

628.1

И-71

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
И ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ

УКРАИНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ «ВОДГЕО»

628.1

И-71

# СБОРНИК ТРУДОВ

ЗА 1939 ГОД

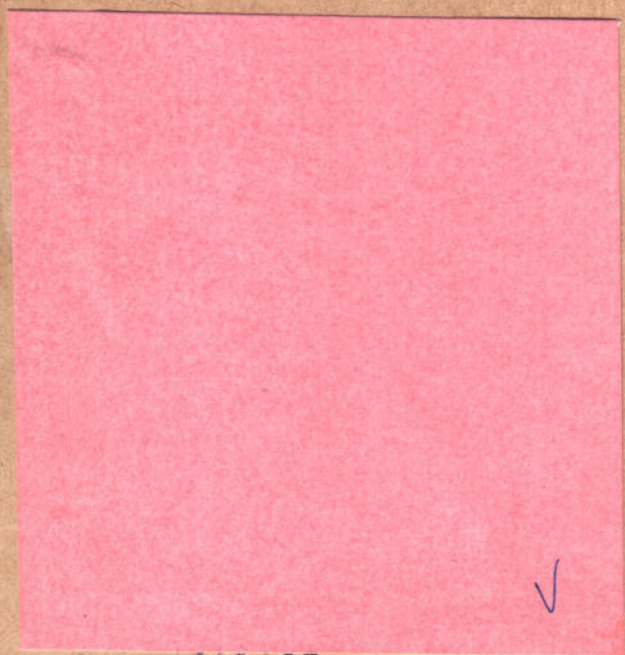
3/6

Учен. зап. кн.-б. УССР  
Институт гидрогеологии  
и инженерной гидрогеологии

ОП

ИЗДАНИЕ УКРАИНСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ГИДРОГЕОЛОГИИ  
КИЕВ 1940

5



ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ, КАНАЛИЗАЦИИ, ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ  
И ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ  
УКРАИНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ „ВОДГЕО“

У  
6281  
0174

# СБОРНИК ТРУДОВ

ЗА 1939 ГОД

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И. С. КУРБАТОВ, Н. Г. МАЛИШЕВСКИЙ,

Я. Т. НЕНЬКО

5027 с/а  
Гидротехнический институт в Харькове

проверено  
1960 г.

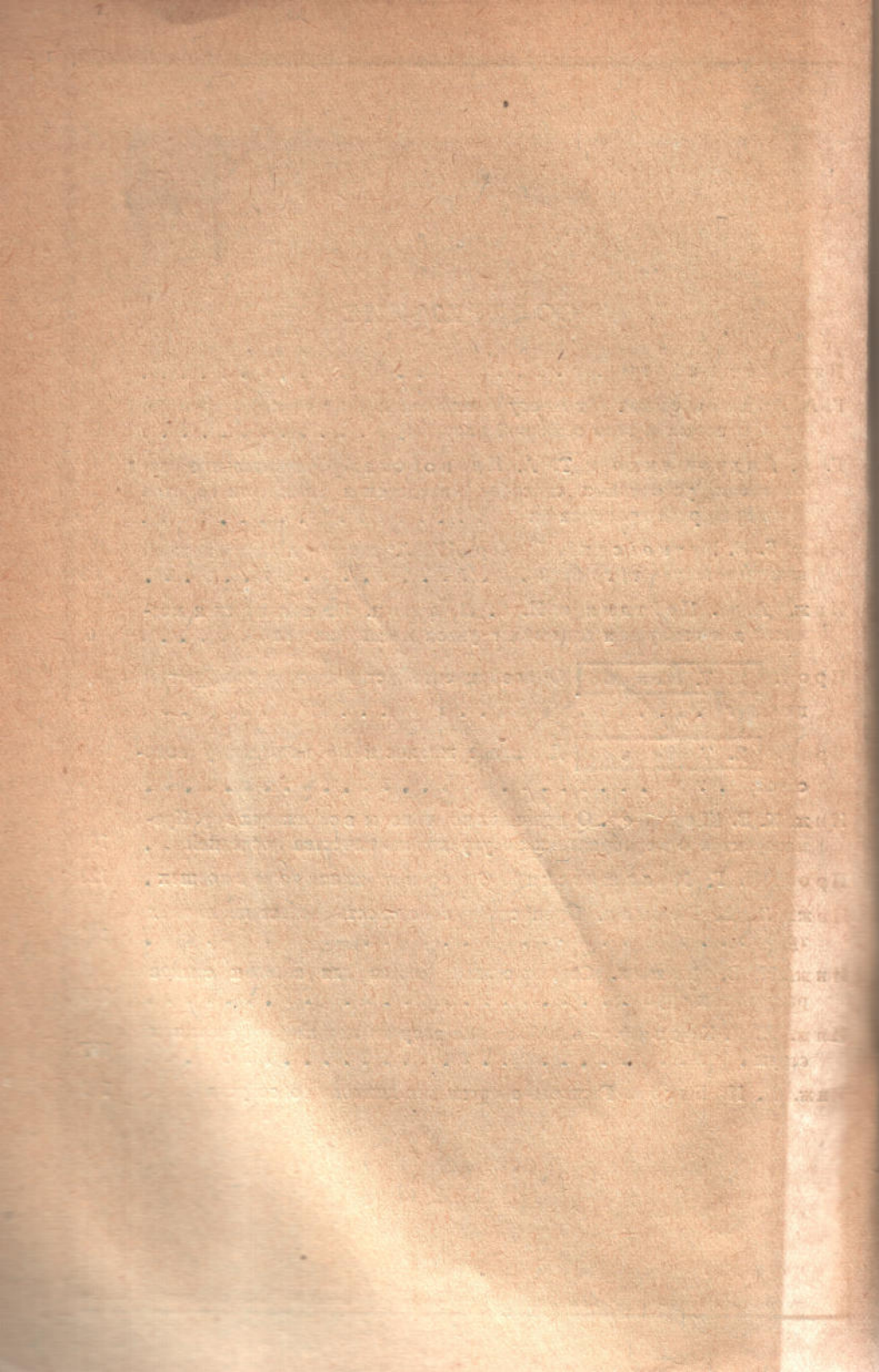
✓  
0

3260  
13

Ответственный редактор И. С. КУРБАТОВ  
Технический редактор Н. А. ВАСИЛЕВСКИЙ

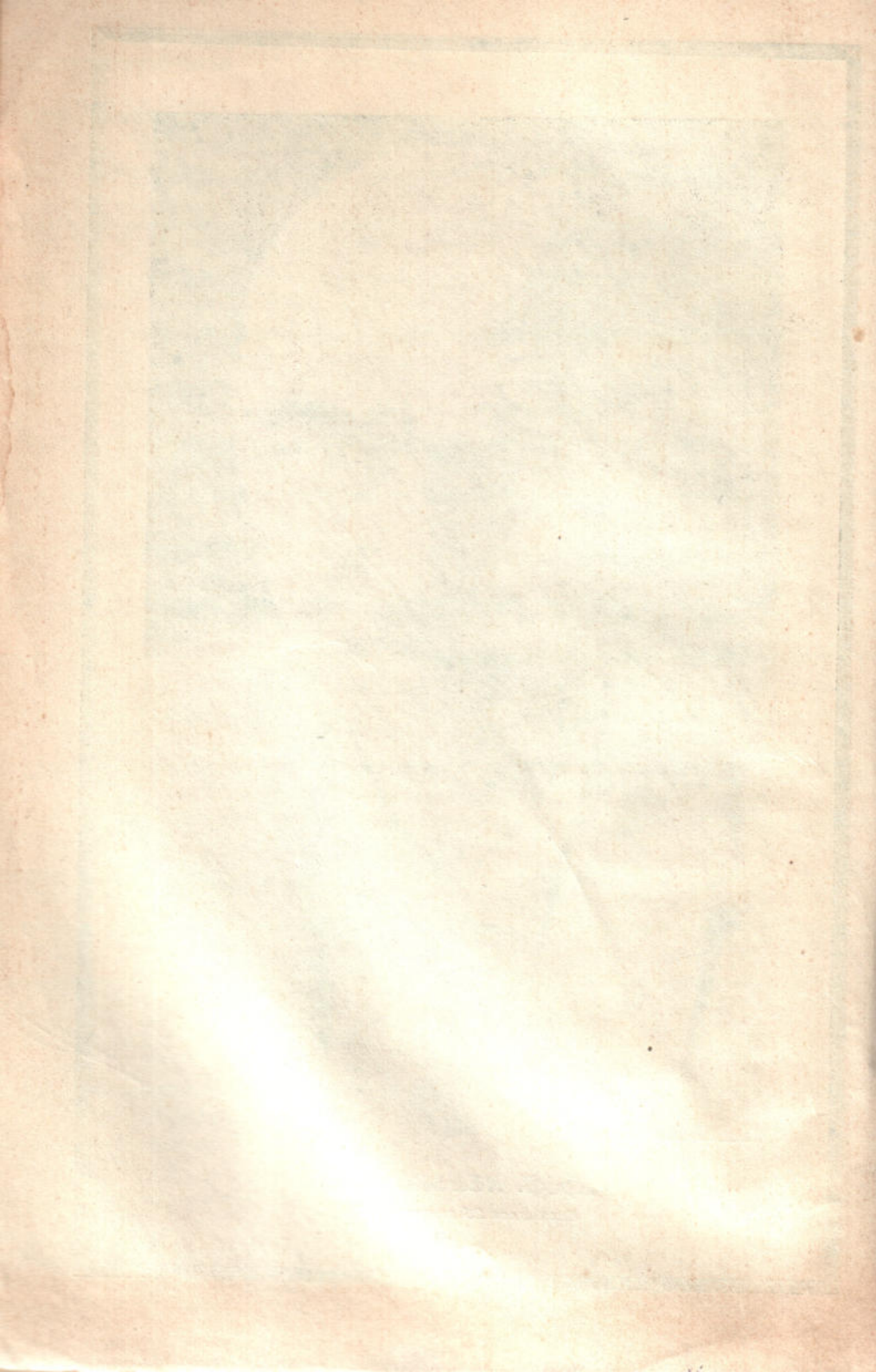
## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Пять лет работы . . . . .	7
Г. А. Андрущенко. К вопросу о выщелачивании гипса из грунтов, укладываемых в тело земляной плотины . . . . .	13
Г. А. Андрущенко и Т. А. Ивановская. Сравнительное рассмотрение ускоренных способов определения влажности грунтов и лабораторная проверка их . . . . .	39
Инж. Б. И. Рутковский. Прибор „НИГЛ“ для определения нижней границы текучести грунтов . . . . .	55
Инж. А. С. Цейтлин и И. С. Лифшиц. Пневматическая мессдоза для измерения давления грунтов и сыпучих тел . . . . .	63
Проф. Я. Т. Ненько О коэффициенте устойчивости сооружений на сдвиг . . . . .	85
Проф. Я. Т. Ненько Движение жидкости по каскадному водосбросу . . . . .	93
Инж. К. В. Щеголев. О причинах порчи воды в скважинах гор. Краматорска и о мероприятиях по улучшению качества последней . . . . .	103
Проф. Н. Г. Малишевский. О теории движения воды в ковшах . . . . .	129
Инж. Л. А. Гехман. Пропускная способность асбестоцементных труб . . . . .	145
Инж. Н. В. Яншин. Сернистый состав для заливок стыков раструбных труб . . . . .	161
Инж. Л. Я. Кранцфельд. Гашение энергии потока расщеплением струи . . . . .	177
Инж. П. И. Бесов. Гаситель энергии для донного водоспуска . . . . .	183





