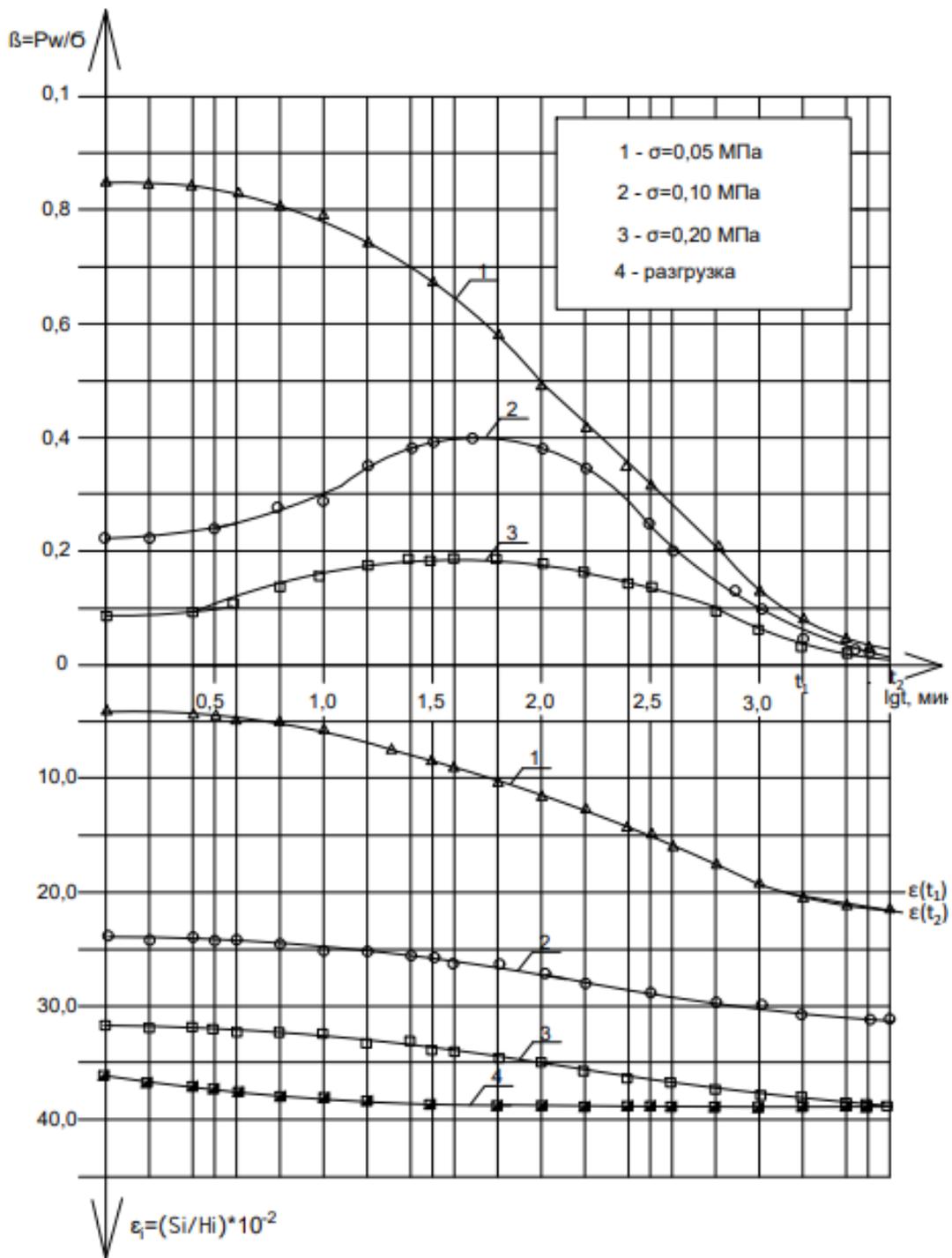
$a, b$  – зарбҳо, дар ин ҳолат андозадорӣи  $a$  ( $\text{м}^{-1}$ ).



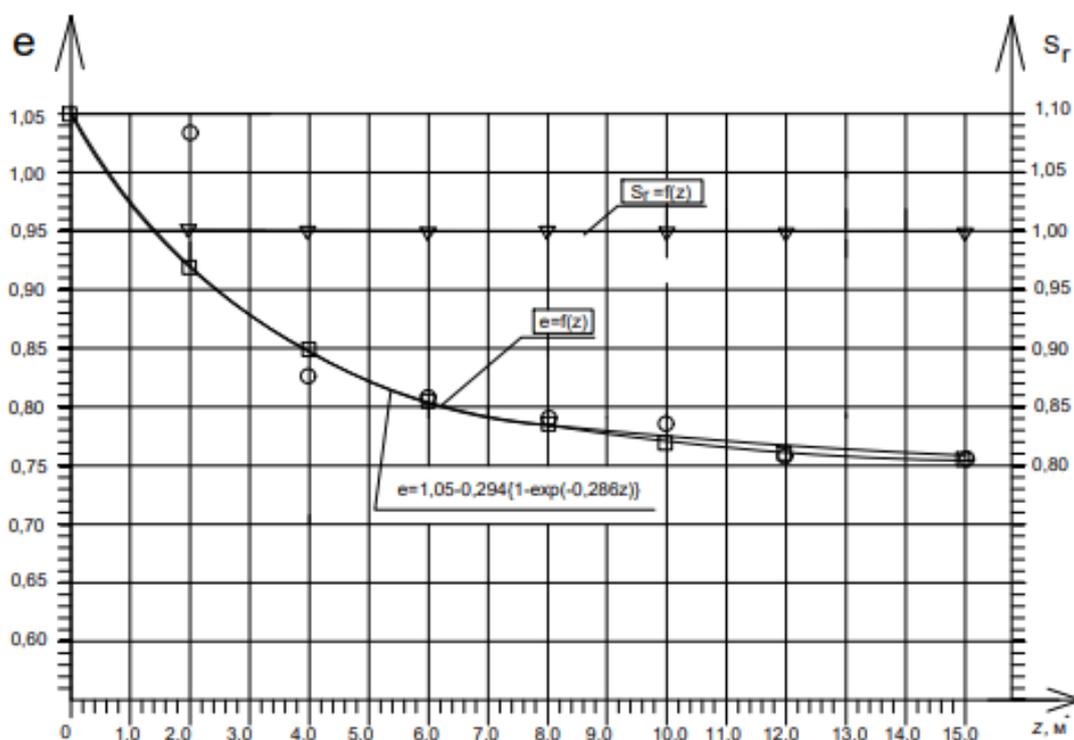
Расми 4. Хатҳои фшурдашавӣ (компрессиони) омӯхташудаи хокҳои ҷоҳи №941

Қиматҳои андозаҳои  $e_0, a$  ва  $b$ , ба ин вобастагӣ дохилшуда бо истифода аз усули инҳирофҳои квадрати камтарин муайян карда мешаванд.

**Дар боби ҷорӣ «Асосҳои назариявии мутаҳхидшавии ғайрихаттии хокҳои сусти гилии сероб бо дарназардошти ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ»** асосҳои назариявии мутаҳхидшавии хокҳои сусти гилии сероб бо назардошти ҳолати шиддатноку-тағйирёбии шакли ибтидоӣ оварда шудаанд. Дар қор масъалаи муайян намудани тағйирёбии шакли ҳаҷмии ғайризиҷшавӣ, ҳангоми гирифтани намуна аз хоки сусти гилии сероб, баррасӣ шудааст.



Расми 5. Тағйирёбии зарби фишори обҳои ковокиҳо ( $\beta$ ) ва тағйири шаклдигаркунии нисбӣ ( $\epsilon$ ) бо мурури вақт ( $lg t$ , дақ.) намунаи хоки баландиаш  $H = 40 \text{ см}$ , ки аз чуқурии  $4,75 - 5,05 \text{ м}$  гирифта шудааст (чоҳи №1481) бо борфурории минбаъдаи намунаи хок (хаттӣ 4)



Расми 6. Хатҳои тағйирёбии зариви (коэффитсиенти) ковокӣ ( $e$ ) ва дараҷаи намиғӣ ( $S_r$ ) аз рӯи чуқурӣ ( $z$ ) дар қитъаи замини зардхоки сероб (Вилояти Хатлон, объекти «Беморхона», чохи №1)

Дар ин кор ҳалли масъалаи муайян намудани тағйирёбии шакли ҳаҷмии камшавии зичӣ (разуплатнение), ҳангоми гирифтани намуна аз хоки сусти гилии сероб дар шакли вобастагии зерин ба даст оварда шудааст:

$$\Delta e = \frac{-e^{II}(1+e^{II})\Delta\sigma}{\{(n^{II}/\alpha_z)+(1/\alpha_w)+(1+2e^{II})\Delta\sigma\}} \quad (2)$$

ки  $e^{II}$ ,  $n^{II}$  – андозаҳои зариви ковокӣ ва ковокии намунаи хок дар сатҳи замин;

$\Delta\sigma$  – тағйирёбии шиддатҳои умумие, ки ҳангоми гирифтани намунаҳо таъсир мекунанд;

$\alpha_z = \left(\frac{1-2\nu}{E_{el}}\right) / \Delta\sigma_z$  – зариви камшавии зичии қисмҳои минералии (скелети) хок;

$\nu = 0,42$  – таносуби Пуассон;

$E_{el}$  – модули чандирии (модуль упругости) хок дар ҳолати аз фушурдашави озод (декомпрессия);

$\Delta\sigma_z$  – тағйир ёфтани фишорҳои самарабахш, ҳангоми ба рӯи замин баровардани хок;

$\alpha_w = \frac{1}{\Delta\sigma_w} \left(1 - \frac{S_r^{II}}{S_r^I}\right)$  – зариви васеъшавии ҳаҷми моеъи ковокӣ;

$\Delta\sigma_w$  – афзоиши фишори бетараф дар ковокиҳои хок, ҳангоми аз чуқурӣ

баровардани намуна ба рӯйи замин;

$S_r^I, S_r^{II}$  - мувофиқан дараҷаи намии намуна аз чуқурии гирифтани намуна ва рӯйи замин).

Дар қор тарзҳои гирифтани хоки сусти гилии сероб дар шароитҳои гуногуни муҳандисӣ - геологӣ оварда шудааст:

- 1) аз қисмати замини лойдор, ки дар зери қабати об хобидааст;
- 2) аз қисмати замини зардхоки сероб;
- 3) дар сурати аз об пурра сер нашудани зардхоқҳо ва сатҳи тағйирёбандаи обҳои зеризаминӣ.

Барои тарзҳои баррасишуда, арзишҳои фишорҳо (умумӣ, самаранок ва бетараф) ба намуна ҳангоми интиҳоби онҳо аз қисмати замин ва пайдарпай муайянкунии онҳо ба даст оварда шуданд.

Камшавии қувваҳои таъсиркунанда ба намуна, боиси тағйирёбии қутри гази дармонда, дар моеъи ковокӣ мегардад. Усули муайян кардани қутрҳои ҳубобчаҳои газ дар рӯйи замин ( $r^{II}$ ) ва дар чуқурии намуна баррасӣ карда шудааст ( $r^I$ ). Дар ҳолати нопурра аз об сер шудани қисмати замини зардхоқ аз сатҳи обҳои зеризаминӣ баландшавии капиллярии моеъи ковок ( $h_{кап}$ ), вобаста аз андозаи ҳубобчаҳои гази дармонда мушоҳида мешавад. Дар асоси формулаи Борелли-Журен дар сурати нопурра аз об сер шудани массив усули муайян кардани баландии болоравии моеъи ковок ( $h_{кап}$ ) аз сатҳи оби зеризаминӣ пешниҳод шудааст.

Дар асоси қонуни изотермии Бойл-Мариотт ва қонуни Ҳенри дар бораи ҳалшавии газҳо масъалаи муайян кардани дараҷаи намии хок дар чуқурии намуна ( $S_r^I$ ) аз рӯйи қимати он дар рӯйи замин ( $S_r^{II}$ ) ҳал карда шуд.

Қиматҳои ба даст омадаи номаълумҳое, ки ба вобастагии (2) дохил карда шудаанд, имкон медиҳанд, ки арзишҳои зарифҳои ковокии намунаҳо дар чуқури гирифта аз арзишҳои онҳо дар рӯйи замин муайян карда мешаванд.

Тағйирёбии фишори табиӣ қабати хоки сероба, дар чуқурии қисмати замин аз рӯйи вобастагии зерин муайян карда мешавад.

$$\sigma_z = D_0 \ln[B_0 + C_0 \exp(az)] + 2T \left( \frac{1}{r^I} - \frac{1}{r_0^I} \right) \quad (3)$$

$f_0$  – зарифи андозаҳо ( $1 \text{ кН/м}^3 = 10^{-3} \text{ МПа/м}$ ),

$$B_0 = b / (1 + e_0) \quad (4)$$

$$C_0 = [1 - b / (1 + e_0)] \quad (5)$$

$$D_0 = (\gamma_s - \gamma_w) / f_0 a (1 + e_0 - b) \quad (6)$$

Ҳалли муштараки (1) ва (3) ба намуди вобастагии зерин оварда

мерасонад.

$$e = e_0 - b \left\{ 1 - \frac{C_0}{\left[ \exp\left(\frac{\sigma_z^I}{D_0}\right) - B_0 \right]} \right\} \quad (7)$$

$$\sigma_z^I = \sigma_z - 2T \left( \frac{1}{r^I} - \frac{1}{r_0^I} \right) \quad (8)$$

ки  $r_0^I$ -арзиши кутрҳои хубобчаҳои газ дар рӯйи замин аст.

