

6
А-56

**МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВТЕХСТРОЙПРОЕКТ
ТБИЛИССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СООРУЖЕНИЙ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ (ТНИСГЭИ)
имени А. В. ВИНТЕРА**

На правах рукописи

Л. Ш. ГАРДАБХАДЗЕ

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ПОНИЖЕНИЯ ПРИТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД
В ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

(05,486. Гидротехническое строительство и сооружения)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Тбилиси
1970 г.

МИНИСТЕРСТВО ЭНЕРГЕТИКИ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
ГЛАВТЕХСТРОЙПРОЕКТ
ТБИЛИССКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СООРУЖЕНИЙ И ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ (ТНИСГЭИ)
имени А. В. ВИНТЕРА

На правах рукописи

Л. Ш. ГАРДАБХАДЗЕ

**ПРИМЕНЕНИЕ ГЛИНИСТЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ
ПОНИЖЕНИЯ ПРИТОКА ГРУНТОВЫХ ВОД
В ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ**

(05,486. Гидротехническое строительство и сооружения)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Тбилиси
1970 г.



G26.01
A56

Работа выполнена в Тбилисском научно-исследовательском институте сооружений и гидроэнергетики (ТНИСГЭИ) имени А. В. Винтера.

Научный руководитель:

заслуженный деятель науки и техники,
доктор технических наук, профессор П. П. ЦУЛУКИДЗЕ

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор З. Н. ЦИЛОСАНИ,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Г. П. ВЕРБЕЦКИЙ.

Ведущее предприятие:
ТБИЛМЕТРОПОЛИТЕН

Автореферат разослан « _____ » _____ 197 г.

Защита диссертации состоится « 26 » II _____ 1971 г.

в _____ час. на заседании Объединенного Ученого совета по присуждению ученых степеней ТНИСГЭИ им. А. В. Винтера, г. Тбилиси, 15, ул. Ленина, 70.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета
кандидат технических наук Б. Н. БАСТАТСКИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Вопрос обеспечения прочности и долговечности подземных сооружений в последнее время приобрел особо важное значение в связи с увеличивающимся строительством подземных ГЭС, метрополитенов, гидротехнических туннелей, подземных заводов, гаражей, аэродромов и т. д. Решению этой задачи посвящены работы как советских, так и зарубежных исследователей.

Как известно, подземные сооружения, по сравнению с наземными, работают в более неблагоприятных условиях (горное давление, водонасыщенность горных пород и т. д.).

При водонасыщенности горных пород грунтовые воды, фильтруя через неплотности в кладке, резко ухудшают работу бетонной обделки подземных сооружений, а в случае агрессивности со временем и разрушают ее. Кроме того, фильтрующиеся воды и вредные газы вызывают коррозию оборудования, находящегося внутри подземных сооружений.

Важность обеспечения защиты строительных конструкций и инженерных коммуникаций от коррозии отмечается в Постановлениях вышестоящих органов. Затраты на устройство цементационных завес при строительстве гидротехнических сооружений доходят до 25% общей стоимости строительно-монтажных работ.

Защита обделок подземных сооружений от воздействия грунтовых вод осуществляется разными способами, наиболее распространенными из которых является нагнетание различных тампонажных материалов за обделку. Чаще всего в качестве тампонажного материала применяют цементный раствор, который, однако, не всегда отвечает требованиям, предъявляемым к тампонажным материалам и, кроме того, является дорогостоящим.

Поэтому исследование свойств новых типов тампонажных растворов, обладающих устойчивостью к воздействию грунтовых агрессивных вод, повышенной проникающей способностью и экономичностью, приобретает первостепенное значение.

Настоящая работа посвящена изучению глин различных месторождений ГССР с целью их применения в качестве материала для тампонажных растворов, а также разработке новой методики нагнетания тампонирующих растворов за обделку подземных сооружений.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов и приложений.

ГЛАВА I

Обзор существующих методов понижения притока грунтовых вод в подземные сооружения.

В практике строительства подземных гидротехнических сооружений для устройства противофильтрационных завес широко применяются цементные, цементно-глинистые, глинистые, силикатные, битумные растворы и эмульсии, а также различные смолы.

Исследованием свойств этих растворов, разработкой методики их применения и улучшения их качеств занимались научно-исследовательские институты: ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, ВНИИОМШС, НИИОСП, ЦНИИС, МГУ им. Ломоносова, ЛГИ им. Ивана Франко, ТНИСГЭИ им. А. В. Винтера, ГПИ им. В. И. Ленина и т. д.

Среди исследований, посвященных вопросам ограждения подземных сооружений от воздействия грунтовых вод, особо важное значение имеют работы А. Н. Адамовича, Б. А. Ржаницына, Н. Г. Трупака, Г. И. Маньков-

ского, М. Н. Шкабара, З. В. Костюкевича, Ю. В. Чеховского, В. М. Мосткова, И. И. Вахрамеева, П. А. Ребиндера, В. Л. Каргина, М. Т. Кострико, Д. В. Колтунова, Н. Н. Серб-Сербиной, В. К. Баушева П. П. Цулукидзе и др.

Важные исследования по изучению и внедрению в производство глинистых и глино-цементных тампонажных растворов провели А. А. Байков, А. Н. Адамович, И. А. Андрюков, А. И. Гертнер, А. И. Булатов, В. М. Мостков, Е. Л. Шишов, З. В. Костюкевич, Б. Ф. Рельтов, М. Н. Шкабара, Б. А. Вайсфельд, В. С. Баранов, Н. И. Шацов, Е. А. Демьянова, М. С. Мерабишвили, Л. Н. Паронян, П. П. Цулукидзе и др.

Из зарубежных работ по указанному вопросу следует отметить исследования Б. Кларка, Г. Кеннеди, И. Камбефора, Я. Келемена, Л. Шароши, И. Шока, И. Каппа, С. Бастиан, Ф. Маага и др.

Анализ существующих методов уменьшения притока грунтовых вод внутрь подземных сооружений позволяет сделать следующее заключение: каждый из находящихся применение методов устройства противофильтрационных завес (цементация, битумизация, силикатизация и т. д.), наряду с положительными качествами, характеризуется и определенными отрицательными свойствами. Так, к положительным сторонам цементации относятся омоноличивание закрепного пространства, уменьшение Кф породы, и др., а к отрицательным — дороговизна, ограниченность применения, явления усадки и сравнительно низкая коррозиостойкость; битумизация, обладая высокой коррозиостойкостью и малой водопроницаемостью, отличается рядом существенных недостатков: релаксацией, трудоемкостью, небольшим радиусом распространения и др.

Слабо исследованы и недостаточно широко применяются глинистые тампонажные растворы. Следует отме-

туть, что в производстве тампонажных работ до сих пор не учитывалось такое важное свойство глинистых суспензий как способность образования на фильтрующей поверхности плотной, устойчивой водонепроницаемой глинистой корки. Не уделяется также должное внимание изучению коллоидообразования, водоотдачи, статического напряжения сдвига, набухания, отстоя, стабильности в агрессивных водах и других важных характеристик глинистых растворов. Не исследовались их водопроницаемость и тампонажные качества в лабораторных условиях.