*Проф. НЕНЬКО Я. Т.*  
*Скончался 25 января 1940 г.*





**Проф. НЕНЬКО Яков Тарасович**

25 января с. г. в расцвете творческих сил скончался профессор Я. Т. Ненько, научный руководитель Украинского отделения Всесоюзного научно-исследовательского института «ВОДГЕО».

Покойный был крупным работником и ученым в области гидротехники.

С момента окончания Ленинградского Политехнического института в 1915 году он работал в области гидротехники в Сибири, Крыму, на Кавказе и Украине.

С 1920 года Я. Т. Ненько начинает свою научно-педагогическую деятельность, которую продолжает в ряде высших учебных заведений и научно-исследовательских учреждений до последних дней своей жизни.

В 1922 году появляется его первая оригинальная работа: «Подходы к проектированию земляных плотин»; в последующие годы им было написано около 40 научных работ.

Не прерывая своей научной и педагогической деятельности, Я. Т. Ненько отдает огромное количество времени практической работе в проектных и строительных организациях. Можно сказать, что ни одно гидротехническое сооружение в пределах Украины не было запроектировано и выстроено без его непосредственного участия.

В этой работе Яков Тарасович, используя свои знания и опыт, всегда находил наилучшие решения. Яков Тарасович отдавал много сил и энергии выращиванию работников в области гидротехники, передавая им свой практический опыт и знания.

В 1935 году тяжелая болезнь надорвала физические силы, но не сломила его энергии.

Не имея часто возможности выходить даже из квартиры, Яков Тарасович все же не прекращал своей научной и практической деятельности, его кабинет обычно всегда был полон инженерами, аспирантами, студентами, обращавшимися к нему за консультациями, советами, в чем он никогда и никому не отказывал.

Многие из учеников Я. Т. Ненько, работая в других областях и республиках, поддерживали с ним деловую связь, пользуясь его советами и указаниями.

Во время болезни Яков Тарасович написал свои лучшие работы, среди которых особенно выделяется разработанная им теория движения потока с переменной массой, давшая совершенно новое направление в разрешении ряда гидравлических вопросов.

Будучи крупным ученым и специалистом, Яков Тарасович всегда был исключительно чутким и отзывчивым человеком, завоевавшим общую любовь и уважение со стороны студенчества и профессорского персонала.

---

## ПЯТЬ ЛЕТ РАБОТЫ

Утверждение социалистической системы во всем народном хозяйстве, завершение технической реконструкции промышленности и земледелия на основе новой техники, окончательная ликвидация остатков эксплуататорских классов, досрочное выполнение второго пятилетнего плана по промышленности, семимиллиардный сбор зерна, уничтожение нищеты и безработицы, неуклонный подъем материального и культурного положения трудящихся—это является наиболее ярким выражением полной победы генеральной линии Ленина—Сталина.

Всемирно исторические победы социализма явились результатом огромной работы, проделанной партией, результатом научного марксистско-ленинского предвидения.

Тов. Сталин вдохновляет нас в борьбе, мобилизует миллионы трудящихся в бой против всех врагов коммунизма.

Третья пятилетка открывает новый этап в историческом соревновании социализма с капитализмом.

Чудесные перспективы нашего завтрашнего дня раскрывает доклад тов. В. М. Молотова на XVIII партийном съезде ВКП(б) о третьем пятилетнем плане развития народного хозяйства СССР. Страна социализма перед лицом всего мира заявляет о своей решимости развернуть хозяйственное строительство еще более грандиозное, еще более величественное, чем в две первые пятилетки.

Выполнение третьего пятилетнего плана требует дальнейшего развития социалистического соревнования, дальнейшего повышения производительности труда. Нужна неукротимая энергия всего народа для того, чтобы реализовать великие планы третьей пятилетки.

Небывалый размах гидротехнического строительства в нашем социалистическом государстве ставит перед научно-исследовательскими организациями целый ряд весьма интересных и весьма ответственных задач.

В большинстве своем эти задачи могут быть эффективно разрешены лишь на основе научно-экспериментальных работ, так как своеобразие гидротехнических конструкций, в большинстве случаев, предоставляет решающее слово эксперименту.

Здесь уместно вспомнить слова Леонардо да Винчи: «Когда имеешь дело с водой, в первую очередь обратиться к опыту».

Опыт в гидротехнике должен занимать исключительное место и внимание. Это прекрасно отметил знаменитый итальянский ученый Галлилео Галилей: «Светилам небесным я могу предуказать их путь, но ничего не могу сказать о движении маленькой капли воды».

Кроме решений конструктивных, перед гидротехниками ставятся задачи и осуществления этих конструктивных решений наиболее экономно и более скоро во времени.

Практика Союзного и зарубежного гидротехнического строительства в настоящий момент не обходится без обслуживания специальными научно-исследовательскими учреждениями типа лабораторий.

Ярким примером этого является одно из величайших сооружений Сталинской эпохи: канал Волга—Москва, где научно-исследовательские и полевые лаборатории сыграли огромную роль.

Развитие гидротехнического строительства в УССР в годы Сталинских пятилеток поставило в порядок дня вопрос о необходимости иметь научно-экспериментальную базу.

Такая база начала создаваться в 1933 г. по инициативе управления водного хозяйства Украины при Харьковском филиале Института Водного Хозяйства и окончательно развернулась в самостоятельную научно-исследовательскую организацию в конце лета 1934 года под наименованием Научно-исследовательской гидротехнической лаборатории (НИГЛ).

Целевое назначение этой лаборатории было обслуживание проектно-изыскательских и строительных организаций в области гидротехники. Местонахождением НИГЛ явился Харьков.

Первые кадры НИГЛ комплектовались в основном из инженеров-практиков и небольшого числа научно-педагогических работников. Для НИГЛ было запроектировано в 1932—1933 г. специальное здание с учетом специфичности работ лаборатории. Осуществляться строительство здания начало в 1933 г., но до сих пор здание полностью не закончено.

Первоначально намечался такой состав НИГЛ по отделам:

- а) гидротехника,
- б) инженерная гидравлика,
- в) водоснабжение и канализация,
- д) гидрогеология.

Опыт пятилетней работы потребовал дальнейшего развертывания работы НИГЛ и охвата дополнительных областей и частичного изменения направления работы намечавшихся отделов.

Ныне лаборатория состоит из таких отделов:

- а) гидротехнический,
- б) инженерной гидравлики,

- в) водоснабжения и канализации,
- г) геотехнический,
- д) гидрохимии.

Отделы в настоящем своем виде сформировались окончательно на основе выполняемой тематики; за это время коллектив лаборатории выполнил нижеследующую практическую и научную тематику (по годам):

#### 1935 г.

Движение фильтрационного потока в теле земляных плотин. Исследование транспорта пульпы в деревянных лотках. Техническая инструкция по изысканиям, проектированию, сооружению и эксплуатации малых гидро-электростанций. Изучение ковшей-водоприемников. Движение грунтового потока в разнородных пластах, в плотинах и к колодцам. Рабочая программа контрольно-производственных и научно-исследовательских работ при постройке Ашхабадской намывной плотины. Исследование ковша водоприемника у г. Киева. Проектирование опытного гидро-аккумулятора в связи с обводнением Харьковских рек.