Вобастагӣ (7) қонуниятӣ тағйирёбии зароби ковокӣ ( $e$ ) дар қабати сусти хоки сероб аз вазни худ ( $\sigma_z^I$ ), аз ҳисоби зухуроти қувваҳои ҷозиба мебошад. Истифодабарии муодилаи (3) имкон дод, ки усули ҳисоб кардани муттаҳидшавии хоки сусти гилии сероб бо ба назар гирифтани ҳолати ибтидоии шиддат, кор карда шавад.

Ба сифати постулат дар тадқиқоти диссертатсионӣ монандӣ (аналогия) байни равандҳои фишурдашавии хокҳои сусти гилии сероб дар табиат ва фишурдани хок дар шароити компрессионӣ қабул карда шудааст. Дар ин маврид ду шарт ба назар гирифта шудааст:

1) дар қисмати замин дар чуқурии  $z$  ба замин таъсири худӣ вазни қабатҳои болоии хок ( $\sigma_{zg}$ ) баробар ба  $\sigma_{zg} = \sigma$ .

2) ба намунаи хок дар дастгоҳи компрессионӣ қувваи амалкунандаи ( $\sigma$ ) гузошта мешавад, ки арзишаш ба қувваи табиӣ ( $\sigma_{zg}$ ), т.е.  $\sigma = \sigma_{zg}$  баробар аст.

Ҳангоми муқоиса намудани хатҳои компрессияи табиӣ ва натиҷаҳои таҳқиқотҳои компрессионӣ дар вақти ба итмом расидани таровиши мутаҳҳидшавӣ (филтрационная консолидация), 2 ҳолат имконпазир аст:

1) Хатти қачи компрессияи табиӣ дар ҳолати ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии шакл поёнтар аз хатти қачи таровиши мутаҳҳидшавӣ анҷомёфта, дар шароити лабораторӣ мегузарад (расми 7).

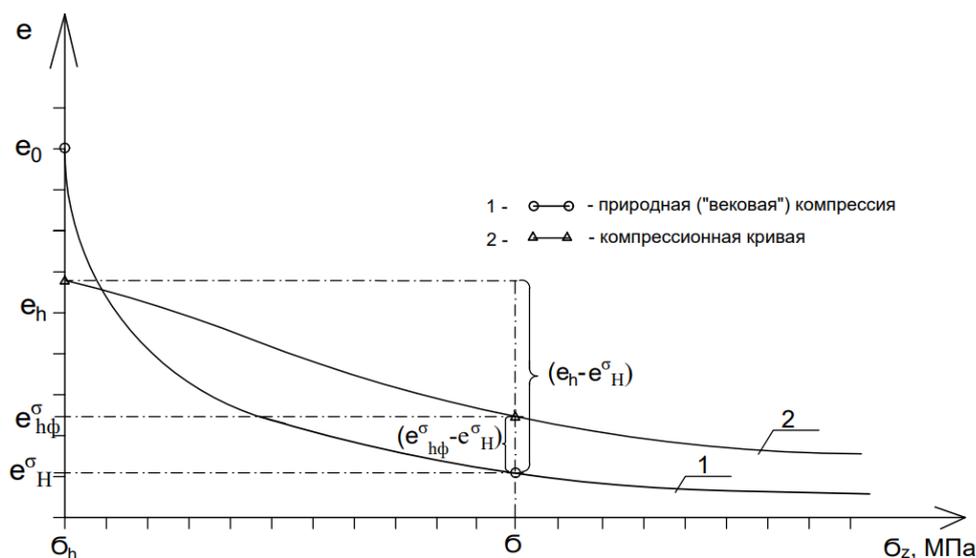
Нишондиҳандаи ҳадди равиши табиӣ ( $\eta$ )-ро ҷорӣ мекунем:

$$\eta = \frac{(e_{h\phi}^\sigma - e_H^\sigma)}{(e_h - e_H^\sigma)} \quad (9)$$

ки  $e_h$ - зароби ибтидоии ковокии намунаи хок аз чуқурии  $h$  гирифта шуда, дар асбоби компрессионӣ санҷида мешавад;

$e_{h\phi}^\sigma$ - зароби ковокии намуна дар дастгоҳи компрессионӣ ҳангоми анҷоми таровиши мутаҳҳидшавӣ аз қувваи  $\sigma$  (аз рӯйи усули Казагранде);

$e_H^\sigma$ - зароби ковокӣ дар ҳолати ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии шакл (компрессияи табиӣ) аз вазни худӣ қабатҳои болоӣ, баробар ба  $\sigma = \sigma_{zg}$ .



Расми 7. Барои муайян кардани қимати муттаҳидшавии дуҷумдараҷа дар қисмати замини хокҳои гилии сероб: 1 — хатти қачи компрессияи табиӣ; 2 — хатти таровиши муттаҳидшавӣ ба итмом расида аз қувваи амалкунандаи  $\sigma$

Арзишҳои «ченаки хазандагон»  $\eta$  метавонанд дар доираи

$$0 \leq \eta \leq 1 \quad (10)$$

фарқ кунанд.

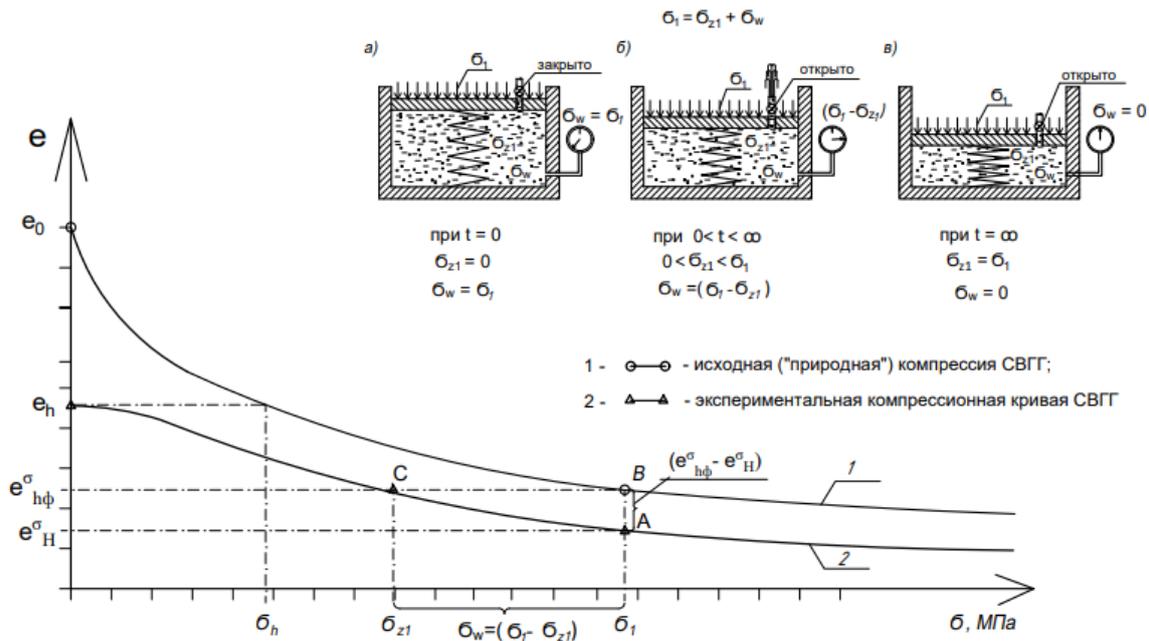
2) хатти қачи компрессияи табиӣ дар ҳолати ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии шакл аз хатти қачи тадқиқоти компрессионӣ болотар мегузарад (расми 8). Ин ҳолат барои хокҳои камзичшудаи сусти сероб дар ҳолати ибтидоии шиддатноку-тағйирёбии шакл хос хоҳад буд.

Чунон ки аз расми 8 дида мешавад, қимати кам зичкунии хок ( $e_{h\phi}^{\sigma} - e_H^{\sigma}$ ) дар қисмати замин аз бори фишурдакунанда  $\sigma_1$ , бо арзиши фишори бетарафи  $\sigma_{w1} = (\sigma_1 - \sigma_{z1})$ , муайян карда мешавад.

Ин ҳолат дар сурати мавҷуд набудани захбурканӣ (дренаж) ковокиҳо ва пайдоиши шароити «системаи пӯшида» дар қисмати замин мушоҳида мешавад.

Ҳангоми коркарди қовту қовҳои инженерияю геологӣ хокҳои сусти сероб, дар намунаҳои интихобшуда, инчунин, ходисаҳои ба вучуд омадани қабатҳои дигаргунаи хок, ки ба бузургии тағйирёбии шакли умумии хок таъсир мерасонанд, боқимондаҳои органикӣ (пулаҳо (ракушки)) ( $\chi_i^{обp}$ ), дида мешаванд.

Дар диссертатсия усули ба инобат гирифтани боқимондаҳои органикӣ дар намунаҳои хок ( $\chi_M$ ) ва қабатҳои хок, ки аз ҳамдигар бо арзиши тағйирёбии шакли пешбинишуда фарқ мекунанд, баррасӣ карда мешавад.



Расми 8. Муайян кардани кам зичкунии табиӣ дар қисмати замини хокҳои глилии сероб:  
 1 - ҳатти қачи компрессияи табиӣ; 2 ҳатти қачи муттаҳидшавӣ (компрессионӣ)  
 аз рӯи натиҷаҳои таҷриба

**Дар боби панҷум «Ҳалли рақамии масъалаи муттаҳидшавии хокҳои сусти глилии сероб бо назардошти ҳолати шиддатнокӣ шаклтағйирдиҳии ибтидоӣ»** ҳалли масъалаи муттаҳидшавии қабати хоки сусти сероб бо назардошти тағйирёбии шакли ғайрихаттӣ ва гузариши тағйирёбанда, инчунин, маълумот дар бораи ҳолати ибтидоии шиддатноку тағйирёбии шакл дар ҳолати ҷойгиршавии табиӣ онҳо дида мешавад.

Ҳалли масъала ба ҳалли муодилаи дифференсиалии муттаҳидшавӣ бо назардошти хосияти фишурдашавии моеъи ковоки газдор ва тағйирёбии шакли ғайрихаттӣ ва гузариш дар намуди зерин оварда шудааст.

$$\frac{\partial e}{\partial t} + a_w e \frac{\partial P_w}{\partial t} = \frac{(1+e)f_0}{\gamma_w} \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial P_w}{\partial z} \right) \quad (11)$$

ки дар он  $a_w$  – фишурдани моеъи ковоки газдор баробар аст ба

$$a_w = \frac{1 - S_r(1 - \mu)}{P_{ат}} \quad (12)$$

$f_0 = 1000$  - зароби андозаҳо,  $(1 \text{ кН/м}^3 = \frac{1}{f_0} \text{ МПа/м})$

Қиматҳои зароби ковокӣ ( $e$ ) хангоми компрессияи хокҳои сусти сероб бо вобастагии намуд бомуваффақият аппроксиматсия карда мешаванд.

$$e = e_0 - b\{1 - \exp[-a_1(\sigma - P_w)]\} \quad (13)$$

Қиматҳои зарби таровиш дар ин ҳолат бо муодилаи шакли зерин тавсиф карда мешаванд

$$k = k_0\psi^n \quad (14)$$

$$\text{Дар ин чо} \quad \psi = \exp[-a_1(\sigma - P_w)] \quad (15)$$

$$\text{баъд} \quad e = e_0 - b(1 - \psi) \quad (16)$$

Пас аз ворид кардани қайдҳо ва баъзе тағйиротҳо, мо муодилаи таровиши мутаххидшавӣ ҳалшавандаро дар шакли зерин пайдо мекунем

$$\left[ \frac{a_w B + (a_1 + a_w)\psi}{a_1\psi(A + \psi)} \right] \frac{\partial \psi}{\partial t} = C_V^{(0)} \frac{\partial}{\partial z} \left[ \psi^{n-1} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right] \quad (17)$$

дар ин чо

$$A = (1 + e_0 - b)/b; \quad B = (e_0 - b)/b \text{ и}; \quad C_0 = k_0 f_0 / \gamma_w a_1 \quad (18)$$

Вобастагии пайдошудаи (17) муодилаи дифференсиалии таровиши мутаххидшавӣ бо дарназардошти фишурдашавии моеъи ковоқиҳои газдор, тағйирёбии шакли ғайрихаттӣ ва гузариши тағйирёбанда мебошад.

Ин муодилаи дифференсиалӣ барои ҳолати захбурии (дренаж) дутарафаи моеъи дар шароити ибтидоӣ ва сарҳадӣ ҳал карда шудааст:

$$t = 0; \quad \psi = \exp[-a_1\sigma(1 - \beta_0)] = \psi_0 \quad (19)$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 0 \\ z = h \end{array} \right]; \quad \psi = \exp(-a_1\sigma) = \psi_2 \quad (20)$$

Барои ҳалли муодилаи (17) мо усули гузариш аз муодилаи ғайрихаттӣ ба муодилаи квазихаттӣ бо роҳи истифода намудани ивазкуниҳои интегралӣ амал кардем:

$$H(\psi) = \int_{\psi_{min}}^{\psi} \frac{a_w B + (a_1 + a_w)\psi}{C_V^{(0)} a_1 \psi(A + \psi)} d\psi \quad (21)$$

$$\Phi(\psi) = \int_{\psi_{min}}^{\psi} \psi^{n-1} d\psi = \frac{1}{n} (\psi^n - \psi_{min}^n)$$

Ки  $\psi_{min}$  қимати минималии функсия дар фосилаи тағйирёбӣ

$$(P_w = 0, \quad \psi_{min} = \psi_2 = \exp(-a_1\sigma))$$

Бо назардошти ин ивазкуниҳо муодилаи (17) ба шакли зерин табдил дода мешавад:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \quad (22)$$

Функсияҳо  $H(\psi)$  ва  $\Phi(\psi)$  дар ин ҳолат аз арзиши фишори ковокиҳо вобастаанд.