ГЛАВА II

Основы структурообразования глинистых растворов и их применение в качестве тампонажного материала.

Программа исследований.

В настоящее время понятия «глина» и «глинистые минералы» все более связываются с представлением о глинистых минералах как дисперсных системах, обладающих особыми свойствами, которые обусловлены их кристаллохимическим строением и физико-химическими особенностями.

Регулирование важных для практики свойств глинистых растворов возможно только на основе углубленного изучения физико-химии и кристаллохимии используемых глин.

Исследованием глин занимались многие советские и зарубежные ученые: Приклонский В. А., Ребиндер П. А., Гедройц К. К., Грим Р. Е., Гуменский Б. М., Горькова И. М., Дерягин Б. В., Рельтов Б. Ф., Шаров В. С., Серб-Сербина Н. Н., Ламб В., Митчелл, Бузаг и др.

В. С. Шаров считает, что сольватные оболочки

элементарных частиц Na — глины сливаются в одно целое, образуя гель, обладающий свойствами водонепроницаемости. В геле же Ca — глины, по его мнению, образуются агрегаты, между которыми располагаются тончайшие поры, через которые может циркулировать свободная вода.

Монтмориллонитовые глины в отличие от каолинитовых и гидрослюдистых глин имеют, как известно, раздвигающуюся кристаллическую решетку, что и обуславливает существование добавочной межпакетной воды, вызывающей сильное набухание содержащих монтмориллонит пород.

Специфические особенности глины определяют, наряду со вторым компонентом раствора — водой, появление новых свойств глинистого раствора, обуславливаемых его коллоидным состоянием. Так как свойства любого из глинистых растворов весьма специфичны, каждая глина требует подробного рассмотрения и изучения всех основных свойств, по которым и следует определять возможность ее применения в качестве инъекционного материала.

Инъекция глинистых и глино-цементных растворов за обделки подземных сооружений через скважины предназначена для заполнения осаждающимися частицами глины зазора между обделкой и породой, а также трещин и пор как в обделке, так и в породе.

Коагуляция может быть вызвана рядом причин, из которых отметим действие электролитов и взаимное притяжение близко расположенных частиц. Коагулируют глинистые частицы, все соли, кислоты и основания, если их концентрация выше порога коагуляции.

При глинизации к глинистому раствору в качестве коагулянта непосредственно перед нагнетанием добавляется хлористый кальций, хлористый магний, кремнефтористый натрий и др., под воздействием которых про-

исходит флокуляция глинистых частиц с последующим осаждением в порах и трещинах.

Это обстоятельство приводит к выводу, что объем глинистого раствора, занимающего определенное пространство за обделкой сооружения, со временем уменьшается вследствие оседания глинистых частиц; глина, заполнившая трещины, может быть вымыта из них под напором грунтовых вод. Ввиду рыхлой структуры осадка, образованного осаждением песчаных частиц и агрегированных частиц глины, достижение достаточной для эксплуатируемых сооружений водонепроницаемости обделки весьма сложно. Образования рыхлой структуры можно избежать путем опрессовки глинистого осадка цементным раствором под большим давлением, однако следует учитывать, что при этом может произойти вспучивание и смещение пород на поверхности. Последнее особо нежелательно при проведении работ в метрополитенах и многих подземных сооружениях различного назначения.

На глинистые завесы могут оказывать влияние агрессивные грунтовые воды, вызывая порчу изоляции.

Грузия богата бентонитовыми, каолинитовыми и гидрослюдастыми глинами, но в качестве тампонажного материала они почти не использовались. Их применение с определенными добавками при соответствующей технологии нагнетания, обеспечивающей долговечность глинистой изоляции, дало бы возможность осуществлять практически водонепроницаемые и достаточно экономные противофильтрационные завесы.

Целью настоящей диссертационной работы является:

а) исследование глин Грузии с целью их использования для тампонажных растворов с применением различных реагентов;

б) разработка способа приготовления тампонажного

раствора и установление оптимальных рецептур составов;

в) разработка технологии нагнетания раствора за обделку;

г) проверка в производственных условиях как подобранных растворов, так и разработанной технологии их нагнетания;

д) установление экономической эффективности.

ГЛАВА III.

Экспериментальное исследование глин Грузии с целью получения глинистых растворов, пригодных для тампонажных работ.

Как показали исследования ряда советских и зарубежных ученых, наилучшими противофильтрационными свойствами, наибольшей водоудерживающей способностью и долговечностью обладают гели натриевых бентонитов.

На основании проведенных исследований Я. Келемен пришел к выводу, что вообще нельзя говорить о водотоке через механически ограниченные гидрогены бентонита. Он же считает что гарантией долговечности глинистого раствора является гидрогенное состояние бентонита, помещенного между фильтрующими слоями и обладающего из-за их пространственного расположения ограниченной способностью к набуханию.

Однако ввиду свойства обратимости обменных катионов в соответствующей среде, ионы Na могут быть замещены ионами двухвалентных и трехвалентных катионов, что вызовет резкое уменьшение количества физически связанной воды в растворе и уменьшение объема раствора в целом. В связи с этим высказанные

выше положения Я. Келемена могут считаться приемлемыми лишь в строго регламентированных условиях. Отсюда следует, что для предотвращения старения и ухудшения противофильтрационных свойств бентонитового раствора, последний должен быть огражден от вредного влияния ионов Са, Mg и т. д., находящихся в грунтовых водах.

Для осуществления вышесказанного необходимо устройство со стороны породы полупроницаемой перегородки, которая, согласно Вант-Гоффу, не пропускает растворенного вещества, а пропускает лишь растворитель (воду).

Б. Ф. Рельтов и Н. А. Новицкая нашли, что в толще грунтов такой полупроницаемой перегородкой является глинистая прослойка.

Вышеизложенное позволяет прийти к заключению, что наиболее целесообразным явилось бы устройство двухслойной противофильтрационной завесы, в которой первый слой (обращенный к породе) имел бы свойства полупроницаемой перегородки, а второй, из бентонитового геля огражденный от воздействия солей, служил бы водонепроницаемым слоем.