#### 1936 г.

Исследование температурных напряжений в длинных сварных трубопроводах. Исследование левобережного устоя плотины ГЭС № 2 на р. Сев. Донец. Изучение работы многоступенчатого перепада. Контрольно-измерительные приборы на гидро-сооружениях. Ковши и водоприемники (речные водозаборы, с самотечными галлереями, береговые водоприемники, трубные водоприемники, ковши в иностранной практике). Выбор наилучших отверстий плотин. Схема кольматажа Даниловского водохранилища. Изучение работы многоступенчатых перепадов с сужением сливного ребра (щелевидный). Исследование применения шлако-портланд-цемента в строительстве набережных Харьковских рек. Исследование модели русла Болвы для выбора водоприемника Орджоникидзеградской тепло-электроцентрали. Лабораторные испытания модели водослива Даниловской плотины. Изучение ливней в городах Украины. К методике расчета по гидроаккумуляторам. Деревянные плотины на слабых основаниях для малых ГЭС. Материалы гидрогеологических изысканий к проекту Даниловского водохранилища. Затворы донных водоспусков. Вибрационный метод укладки бетонных водоводов, ч. I и II. Заделка раструбов (соединения чугунных водопроводных труб). Исследование антрацита в качестве фильтрующего материала в скорых фильтрах. Определение пропускной способности асбоцементных труб. Изучение движения наносов в трубах. Правила для проектирования речных водоприемников. Исследование фильтрации из Лозовеньковского

водохранилища. Исследование устойчивости облицовки на опытном участке реки Лопань г. Харькова.

### 1937 г.

Техно-экономическое сравнение плотины типа Сенкова с плотиной гравитационного типа. Конструирование и выполнение клапана нового типа для предохранения водоводов от гидравлических ударов. Исследование работ по магистральному коллектору Никопольстроя. Проектирование и испытание предохранительного клапана американского типа. Лабораторные испытания модели водослива Соколовской плотины. Лабораторные испытания модели водосброса Яновской плотины. Гидрогеологические изыскания долины р. Сев. Донец по трассам перекачек в связи с обводнением Харьковских рек. Колебание зеркала грунтовых вод в чаше Даниловского водохранилища при паводке весной 1937 г. Исследование отдельных вопросов, связанных со строительством намывных плотин. Величина водоотлива в траншеях. Исследование и инструкция по экспрессному испытанию цемента. Инструктирование полевых бетонных лабораторий. Стыковые соединения труб. Определение пропускной способности асбесто-цементных труб. Исследование фильтрующих материалов. Рациональный метод укатки земляных плотин. Конструирование, выполнение и испытание эжекторов для очистки колодцев и резервуаров от осадков. Изучение перекатов на р. Сев. Донец у с. Кочеток. Проект оборудования контрольно-измерительной аппаратурой и приборами плотин (Ханженковской, Соколовской и др.).

### 1938 г.

Лабораторные занятия со студентами нескольких харьковских ВУЗ'ов по гидравлике, многоступенчатые перепады со щелевидным сужением сливного ребра для ливнеотоков. Исследование модели плотины Ст. Крымского водохранилища. Исследование перекатов русла р. Сев. Донец у Кочетка. Испытание гасителя на водосбросе в районе с. Кочеток. Испытания модели русла р. С. Донец Алмазо-Марьевского водопровода. Испытание модели профиля водослива Рогозянской плотины. Опыты по движению жидкости переменной массы. Изготовление клапана для предохранения водоводов от гидравлических ударов для завода К. Либкнехта. Изучение шуги и донного льда на Днепре у гор. Николаева. Усовершенствованные способы уплотнения при возведении земляных плотин. Инспекция бетона на стройках Союзводстроя. Проектирование оборудования контрольно-измерительными приборами Ст. Крымской плотины. Контрольно-измерительные приборы для б. Криничной. Лабораторные определения растворов солей и коэффициента фильтрации грунтов Ильинской плотины. Исследование грунтов карьер-

ров для насыпки Ильинской и Терновской плотин. Исследование карьеров суглинков Терновской плотины Кураховстрое.

Полевые лаборатории на Кураховстрое, Ханжонкове, Соколовке, Дзержинске, Рубежной, Горловке. Изготовление опытно-демонстрационных и измерительных приборов для Ереванского Политехнического Института, Харьковского Гидрометеорологического Института и Харьковского Госуниверситета.

1939 г.

Изучение образования сточных вод завода Донсоды. Стыковое соединение труб. Обследование газогенераторной станции с целью образования сточных вод. Составление пособия для проектирования быстротоков повышенной шероховатости с отдельным разделом. Многоступенчатые перепады со щелевидным сужением сливного ребра для ливнеотоков. Конструирование и испытание землесоса системы Калентьева. Изучение гидроизоляций из асфальтов на предмет фильтрации. Изучение и разработка методов очистки сточных вод от производств (Рубежанский Химкомбинат). Проведение опытной эксплуатационной заливки керамиковых канализационных труб серно-песчаным сплавом. Изучение и разработка метода очистки сточных вод одного производства по указанию РХК. Изучение в лабораторных условиях русла р. Суры у гор. Пензы с целью обеспечения бесперебойной работы водоприемника. Изготовление гидравлических приборов для Ивановского Текстильного Института. Изучение влияния вод накопителя в момент его опорожнения на реку Сев. Донец. Изучение на модели условий смешения вод накопителя РХК с водами реки Донца. Изучение вопроса испарения фенольных вод. Исследовательские работы к проектированию внутрицеховой и заводской канализации по Южной группе РХК. Испытание клапанов гасителей системы инж. Рудченко.

Полевые лаборатории на Кураховстрое, Ханжонково, Соколовке, Дзержинске, Рубежной, Горловке, Мариуполе, Штеровке. Изготовление опытно-демонстрационных и измерительных приборов для Ростовского Института ж. д. транспорта, ВОДГЕО, Московского Авиаинститута, Донецкого Индустриального Института, Днепропетровского Горного Института, Харьковского Строительного Института, Южспецпроекта, Московского Энергоинститута, Московского Горного Института, Ивановского Текстильного Института, Грузинского Индустриального Института, Днепропетровского Горного Института.

НИГЛом выпущен ряд печатных работ, из них две монографии и четыре сборника трудов. Сборники эти заключают в себе 28 отдельных статей.

Ряд предложений работников НИГЛ осуществлен и дает определенный эффект в Народном Хозяйстве, к числу их сле-

дует отнести клапан для предохранения трубопроводов от гидравлических ударов, гасители энергии, предложения к очистке сточных вод и др.

Развитие деятельности лаборатории и развертывание охвата новых областей как в тематике, так и в практике отчетливо показывает рост ежегодного объема тематики в денежном выражении:

1935 г. — 305.000, 1936 г. — 350.000, 1937 г. — 420.000, 1938 г. — 560.000, 1939 г. — 1.000.000.

Следует отметить, что бюджетной тематики лаборатория не имела и не имеет ее и в текущем году.

В виду специфичности работ НИГЛ и отсутствия специально подготовленных для этой цели лиц, пришлось выращивать в процессе работы необходимые кадры.

Кроме подготовки научно-исследовательских кадров, коллективом лаборатории проведена солидная работа по подготовке младшего технического персонала—лаборантов как для работы в центральной лаборатории, так и для работы в полевых грунто-технических и бетонных лабораториях.

При НИГЛ были созданы в 1937 г. и 1938 г. курсы, выпустившие 25 человек квалифицированных работников полевых лабораторий из числа стахановцев, выделенных стройками. Сейчас все полевые лаборатории НИГЛ на стройках укомплектованы этими лицами, занимающих должности лаборантов, старших лаборантов и заведующих лабораториями.

Мастерская НИГЛ освоила изготовление ряда моделей и приборов для потребностей НИГЛ, а так же для оборудования лабораторий других организаций (ВУЗ'ов и научно-исследовательских учреждений).

До настоящего времени освоено изготовление таких приборов: трубка Пито-Ребока, трубка Лосиевского, пневматические месдозы, пловучие дождемеры и испарители, грунтоносы, ряд гидравлических демонстрационных приборов клапана для предотвращения гидравлических ударов и др.

Целый ряд сотрудников лаборатории закончил аспирантские занятия, организованные при НИГЛ, и в настоящее время держат кандидатские экзамены для получения возможности защиты диссертации.

Эта устойчивая тенденция роста коллектива за прошлые годы, позволяет последнему надеяться и в будущем продолжать неуклонно свой рост на пользу социалистического строительства.

Приказом Народного Комиссара по Строительству СССР от 23 августа 1939 года Научно-Исследовательская Гидротехническая Лаборатория «НИГЛ» передана в ведение Всесоюзного Научно-Исследовательского Института «ВОДГЕО» на правах Украинского отделения «ВОДГЕО».