Муодилаи натиҷавӣ барои тамоми минтақаи омӯзишӣ дуруст аст ва ҳама ғайриҳаттиҳо ба ифодаҳои барои  $H(\psi)$  ва  $\Phi(\psi)$  дохил мешаванд. Аз ин рӯ, функсияҳои зери аломати интеграл метавонанд ихтиёрӣ бошанд.

Дигаргун сохтани муодилаи (17) зарурати тағйир додани мувофиқан шароитҳои ибтидоӣ ва сарҳадӣ, ки бо интегралсияи функсияҳо (21) муайян карда мешавад, талаб мекунад.

Дар ин ҳолат, шартҳои ибтидоӣ ва сарҳадӣ чунин шаклро мегиранд:

$$t = 0; H(z, 0) = \frac{1}{C_v^{(0)}} \ln \left\{ \left( \frac{A + \psi_1}{A + \psi_{min}} \right)^{(1 + a_w/a_1)} \left[ \left( \frac{A + \psi_{min}}{A + \psi_1} \right) \frac{\psi_1}{\psi_{min}} \right]^{(a_w B/a_1 A)} \right\}$$

$$\Phi(z, 0) = \frac{1}{n} (\psi^n - \psi_{min}^n) \quad (23)$$

$$\left. \begin{array}{l} z = 0 \\ z = h \end{array} \right]; \quad H(z, t) = 0; \quad \Phi(z, t) = 0 \quad (24)$$

Ҳангоми ҳалли масъала, ба чоп арзишҳои фишори ковокиҳо  $P_w(z, t)$  ва дараҷаи муттаҳидшавӣ  $U(t)$  дар нуктаҳои тахминии вақт бароварда мешаванд.

Дар назарияи таровиши мутаҳҳидшавӣ дараҷаи зичшавӣ ( $U(t)$ ) нисбат ба андозаҳои ибтидоӣ ва ноҳияи шиддатноки мувофиқ дар қисмати замин муайян карда мешавад.

Натиҷаҳои тадқиқоти хокҳои сусти гилии сероб нишон доданд, ки ба онҳо фишурдашавии баланд хос аст, масалан,  $\sigma = 0,2$  МПа, андозаи тағйирёбии шакли нисби ба  $\varepsilon = 0,4 \div 0,45$  баробар мешавад.

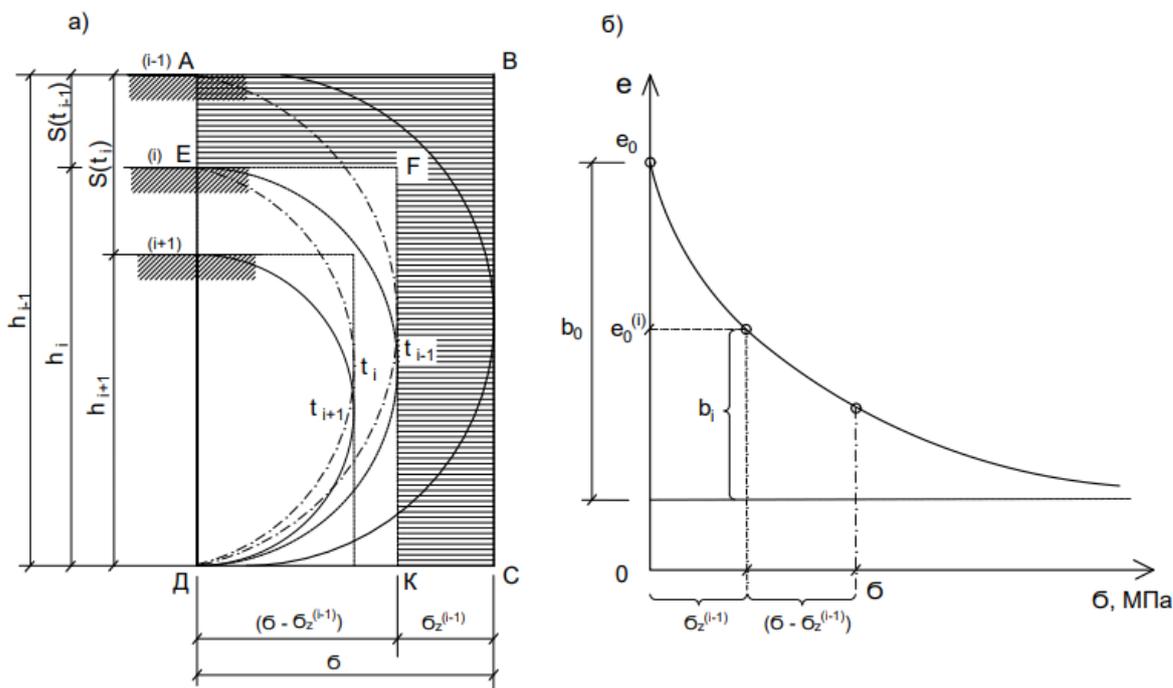
Аз сабаби фишурдашавии баланди хокҳои сусти гилии сероб, дар раванди тағйирёбии шакли қисмати замин, тағйироти баландии ибтидоӣ мушоҳида мешавад, яъне тағйир ёфтани андозаҳои геометрии он. Ин боиси камшавии роҳҳои таровиш ҳангоми захбурканӣ (дренаж) моеъ ковок мегардад.

Барои муайян кардани таъсири ин омил ба суръати тағйирёбии шакли хок, усули ҳисобкунии марҳилавӣ таҳия карда шудааст, ки он ба ҳисоб гирифтани тағйирёбии хусусиятҳои асосиро ҳангоми тағйирёбии баландии қисмати хокҳои гилии сероб дар бар мегирад.

Моҳияти усул дар он аст, ки тамоми фосолаи таровиши  $0 \leq t \leq t_{фк}$  ба фосолаи  $M$  тақсим карда шуд, ки ҳар кадоми онҳо ба марҳилаи камшавии баландии массив мувофиқат карда,  $N$  қадамро дар воҳиди вақт дар бар мегирад

(расми 9).

Дар дохили ҳар як фосила  $t_{i-1} \leq t \leq t_i$  баландии қабати  $h_i$  доимӣ ҳисоб



Расми 9. Нақшаи ҳисобкунӣ оид ба масъалаи таровиши мутаҳҳидшавӣ дар ҳолати тағйирёбии баландии қисмати замин дар воҳиди вақт

карда шуд. Дар ин ҳолат, принсипи ҳисобу китоб аз он иборат буд, ки дар охири марҳилаи  $(i - 1)$  – ум , яъне дар мавриди  $t=(t_{i-1})$ , дараҷаи мутаҳҳидшавӣ  $U = (t_{i-1})$  ва фишори максималии ковокиҳо баробар ба  $P_z^{(i-1)}|_{z=\frac{h}{2}}$  фишори камзичкунӣ  $(\sigma - \sigma_{z(min)}^{(i-1)})$  муайян карда, бо истифода аз формулаи дараҷаи мутаҳҳидшавӣ

$$U(t) = \frac{S(t)}{S_{\text{фк}}^{(0)}} \quad (25)$$

миқдори таҳнишинӣ  $S(t_{i-1})$ , мувофиқи марҳилаи  $(i - 1)$ -ум ва фишорҳои

муфид  $\sigma_z^{(i-1)}$  муайян карда шуд.

Бо назардошти таҳнишинии ба амаломата  $S(t_{i-1})$  ва фишорҳо  $\sigma_z^{(i-1)}$  қисмати замин бо баландии  $h_i$  мувофиқ ба марҳилаи оянда ташкил карда шуд, ки дар он хусусиятҳои нави ҳисобӣ ва фишори ибтидоӣ  $\sigma_z^{(i)}$ . Пас аз анҷоми марҳилаи  $(i - 1)$  – ум, қисмати таҳнишинӣ  $S(t_{i-1})$  ба даст омад ( расми 8, a).

Дар ин ҳолат, қисмати ҳадди ақали фишорҳои муфид, ки скелети хок, дар

мобайни қисмати замин қабул мекунад, ба  $\sigma_z^{(i-1)}$  баробар мешавад. Дараҷаи зичшавӣ бо таносуби қисми сояафкан ба масоҳати росткунҷаи ABCD тавсиф карда мешавад.

Баландии нави қисмати замин барои марҳилаи  $i$  –уми ҳисоб, баробар ба

$$h_i = h_{i-1} - S(t_{i-1}); \quad (26)$$

қабул карда шуд ва масоҳати нави фишори ибтидоӣ ба масофаи росткунҷаи EF KD баробар гирифта шуд:

$$\sigma_z^{(i)} = \sigma - \sigma_z^{(i-1)}; \quad (27)$$

Ҳамзамон, ҳамаи хусусиятҳои ҳисобшуда дар вобастагӣ ( 13) - (18 ) аз рӯйи вобастагиҳои зерин аз нав ҳисоб карда шуданд (расми 8, б).

$$e_0^{(i)} = e_0^{(i-1)} - b^{(i-1)} \cdot \left[ 1 - \exp \left( -a_1 \sigma_z^{(i-1)} \right) \right]; \quad (28)$$

$$b^{(i)} = b^{(i-1)} - \left( e_0^{(i-1)} - e_0^{(i)} \right) \quad (29)$$

$$k_0^{(i)} = k_0 \cdot \left[ 1 - \exp \left( -n a_1 \sigma_z^{(i-1)} \right) \right] \quad (30)$$

$$C_{Vi}^{(0)} = k_0^{(i)} / \gamma_w a_1 \quad (31)$$

$$A_i = \left( 1 + e_0^{(i)} - b^{(i)} \right) / b^{(i)} \quad (32)$$

$$B_i = \left( e_0^{(i)} - b^{(i)} \right) / b^{(i)} \quad (33)$$

Қиммати таҳнишинии пурраи росткунҷаи EFCD барои марҳилаи  $i$  - ум баробар мешавад ба

$$S_{\text{фк}}^{(i)} = \left[ 1 - \exp \left( -a_1 \sigma_z^{(i)} \right) \right] \cdot \left\{ h_i - \frac{1}{a} \ln \left[ \frac{1 + A_i \exp(a h_i)}{1 + A_i} \right] \right\}; \quad (34)$$

Азбаски дараҷаи мутаҳҳидшавӣ дар марҳилаи  $i$  -ум нисбат ба қисмати замини нави EF KD муайян карда мешавад, пас барои аз нав ҳисоб кардани он нисбат ба андозаҳои ибтидоии массиви ABSD , вобастагии зерин истифода шуд:

$$U^0(t) = 1 - [1 - U_i(t_i)] \frac{S_{\text{фк}}^{(i)}}{S_{\text{фк}}^{(0)}}; \quad (35)$$

$U^0(t)$  - дараҷаи консолидасияи массив барои баландии ибтидоии он дар лаҳзаи вақт  $t$ ;

$U_i(t_i)$ - дараҷаи мутаҳҳидшавӣ дар баландии тағйирёфтаи қисмати замин  $h_i$  ва фишорҳои ибтидоӣ  $\sigma_z^{(i)}$  дар вақт  $t$ .

**Дар боби шашум «Татбиқи амалии натиҷаҳои тадқиқоти назариявӣ»** татбиқи амалии натиҷаҳои таҳқиқоти таҷрибавӣ ва назариявиро, ки дар бобҳои қаблӣ баррасӣ шудаанд, оварда шудаанд. Намунаи ҳисоб кардани тағйири шакл ҳаҷми хок ҳангоми гирифтани намуна аз массив ( $\Delta e$ ).

Мувофиқи таркиби гранулометрии хок дар сатҳи замин ва аз рӯи таркиби гранулометрӣ қимати кутри (диаметри) ҳубобчаҳои гази дармондашуда (защемленного) дар сатҳи замин ( $r^{II} = 12$  мкм) муайян карда шудааст.

Мувофиқи вобастагии пешниҳодшуда қимати радиуси ҳубобчаҳои гази дармондашуда дар чуқурии гирифташуда ( $r^I = 9,32$  мкм) ҳисоб карда шуд. Қимати тағйирёбии радиуси ҳубобчаҳои гази дармондашуда дар ин ҳолат 22,3% ташкил медед.

Донишмандони радиуси ҳубобчаҳои гази дармондашуда дар чуқурии гирифташуда имкон дод, ки ҳисоб кардани дар чуқурии 5,2 м баландии болоравии сатҳи капиллярии моеъи ковокӣ  $h_{\text{кап}} = 1,576$  м – ро ташкил кард.

Мувофиқи дараҷаи намии намунаи хок дар рӯи замин, ки ба  $S_r^{II} = 0,97$  баробар аст, дараҷаи намии намунаи хок дар чуқурии 5,2 м муайян карда шуд, ки он ба  $S_r^I = 0,998$  баробар шуд.

Қимати зариби фишурдани (дарозии) моеъи сӯрох ба  $\alpha_w = -0,271$  (МПа<sup>-1</sup>), ва арзиши зариби кашиши қисмҳои минералии (скелети) хок ба  $\alpha_z = -0,044$  МПа<sup>-1</sup> баробар шуд.

Ҳангоми гирифтани намунаи хок қимати ҳисобшудаи тағйирёбии зариби ковокӣ  $\Delta e = -0,027$  буд. Дар ин ҳолат, қимати нисбии афзоиши зариби ковокии хок, ҳангомӣ гирифтани намунаи 1,80%-ро ташкил мекард. Қимати воқеии зариби ковокӣ дар қисмати замин, ҳолати ибтидоии шиддатноку тағйирёбии шакл ба  $e^I = 1,473$  баробар хоҳад буд.