Малая водоудерживающая способность каолинитовых и гидрослюдистых глин, условно названных нами глинистым раствором (№ 1), и способность быстро коагулировать полностью (за 3—7 суток) с получением сразу же после нагнетания довольно плотного осадка в трещинах и такой же корки на фильтрующей поверхности, позволяет обеспечить полупроницаемость перегородки. Если после создания полупроницаемой перегородки закрепное пространство заполнить бентонитовой суспензией (№ 2), то она еще больше обожмет и уплотнит как глинистую корку раствора № 1, так и осадок в трещинах. Последующая коагуляция глинистого раствора № 1 не ухудшит противофильтрационных свойств заве-

сы, так как полная коагуляция глин № 1 протекает в течение первых 6—7 суток, когда происходит самое интенсивное набухание частиц монтмориллонита. Таким образом, уменьшение объема глинистого раствора № 1 будет компенсировано увеличением объема глинистого раствора № 2. Последующее обжатие глин № 1 будет происходить за счет осмотического давления. Если засоленность грунтовых вод меньше, чем глинистого раствора № 2, то вода вследствие явлений осмоса проникнет через полупроницаемую перегородку глин № 1 в бентонитовый раствор № 2. Тиксотропные свойства последних обеспечат их набухание и новое обжатие глин № 1.

Для достижения поставленной цели (создание двухслойной противофильтрационной завесы) потребовалось детальное изучение свойств как бентонитовых, так и гидрослюдистых и каолинитовых глин с регулированием их качеств с помощью различных реагентов. Кроме того, была разработана технология нагнетания, способствующая образованию полупроницаемой перегородки.

Для успешного решения поставленных задач были исследованы химический, гранулометрический и минералогический составы, а также пластичность, удельный и объемный веса глин следующих месторождений Грузии: проба № 1 — Ксанское месторождение; проба № 2 — Гардабанское месторождение; проба № 3 — Марнеульское месторождение; проба № 4 — Метехское месторождение; проба № 5 — Мцхетское месторождение; проба № 6 — Сагареджойское месторождение; проба № 7 — Гурджаанское месторождение; проба № 8 Алазанское месторождение (кирпичная глина); проба № 9 — Алазанское месторождение (черепичная глина); проба № 10 — Телавское месторождение; проба № 11 — Ланчхутское месторождение; проба № 12

Носирское месторождение; проба № 13 — Гудурское месторождение.

Проведенные исследования показали, что глины Ксанского, Марнеульского, Мцхетского, Сагареджойского и Ланчхутского месторождений являются гидрослюдистыми, а глины остальных восьми месторождений — каолинитовыми. Семь из 13 исследованных глин содержат малое количество известковых включений, что, как отмечалось, важно для нашего эксперимента.

По гранулометрическому составу исследуемые глины, за исключением глин Гудурского месторождения, относятся к категории пластичных глин.

По пластичности все перечисленные глины удовлетворяют требованиям, предъявляемым к глинам, используемым в тампонажных растворах.

Из распространенных в Грузии бентонитовых глин автором исследовались: природный щелочный бентонит (аскангель Асканского месторождения) и природный щелочно-земельный бентонит (асканглина Асканского месторождения). Эти глины, использованные в наших экспериментах, имели следующие химический и гранулометрический составы (см. таблицу 1).

За рубежом бентонитовые тампонажные растворы были применены в Венгрии при строительстве метро, в США — при сооружении подземной части международного торгового центра и при строительстве туннелей метрополитена в Сан-Франциско.

Ввиду особых свойств, присущих только бентонитовым глинам, растворы на их основе гарантируют полную водонепроницаемость затампонированных пород. За рубежом для приготовления тампонажных растворов применялись как щелочные, так и щелочно-земельные активированные бентониты.

Таблица 1

Химический состав

Название глин	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	Влага	
									п.п.п.	Влага
Аскангель	58,21	18,40	2,12	1,15	2,20	0,24	1,11	1,47	7,20	6,35
Асканглина	54,27	17,25	3,20	2,21	4,55	—	0,75	1,16	6,50	9,8

Гранулометрический состав, определенный методом КИМС-а (Кавказский институт минерального сырья)

Наименование пробы	Размер частичек, мм	
	≥ 0,15	0,05 — 0,0015
Аскангель	3,6	16,2
Асканглина	1,2	53,8
		81,00
		20,00

По нашему мнению, во всех случаях надо отдавать предпочтение щелочным, т. е. натриевым бентонитам, так как сухой осадок натриевого бентонита образует непрерывную пленку, в то время как кальциевый бентонит характеризуется зернистой структурой.

Проведенные исследования каолинистых, гидрослюдистых и бентонитовых глин Грузии позволили перейти к изучению глинистых растворов из этих глин. Цель исследования состояла в получении из каолинистых и гидрослюдистых глин растворов следующих качеств: а) большая концентрация твердой фазы; б) значительная водоотдача; в) вязкость 16—18 см расплыва; г) малое СНС (статическое напряжение сдвига); д) большой удельный вес. Растворы же из бентонитовых глин должны были отвечать нижеперечисленным требованиям: а) высокая коллоидальность; б) малая водоотдача; в) тонкая корка; г) большое СНС; д) малый удельный вес; е) набухание; ж) вязкость 20—22 см расплыва; з) малый отстой; и) стабильность геля в агрессивных водах.

Экспериментальные исследования глинистых растворов являлись существенной частью подготовки к производству тампонажных работ и имели целью подбор оптимального состава материалов для приготовления растворов.

Раствор в лаборатории приготавливался в скоростной растворомешалке. До загрузки растворомешалки глина отделялась от комков, камней, сучков и т. д. После отделения от инородных примесей глина замачивалась. Перемешивание в растворомешалке продолжалось до получения однородной смеси. После приготовления раствора определялись его физико-механические свойства, которые регулировались добавлением того или иного реагента.

Известно, что при фильтрации всякой суспензии

через полупроницаемую перегородку, какой может являться грунт, на фильтрующей поверхности откладываются твердые вещества в виде корки. На основании исследований, проведенных В. С. Барановым, Б. М. Гуменским, Е. А. Демьяновой, В. С. Шаровым и др., можно прийти к выводу, что наиболее эффективной с точки зрения водонепроницаемости является тонкая корка, образованная мельчайшими частицами глинистого раствора из тонкодисперсных глин.

В нашем эксперименте было желательно, чтобы глинистый раствор из грубодисперсных глин, нагнетаемый в первую очередь, обладал большой водоотдачей. В таком случае, благодаря значительному содержанию твердой фазы в растворе и большой водоотдаче, будет иметь место флокуляция с последующей коагуляцией глинистых частиц, приводящей к плотному заполнению трещин и образованию корки.

Раствор же из тонкодисперсной глины должен обладать малой водоотдачей, так как он должен образовать тонкую, эластичную и водонепроницаемую корку, быть стабильным и не иметь отстоя.

Для определения водоотдачи глинистых растворов в наших экспериментах использовались приборы ГрозНИИ и ВМ—6.

Исследования показали, что растворы из глин Ксанского, Метехского, Мцхетского, Гудурского, Алазанского (кирпичные глины) месторождений имеют большую водоотдачу, а растворы из аскангеля и глин Носирского, Алазанского (черепичные глины), Гардабанского и Сагареджойского месторождений имеют малую водоотдачу. Растворы из глин остальных месторождений характеризуются средней водоотдачей.