## К ВОПРОСУ О ВЫЩЕЛАЧИВАНИИ ГИПСА ИЗ ГРУНТОВ, УКЛАДЫВАЕМЫХ В ТЕЛО ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ СООБЩЕНИЕ О РЕЗУЛЬТАТАХ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ

Воднорастворимые соли в грунтах, укладываемых в тело земляных плотин, при фильтрации воды через сооружение должны неизменно подвергнуться растворению и выщелачиванию. В связи с этим явлением естественно должны возникнуть вопросы: 1) не представляет ли выщелачивание солей из грунтов опасность для тела плотины, нормальной работы ее и не укорачивает ли срок службы последней; 2) какое может быть допустимо количество солей в грунтах, из которых может возводиться земляная плотина. И тот и другой вопросы до настоящего времени не нашли еще своего разрешения.

В литературе пока имеются немногочисленные и весьма неубедительные попытки установления допустимого количества воднорастворимых солей в грунтах, являющихся строительным материалом для земляных плотин.

Попытки установления допустимого содержания воднорастворимых примесей в глинистых грунтах, применяемых в водопорные части сооружений, основанные на скромных данных и сведениях о грунтах, уложенных в тело уже выстроенных плотин, привели некоторых авторов к цифре 2% допустимого содержания солей \*).

Хотя никакой экспериментальной, ни какой-либо другой проверки высказанного положения не производилось (нам, по крайней мере, неизвестны такие материалы), тем не менее названная цифра приобрела почти силу технического условия для возведения земляных плотин. Это же указание фигурирует в «Проекте технических условий и норм проектирования и возве-

\*) Инженеры А. А. Ничипорович и В. С. Истомина. Проектирование и постройка укатанных земляных плотин 1936 г.

дения земляных плотин ВОДГЕО \*) — Гидроэнергопроекта, 1938 года, где рекомендуется считать грунты опасными при содержании в них воднорастворимых солей (по водной вытяжке) более 2% по весу.

В приведенных указаниях не упоминается о характере солей, которые должны входить в допустимую норму. Между тем в грунтах, которые, как правило, служат строительным материалом для земляных плотин в общем количестве встречающихся солей, гипс часто является преобладающим, если не считать карбоната кальция, относящегося к трудно-растворимым солям. Последний вызывает меньше всего опасений.

Грунты, применяемые для возведения плотин, чаще всего разрабатываются в пределах надпойменных элементов долины реки (коренные склоны, террасы) и в них легкорастворимые соли (хлориды и сульфаты натрия, магния, хлорид кальция, карбонат натрия) содержатся в незначительных количествах, в большинстве случаев меньше 1%. Количество же гипса в них часто превышает 2% особенно по долинам рек в южной зоне СССР, с аридным, сухим и теплым климатом.

Кроме того, как известно из довольно многочисленных опубликованных работ, соли натрия, содержащиеся в грунтах, уменьшают фильтрацию воды через грунты с течением времени почти до полного прекращения ее. Это явление объясняется тем, что грунт, содержащий поглощенный натрий, при воздействии воды, диспергируется, частички гидратируются, вследствие чего грунт становится водонепроницаемым. Присутствие в грунтах, укладываемых в тело плотины, солей натрия даже в значительных количествах не должно вызывать опасений в смысле влияния на увеличение фильтрации и размываемость грунтов.

Следовательно, вопрос о допустимом количестве воднорастворимых солей в грунтах, применяемых, как строительный материал для гидросооружений, сводится по существу к вопросу о допустимом содержании гипса, который относится к группе среднерастворимых солей и отличается своим двусмысленным поведением, к тому же слабо изученным.

Легко — растворимые соли (хлориды кальция, хлориды и сульфаты натрия, магния) способны очень быстро переходить в раствор в больших количествах и для определения содержания в грунтах этих солей вполне применим метод водной вытяжки из грунтов.

Вопрос же о растворимости и выщелачиваемости гипса из грунтов является гораздо более сложным, точно также, как и вопрос методики определения содержания его в грунтах. Обычный метод водной вытяжки для определения содержания

---

\*) Всесоюзный Научно-исследовательский институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии.

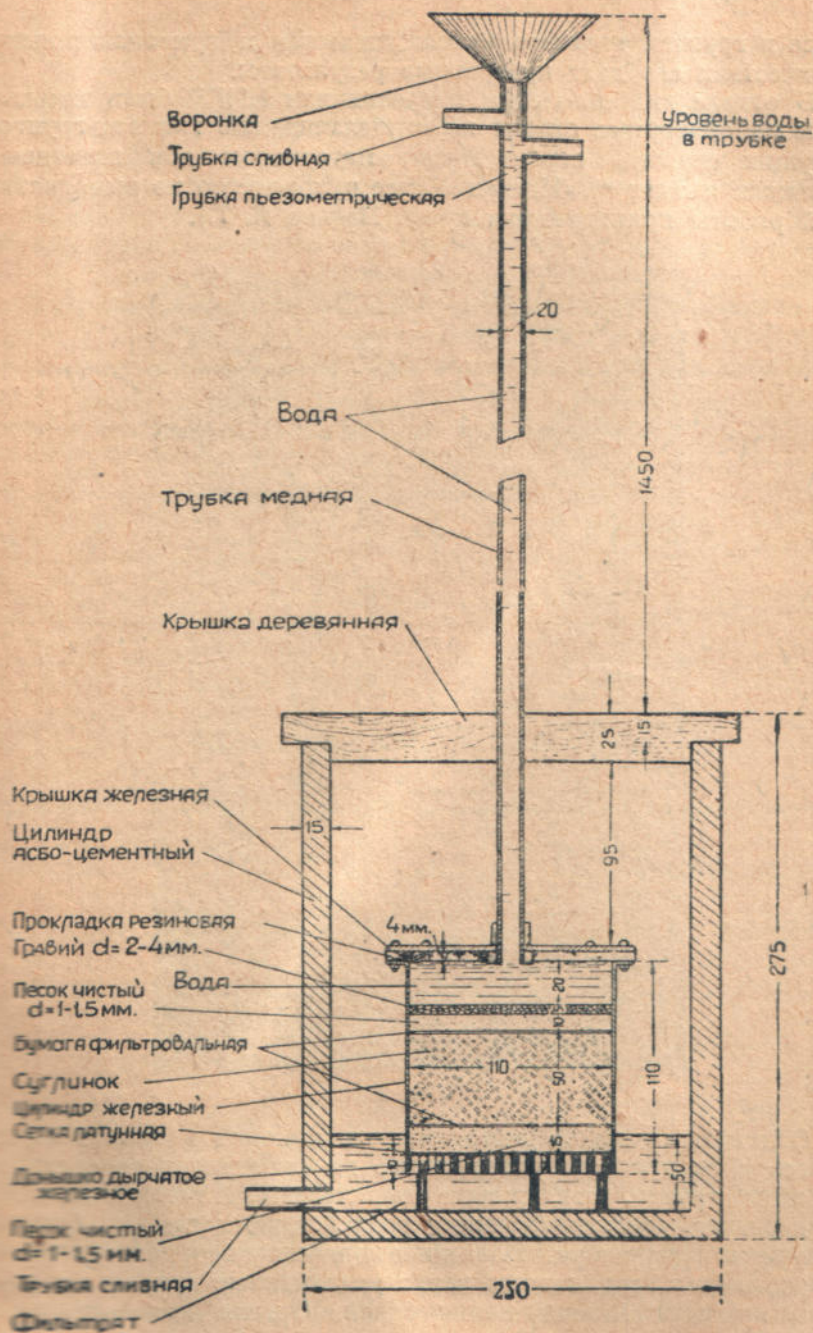


Рис. 1. Фильтрационный прибор для испытания грунтов на выщелачивание солей

гипса в грунтах является несостоятельным и при значительных количествах его дает превратные результаты.

В отделе гидрогеологии и геотехники НИГЛ были произведены лабораторные опыты по выщелачиванию гипса из грунтов, могущих служить строительным материалом для возведения земляных плотин \*). (Идея и общее руководство по выполнению этой работы принадлежали проф. Ненько Я. Т.).

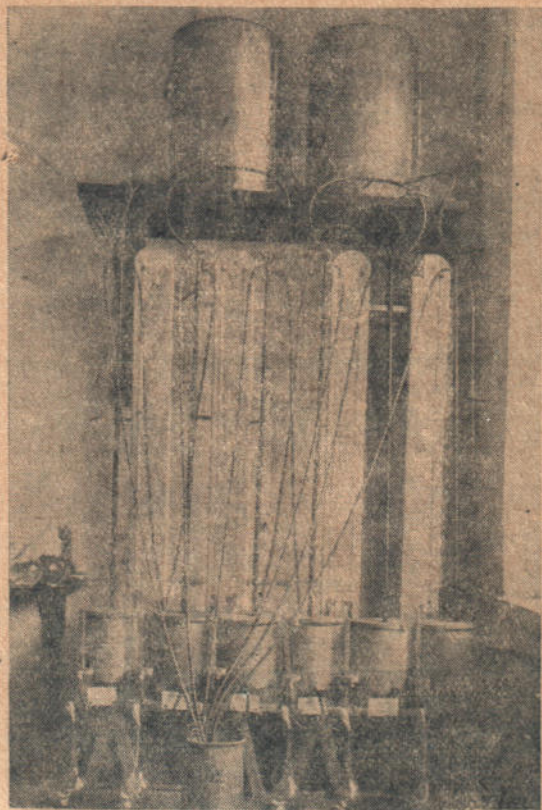


Рис. 2

Основная сущность методических приемов в опытах заключалась в следующем: уплотненные до определенного состояния образцы грунта, содержащие определенные количества гипса, подвергались фильтрационному воздействию воды под большим напорным градиентом. Последнее преследовало цель увеличить скорость фильтрации воды через уплотненные суглинки и ускорить процесс выщелачивания солей. Опыты производились в

\*) В данной статье изложены результаты не всех опытов, так как работа по этой теме еще продолжалась после сдачи статьи в печать.