Ба ҳамин монанд, қимати афзоиши тағйирёбии шакли ҳаҷмии камшавии зичӣ барои ҳамаи дигар намунаҳои сусти сероб, ки аз қаҳри чоҳ гирифта шудаанд ва қиматҳои коэффитсиентҳои ковокии намунаҳо дар қисмати замин барпо карда шуданд.

Мувофиқи қиматҳои муқарраршудаи зарибҳои ковокӣ намунаҳо ( $e^I$ ) дар ҳолати ибтидоии шиддатноку тағйирёбии шакл, хатти қачи " $e^I - z$ " сохта мешавад ва ин хатти қач бо вобастагии намуди (1) аппроксиматсия карда

шудааст:

$$e = e_0 - b\{1 - \exp(-az)\}.$$

Қиматҳои зарибҳои  $e_0$ ,  $a$  ва  $b$  ба (1) дохилшуда барои ҳар як чоҳ бо усули квадратҳои хурдтарин интиҳоб карда шуданд.

Дар кори илмӣ ҳалли рақамии масъалаи мутаҳҳидшавии ғайрихаттии хокҳои сусти гилии сероб бо назардошти тағйироти шакл ғайрихаттӣ, гузариши тағйирёбанда ва ҳолати ибтидоии шиддатноку тағйирёбии шакл оварда шудааст.

Баъзе натиҷаҳои ҳисобкунӣ дар расми 10 нишон дода шудаанд.

Аз сабаби калон будани тағйирёбии шакли нисбии намунаҳои хок, дар зер таъсири қувваҳои беруна, дар кори илмӣ масъалаи таъсири баландии аз рӯйи вақт тағйирёбандаи қисмати заминро ба суръати таровиши мутаҳҳидшавӣ таҳлил карда шуд.

Моҳияти ин ҳисоб аз он иборат буд, ки дар охири ҳар як марҳилаи (қадам) ҳисоббарорӣ шартҳои масъала бо назардошти ба амал омадани тағйироти шакл ва тағйир ёфтани шартҳои ибтидоӣ ва сарҳадии марҳилаи ҳисобкунии минбаъда аз нав тартиб дода мешуданд.

Дар ибтидо, қиматҳои дараҷаи мутаҳҳидшавӣ дар баландии доимии қисмати замин дар давоми 50 сол (1000 қадам) ба даст оварда шуданд. Хатти қачи ин вобастагӣ дар расми 11 (хатти қачи 1) нишон дода шудааст.

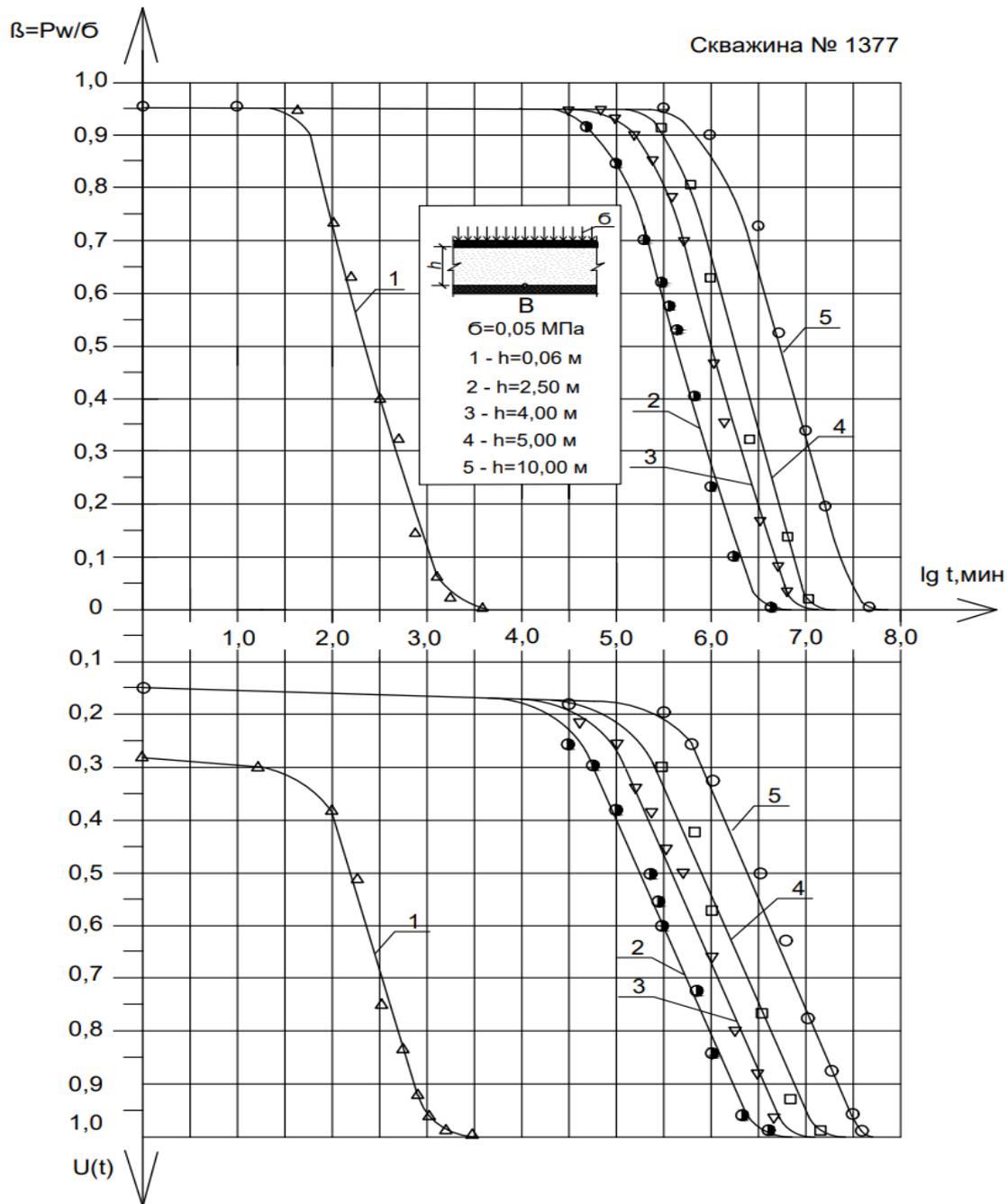
Ҳисобкунии минбаъда аз ташаккули ноҳияҳои нави фишор ( $\sigma_z^{(i)}$ ) ва баландиҳои қисматҳои замин ( $h_i$ ) бо назардошти қиматҳои пайдошудаи таҳшинӣ ( $S(t_i)$ ) дар ҳар 200, 100 ва 50 ва 0,8 қадам, иборат буд, ки ба 10; 5; 2,5 ва 0,04 сол мувофиқат мекунад. Натиҷаҳои ҳисобҳои таровиши мутаҳҳидшавӣ бо баландии тағйирёбанда дар мурури вақт, қисмати замин дар расми 11 нишон дода шудааст (хатҳои қачи 2, 3, 4 ва 5). Мувофиқи хатҳои қачи ба даст омада дидан мумкин аст, ки камшавии қадами дар воҳиди вақт боиси зуд-зуд ташаккул ёфтани шароити нави ибтидоӣ, сарҳадӣ ва тезонидани анҷоми раванди таровиши мутаҳҳидшавӣ мегардад.

Ҳамин тариқ, барои мисол, агар қимати як қадами воҳиди вақт баробари 10 сол бошад, давраи муътадилшавӣ беш аз 40 солро дар бар мегирад (расми 11, хатти қачи 2), лекин бо кам шудани қадами ҳисобӣ то 5 сол, 2,5 сол ва 0,04 сол, давраи муътадилшавӣ мутаносибан пас аз 25, 17 ва 11 сол мерасид (расми 11, хатҳои 3, 4 ва 5). Ҳангоми камшавии минбаъдаи қимати қадами ҳисобӣ, хатти қачи таровиши мутаҳҳидшавӣ ба хаттӣ ба расанда наздик, дар нуқтаи шартан-лаҳзавии тағйирёбии шакл  $U_0(t_0)$  наздик шуд, яъне ба сатри АВ (хатти 6 дар расми 11).

Дар ин ҳолат, перпендикулярӣ аз нуқтаи В ба тирӣ вақт  $t$  фаровардашуда, вақти анҷоми раванди таровиши мутаҳҳидшавӣ  $t_{\text{фк}} = 10,5$  сол), барои қисмати замин, ки баландиаш тағйирёбанда дар воҳиди вақт мебошад. Хатти қачи тағйирёбии дараҷаи мутаҳҳидшавӣ ( $U(t)$ ) аз вақт  $t$  (хатти

қачи 1 дар расми 11) бо вобастагии зерин тавсиф карда мешавад:

$$U(t) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t)\} \quad (36)$$



Расми 10. Тағйирёбии зариби фишори ковокӣ ( $\beta$ ) ва дараҷаи муттаҳидшавӣ ( $U(t)$ ) дар вақт ( $lg t$ , дақ.) дар баландии гуногуни хок ( $h$ )

ки  $\lambda$ - зариби умумие, ки андозаи мутақобилаи вақт дорад ва аз андозаҳои ибтидоии қисмати замин, аз шароити захбурӣ (дренирование), аз

андозаҳои тағйири шакл, аз гузариш ва ғайра вобаста аст.

Ҳосилаи функсияи (36) нисбат ба вақт, қимати баробарии зеринро медиҳад

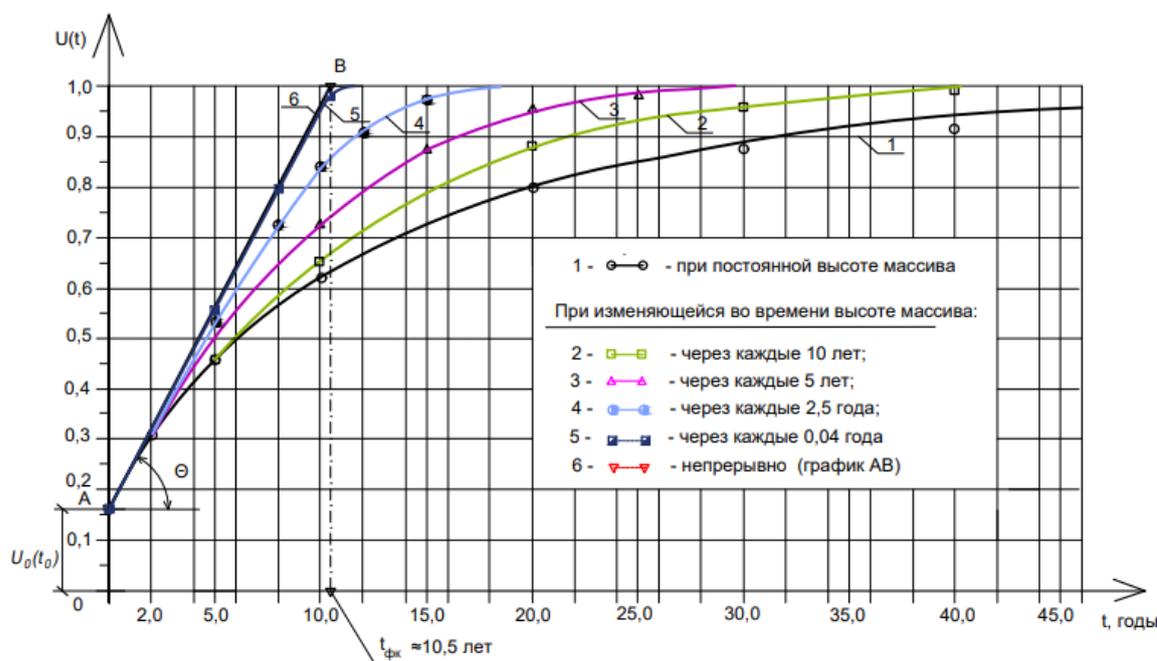
$$\frac{\partial U(t)}{\partial t} = \lambda \cdot [1 - U_0(t_0)] \exp(-\lambda t) = tg\Theta \quad (37)$$