В исследованиях большое внимание уделялось такой характеристике глинистого раствора, как статическое напряжение сдвига (СНС), так как радиус распростра-

нения и расход тампонажного раствора во многом зависят от величины СНС. Кроме того, СНС может служить мерилем тиксотропных свойств глинистых растворов.

При мелкой трещиноватости пород растворы из каолинистых и гидрослюдистых глин, создающие защитный экран, должны обладать малым СНС (а при крупной трещиноватости — большим СНС (в целях экономии раствора). Глинистый раствор из тонкодисперсной глины, образующий поддерживающий водонепроницаемый экран, должен во всех случаях обладать большим СНС (т. е. высокими упругими свойствами), но не затрудняющим работу насоса. Кроме того, высокоструктурные растворы способны удерживать во взвешенном состоянии частицы инертных материалов, таких, например, как песок, опилки и др., неопределенно долгое время.

Исследования проводились с помощью прибора СНС—2. По величине статического напряжения сдвига изучаемые глинистые растворы можно разделить на две группы. К первой группе относятся растворы из глин Ксандского, Алазанского (кирпичные глины), Гудурского, Марнеульского, Мцхетского, Телавского месторождений, отличающиеся малым СНС. Ко второй группе относятся глинистые растворы из бентонита и из глин Носирского, Алазанского (черепичные глины), Сагареджойского месторождения, обладающие большим СНС.

Кроме того были исследованы такие важные параметры глинистых растворов, как кажущаяся вязкость, распыл, стабильность, удельный вес, а для бентонитовых растворов — набухание и бентонитовое число (коллоидальность).

Как упоминалось выше, набухание бентонита должно компенсировать уменьшение объема при коагуля-

ции грубодисперсных глин в первые дни при нахождении их под воздействием грунтовых вод. Одновременно давлением набухания уплотняется корка и осадок глинистого раствора из каолинистых или гидрослюдистых глин, что приводит к значительному ухудшению противофильтрационных качеств завесы. Здесь же надо отметить, что изменением количества воды затворения бентонитового раствора можно регулировать величину давления набухания. Набухаемость исследованного бентонита оказалась равной 820%.

Известно, что коллоидальность — свойство глинистых частиц удерживаться во взвешенном состоянии в воде с образованием устойчивых суспензий. Из определения коллоидальности явствует, насколько большее значение имеет она для глинистого раствора из тонкодисперсной глины, к которому предъявляется требование долговечности. Определение коллоидальности (бентонитового числа) проводилось по методике, разработанной КИМС-ом. Бентонитовое число аскангеля установлено равным 100, что говорит о полном отсутствии осадка.

В диссертационной работе приведены результаты исследования всех упомянутых свойств перечисленных выше глин.

Согласно ВСН 132—66 Минтрансстроя, водопроницаемость цементного камня характеризуется максимальным давлением, при котором не обнаруживается фильтрация на 5 из 6 испытываемых образцов. Однако условия испытания тампонажного раствора на водопроницаемость по этой методике не соответствуют натурным. Например, все основные процессы схватывания и твердения цементного камня протекают за оболочкой чаще всего в водной среде, насыщенной различными солями, в то время как по вышеуказанной методике образцы после изготовления и 24-часового

Воздушного хранения подвергаются хранению в питьевой воде в течение 3, 7, 28 суток, и только, после этого определяется степень их водопроницаемости. Кроме того, не учитывается и то обстоятельство, что раствор нагнетается за обделку под высоким давлением (до 10—12 ат) и вследствие этого, вода из раствора отжимается в породу и обделку, чем вызывается существенное изменение первичного водоцементного отношения. Не принимается во внимание также способность различных инъекционных растворов колюматировать микротрещины и микропоры как в обделке, так и в породе, что существенно влияет на поступление воды внутрь сооружения. Не учитывается и то обстоятельство, что цементный камень еще до начала схватывания находится под постоянным давлением грунтовых вод, что не может не сказаться отрицательно на его окончательных свойствах.

По этой методике невозможно определить водопроницаемость гелей глинистых суспензий.

Автором разработан новый метод определения водопроницаемости тампонажных растворов, который исключает некоторые недостатки существующего метода.

Водопроницаемость тампонажного раствора устанавливается на модифицированной установке ТНИСГЭИ для определения водопроницаемости бетона. Разрез модифицированной установки приведен на рис. 1.

Для испытания изготавливается серия образцов из бетона, идентичного по составу бетону обделки, с $d = 150$ мм и $H = 50—60$ мм. Часть образцов, рассматриваемых в качестве модели обделки, снабжается при изготовлении штуцерами. Образцы без штуцеров при испытании играют роль модели породы. Эти образцы желательно заменять кернами породы, подлежащей тампонируванию.