фильтрационных приборах изображенных на чертеже (рис. 1, стр. 15 и 2, стр. 16).

Прибор состоял из асбесто-цементного сосуда с отводными трубками для пьезометра и для слива фильтрата, в этом сосуде помещался железный стакан, загруженный грунтом. Толщина слоя грунта составляла 5 см, диаметр 11 см. Над образцом грунта, защищенным сверху и снизу фильтровальной бумагой, укладывался крупный песок, прикрытый сверху щебнем; под образцом также находился крупный песок, который снизу поддерживался латунной сеткой. Стакан снизу закрывался дырчатым дном и устанавливался на ножках в сосуд. Сверху стакан герметически закрывался железной крышкой, через которую пропущена медная трубка. Через эту трубку подавалась вода в стакан и через нее же осуществлялся определенный напорный градиент. Вся фильтрационная установка состояла из 6 таких приборов.

Подлежащий испытанию грунт с примесью определенного количества гипса предварительно в том же стакане уплотнялся на гидравлическом прессе до заданного объемного веса.

Для экспериментирования были взяты следующие грунты:

- 1) харьковский карбонатный лессовидный суглинок,
- 2) кураховский (Донбасс, Кураховское строительство) лессовидный загипсованный суглинок.

Харьковский суглинок по механическому составу представляет собою пылеватый суглинок (см. график механического состава, рис. 3, стр. 18).

Химический состав его водной вытяжки и количество карбонатов кальция (по кальциметру) показаны на таблице № 1.

Таблица № 1

Химический состав водной вытяжки из грунта в % (на 100 гр абс. сухого грунта) и в мг/экв. (показаны в знаменателе)									Карбонаты по кальциметру
Цвет	Сухой остаток	Прокаленный остаток	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl	Щелочн. общая HCO <sub>3</sub>	pH	CaCO <sub>3</sub>
Светлозеленый	0,18	0,089	0,007	следы	0,041	0,016	0,035	7,4	8,40%
			1,53		0,85	0,45	0,57		

Этот грунт содержит очень мало воднорастворимых солей хлоридов и сульфатов, т. е. он не засоленный, реакция его почти нейтральная, содержание карбонатов сравнительно невысокое. Надо полагать, что поглощающий комплекс его насыщен кальцием и грунт является довольно устойчивым в смысле изменения его под влиянием выщелачивания.

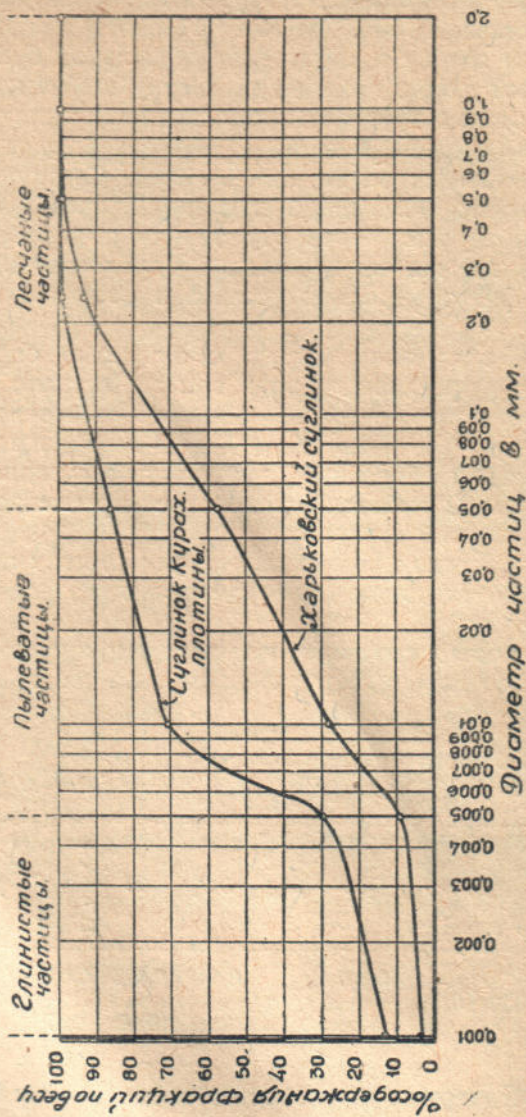


Рис. 3. График механического состава грунтов, исследованных в опытах по выщелачиванию солей (в логарифмическом масштабе)

Кураховский грунт представляет собою по механическому составу пылеватый суглинок (см. график механического состава, рис. 3). Образец его взят из карьера Ильинской плотины.

По сравнению с Харьковским суглинком он является более тяжелым: он содержит глинистых частиц (меньше 0,005 мм) 22—28%, Харьковский содержит 8—9%. В Кураховском грунте содержание пылеватых частиц (0,05—0,005 мм) достигает 57%, в Харьковском—47%. Содержание песчаных частиц в Кураховском грунте достигает 13—18%, в Харьковском до 42%.

Кураховский грунт содержит в значительном количестве кристаллы гипса, ясно видимые невооруженным глазом.

Водная вытяжка из грунта, приготовленная при отношении воды к грунту, как 200 : 1, при взбалтывании в течение 6 часов показала в среднем 2,108‰ аниона сульфата или 43,9 мг/экв, из которых анион сульфата гипса составляет 1,19%, а в пересчете на гипс—2,12%; остальное его количество входит в состав других солей (серноокислый магний и возможно серноокислый натрий). Хлора данный грунт содержит всего 0,08%, карбонатов кальция (по кальциметру—8,40%,  $pH=7,0$ ). Кураховский грунт также имеет, по видимому, поглощающий комплекс насыщенный кальцием и по физико-химической природе мало отличается от Харьковского грунта.

Харьковский грунт механически смешивался с размельченным гипсом, взятым из естественных пластовых месторождений (Артемовских). Химический состав его показан на таблице № 2.

Таблица № 2

Химический состав гипсового камня

Вода %	SO <sub>3</sub> %	CaO %	Примечание
20,50	$\frac{47,86}{119}$	$\frac{31,80}{113}$	В числителе показаны проценты, в знаменателе мг/экв

Грунт в воздушно-сухом состоянии растирался в ступке и просеивался через сито с отверстиями в 1 мм.

Гипсовый камень размельчался и тоже просеивался через сито; для опытов взята фракция крупностью 0,5—1,0 мм.

Из 6 приборов 5 загружались образцами Харьковского грунта, смешанными с гипсом в отношениях: 0% гипса, 2%, 4%, 6%, 8%, а 6-й—образцом Кураховского грунта в состоянии естественной засоленности. Испытания всех образцов на выщелачивание производились одновременно, дистиллированной водой, напорный градиент был один и тот же, равный 32,2.

При выщелачивании учитывались скорости фильтрации, количество профильтровавшейся воды; из каждого литра фильтрата, а по некоторым образцам (с 4%, 6%, 8% гипса) через 1 литр, отбирались пробы на химический анализ, в которых определялись кальций, анион сульфата, хлор, магний и сухой остаток.

Таким методом выполнено две серии опытов: одна серия опытов произведена с образцами грунтов, уплотненными до объемного веса равного в среднем 1,59, 2-я серия—с образцами уплотненными до объемного веса, равного в среднем 1,75.

Уплотненность отдельных образцов в пределах каждой серии опытов характеризуется следующими объемными весами:

Таблица № 3

I серия		II серия	
№№ образцов	Объемный вес	№№ образцов	Объемный вес
№ 1—0% гипса .	1,59	№ 1—0% гипса .	1,75
№ 2—2% „ .	1,62	№ 2—2% „ .	1,74
№ 3—4% „ .	1,59	№ 3—4% „ .	1,74
№ 4—6% „ .	1,58	№ 4—6% „ .	1,74
№ 5—8% „ .	1,59	№ 5—8% „ .	1,75
№ 6—2,12% „ .	1,57	№ 6—2,12% „ .	1,79
(Кураховский грунт)		(Кураховский грунт)	

В пределах каждой серии опытов степень уплотнения образцов была достаточно одинаковой, что дает произведенные опыты вполне сравнительными между собой.

### Результаты опытов

В виду того, что основной характер явлений выщелачивания одинаков в обеих сериях опытов, мы изложим вкратце результаты каждого опыта из второй серии, как более полной, останавливаясь на опытах первой серии только в целях сравнения их с опытами второй серии.

Содержание и состав воднорастворимых солей в грунтах после опытов на выщелачивание показаны на сравнительной таблице анализов водных вытяжек.

Таблица анализов водных вытяжек из грунтов до и после опытов на выщелачивание (таблица № 4).