$\Theta$  – кунҷи тамоюли расанда ба хатти қачи 1 дар нуктаи мутахҳидшавӣ шартӣ-лаҳзавӣ. Дар расми 11 нишон дода шудааст

$$tg\Theta = \frac{[1 - U_0(t_0)]}{t_{фк}} \quad (38)$$

Ҳалли якҷоягии (37) ва (38) нисбат  $t_{фк}$  (ҳангоми  $t = 0$ ) ба намуди зерин оварда мерасонад:

$$t_{фк} = 1/\lambda \quad (\text{сол}) \quad (39)$$



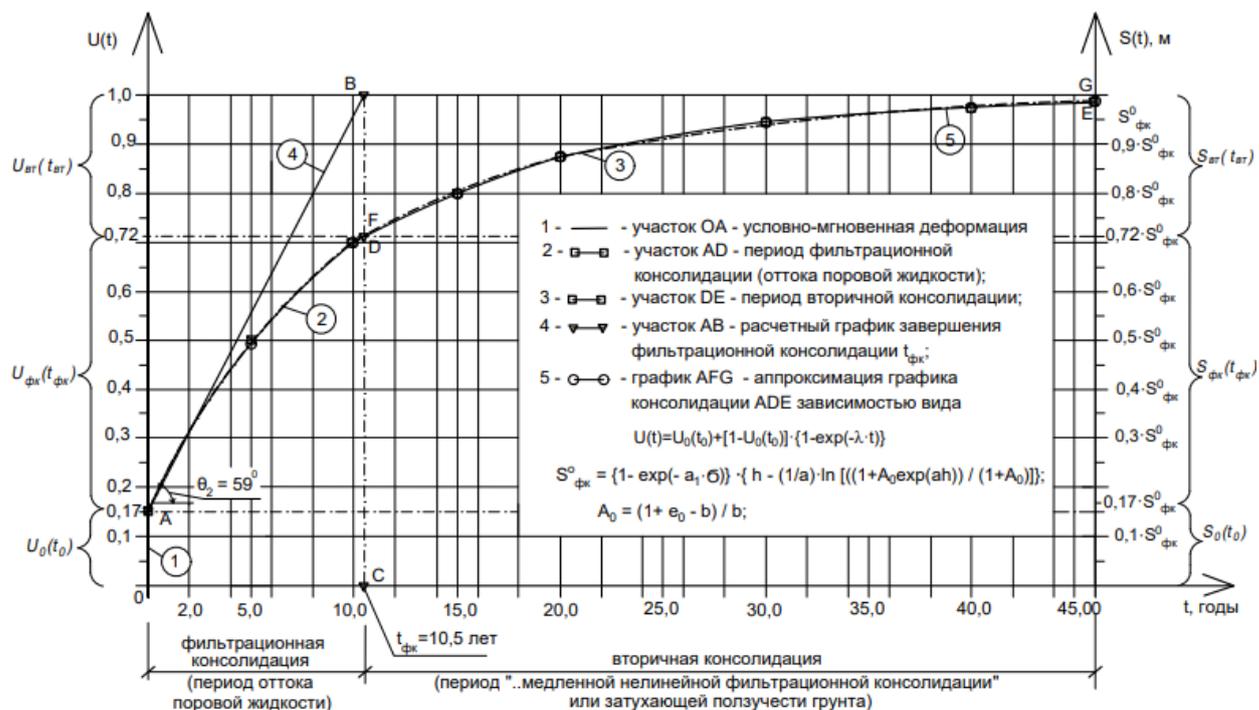
Расми 11. Натиҷаҳои ҳисоб кардани дараҷаи мутахҳидшавӣ дар доимӣ (хатти қачи 1) ва тағйирёбанда будани баландии қисмати замин дар мурури вақт (хатти қачи 2, 3, 4 ва 5)  $t_{фк}$  - вақти анҷоми таровиши мутахҳидшавӣ)

Натиҷаи ҳисобҳо нишон медиҳанд, ки ҳамзамон ба назар гирифтани тағйири шакли ғайрихаттӣ ва гузариши тағйирёбанда бо назардошти ҳамзамон тағйирёбанда бо мурури замон, баландии массив ба суръатбахшии вақти ба итмом расидани таровиши мутахҳидшавӣ оварда мерасонад.

Таҳлили натиҷаҳо нишон медиҳад, ки ҳангоми таровиши хоки сусти гилии

сероб ҳамчун муҳити бисёрқисма дар як вақт якчанд раванд ба амал меояд: фишурдашавии моеъи газдор, таровиши моеъи суроҳ ва хазанда аз қисми минералии хок. Дар айни замон дар раванди муттаҳидшавии таровиши хок гузаштани пайдарпай аз як раванд ба дигараш мушоҳида мешавад.

Ҳамин тариқ, муттаҳидшавии хоки сусти сероб метавонад ба 3 қисм (давра) тақсим карда мешавад (расми 12):



Расми 12. Муайян кардани дараҷаи муттаҳидшавӣ  $U(t)$  ва деформатсия бо муттаҳидшавии таровиш  $S(t)$ : 1 қисми OA ( $U_0(t_0)$ ) – дараҷаи муттаҳидшавӣ шартан фаврӣ, 2 қисми AD ( $U_{фк}(t_{фк})$ ) – дараҷаи муттаҳидшавии таровиш, 3 қисми DE ( $U_{вт}(t_{вт})$ ) – дараҷаи муттаҳидшавии дуҷумдараҷа ( $t_{фк}$  - вақти анҷоми муттаҳидсозии таровиш)

1) қисми OA - фишурдани хоки гилии сероб аз фишурдани шартан фаврии моеъи сӯроҳӣ;

2) қисми AD - фишурдани хок ҳангоми хориҷшавии моеъи суроҳӣ (муттаҳидшавии аз ҳисоби таровиш);

3) қисми DE - фишурдани хок дар давраи «мустаҳкамшавии сусти таровиши ғайрихаттӣ» ё муттаҳидшавии дуҷумдараҷа.

Умуман, дараҷаи фишурдани хок  $U(t)$  мумкин аст бо чунин вобастагӣ ифода карда шавад.

$$U(t) = U_0(t_0) + U_{фк}(t_{фк}) + U_{вт}(t_{вт}) \quad (40)$$

Вақте ки хатти қач  $U(t)$  дар вақт бо вобастагии (36) шакл наздик карда

мешавад:

$$U(t) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t)\},$$

арзишҳо аз дараҷаи муттаҳидшавӣ ба ҳар як давраи муттаҳидшавӣ вобаста ба (36) ба таври зерин муайян карда мешаванд:

1) дараҷаи муттаҳидшавӣ хангоми тағйири шакл (деформатсия) ғаврии шартӣ  $U_0(t_0)$  аз рӯйи натиҷаҳои таҷриба ва хатгӣ муттаҳидшавии сохташуда муайян карда мешавад;

2) дараҷаи мутаҳҳидшавӣ дар давраи таровиши мутаҳҳидшавӣ  $U_{\text{фк}}(t_{\text{фк}})$  дар лаҳзаи вақт ( $t = t_1$ ) бо назардошти вобастагии (36) баробар аст ба:

$$U_{\text{фк}}(t_{\text{фк}}) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t_1)\} \quad (41)$$

ки қиматҳои андозаҳои ҷорӣ  $t_1$  дар фосилаи зерин қабул мешаванд

$$0 < t_1 \leq t_{\text{фк}}$$

ки  $t_{\text{фк}}$  – мувофиқи вобастагии (39) қабул мешавад.

3) дараҷаи мутаҳҳидшавӣ дар давраи таровиши дуҷумдараҷа  $U_{\text{вт}}(t_{\text{вт}})$  дар лаҳзаи вақти ( $t = t_2$ ) бо вобастагӣ (36) дар шакли зерин ифода карда мешавад:

$$U_{\text{вт}}(t_{\text{вт}}) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda t_2)\} \quad (42)$$

ки  $t_2$  – дар фосилаи  $t_{\text{фк}} < t_2 \leq t_{\text{вт}}$ ; қабул карда мешавад

$t_{\text{вт}}$  – вақти ҳисобии мутаҳҳидшавии дуҷумдараҷа.

Миқдори тағйири шакл  $S(t)$  аз рӯйи арзиши маълуми дараҷаи зичшавӣ  $U(t)$  бо вобастагии зерин муайян мекунад:

$$S(t) = S_{\text{фк}}^0 \cdot U(t) \quad (43)$$

ки  $S_{\text{фк}}^0$  – дараҷаи тағйири шакли умумӣ дар давраи таровиши тақвият, ки бо вобастагии зерин муайян карда мешавад:

$$S_{\text{фк}}^0 = [1 - \exp(-a_1 \sigma)] \cdot \left\{ h - \frac{1}{a} \ln \left( \frac{1 + A_0 \exp(ah)}{1 + A_0} \right) \right\} \quad (44)$$

ки қимати  $A_0$

$$A_0 = (1 + e_0 - b) / b \quad (45)$$

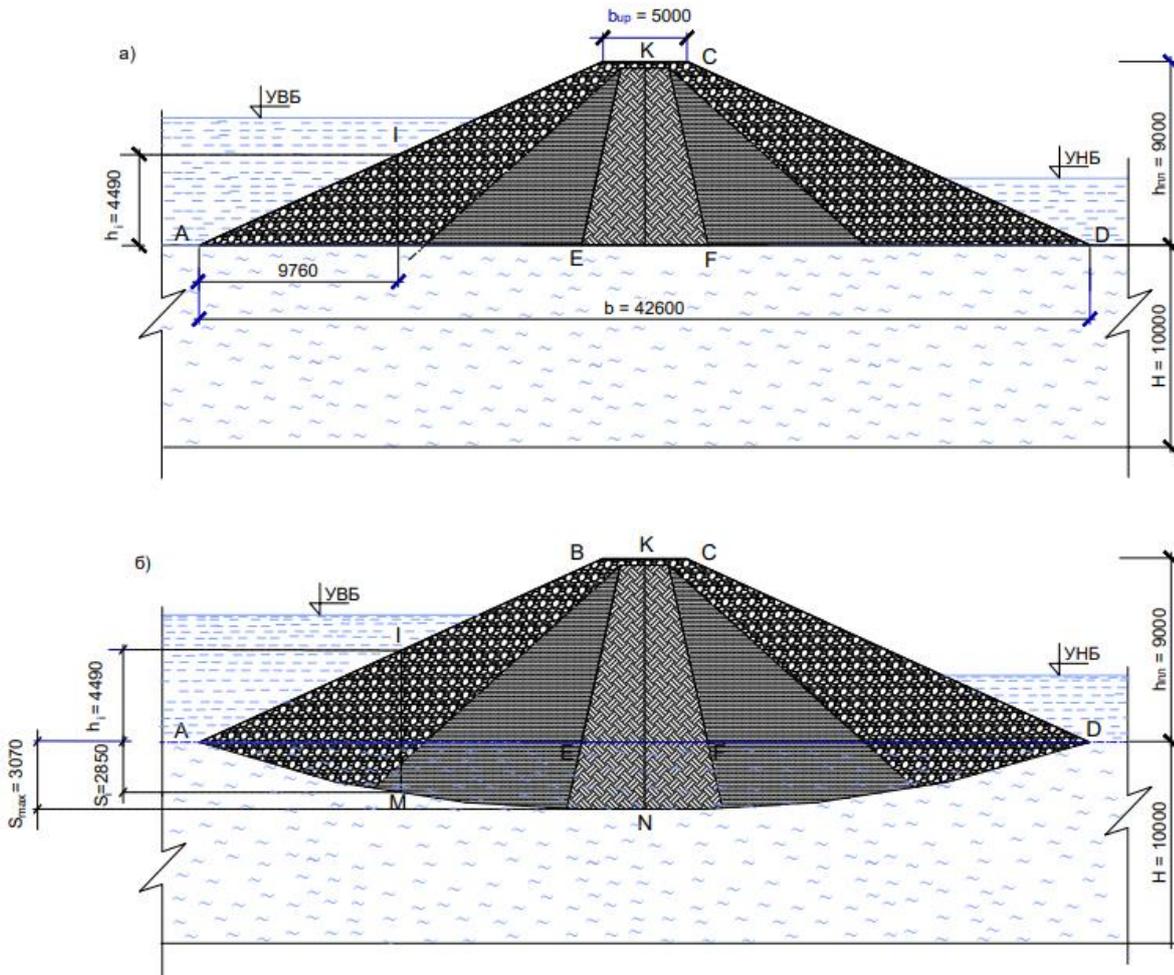
Чунон, ки аз расми 12 дида мешавад, раванди таровиши тақвият дар  $U(t) = 0,72$  (қисмати AD) ба охир мерасад. Дар қисмати боқимонда  $(1,00 - 0,72) = 0,28$  (қисмати DE), тағйири шаклҳо аз ҳисоби «... тақвияти сусти таровиши ғайрихатгӣ» (хезиши пӯсидаи) ҳок ба амал меоянд. Ҳамин тариқ қитъаи хатти қачи DE (расми 12)-ро қисмати мутаҳҳидшавии дуҷумдараҷаи хоки сусти гилии сероб ҳисоб кардан мумкин аст. Дар қисмати DE нишондиҳандаҳои реологии хокро метавон ба даст овард:

- а) суръати сайлонияти хок ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) дар лаҳзаҳои вақти ҳисобшуда ( $t_i$ );  
 б) пастшавии сайлонияти хок ( $\ddot{\delta}_{t_i}$ ) дар лаҳзаҳои вақти ҳисобшуда ( $t_i$ )  
 (42)-ро ба (43) гузошта, ҳосили тағйири шаклро  $S(t)$  нисбат ба вақти  $t$  ёфта, қимати суръати сайлонияти хокро ( $\delta_i$ ) дар вақти ҳисобшуда ба даст меорем ( $t_i > t_{\text{фк}}$ ):

$$\dot{\delta}_{t_i} = \frac{\partial S(t)}{\partial t} = S_{\text{фк}}^0 \cdot \lambda \cdot [1 - U_0(t_0)] \cdot \exp(-\lambda(t_i)) \quad (46)$$

Барои муайян кардани қимати камшавии сайлонияти хок ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) дар лаҳзаҳои вақт, ( $t_i > t_{\text{фк}}$ ), ҳосилаи дуумро аз тағйири шакл  $S(t)$  дар воҳиди вақт ёфтан лозим аст:

$$\ddot{\delta}_{t_i} = \frac{\partial^2 S(t)}{\partial t^2} = -S_{\text{фк}}^0 \cdot \lambda^2 \cdot [1 - U_0(t_0)] \cdot \exp(-\lambda(t_i)) \quad (47)$$



Расми 13. Натиҷаҳои ҳисобкунии фурӯнишиниҳои истифодабарӣ (хаттӣ белбӯтаи таҳшинии (“мульда”)) сарбанди хокӣ: а) андозаҳои сарбанд, б) арзиши фурӯнишинӣ дар нуқтаҳои ҳисобшудаи сарбанд,  $h_{\text{пл}}$  – баландии сарбанд,  $H$  - баландии хоки сусти гили обдор дар асос,  $b_{\text{np}}$  - паҳноии болои сарбанд,  $b$  - паҳноии кафи сарбанд,  $h_i$  - баландии нуқтаи  $i$  дар нишебии сарбанд,  $S_i$  - андозаи фурӯнишинӣ дар нуқтаи  $i$ ,  $S_{\text{max}}$  - фурӯнишинии ҳаддӣ дар зери теғаи сарбанд.