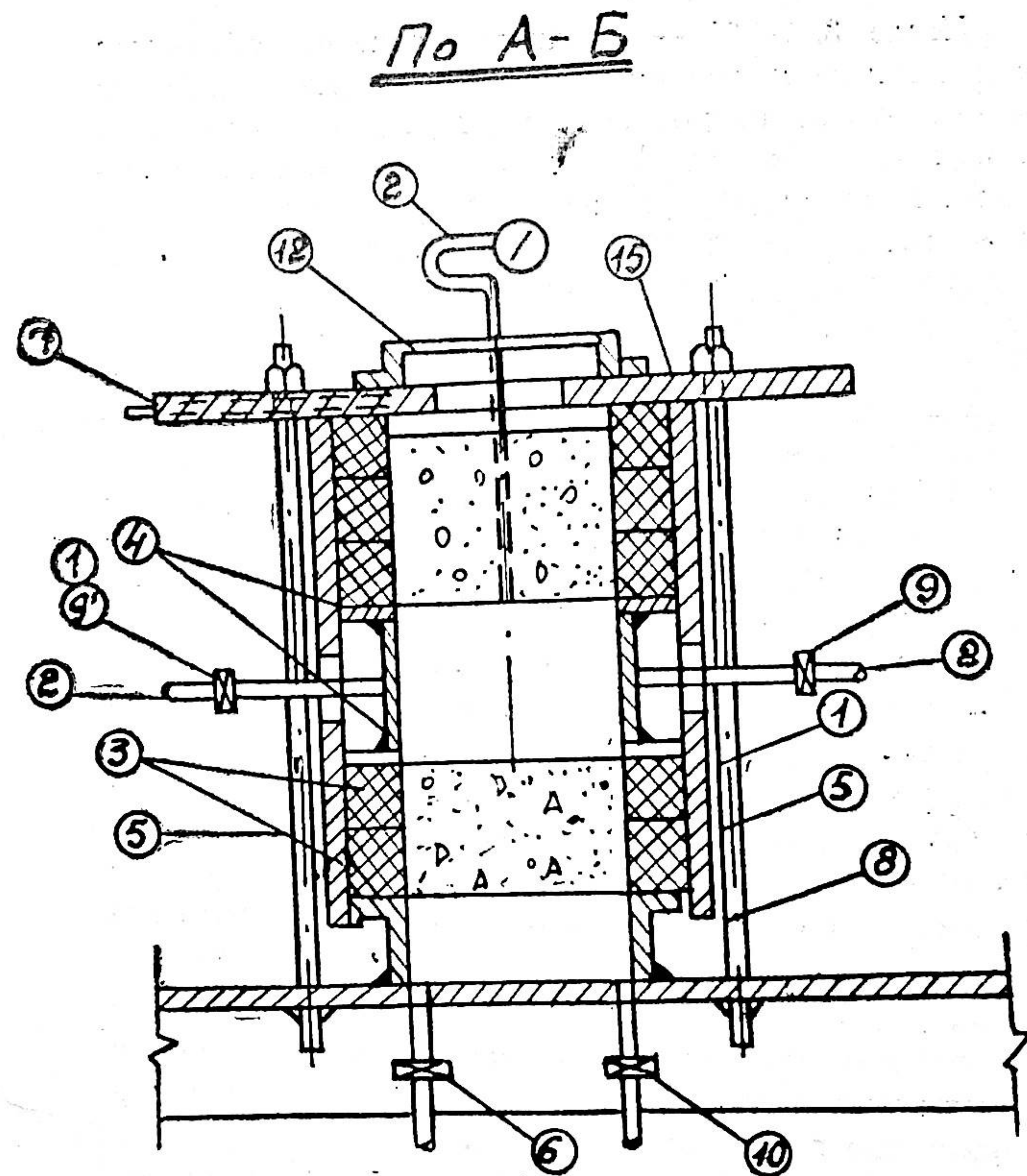


Рис. 1. Разрез модифицированной установки ТНИСГЭИ
 1. Обойма. 2—8—81. Штуцера. 3. Уплотняющие резиновые кольца. 4. Упорные шайбы. 5. Болт. 6. Вентили кислородные. 7. Крышка. 8. Упорное кольцо. 9—91. Краны пробковые. А, В — образцы, С — камера для инъекционного раствора.

После 3, 7—28 — суточного хранения образцы с надетыми на них уплотняющими резиновыми кольцами вставляются в обойму (1). На штуцер (2) образца А, с помощью U-образной трубки подключается манометр. Гайками (11) усилие передается на крышку (7) и обеспечивается надежное уплотнение образца. Вода поступает через вентиль (10), отжимая воздух через вентиль (6). По мере фильтрации воды через образец В (модель породы) фильтрат стекает по штуцеру (8) и резиновой трубке в приемную колбу. По весу фильтрата оценивается величина коэффициента фильтрации Кф образца В. Затем для определения Кф образца — модели обделки (А), через вентиль (9) вода подается в камеру С до ее заполнения, после чего краны (9) и (9¹) перекрываются. Увеличение давления воды осуществляется через вентиль (10).

После определения Кф моделей породы и обделки приготовленный заранее инъекционный раствор через штуцер (8) с помощью ручного насоса нагнетается в камеру С. Вода, находящаяся в камере, при этом отжимается через кран 9¹ и образец А. Перекрытием крана (9¹) в камере С создается проектное давление инъекционного раствора.

Разработанная методика позволяет: а) определять абсолютную количественную характеристику степени водонепроницаемости системы; б) моделировать условия воздействия грунтовых вод на инъекционный раствор и на обделку путем подачи воды соответствующего химического состава; в) приблизить процессы схватывания и твердения тампонажного раствора к натурным условиям; г) определять Кф цементного камня с остаточным водоцементным отношением после отжатия воды из раствора при заданном давлении; при этом Кф модели обделки и породы оцениваются с учетом кольматации пор и микротрещин тампонажным

раствором: д) определять толщину и структуру корки глинистых растворов, а также степень их водонепроницаемости.

Через специальные смотровые окна в обойме можно следить за процессами, происходящими между моделями обделки и породы.

В экспериментах определялись противофильтрационные свойства трех систем: 1) образец — модель породы (В) + глинистый раствор из грубодисперсной глины + образец — модель обделки (А); 2) образец — модель породы (В) + глинистый раствор из аскангеля + образец — модель обделки (А); 3) образец — модель породы + глинистый раствор из грубодисперсной глины с последующим замещением пространства между образцами В и А глинистым раствором из аскангеля + образец — модель обделки (А).

Все изготовленные образцы моделей породы и обделки имели марку водонепроницаемости от 1,5 до 2,5 ат.

При длительном испытании глинистых растворов из глин Марнеульского, Мцхетского, Телавского, Гудурского, Гурджанского и Алазанского (кирпичная глина) месторождений со временем наблюдалось падение марки водонепроницаемости. Это явление автор объясняет наличием в растворах большого количества посторонних включений, не способных к проникновению в микропоры образцов. В нижней части раствора были отложены частицы песка, известняка, глинистых флокулы и др., а в верхней части получился осветленный участок. Вода свободно могла перемещаться через оба участка. Поры были частично закольматированы, на что указывает хотя и небольшое, но все же отмечаемое повышение марки водонепроницаемости системы. Корка оказалась толстой и рыхлой.

Противофильтрационные свойства глинистых растворов

из глин Ксанского, Метехского, Сагареджойского, Ланчутского месторождений отличаются повышенной остаточной маркой водонепроницаемости и более плотной коркой, по сравнению с глинами первой группы.

Растворы из глин Гардабанского, Алазанского (черепичная глина) и Носирского месторождений, по сравнению с растворами первой и второй групп, обладают повышенными тампонажными качествами. Корка у них тонкая и плотная.

Как и следовало ожидать, наибольшей маркой водонепроницаемости обладает глинистый раствор из аскангеля. Корка тонкая, очень плотная и эластичная.

Под давлением 8 ат система «порода — бентонитовый раствор — обделка» находилась в течение 30-ти суток, но фильтрации обнаружено не было.

Все эти опыты проводились на пресной водопроводной воде.

Ввиду того, что исследуемые глинистые растворы предполагалось применить при строительстве Тбилисского метрополитена, вторая серия опытов проводилась на минерализованной воде, доставленной из туннеля метро.

Опыт проводился в следующей последовательности: под давлением, соответствующим марке водонепроницаемости данной группы глинистых растворов при их испытании пресной водой, через вентиль (10) подавалась агрессивная вода. При появлении фильтрата давление сбрасывалось на 1 ат. Сбрасывание давления происходило через каждые 8 часов, профильтровавшаяся за это время вода собиралась в градуированную мензурку. Если количество фильтрата за 8 часов при данном давлении не увеличивалось, то это давление поддерживалось еще некоторое время. Маркой водонепроницаемости считалось наивысшее давление, при котором не обнаруживалось увеличение количества филь-

трата в мензурке в течение нескольких суток.