Таблица № 4

Данные в % на абсолютно сухой грунт и в мг/экв (показана в знаменателе)

Название образцов суглинка	Сухой остаток	Прокаленный остаток	Ca	Mg	SO <sub>4</sub>	Cl	Щелочность обменная HCO <sub>3</sub>	PH	Карбонаты по кальциметру %
Харьковский суглинок исходный до смешивания с гипсом и до опытов . . . . .	0,18	0,089	$\frac{0,0307}{1,53}$	следы	$\frac{0,041}{0,85}$	$\frac{0,016}{0,45}$	$\frac{0,035}{0,57}$	7,4	8,40
Харьковский суглинок: образцы после выщелачивания № 1 . . . . .	0,0682	0,0431	$\frac{0,0109}{0,54}$	нет	нет	нет	$\frac{0,0506}{0,81}$	7,0	„
№ 2 . . . . .	0,0429	0,0239	$\frac{0,0105}{0,52}$	нет	нет	нет	$\frac{0,0436}{0,71}$	7,0	„
№ 3 . . . . .	0,0608	0,0499	$\frac{0,0097}{0,48}$	нет	нет	нет	$\frac{0,0411}{0,67}$	7,0	„
№ 4 . . . . .	0,0509	0,0381	$\frac{0,0105}{0,52}$	н. т	нет	нет	$\frac{0,0432}{0,70}$	7,0	„
№ 5 . . . . .	0,0539	0,0299	$\frac{0,0106}{0,53}$	нет	следы	нет	$\frac{0,0501}{0,82}$	7,0	„
Суглинок Кураховской плотины до выщелачивания . . . . .	1,84	—	$\frac{0,2805}{14,00}$	0,0668 5,49	$\frac{1,1842}{24,65}$	$\frac{0,081}{2,28}$	$\frac{0,0231}{0,37}$	7,0	„
Тот же суглинок образцы № 6 после выщелачивания . . . . .	0,0649	0,0419	$\frac{0,0097}{0,48}$	нет	следы	нет	$\frac{0,0432}{0,70}$	7,0	„

Как видно из приведенной таблицы, все легкорастворимые и средне-растворимые соли были выщелачены из грунтов полностью. Образцы харьковского грунта после выщелачивания потеряли полностью хлор, анион сульфата и магний. Из солей кальция остался один карбонат его почти в том же количестве, так как и после опытов грунт вскипал от соляной кислоты с такой же интенсивностью. Значение  $pH$  уменьшилось до нейтрального.

Кураховский суглинок после выщелачивания стал сходным с харьковским грунтом. Это показывает, что по физико-химической природе харьковский и кураховский грунт близки между собой (по характеру поглощающего комплекса) и отличаются только механическим составом и степенью засоленности.

Какое влияние оказало выщелачивание солей на агрегатное состояние грунтов, косвенно можно судить по изменению пределов пластичности их. Данные о пластичности грунтов до и после опытов приведены на таблице № 5.

Таблица № 5

Пределы пластичности грунтов до и после опытов

№№ образцов и содержание гипса в %	Верхний предел пластичности (нижний предел текучести)		Нижний предел пластичности (граница скатыва- ния)		Число пластич- ности	
	До выще- лачива- ния солей	После выщела- чивания солей	До выще- лачива- ния солей	После выщела- чивания	До выще- лачива- ния	После выщела- чивания
№ 1—0% . . . . .	29,36	29,75	18,83	17,50	10,53	12,25
№ 2—2% . . . . .	28,71	29,82	17,84	17,87	10,87	11,95
№ 3—4% . . . . .	29,73	30,15	19,41	17,65	10,32	12,49
№ 4—6% . . . . .	29,64	29,33	19,59	17,64	10,05	11,70
№ 5—8% . . . . .	31,15	30,10	19,53	17,90	11,62	12,20
№ 6—Курахов- ский грунт 2,1%	30,20	36,73	18,24	21,80	11,96	14,92

Данные таблицы позволяют сделать вывод, что в карбонатных грунтах сравнительно легких по механическому составу (как харьковский суглинок) почти не изменяются пределы пластичности при выщелачивании гипса, т. е. гипс уходит, оставляя грунт без изменения в отношении его агрегатного строения. Незначительное увеличение пластичности наблюдается по Кура-

ловскому суглинку, имеющему более тяжелый механический состав и это увеличение обусловлено, по всей вероятности, влиянием выноса солей на агрегатное состояние грунта.

Данные анализов водных вытяжек и определений пластичности показывают, таким образом, что в результате выщелачивания гипса из карбонатных суглинков, физико-химическая природа их почти не изменяется.

Опыт с образцом № 1 (рис. 4)—не содержащим гипса, является контрольным к остальным опытам в отношении скоро-

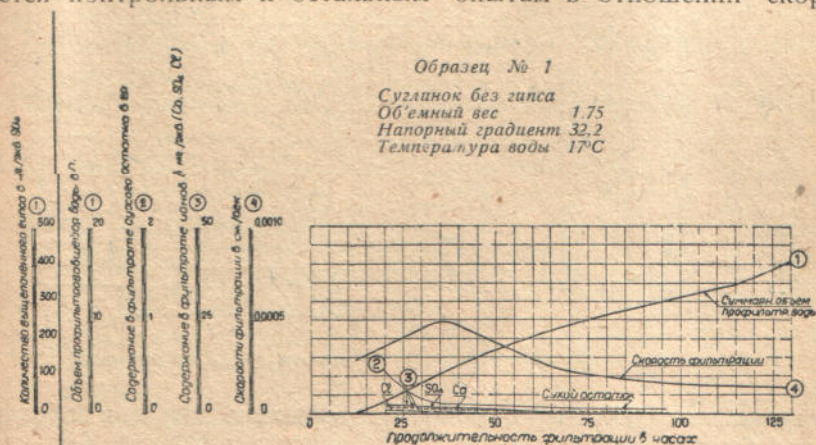


Рис. 4. 2-я серия. График выщелачивания солей из грунта

стей фильтрации. Скорость фильтрации в этом образце в первые часы увеличивается от 0,00028 см/сек до 0,00049 см/сек (максимум), после чего уменьшается и принимает почти стабильное значение, но на более низком уровне, чем в начале фильтрации. Максимум скорости наступил через 35 часов от начала фильтрации, установившееся значение наступило почти через 100 часов после начала фильтрации. Из этого образца также происходило выщелачивание солей, имевшихся в небольшом количестве и выраженных в общей величине сухого остатка.

### Опыт с образцом № 2, содержащим 2% гипса (рис. 5)

Кривая изменения концентраций гипса в фильтратах начинает падать с первых же моментов фильтрации при содержании гипса в грунте, равном около 200 мг/экв аниона сульфата. В начале концентрации кальция в фильтратах имели почти предельные значения растворимости гипса, т. е. 32,5—25 мг/экв кальция (по Кольраушу—предельная растворимость гипса в литре воды при T 18° С выражается в значении 23,4 мг экв Са, что соответствует 2,02 гр гипса). Выщелачивание гипса полностью закончилось почти за 45 часов при количестве профильтровавшейся воды около 12,8 л. Скорость фильтрации с самого начала опыта увели-

чивается от 0,0006 см/сек до 0,001 см/сек (максимум), после чего уменьшается и в конце опыта принимает почти установившееся значение (0,00022 см/сек). Максимум скорости фильтрации наступил через 35 часов и почти соответствует моменту, когда вы-

## Образец № 2

Суглинок с примесью 2% гипса  
Объемный вес 1,74  
Напорный градиент 32,2  
Температура воды 17°C

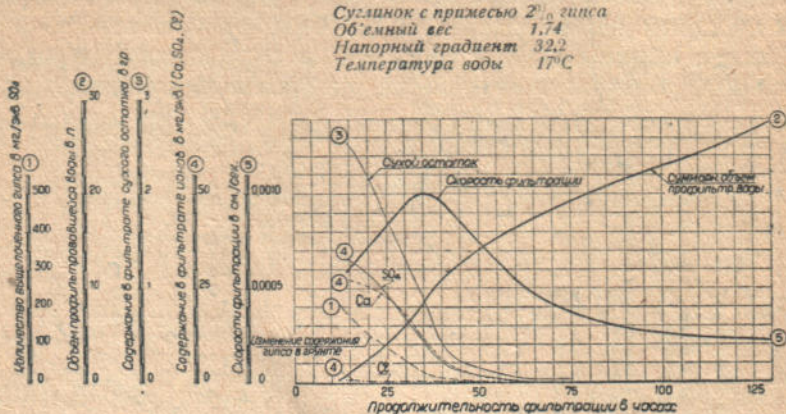


Рис. 5. 2-я сер. я. График выщелачивания солей из грунта

щелачивание подходит к концу (содержание гипса в образце грунта было равно около 25 мг/экв аниона сульфата). Стабилизация скорости фильтрации наступает почти через 110 часов от начала фильтрации.

На выщелачивание 1% гипса из единицы объема грунта пошло около 13,5 таких же объемных единиц воды.