Қиматҳои ба даст овардашуда нишон медиҳанд, ки дар ,  $t_i > t_{фк}$ , суръати сайлонияти хок ( $\delta_{t_i}$ ) майл ба кам шудан дорад ва қиматҳои камшавии сайлонияти хок ( $\delta_{t_i}^*$ ) меафзоянд.

Вобастагии (36) метавонад барои ҳисоб кардани давомнокии раванди мутахҳидшавӣ то расидан ба қиматҳои ҳадди истифода шавад  $U_{п}(t_{п})$ :

$$U_{п}(t_{п}) = U_0(t_0) + [1 - U_0(t_0)]\{1 - \exp(-\lambda T_{п})\} \quad (48)$$

$T_{п}$  – вақти расидан ба дараҷаи ҳадди мутахҳидшавӣ  $U_{п}(t_{п})$ .

Вобастагии (44) имкон медиҳад, ки арзишҳои тағйири шакли ниҳоии иншоотро, ки дар хокҳои сусти гилии сероб сохта шудаанд, ҳисоб карда шаванд. Дар диссертатсия ҳисобкунии тахшиншавии сарбанди хокӣ бо баландии

$h_{пл} = 9,00$  м, ки дар қабати асосӣ аз хокҳои сусти гилии сероб бо иқтидори  $H = 10,00$  м сохташуда оварда шудааст (расми 13). Аз рӯи натиҷаҳои ҳисоб, фурунишинии ҳадди дар зери теғайи сарбанд  $S_{max} = 3,07$  м - ро ташкил дод.

## ХУЛОСА

1. Намунаҳои омӯхташудаи хокҳои сусти гилии сероб бо афзоиши зич ва кам шудани намӣ дар қад-қади чуқурии намунаҳо хосанд. Тағйири шакли нисбии хокҳои омӯхташуда дар зери таъсири борҳои беруна вобаста ба умқи интиҳоб майл дорад, ки онро ба зухури қувваҳои ҷозиба дар ноҳия (массив) нисбат додан мумкин аст [2-М], [10-М], [16-М], [26-М].

2. Хокҳои гилии сероб хеле ковокӣ ва фишурдашавии ғайрихаттии зиёд доранд, ки бо умқи хок кам мешаванд. Гузарониши ин хок низ ба бештар аз андозаи бори додашуда вобаста аст. Инро метавон ба худ фишурдашавии хок аз вазни худи қабатҳои болоии хок нисбат дод [11-М], [18-М], [23-М], [27-М], [29-М].

3. Ҳалли бадастомада нишон дод, ки тағйири шакли ҳаҷмии камшавии зичӣ ҳангоми интиҳоби хокҳои гилии сероб аз арзишҳои зароби ковокӣ ( $e^{II}$ ) ва ковокии хокҳо ( $n^{II}$ ) дар сатҳи боли хок, зарибҳои тағйири шакли ҳаҷмии заррачаҳои минералии саҳт ( $\alpha_z$ ) ва моеъи суроҳ ( $\alpha_w$ ), радиусҳои хубобҳои гази дармонда ва дараҷаи намии хок дар даруни хок (массив) ( $r_I$  ва  $S^I$ ) ва сатҳи болои хок ( $r_{II}$  и  $S^{II}$ ), инчунин, тағйироти фишорҳои умумӣ ( $\Delta\sigma$ ), ки ба намуна ҳангоми интиҳоб таъсир мерасонанд, вобаста аст [1-М], [3-М], [10-М], [16-М], [18-М], [26-М], [29-М].

4. Качиҳои фишурдашавии ибтидоии (табӣ), ки бо усули таҳияшуда сохта шудаанд ва хусусияти тағйирёбии зароби ковокӣ ( $\Delta e$ ) дар умқи хок ( $z$ ) имкон медиҳад, ки нишондиҳандаҳои тағйири шакл (зароби фишуршавӣ, модули умумии тағйири шакл) хок дар ҳолати “ибтидоии шиддат- тағйири шакл” муайян кардашавад. Муқоисаи графикҳои фишурдашавии табӣ ва

натичаҳои озмоишҳои фишурдани хок дар зери бори гуногуни корӣ имкон медиҳад, ки дараҷаи фишурдашавии табиӣ (фишоршавии муқаррарӣ, камфишорӣ) хокро дар ҳолати “ибтидоии фишор- тағйири шакл” баҳо диҳем [2-М], [7-М], [8-М], [10-М], [18-М], [23-М], [27-М], [33-М].

5. Усули муайян кардани баландии болоравии капиллярии моеъи сурохишҳои хок ( $h_{\text{кап}}$ ), вобаста ба чуқурӣ ва радиуси ҳубобҳои гази дар сатҳи додашуда пешниҳод карда шудааст [2-М], [8-М], [18-М], [27-М], [34-М].

6. Дар тадқиқоти диссертсионӣ ҳалли адабии масъалаи муттаҳидшавии таровиш бо назардошти тағйирии шакли ғайрихаттӣ, гузариши тағйирёбанда ва ҳолати ибтидоии тағйирии шакли ғайрихаттӣ хок дар массив ба даст оварда шуд. Усули ба кадам ба кадам ҳисоб кардани муттаҳидшавии хок қор қарда баромада шуд, ки он имкон медиҳад тағйири шакли доимии хок ҳангоми фишурдашавӣ ба назар гирифта, таъсири ин омил муқаррар қарда шавад, дар бораи давомнокии раванди фушурдашавӣ (консолидатсия) [3-М], [4-М], [14-М], [24-М], [28-М], [29-М], [31-М].

7. Усули муайян кардани параметрҳои реологӣ (суръати ҳазандагӣ ( $\dot{\delta}_{t_i}$ ) ва сустшавии ҳазандагӣ ( $\delta_{t_i}^{\ddot{}}$ ) аз рӯйи чадвали муттаҳидсозии хокҳои сусти гилии сероб пешниҳод қарда шудааст [7-М], [14-М], [18-М], [27-М], [29-М].

### **Тавсияҳо оид ба истифодаи амалии натиҷаҳои тадқиқот**

1. Натиҷаи тадқиқоти дар диссертатсия ба даст овардашуда дар сохтмони иншооти гидротехникӣ ва дигар иншооти муҳандисӣ дар хоки сусти гилии сероб боиси татбиқ мебошад.

2. Истифодаи конструкцияи таҳияшудаи намунагирии хок ҳангоми чамъоварии намунаҳои хокҳои гилии сероб конструкцияҳои ёзанда ва нарму-ёзанда, ки чамъоварии онҳо бо истифода аз конструкцияҳои мавҷудаи намунагирии хок имконнопазир аст.

3. Баъзе натиҷаҳои таҳқиқоти муаллиф дар китобҳои ва дастурҳои таълимии фанни механикаи хокҳо (Тер-Мартироян З.Г. Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов // М.: Недра, 1986, 292 с.); Тер-Мартироян З.Г. Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений // М.: Стройиздат, 1990. -220 с.) инъикос ёфтаанд.

4. Натиҷаҳои асосии тадқиқотро дар амалия ҳангоми тайёр кардани муҳандисони соҳаи бинокорӣ қорӣ қардан мумкин аст.

### **Рӯйхати адабиёти истифодашуда:**

[1]. **Герсеванов Н.М.** Теоретические основы механики грунтов и их практическое приложение [Текст] / Н.М. Герсеванов, Д.Е. Польшин. - Москва: Стройиздат, 1948. - 248 с.

[2]. **Зарецкий Ю.К.** Теория консолидации грунтов [Текст] / Ю.К. Зарецкий. - Москва: Наука, 1967. - 268 с.

[3]. **Маслов Н.Н.** Прикладная механика грунтов [Текст] / Н.Н. Маслов. - Москва, 1959. - 328 с.

[4]. **Терцаги К.** Теория механики грунтов [Текст] / К. Терцаги. – Москва: Госстройиздат, 1961. - 508 с.

[5]. **Тер-Мартirosян З. Г.** Проблемы консолидации и ползучести оснований сооружений [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян // Материалы XI Междун. симпозиума по реологии грунтов: сб. тр. - Москва, 2003. - С. 111-112.

[6]. **Флорин В.А.** Основы механики грунтов, т. I (общие зависимости и напряженное состояние оснований сооружений) [Текст] / В.А. Флорин. – Ленинград - Москва: Госстройиздат, 1959. - 357 с.; т. 2 (деформация и устойчивость оснований сооружений) [Текст] / В.А. Флорин. – Ленинград - Москва: Госстройиздат, 1961. - 543 с.

[7]. **Цытович Н.А.** Вопросы теории и практики строительства на слабых глинистых грунтах [Текст] / Н.А. Цытович // Слабые глинистые грунты. Таллин, 1965. – С.5-17.

[8]. **Абелев М.Ю.** Исследование напряженно-деформированного состояния оснований, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами [Текст] / М.Ю.Абелев // Материалы Всесоюзного Сопещения по новым методам возведения промышленных и гражданских сооружений на слабых водонасыщенных глинистых грунтах. Проблемы строительства на слабых грунтах: сб. тр.- Рига: РПИ, 1972. - С.65-72.

[9]. **Гольдин А.Л.** Об исследовании порового давления и консолидации ядер грунтовых плотин [Текст] / А.Л. Гольдин // Энергетическое строит-во, 1978. - №12. - С.57-60.

[10]. **Горелик Л.В.** К вопросу об одномерной нелинейной задаче консолидации водонасыщенного грунта [Текст] / Л.В. Горелик, Б.М. Нуллер. – Москва: Изв. ВНИИГ, 1965. - т. 79. - С.168-177.

[11]. **Далматов Б.И.** Строительство в условиях слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / Б.И. Далматов // Проблемы строительства на слабых грунтах: сб. статей. – Рига: Изд-во НТИ, 1972. - С.105-116.

[12]. **Зарецкий Ю.К.** Статика и динамика грунтовых плотин [Текст] / Ю.К. Зарецкий, В.Н. Ломбардо. - Москва: Энергоатомиздат, 1983. - 256 с.

[13]. **Польшин Д.Е.** Расчеты осадок фундаментов сооружений во времени: труды НИИОСП. Механика грунтов [Текст] / Д.Е. Польшин, Ю.К. Ткачев – Москва, 1977. - вып.68 - С.128-132.

[14]. **Тер-Мартirosян З.Г.** Учет ползучести и нелинейной деформируемости при расчете сильносжимаемых водонасыщенных оснований. [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян, С.С. Вялов, И.И. Демин, Н.Е. Шахурина // В сб. трудов II Балтийской конференции по механике грунтов и фундаментостроению /Т.2. Строительство на торфах и деформации сооружений на сильносжим. грунтах. - Таллин; 1988. - С. 13-18.

[15]. **Вялов С.С.** Реологические основы механики грунтов [Текст] / С.С. Вялов. - Москва: Высшая школа, 1978. - 447 с.

- [16]. **Гольдштейн М.Н.** Механические свойства грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн. - Москва: Стройиздат, 1971. - 368 с.
- [17]. **Зарецкий Ю.К.** Вопросы консолидации слабых водонасыщенных грунтов [Текст] / Ю.К. Зарецкий // Проблемы строительства на слабых грунтах. – Рига: НШ, 1972. - С.51-64
- [18]. **Маслов Н.Н.** Прикладная механика грунтов [Текст] / Н.Н. Маслов. - Москва, 1959. - 328 с.
- [19]. **Цытович Н.А.** Основы прикладной геомеханики в строительстве [Текст] / Н.А. Цытович, З.Г. Тер-Мартirosян. - Москва: Высшая школа, 1981.– 318 с.
- [20]. **Денисов Н.Я.** Строительные свойства глинистых пород и их использование в гидротехническом строительстве [Текст] / Н.Я. Денисов. – Москва - Ленинград: Госэнергоиздат, 1956. - 288 с.
- [21]. **Ломтадзе В.Д.** Геологическая природа свойств слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / В.Д. Ломтадзе // Материалы Всесоюзн. Совещания о строительстве на слабых водонасыщенных грунтах / Слабые глинистые грунты: сб. тр. - Таллин, 1965. - С.28-42.
- [22]. **Сорокина Г.В.** Строительные свойства морских илов [Текст] / Г.В. Сорокина // Слабые глинистые грунты. - Таллин, 1965. - С.56-62.
- [23]. **Польшин Д.Е.** Расчеты осадок фундаментов сооружений во времени: труды НИИОСП. Механика грунтов [Текст] / Д.Е. Польшин, Ю.К. Ткачев – Москва, 1977. - вып.68 - С.128-132.
- [24]. **Роза А.С.** Расчет осадок сооружений гидроэлектростанций [Текст] / А.С. Роза. – Москва: Госэнергоиздат, 1959. - 330 с.
- [25]. **Гольдштейн М.Н.** Деформируемость и прочность грунтов [Текст] / М.Н. Гольдштейн, С.С. Бабицкая, Г.М. Ломизе и др. // Труды VIII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению. - Москва: Стройиздат, 1973. - С.24-40.
- [26]. **Далматов Б.И.** Строительство в условиях слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / Б.И. Далматов // Проблемы строительства на слабых грунтах: сб. статей. – Рига: Изд-во НТИ, 1972. - С.105-116.
- [27]. **Ломтадзе В.Д.** Геологическая природа свойств слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / В.Д. Ломтадзе // Материалы Всесоюзн. Совещания о строительстве на слабых водонасыщенных грунтах / Слабые глинистые грунты: сб. тр. - Таллин, 1965. - С.28-42.
- [28]. **Тер-Мартirosян З.Г.** Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов [Текст] / З.Г. Тер-Мартirosян. - Москва: Недра, 1986.- 292 с.
- [29]. **Ахмедов Д.Д.** Расчет осадок фундаментов на водонасыщенных лессовых грунтах с учетом структурной прочности [Текст] / Д.Д. Ахмедов, П.А. Коновалов, В.Г. Федоровский // Основания и фундаменты: тр. ВНИИОСП. - Москва, 1988. - Вып. 90. - С.201-208.
- [30]. **Комилов О.К.** Теория и методы освоения и орошения территорий

на лессовых просадочных грунтах [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук (06.01.02) / Комилов О. К.; САНИИРИ. -Ташкент, 1991. – 51 с.