Результаты исследований приведены на графиках. Из графика, показывающего падение марки водонепроницаемости системы «порода» — глинистый раствор третьей группы — «обделка», следует, что это падение происходит за первые 7 суток, а затем прекращается. Марка этой системы выше марки системы «порода» — обделка», но, по сравнению с маркой той же системы при испытанной питьевой водой, она намного ниже.

Такое же падение марки водонепроницаемости наблюдается и в системе с бентонитовой глиной с той лишь разницей, что время, за которое происходит уменьшение марки водонепроницаемости, гораздо больше (до 30 суток). Глинистая корка рыхлая, неплотная и толстая.

Падение марки водонепроницаемости во всех вышеуказанных случаях автор объясняет усиленной коагуляцией глинистых частиц за счет воздействия агрессивной среды.

Результаты испытания системы «порода» — глинистый раствор из группы № 2 (с последующим замещением глинистым раствором из бентонитовой глины) — «обделка» показали, что в течение 90 суток марка водонепроницаемости «В—8» не уменьшилась. Это объясняется, во — первых, тем, что вытеснение агрессивной воды из камеры С осуществляется раствором из группы № 2, раствор же из бентонитовой глины, занимая место в камере С, защищен от непосредственного воздействия агрессивной воды. Бентонитовая суспензия, набухая, прижимает корку, образованную глинистым раствором из группы № 2, уплотняя ее и частицы глины из группы № 2 осаждаемые в порах.

С целью стабилизации противотрационных свойств завесы рекомендуется проводить тампонирующее в два этапа:

- 1 — нагнетание глинистого раствора второй группы и
- 2 — нагнетание бентонитовой суспензии с отжатием глинистого раствора второй группы, что позволяет создать двухслойную противофильтрационную завесу.

ГЛАВА IV.

Разработка технологии нагнетания глинистых растворов за обделку подземных сооружений.

Выбор химических реагентов. Производственное внедрение исследованных глинистых растворов на Тбилисском метрополитене.

На основании лабораторных исследований под руководством автора проведены работы по созданию противофильтрационных завес за обделкой туннелей Тбилисского метрополитена.

Выделенный для эксперимента участок, несмотря на проведенные после проходки инъекции цементно-песчаных растворов, отличался большим количеством сосредоточенных течей, капелей и запотеваний. Фильтрация объясняется наличием сильно агрессивных вод по всей трассе первой очереди Тбилисского метрополитена, где трещиноватые скальные породы почти полностью насыщены водой.

По данным лаборатории «Кавгипротранса», химический состав вод, соприкасающихся с сооружениями Тбилисского метро, разделяется на две группы. К 1 группе относятся воды с повышенной минерализацией, содержащие сероводород, в том числе свободный до 12 мг/л, значение РН в пределах 7,0—7,5, с температурой до 27°.

Воды II-ой группы характеризуются наличием карбонатов и гидрокарбонатов, слабой минерализацией (0,3—0,5 мг/л), отсутствием сероводорода, значением РН 8,6—9,3 и температурой до 40°.

Воды и газы, омывая обделку и проникая через нее, вызывают различного вида коррозию бетона и металлических частей сооружения.

В связи с тем, что воды на выделенном участке являются агрессивными по отношению к глинистым растворам, было решено устроить двухслойную противофильтрационную завесу.

Для этого оказалось необходимым разработать новую технологию нагнетания, позволяющую получить полупроницаемую перегородку, ограждающую бентонитовый раствор от вредного влияния агрессивных вод.

Технология устройства двухслойной противофильтрационной завесы сводится к следующему (см. схему рис. 2).

Из бака для раствора 4 нагнетается в скважину 8 глинистый раствор из каолиновых или гидрослюдистых глин. Нагнетание производится через специальное распределительное устройство. Во время этого процесса краны А, Б, Г закрыты, а пробковый кран В открыт. После появления раствора в скважине 9 она закрывается деревянной пробкой 9. В последующем при появлении раствора в скважине 10 в ней закрепляется иньектор с резиновым уплотнителем. Нагнетание раствора в скважину производится до достижения проектного давления, которое зависит от трещиноватости породы, напора грунтовых вод и вязкости раствора. Скважины выдерживаются под этим давлением в течение 10—15 минут. После этого кран В закрывается и открываются краны Б и Г. Через кран Б в скважину 10 нагнетается раствор бентонитовой глины, который заполняет закрепное пространство, отжимая первоначаль-