## Образец № 3

Суглинок с примесью 4% гипса  
Объемный вес 1,74  
Напорный градиент 32,2  
Температура воды 17°C

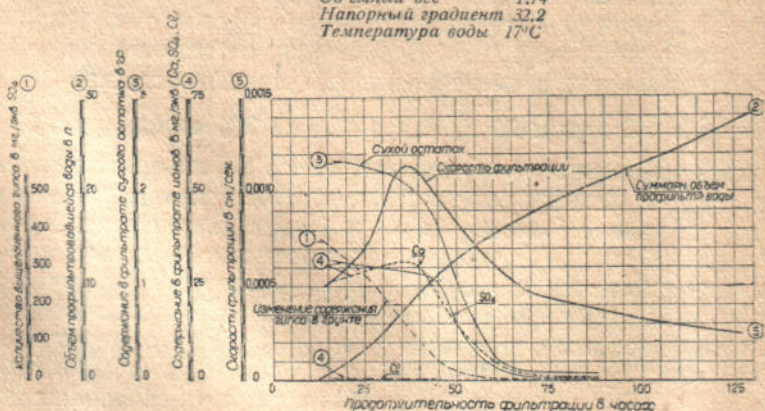


Рис. 6. 2-я серия. График выщелачивания солей из грунта

**Опыт с образцом № 3, содержащим 4% гипса (рис. 6)**

Кривая изменения концентраций гипса в фильтрах в начале опыта идет в течение около 37,5 часов почти параллельно оси абсцисс (до 9 литров), затем круто падает (до 13 литров) и потом идет опять почти параллельно у самой оси абсцисс. На первом участке кривой концентрации гипса являются предельными (32-25 мг/экв кальция на литр). Резкое падение концентраций гипса в фильтрах началось при содержании гипса в грунте около 100 мг/экв анион сульфата. Выщелачивание всего гипса закончилось через 62,5 часов при объеме профильтровавшейся воды около 16 литров.

На выщелачивание 1% гипса из единицы объема грунта потребовалось в среднем около 8,4 таких же объемных единиц воды (рис. 6, стр. 24).

Скорость фильтрации увеличивается от 0,0005 см/сек до 0,0011 см/сек (максимум), затем уменьшается быстро до исходной и потом медленно до 0,00025 см/сек.

Скорость фильтрации достигла максимума через 35 часов к моменту, когда содержание гипса в грунте выражалось в количестве 185 см/сек анион сульфата, что составляло около 44% от исходного содержания гипса в грунте. Установившееся значение скорости фильтрации не было достигнуто в течение всего времени фильтрации — 125 часов.

Образец № 4

Суглинок с примесью 6% гипса  
 Объемный вес 1,74  
 Напорный градиент 32,2  
 Температура воды 17°С

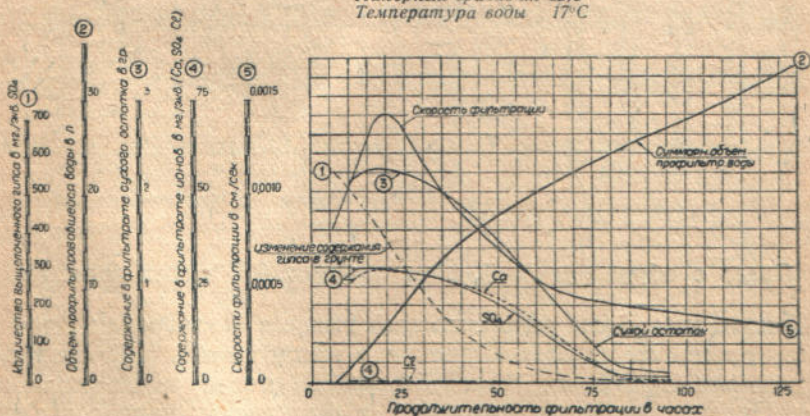


Рис. 7. 2-я серия. График выщелачивания солей из грунта

**Опыт с образцом № 4, содержащим 6% гипса (рис. 7)**

Кривая изменения концентраций гипса в фильтрах идет некоторое время (в продолжении 25 часов) на одном уровне. Концентрации гипса в фильтрах в это время—предельные (30—

27,5 мг/экв кальция). Затем кривая полого падает. Заметное падение концентраций гипса в фильтратах начинается при содержании гипса в грунте около 250 мг/экв аниона сульфата. Выщелачивание всего гипса полностью было закончено в течение 80 часов при объеме профильтровавшейся воды—24 литра.

На выщелачивание 1% гипса из единицы объема грунта потребовалось в среднем около 8,4 объемных единиц воды.

Скорость фильтрации увеличивается от 0,0008 см/сек до 0,0014 см/сек (максимум), после чего с такой же интенсивностью падает до 0,0005 см/сек и медленно до 0,0003 см/сек. Максимум скорости фильтрации был достигнут через 20 часов, при содержании гипса в грунте равном около 400 мг/экв аниона сульфата, что составляет около 72% от всего количества гипса в грунте. Установившееся значение скорости не было достигнуто к концу опыта (через 125 часов).

Образец № 5

Суглинок с примесью 8% гипса  
Объемный вес 1,75  
Напорный градиент 32,2  
Температура воды 17°C

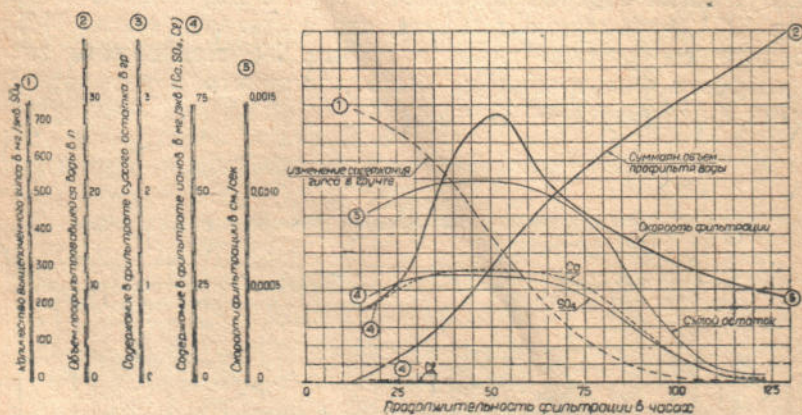


Рис. 8. 2-я серия. График выщелачивания солей из грунта

Опыт с образцом № 5, содержащим 8% гипса (рис. 8)

Кривая изменения концентраций гипса в фильтратах с начала опыта держится на одном уровне в продолжении 60 часов при предельных значениях 30—27,5 мг/экв Са, после чего полого падает. Падение концентраций гипса в фильтратах началось с того момента, когда содержание гипса в грунте было равно около 200 мг/экв аниона сульфата.

Гипс почти полностью был выщелачен в течение 110 часов объемом воды в 32,8 литра.

На выщелачивание 1% гипса из единицы объема грунта пошло в среднем около 8,6 объемных единиц воды.

Скорость фильтрации увеличивается с начала опыта от 0,0004 см/сек до 0,0014 см/сек (максимум), затем падает к концу опыта до 0,00045 см/сек.

Скорость фильтрации достигает максимума через 50 часов, после начала фильтрации, когда содержание гипса в грунте было равно около 400 мг/экв аниона сульфата, т. е. около 54% всего количества гипса.

Образец № 6

Суглинок Кураховской плотины  
С содержанием гипса 2,1%  
Напорный градиент 32,2  
Температура воды 17°C

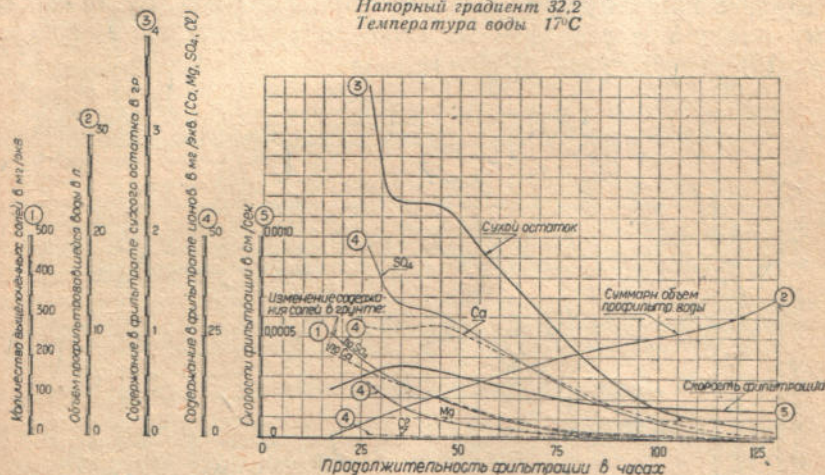


Рис. 9. 2-я серия. График выщелачивания солей из грунта

Опыт с образцом № 6 — Кураховский грунт, содержащий 2,12% гипса (рис. 9)

Кривая концентраций гипса (по кальцию) идет в продолжение 45 часов почти на одном уровне при значении близком к предельному (27,5 мг/экв) и затем полого падает. Кривая концентрации аниона сульфата с начала опыта в продолжение 33-х часов падает круто на более высоком уровне, чем кривая кальция, на этом участке она выражает выщелачивание гипса и легкорастворимых солей — сульфатов магния и др. Затем она падает полого через 50 часов фильтрации и сливается с кривой кальция, что говорит о выщелачивании с этого времени одного гипса.

Падение концентраций гипса (по кальцию) в фильтратах началось через 45 часов после начала фильтрации, в момент, когда содержание гипса в грунте было равно около 100 мг/экв кальция.