[31]. **Мусаэлян А.А.** Совершенствование методов устройства оснований и фундаментов в Таджикской ССР [Текст] / А.А. Мусаэлян // Основания, фундаменты и механика грунтов. - Москва, 1982. - № 6. - С. 9-11.

[32]. **Тахиров И.Г.** Современные методы уплотнения и закрепления лессовых просадочных и водонасыщенных грунтов в Таджикской ССР (обзор) - Душанбе: ТаджикНИИТИ, 1979. - 44 с

[33]. **Терцаги К.** Механика грунтов в инженерной практике [Текст] / К. Терцаги, Р. Пек. - Москва: Госстройиздат, 1958. - 608 с.

[34]. **Маслов Н.Н.** Прикладная механика грунтов [Текст] / Н.Н. Маслов. - Москва, 1959. - 328 с.

[35]. **Флорин В.А.** Теория уплотнения земляных масс [Текст] / В.А. Флорин. - Москва: Стройиздат, 1948. - 284 с.

[36]. **Тер-Мартиросян З.Г.** Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений [Текст] / З.Г. Тер-Мартиросян. - Москва: Стройиздат, 1990. - 200 с.

[37]. **Зарецкий Ю.К.** Вязкопластичность грунтов и расчеты сооружений [Текст] / Ю.К. Зарецкий. – Москва: Стройиздат, 1988. - 352 с.

[38]. **Вялов С.С.** О проблемах реологии грунтов [Текст] /С.С. Вялов // Труды I Всесоюз. Симпоз. по реологии грунтов. - Москва, 1973.- С.6-23.

[39]. **Фазылов А.Р.** Законодательная база в области безопасности гидротехнических сооружений в Таджикистане [Текст] / А.Р.Фазылов. – Душанбе, 2021.-27 с.

[40]. **Borden L., Berry P.** Consolidation of normally consolidated clay. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs, SM5, № 4481, 1965ю - p.15-35.

[41]. **Leonards GA, Altchaeffd A.G.** Compressibility of clay. J. Soil. Mech. Fnds. Div. Am. Soc. civ. Engr. - p.133-155.

[42]. **Lo K.Y.** Secondary consolidation, J ASCE N4, v1, 1960.

[43]. **Poskitt T.J.** The consolidation of saturated clay with variable permeability and compressibility. Geotechnique 19, 1969.-№ 2. - p. 234-252.

[44]. **Davis E.H., Raymond G.P.** A non-linear theory, of consolidation. Geotechnique, 15 1965, № 2. - p.161-173.

[45]. **Jambu N.** Consolidation of clays layers on non-linear stress - strain. Proceeding Sixth International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Montreal, 1965. - p. 83-87.

## **Фехристи интишороти илмӣ аз рӯйи мавзуи тадқиқоти диссертатсионӣ**

**Мақолаҳо дар нашрияҳои тақризшавандаи аз ҷониби ҚОА ҚТ тавсия шудаанд, ба нашр расонида шуд:**

[1-М]. **Рахманов А.А.** К вопросу определения деформаций разуплотнения образца слабого водонасыщенного грунта при снятии

природной нагрузки [Матн] / А.А.Рахманов, В.А.Тищенко // ВНИИС Госстрой СССР. Бақайдғирӣ № 5033, Баҳши МТЛ «Соҳтмон ва меъморӣ». қисм. Б, иҷр. 5, 1984. - 7 с.

[2-М]. **Рахманов А.А.** Теоретические основы расчета осадок слабых водонасыщенных грунтов с учетом исходного напряженного состояния и свойств ползучести [Матн] / З.Г. Тер-Мартirosян, А.А.Рахманов // ВНИИС Госстрой СССР, № 5032, МТЛ Соҳтмон ва меъморӣ, сек. Б, шумораи 5, М.: 1984.- 20 с.

[3-М]. **Рахманов А.А.** Консолидация сильносжимаемого глинистого грунта / [Матн] / З.Г. Тер-Мартirosян, И.И. Демин, А.А. Рахманов // Дар маҷмуа. Масъалаҳои ҳозиразамони механикаи ғайрихаттии хок. (Конференцияи умумииттифоқӣ), Челябинск, 1985. — С. 168-169.

[4-М]. **Рахманов А.А.** Численный метод решения задач консолидации слабых водонасыщенных грунтов [Матн] / З.Г. Тер-Мартirosян, И.И. Демин, А.А. Рахманов // Дар сб. Истифодаи усулҳои адабӣ дар масъалаҳои геомеханика (Дар маҷмуаи байни дониш. асарҳои илмӣ). М.; 1986.- С. 62-67.

[5-М]. **Рахманов А.А.** Прогноз нелинейной деформируемости опоры моста с учетом реологических свойств оснований [Матн] / А.А.Рахманов, А.И. Корнилов // Дар маҷ. Бардоштани дараҷаи техникии хоҷагии роҳҳои Тоҷикистон - Душанбе, 1987.-С.6-8.

[6-М]. **Рахманов А.А.** Прогноз скорости осадок массива лессовых просадочных грунтов после уплотнения гидровзрывным способом [Матн] / А.А. Рахманов, А.Р. Рузиев // Конфронси ҷумҳуриявӣ илмҳои техники (мақолаҳои илмӣ). Душанбе, 1990.- С.34-36.

[7-М]. **Рахманов А.А.** Учет компрессионной ползучести грунта и природного напряженно-деформированного состояния массива при расчете конечных осадок сооружений [Матн] / А.А. Рахманов, О.С. Ашуров // Дар маҷмуаи мақолаҳо. ДТТ. Силсилаи Соҳтмон ва меъморӣ, ҷ. 3, ДТТ, Душанбе. 1993.- С. 22-28.

[8-М]. **Рахманов, А.А.** Прогноз нелинейной деформируемости массива лессовых просадочных грунтов при гидровзрывном методе [Матн] / А.А. Рахманов // Дар маҷмуаи мақолаҳо. ДТТ, Силсилаи Соҳтмон ва меъморӣ, ҷ. 5. - Душанбе: ДДТ, 2000. - С.25-29.

[9-М]. **Рахманов, А.А.** Учет нелинейной деформируемости скелета и нелинейной водопроницаемости грунтов при прогнозе осадок оснований сооружений. [Текст] / А.А. Рахманов // Маҷм. Мушкилоти Геотехникии соҳтмон дар заминҳои нишаст дар минтақаҳои сейсмикӣ. - Душанбе САНИОСП, 2005.- С. 96-97, ISBN: 9965-25-409-5.

[10-М]. **Рахманов А.А.** Изменение физических параметров при отборе слабых водонасыщенных лессовых грунтов [Матн] / А.А. Рахманов // Бюллетени филиали Университети давлатии Москва. М.В. Ломоносов дар Душанбе // Баҳши илмҳои табиатшиносӣ. Ҷилди 1, № 1 (21). – Душанбе: ДДМ, 2022.- С.136-143. ISSN-2709-6238.

[11-М]. **Рахманов А.А.** К определению физико-механических показателей слабых водонасыщенных глинистых грунтов в исходном напряженно-деформированном состоянии [Матн] / А.А. Рахманов // Бюллетени филиали Университети давлатии Москва. М.В. Ломоносов дар Душанбе // Бахши илмҳои табиатшиносӣ. Ҷилди 1, № 1 (21). – Душанбе: ДДМ, 2022.- С.144 – 150, ISSN-2709-6238.

[12-М]. **Рахманов А.А.** Устройство для отбора, приборы, оборудование и методика экспериментальных исследований порового давления в слабых водонасыщенных глинистых грунтах / [Матн] / А.А. Рахманов // Хабарҳои политехникӣ. силсилаи Тадқиқоти муҳандисӣ, №2 (58) 2022. - Душанбе: ДТТ, 2022. – С.144-151, ISSN-2520-2227.

[13-М]. **Рахманов А.А.** Устройство для отбора проб грунта, приборы и оборудование для исследования консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов. / [Матн] / А.А. Рахманов // Дар маҷмӯаи Хабарҳои филиали ДДМ ба номи м. Ломоносова дар шаҳри Душанбе. Бахши илмҳои табиӣ. Ҷилди 1, № 1 (21). - Душанбе: ДДТ, 2022- С. 152-159. ISSN-2709-6238.

[14-М]. **Рахманов А.А.** Консолидация слабых водонасыщенных глинистых грунтов при изменяющейся во времени высоте массива [Матн] / А.А. Рахманов // Хабарҳои политехникӣ: силсилаи Тадқиқоти муҳандисӣ, № 3 (63). – Душанбе: ДТТ, 2023. – С. 154-161, ISSN-2520-2227.

[15-М]. **Рахманов А.А.** Расчет устойчивости многослойного откоса при переменном значении сцепления грунтов [Текст] / О.К. Комилов, Т.А. Негматов, А.А. Рахманов А.А.// Хабарҳои политехникӣ: силсилаи Тадқиқоти муҳандисӣ, № 4 (68). – Душанбе: ДТТ, 2024. – с. 162-180, ISSN-2520-2227, ISSN-2520-2227.

#### **Шаҳодатномаҳо ва патентҳо:**

[16-М]. **Рахманов А.А.** Способ определения деформационных характеристик слабых водонасыщенных грунтов / З.Г. Тер-Мартirosян, А.А. Рахманов, Р.Г. Погосян // Шаҳодатномаи муаллифии СССР № 1357495 (51) Е 02 Д1/00 // Бюл. № 45, 1987.- С.2

[17-М]. **Рахманов А.А.** Устройство для отбора проб грунта / З.Г. Тер-Мартirosян, А.А. Рахманов, Р.Г. Погосян // Шаҳодатномаи муаллифии СССР № 1488715 (51) Е 02 Д1/00 // Бюл. № 45, 1987. - С.2

#### **Мақолаҳо дар маҷаллаҳои конфронсҳо:**

[18-М]. **Рахманов А.А.** Экспериментальные исследования деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных грунтов [Матн] / А.А. Рахманов // Шб. Конференсияи илмию амалии ҷумҳуриявии олимони мутахассисони ҷавон бахшида ба 60-солагии ҶШС Тоҷикистон ва Партияи Коммунистии Тоҷикистон (бахши техникӣ) // Душанбе, 1984.– С.44-45.

[19-М]. **Рахманов А.А.** Инженерно-геологические проблемы застройки Восточных холмов г.Душанбе [Матн] / А.А. Рахманов // Конф респуб. илмӣ

ва амалӣ. Ободсозии худуди шаҳри Душанбе ( баҳши меъморӣ, экологӣ ва муҳандисӣ). – Душанбе: Ирфон. - 1991. - С.67-68.

[20-М]. **Раҳманов А.А.** К расчету количества воды для замачивания массива при уплотнении лессовых просадочных грунтов гидровзрывным способом. [Матн] / А.А. Раҳманов // Конф.илмӣ ва амалӣ. баҳшида ба 70-солагии Октябри Кабир (баҳши техникӣ). - Душанбе, 1987. - С.12-13.

[21-М]. **Раҳманов А.А.** Использование метода трех кривых для прогноза деформаций при уплотнении массива лессовых просадочных грунтов гидровзрывным способом [Матн] / А.А. Раҳманов // Конф. илмӣ ва амал. баҳшида ба 70-солагии Октябри Кабир (баҳши техникӣ). - Душанбе, 1987. - С.137-138.

[22-М]. **Раҳманов А.А.** Опыт замачивания грунтов в стесненных условиях строительства [Матн] / А.Р. Рузиев, Т.Ф. Джалилов, А.А. Раҳманов, Ф.Ф. Зехниев // XVII конф. илмӣ-ҳисоботии муаллимон. – Душанбе: Дониш, 1989. - С.12-14.

[23-М]. **Раҳманов А.А.** Аналитический метод оценки исходного напряженного состояния водонасыщенных глинистых грунтов [Матн] / [Матн] / А.А. Раҳманов // Маводҳои Симпозиуми III Байналмилалии геотехникии Осиеи Марказӣ Масъалаҳои геотехникии сохтмон дар ҳокҳои фурӯраванда дар минтақаҳои заминларза // Тадқиқоти илмӣ ва лоихакашӣ-ковтуқобӣ. – Душанбе: САНИИОСП, 2005.- С.94-95, ISBN: 9965-25-409-5.

[24-М]. **Раҳманов А.А.** Учет нелинейной деформируемости скелета и нелинейной водопроницаемости грунтов при прогнозе осадок оснований сооружений. [Матн] / [Матн] / А.А. Раҳманов // Маводҳои Симпозиуми III Байналмилалии Геотехникии Осиеи Марказӣ «Проблемаҳои геотехникаи сохтмон дар ҳокҳои зеризаминӣ дар минтақаҳои заминларза». // Таҳқиқоти илмӣ ва тадқиқоти лоихакашӣ. – Душанбе: САНИИОСП, 2005.- С. 96-97, ISBN: 9965-25-409-5.

[25-М]. **Раҳманов А.А.** Приборы и оборудование для отбора и испытания слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Текст] / А.А. Раҳманов // Конфронси байналмилалии илмӣ-амалии Мушкилотҳои геологияи муҳандисӣ, гидрогеология ва истихроҷи захираҳои ғоиданоки Тоҷикистон ва қаламравҳо. - Душанбе: ДДТ, 2022. – С.241-249, ISSN-2664-1534.