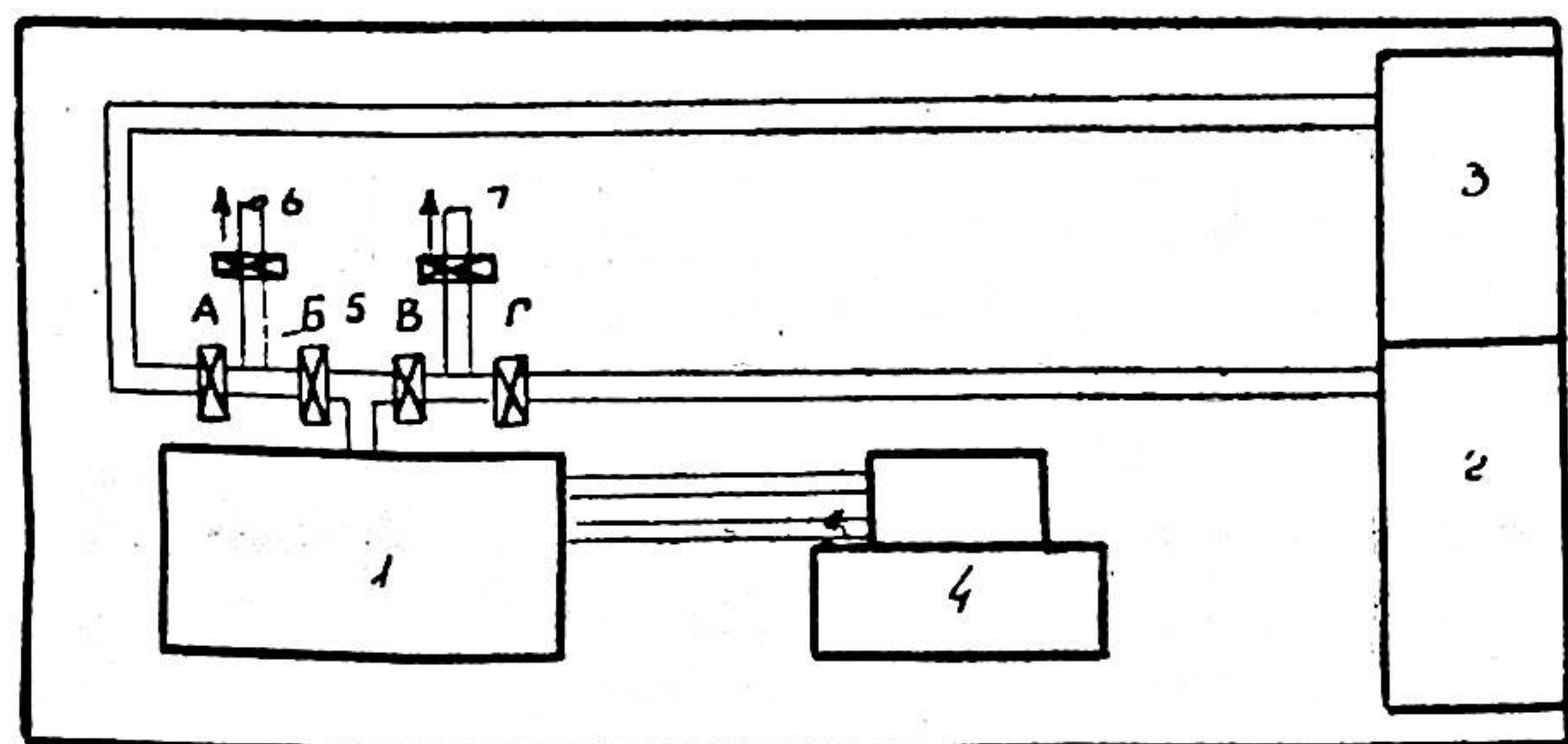
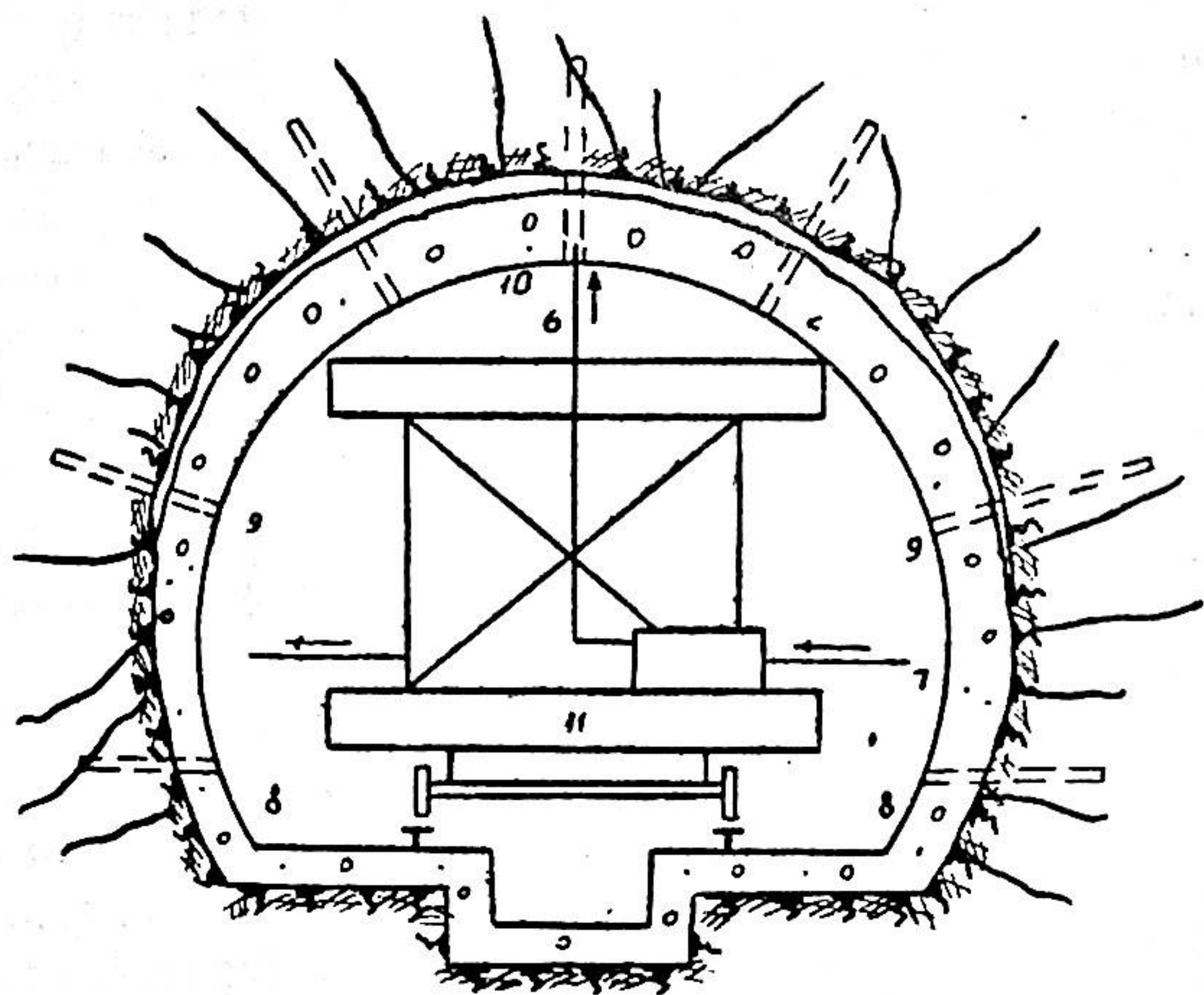


Рис- 2. Схема устройства многослойной
противофильтрационной завесы

1 — насос, 2—3 — емкости для глинистых растворов, 4 — Растворомешалка, 5 — распределительное устройство, 6 — шланг для раствора аскангеля, 7 — шланг для раствора гидрослюдистой глины, 8, 9, 10 — скважины, 91 — деревянная пробка, 11 — рабочая платформа.

но введенный глинистый раствор через иньектор 8 и кран Г в емкость 2.

После заполнения бентонитовым раствором пространства между обделкой и породой, краны Г, В и А закрываются и скважина выдерживается под давлением в течение 10 мин. Затем растворонасос выключается, а излишний раствор через иньектор 10 и кран А спускается в емкость 3.

При получении положительных результатов иньекторы извлекаются из скважин, которые пыжуются цементным раствором из цементов марки ВРЦ или БТЦ.

На части обделки поверхностью около 1000 м² было пробурено 46 скважин, через которые производилось нагнетание глинистых растворов. Глубина скважин колебалась от 200 до 250 см. В качестве первичного раствора, создающего полупроницаемую перегородку, применялся глинистый раствор из Ксанской глины. В качестве вторичного раствора был применен глинистый раствор из аскангеля.

При изготовлении глинистых растворов полностью использовались их тиксотропные свойства, т. е. способность разжижаться под механическим воздействием с последующим восстановлением структуры в покое. Глинистый раствор готовился вне туннеля на производственной базе, так как время работы на эксплуатируемом участке туннеля было ограничено.

Все оборудование — смеситель С—686, насос типа Е с распределителем, емкости для глинистых растворов и телескопическая вышка — были установлены на рабочей платформе.

После проведения работ по нагнетанию растворов течи и капели на участке полностью прекратились.

На некоторых участках метрополитена со сравнительно небольшой агрессивностью воды — среды по отношению к глинистому раствору, в скважины нагне-

тался раствор бентонитовой глины с реагентом. Проведенные лабораторные исследования показали, что наилучшими свойствами при агрессивном воздействии минерализованных вод на указанных участках обладают глинистые растворы, обработанные пирофосфатом натрия или едким натром. Добавка реагента рекомендуется в количестве 0,25% — 1% к весу воды в суспензии.

Опытная проверка тампонажных растворов из глины Грузии с применением в производственных условиях разработанной методики нагнетания, дала положительные технические и экономические результаты. Дирекцией и техническим советом службы зданий и сооружений Тбилметрополитена решено продолжать работы по глинизации обводненных участков Тбилисского метрополитена.

ГЛАВА V.

Технико-экономическая эффективность использования глинистых растворов для тампонажа закрепного пространства

Экономическая эффективность применения глинистых растворов при производстве тампонажных работ обусловлена тем, что главным компонентом инъекционного раствора является местная недорогостоящая гидрослюдистая или каолинистая глина разрабатываемых месторождений.

Стоимость 1 м³ глинистого раствора на аскангеле 2 руб. 90 коп;

Стоимость же 1 м³ цементного раствора при цене цемента 14 руб. за тонну составляет 6,0 руб.

Отсюда следует, что 1 м³ глинистого раствора на аскангеле приблизительно в два раза дешевле 1 м³ цементного раствора даже в случае применения молотого аска-

геля. Использование же немолотого аскангеля уменьшит его стоимость в 2—2,5 раза.

Благодаря тиксотропным свойствам глинистых растворов потери последних при производстве тампонажных работ незначительны.

Означенные свойства позволяют производить приготовление глинистых растворов на дневной поверхности с последующей их транспортировкой к месту работ, что чувствительно повышает производительность труда.

Проникающая способность глинистых растворов намного больше, чем цементных, особенно в тонкотрещиноватых породах. Последнее качество глинистых растворов позволяет вдвое сократить объем дорогостоящих работ по бурению скважин.

При применении глинистых растворов исключается возможность зацементирования трубопровода, насоса и шлангов, увеличиваются сроки работы последних.

Приведенные ориентировочные расходы наглядно показывают экономические преимущества способа глинизации трещиноватых скальных пород перед другими способами тампонирования.

Применение на опытном участке Тбилметрополитена бентонитового раствора взамен цементного сократило стоимость работ по устранению течей и капелей на 42%.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1) Глинизация закрепного пространства подземных сооружений по разработанному методу с использованием однослойных и двухслойных противотрационных завес является эффективной мерой предотвращения фильтрации вод внутрь подземных сооружений.

2) В случае неагрессивных по отношению к глинистым растворам грунтовых вод рекомендуется устройство однослойной завесы из глинистых растворов на бентонитовых и тонкодисперсных гидрослюдистых глинах (в ГССР на глинах — Асканского, Носирского, Алазанского и Гардабанского месторождений).

В качестве химических реагентов следует применять пирофосфат натрия и едкий натр.

3) При наличии агрессивных грунтовых вод рекомендуется устройство предложенной автором двухслойной противofильтрационной завесы, состоящей из полупроницаемой перегородки, препятствующей проникновению солей ко второму водонепроницаемому слою из бентонитовой глины.

4) Устройство указанной двухслойной противofильтрационной завесы рекомендуется осуществлять по разработанной в диссертации технологической схеме производства работ с использованием предложенного автором распределительного приспособления.

5) Для первого слоя противofильтрационной завесы рекомендуется применение глинистых растворов из каолинистых и гидрослюдистых глин (в ГССР глины — Ксанского, Метехского, Ланчхутского, Сагареджойского, Марнеульского месторождений), характеризующихся содержанием гидрослюдистых минералов, относительно невысоким содержанием кремнезема, достаточно большим содержанием окислов щелочно-земельных металлов и низкой пластичностью.

6) Второй слой противofильтрационной завесы следует выполнять из глинистых растворов на бентонитовых глинах в частности — аскангеле (Асканское месторождение, ГССР), или на тонкодисперсных гидрослюдистых глинах (в ГССР на глинах — Носирского, Алазанского и Гардабанского месторождений) с добавлением 10—30% аскангеля.

7) Для тампонажных растворов не рекомендуется применять грубодисперсные с большим содержанием песчаных и известковых включений гидрослюдистые и каолинистые глины (в ГССР глины — Гурджанского, Мцхетского, Телавского и Гудурского месторождений), так как они отличаются невысокими противofильтрационными свойствами.

8) Разработана методика определения тампонажных свойств любых инъекционных растворов на модифицированном приборе ТНИСГЭИ для определения водопроницаемости бетонов. Эта методика позволяет:

а) определять абсолютную качественную характеристику степени водопроницаемости K_f любых исследуемых тампонажных растворов,

б) проводить лабораторные испытания тампонажных растворов в условиях близких к натурным,

в) определять толщину и структуру корки глинистых растворов.

9) Производственное внедрение рекомендованных глинистых растворов и технологической схемы производства работ на эксплуатируемых участках Тбилисского метрополитена показало целесообразность их применения, что подтверждается приложенной к диссертации документацией.

10) Экономический эффект применения указанных глинистых растворов в производстве тампонажных работ характеризуется снижением стоимости тампонажного глинистого раствора на 30—50% по сравнению с цементным и значительным сокращением объема дорогостоящих буровых работ.

11. На основании выполненных исследований составлены «Технические условия на производство работ по инъекции бентонитовой глины за обделку подземных сооружений», относящиеся к устройству двухслойной противofильтрационной завесы, а также «Тех-

нические указания на производство работ по устранению течей и капелей с применением аскангеля», относящиеся к устройству однослойной противофильтрационной завесы в неагрессивных по отношению к глинистым растворам водах.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах автора:

1. Гардабхадзе Л. Ш., Применение бентонитовых глин для понижения водопроницаемости туннельных обделок. Материалы конференции молодых научных работников по гидротехническому строительству, Сухуми, 1969.
2. Гардабхадзе Л. Ш., Изучение местных глин для нагнетания их за обделку туннелей. Объединенная сессия Закавказских научно-исследовательских институтов по строительству, Ереван, 1969.
3. Гардабхадзе Л. Ш., Методика исследования водопроницаемости тампонажных растворов, Строительство и архитектура, ГрузНИИНТИ, Тбилиси, № 32, 1970.

Кроме того на основании результатов исследований, изложенных в диссертации изданы Управлением Тбилисметрополитена :

1. Гардабхадзе Л. Ш., Беручашвили Г. Н., Технические условия на производство работ по инъекции бентонитовой глины за обделку подземных сооружений. Тбилиси, 1970. (в печати).

ლ. შ. გარდახაძე

თიხოვანი ხსნარების გამოყენება მიწისქვეშა ნაგებობებში
ყამირის წყების შეხწვევადობის შესამცირებლად.

(რუსულ ენაზე)