[26-М]. **Раҳманов А.А.** Изменение степени влажности и радиусов пузырьков заземленного газа при отборе образца из массива водонасыщенных глинистых грунтов [Матн] / А.А. Раҳманов // Конфронси байналмилалии илмӣ-амалии Мушкилотҳои геологияи муҳандисӣ, гидрогеология ва истихроҷи захираҳои ғоиданоки Тоҷикистон ва қаламравҳо. – Душанбе: ДДТ, 2022. – С.270 – 276, ISSN-2664-1534.

[27-М]. **Раҳманов А.А.** Экспериментальные исследования деформируемости и проницаемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Матн] / А.А. Раҳманов., О.К. Комилов // Конфронси байналмилалии

илмӣ-амалии Мушкилотҳои геологияи муҳандисӣ, гидрогеология ва истихроҷи захираҳои ғоиданоки Тоҷикистон ва қаламравҳо. – Душанбе: ДДТ, 2022. С. 232-241, ISSN-2664-1534.

[28-М]. **Раҳманов А.А.** Численное решение нелинейной задачи консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов с учетом переменной высоты массива [Текст] / А.А. Раҳманов // Конфронси байналмилалӣ илмӣ-амалии Мушкилотҳои геологияи муҳандисӣ, гидрогеология ва истихроҷи захираҳои ғоиданоки Тоҷикистон ва қаламравҳо. – Душанбе: ДДТ, 2022. – С. 207– 213, ISSN-2664-1534.

[29-М]. **Раҳманов А.А.** О первичной и вторичной консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов [Матн] / А.А. Раҳманов // Дар асарҳои Конф. байналмил.илмӣ ва амалӣ Хонишҳои XII Ломоносов, баҳшида ба 30-солагии барқарор шудани муносибатҳои дипломатӣ байни Ҷумҳурии Тоҷикистон ва Федератсияи Россия. Баҳши илмҳои табиӣ. Қисми 1. – Душанбе: ДДМ, 2022.- С.322-329, ISSN-2709-6238.

[30- М]. **Раҳманов А.А.** Расчет устойчивости откоса при изменяющемся сцеплении по глубине массива. [Текст] / А.А. Раҳманов, З.М. Ширинджанов // Маҷмӯаи қорҳои конф. байналмилалӣ илмӣ-амалии Дастовардҳои муосир ва мушкилоти мубрами илмҳои замин. – Душанбе: ДДТ, 2024. - С. 338 –344, ISSN-2664-1534.

[31- М]. **Раҳманов А.А.** Консолидация массива слабых водонасыщенных глинистых грунтов во времени. Маҷмӯаи қорҳои конф. байналмилалӣ илмӣ-амалии Дастовардҳои муосир ва мушкилоти мубрами илмҳои замин. - Душанбе: ДДТ, 2024. – С. 344 – 349, ISSN-2664-1534.

[32- М]. **Раҳманов А.А.** Расчет устойчивости многослойного откоса при переменном значении сцепления по глубине / Комилов О.К., Негматов Т.А., Раҳманов А.А. // Хабарҳои политехникӣ. силсилаи Тадқиқоти муҳандисӣ, № 4 (68). – Душанбе: ДТТ, 2024.- С. 162 -170, ISSN-2520-2227.

[33- М]. **Раҳманов А.А.** Изменение напряженного состояния грунта при отборе из массива, залегающего под слоем воды. / Раҳманов А.А., Джалилов Т. Ф. / Дар маҷмӯаи XXIII конф. байналмилалӣ илмӣ Сифати ҳаво ва муҳити зист. – Душанбе: ДТТ, 2025. – С. 558-562, ISSN-2520-2227.

[34- М]. **Раҳманов А.А.** Определение высоты поднятия капиллярной поровой жидкости при колебаниях уровня грунтовых вод. / Дар маҷмӯаи XXIII конф. байналмилалӣ илмӣ Сифати ҳаво ва муҳити зист. – Душанбе: ДТТ, 2025. – С. 562-568, ISSN-2520-2227.

## АННОТАЦИЯ

на диссертационную работу **Рахманова Азима Абдуллаевича** на тему: **«Развитие теории консолидации слабых водонасыщенных глинистых грунтов в основании гидротехнических сооружений»**, представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.1. Геология, геодезия, гидрология, строительство, архитектура (2.1.8. Гидротехническое строительство).

**Ключевые слова:** консолидация, слабые водонасыщенные глинистые грунты, поровая жидкость, скелет грунта, гравитация, напряжения, исходное напряженно-деформированное состояние, фильтрация, ползучесть скелета грунта.

**Объектом исследования** являются слабые водонасыщенные глинистые (илистые, и водонасыщенные лессовые грунты, используемые в качестве оснований инженерных (гидротехнических) сооружений.

**Предмет исследования** – совершенствование методов расчета консолидации оснований инженерных сооружений, сложенных слабыми водонасыщенными глинистыми грунтами.

**Целью диссертационных исследований** являлась реализация комплекса научных и практических исследований по разработке количественной и качественной оценки деформаций слабых водонасыщенных глинистых грунтов большой мощности, обеспечивающих эксплуатационную надежность и безопасность гидротехнических сооружений, являющихся актуальной задачей развития нового направления в области наук о Земле.

**Полученные результаты и их новизна:** впервые рассмотрен процесс фильтрационной консолидации водонасыщенных глинистых грунтов с учетом нелинейной деформируемости и проницаемости и исходного напряженно-деформированного состояния; получены значения радиусов пузырьков заземленного газа и степени влажности грунтов по глубине водонасыщенного массива. Получено численное решение задачи фильтрационной консолидации с учетом исходного напряженно-деформированного состояния и изменяющейся высоты массива в процессе фильтрационной консолидации. Показано практическое применение полученных теоретических положений на примере расчета осадки гидротехнического сооружения (насыпной земляной плотины).

**Область применения:** результаты диссертационных исследований были применены при возведении насыпной земляной плотины Днепро-Бугского гидроузла и могут быть использованы при проектировании гидротехнических, в том числе и других инженерных сооружений на аналогичных грунтах. Результаты, полученные в диссертационной работе, нашли отражение в научных книгах академика Академии водохозяйственных наук Российской Федерации (АН РФ) и академика Нью-Йоркской Академии наук, заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Тер-Мартirosяна З.Г. (МГСУ, РФ), в частности: «Прогноз механических процессов в массивах многофазных грунтов» (М.: Недра, 1986.- 292 с.) и «Реологические параметры грунтов и расчеты оснований сооружений» (М.: Стройиздат, 1990.- 200 с.), а также в учебниках «Механика грунтов» (М.: АСВ, 2005.- 488 с.) и «Механика грунтов» (М.: АСВ, 2009.- 553 с.), рекомендуемых студентам строительных специальностей ВУЗов, инженерам-геологам, гидрогеологам и другим специалистам в области строительства.

#### **АННОТАЦИЯ**

ба тадқиқоти диссертатсионии **Рахмонов Азим Абдуллоевич** дар мавзуи **«Рушди назарияи мутаҳидшавии хокҳои сусти гилии сероб дар асоси иншооти гидротехникӣ»** барои дарёфти дараҷаи илмии доктори илмҳои техникӣ аз рӯйи ихтисоси 2.1. Геология, геодезия, гидрология, сохтмон, меъморӣ (21.8. Сохтмони гидротехникӣ)

**Калидвожаҳо:** муттаҳидшавӣ, хокҳои сусти гилии сероб, моеъи ковокӣ, пояи хок, вазнинӣ, шиддатҳо, ҳолати аввалияи шиддату тағйири шакл, полоиш, хазиши қисмҳои минералии хок.

**Объекти тадқиқот** хокҳои сусти сероб (лойқавӣ ва хокҳои зарди сероб, ки ба сифати асосҳои иншооти муҳандисӣ (гидротехникӣ) истифода мегарданд, ба ҳисоб меравад.

**Мавзуи тадқиқот** – тақмили усулҳои ҳисоби муттаҳидшавии асосҳои иншооти муҳандисӣ, ки аз хокҳои сусти гилии сероб иборат мебошанд.

**Мақсади тадқиқоти диссертатсионӣ** аз амалишавии маҷмӯи тадқиқотҳои илмию амалӣ оид ба коркарди баҳодихии сифатӣ ва миқдории шаклтағйирдиҳии хокҳои сусти гилии сероби иқтидорашон калон, ки эътимоднокии истифодабарӣ ва беҳатарии иншооти гидротехниқиро таъмин менамояд ва ба рушди илми соҳаи Замин мусоидат менамояд.

**Натиҷаҳои бадастомада ва навоари онҳо:** бори аввал раванди муттаҳидсозии таровишии хокҳои гили обдор бо назардошти тағйири шакли ғайрихаттӣ ва гузариш ва ҳолати ибтидоии шиддату тағйири шакл баррасӣ карда шуд; арзишҳои радиуси хубобҳои гази фишурда ва дараҷаи намӣ дар чуқурии хокҳои сероб ба даст оварда шуданд. Ҳалли ададии масъалаи муттаҳидшавии таровишкунӣ бо назардошти ҳолати ибтидоии шиддату тағйири шакл ва баландии тағйирёбандаи массив дар раванди муттаҳидшавии таровишкунӣ ба даст оварда шудааст. Истифодаи амалии муқаррароти назариявии бадастомада дар мисоли ҳисоб кардани таҳшинии иншооти гидротехникӣ (сарбанди заминӣ) нишон дода шудааст.

**Доираи истифодабарӣ:** натиҷаҳои тадқиқоти диссертатсионӣ ҳангоми бунёди сарбанди заминӣ дар гидроузли Днепро-Буг истифода шуданд ва метавонанд ҳангоми тарҳрезии иншооти гидротехникӣ, аз ҷумла дар дигар иншооти муҳандисӣ дар заминҳои шабеҳ истифода шаванд. Натиҷаҳои дар қори диссертатсионӣ ба даст овардашуда дар китобҳои илмии академики Академияи илмҳои хоҷагии обии Федератсияи Россия (АВН-и Федератсияи Россия) ва академики Академияи илмҳои Нью-Йорк, қораманди шоистаи илми Федератсияи Россия, доктори илмҳои техникӣ, профессор Тер-Мартirosян З.Г. (ДДСМ, Федератсияи Россия) инъикос ёфтаанд, аз он ҷумла: «Пешгӯии равандҳои механикӣ дар массивҳои хокҳои бисёрфаза» (М.: Недра, 1986. 292 с.) ва «Параметрҳои реологии хок ва ҳисобҳои асосҳои иншоот» (М.: Стройиздат, 1990. 200 с.), инчунин, дар китобҳои дарсии «Механикаи хок» (М.: АСВ, соли 2005. 488 с.) ва «Механикаи хокҳо» (М.: АСВ, соли 2009. 553 с.), ки ба донишҷӯёни ихтисосҳои сохтмони мактабҳои олий, муҳандисони геолог, гидрогеологҳо ва дигар муттаҳассисони сохтмон тавсия карда мешавад.

for the dissertation work of **Azim Abdullaevich Rakhmanov** on the topic: *«Development of the theory of consolidation of weak water-saturated clay soils at the base of hydraulic structures»*, submitted for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 2.1. Geology, geodesy, hydrology, construction, architecture (2.1.8. Hydraulic engineering)

**Key words:** consolidation, weak water-saturated clay soils, pore fluid, soil skeleton, gravitation, strain, initial stress-strain state, filtration, creep of the soil skeleton.

**The object of the study** is weak water-saturated clay (silt) and water-saturated loess soils used as foundations for engineering (hydraulic) structures.

**The subject of the research** - improvement of methods for calculating the consolidation of the foundations of engineering structures composed of weak water-saturated clay soils.

**The goal of the dissertation research** was to implement a set of scientific and practical studies to develop a quantitative and qualitative assessment of the deformations of weak water-saturated clay soils of high thickness, ensuring the operational reliability and safety of hydraulic structures, which is an urgent task in the development of a new direction in the field of Earth sciences.

**The results obtained and their novelty:** for the first time the process of filtration consolidation of water-saturated clay soils was considered, taking into account nonlinear deformability and permeability and the initial stress-strain state; the values of the radii of trapped gas bubbles and the degree of soil moisture along the depth of the water-saturated massif were obtained. A numerical solution to the problem of filtration consolidation is obtained, taking into account the initial stress-strain state and the changing height of the massif during the process of filtration consolidation. The practical application of the obtained theoretical principles is shown using the example of calculating the settlement of a hydraulic structure (embankment earthen dam).

**Scope of application:** the results of the dissertation research were applied in the construction of an earthen bulk dam of the Dnieper-Bug hydroelectric complex and can be used in the design of hydraulic engineering structures, including other engineering structures, on similar soils. The results obtained in the dissertation work were reflected in the scientific books of Academician of the Academy of Water Sciences of the Russian Federation (AVN RF) and Academician of the New York Academy of Sciences, Honored Scientist of the Russian Federation, Doctor of Technical Sciences, Professor Z.G. Ter-Martirosyan. (MGSU-MISI, RF), in particular: “Forecast of mechanical processes in massifs of multiphase soils” (M.: Nedra, 1986. - 292 pp.) and “Rheological parameters of soils and calculations of foundations of structures” (M.: Stroyizdat, 1990.- 200 pp.), as well as in the textbooks “Soil Mechanics” (M.: Publishing House ASV, 2005.- 488 pp.) and “Soil Mechanics” (M.: Publishing House ASV, 2009.- 553 pp.), recommended for students of construction specialties at universities, geological engineers, hydrogeologists and other specialists in the field of construction.