Весь гипс был выщелачен в течение 110 часов при количестве профильтрованной воды около 11 л.

На выщелачивание 1% гипса из единицы объема грунта пошло в среднем около 10,9 объемных единиц воды.

Скорость фильтрации в начале опыта увеличивается от 0,00025 см/сек до 0,00035 см/сек (максимум), затем уменьшается и после 100 часов фильтрации становится почти постоянной (0,00015 см/сек).

Скорость фильтрации достигает максимума через 35 часов, когда содержание гипса в грунте выражалось в количестве около 130 мг/экв кальция, т. е. около 60% всего гипса.

Кривые концентраций солей и скоростей фильтрации по каждому опыту представлены на сводном сравнительном графике (рис. 10).

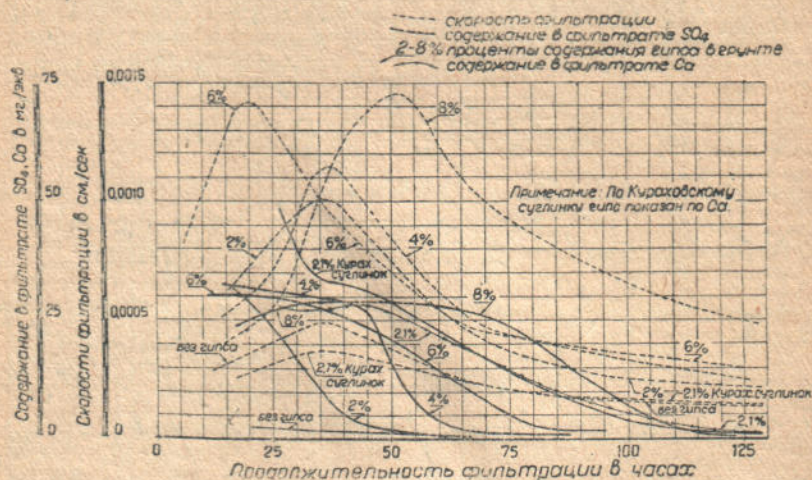


Рис. 10. 2-я серия. Сравнительный график изменения концентрации гипса в фильтратах при выщелачивании из грунтов

По этому графику можно видеть, что в грунтах с высоким содержанием гипса (больше 2%) максимум скоростей фильтрации соответствует участкам кривых с самым высоким значением концентраций гипса в фильтратах.

Интенсивность выщелачивания гипса, выраженная в мг/экв в час представлена на сводном графике (рис. 11, стр. 29).

Этот график показывает, что в грунтах с высоким содержанием гипса (больше 2%) и при данном состоянии уплотнения их максимумы интенсивности выщелачивания гипса соответствуют максимумам скоростей фильтрации. Это, как увидим ниже, не может быть общим явлением. По каждому опыту отношение расхода воды к выщелаченному количеству гипса в единицу времени к концу выщелачивания резко возрастает (рис. 12, стр. 29).

Максимальная интенсивность выщелачивания наблюдалась в образцах грунтов с 6% и 8% гипса, где она была равна



16 мг/экв аниона сульфата в час и 15 мг/экв аниона сульфата в час. Наименьшая интенсивность выщелачивания наблюдалась в грунтах с 2% гипса (Харьковском и Кураховском)—12 мг/экв аниона сульфата в час и 10 мг/экв аниона сульфата в час (здесь такая интенсивность выщелачивания была в начале опытов, затем она быстро падала).

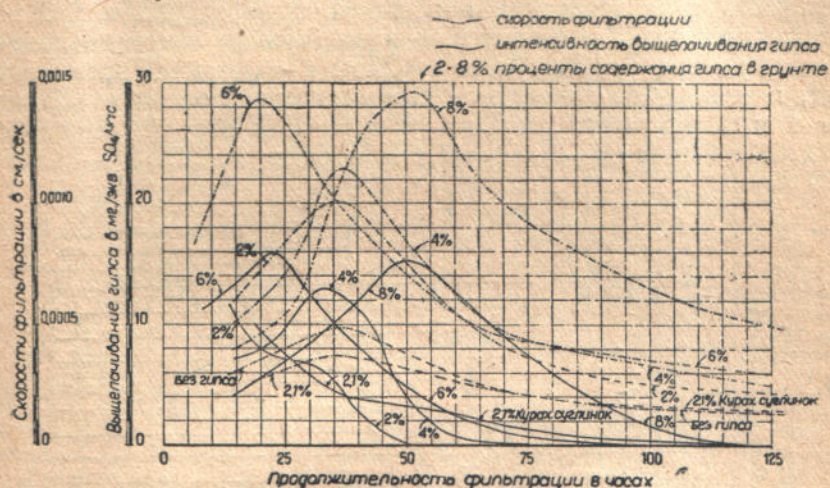


Рис. 11. 2-я серия. Сравнительный график интенсивности выщелачивания гипса из грунтов

Результаты опытов по выщелачиванию гипса из грунтов менее уплотненных (до объема веса равного в среднем 1,59—1 серия опытов) в некоторых отношениях резко отличаются от результата опытов второй серии.

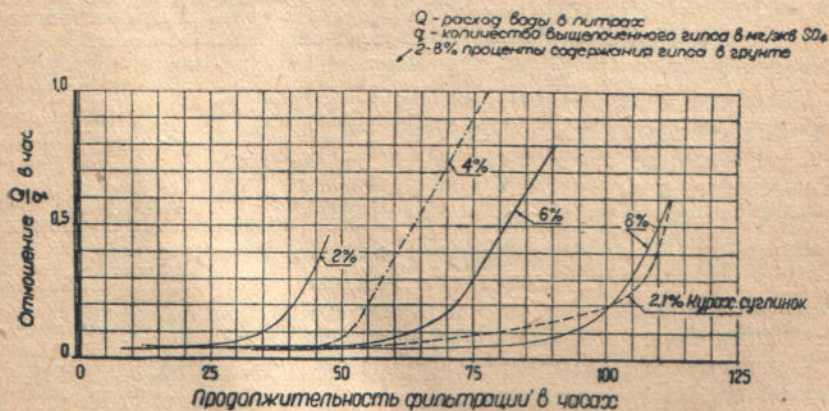


Рис. 12. 2-я серия. График отношения расхода воды к количеству выщелаченного гипса в единицу времени

Изменения концентраций гипса в фильтратах и скорости фильтрации по опытам первой серии представлены на сводном сравнительном графике (рис. 13).

Кривые изменения концентраций гипса в фильтратах аналогичны тем же кривым в опытах второй серии, но продолжительность выщелачивания при максимальных предельных концентрациях гипса в фильтратах здесь меньше, падение концентраций во времени наступает быстрее. Содержание гипса в грунтах, при котором начинается падение концентраций в образцах № 4 и 5, почти то же, что и в опытах второй серии (250, 200 мг/экв аниона сульфата), в образце же № 3 — больше 200 мг/экв).

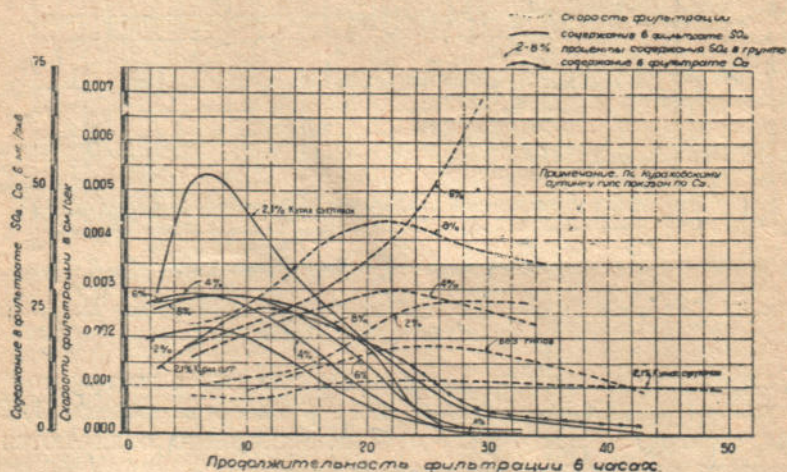


Рис. 13. 1-я серия. Сравнительный график изменения концентрации гипса в фильтратах при выщелачивании из грунтов

Скорости фильтрации, как правило, гораздо большие в опытах первой серии, по сравнению с опытами второй серии.

Так, в опыте № 1 (без гипса) скорости фильтрации больше в 2—3 раза, в опыте № 2 в 1,5—2 раза, в опыте № 3—почти в 3 раза, в опыте № 5—почти в 5 раз, в опыте № 6—почти в 3 раза—против соответствующих опытов второй серии.

Как показывает упомянутый график, скорости фильтрации достигают максимумов уже к концу выщелачивания, когда концентрации гипса в фильтратах незначительны.

Интенсивность выщелачивания гипса из грунтов в опытах первой серии представлена на сводном графике (рис. 14, стр. 31).

Этот график показывает, что гипс выщелачивается с максимальной интенсивностью при меньших, не достигших максимумов, скоростях фильтрации.

Интенсивность выщелачивания в опытах первой серии с образцами, содержащими больше 2% гипса, гораздо больше, чем в опытах второй серии. Так, например, максимальная интенсивность выщелачивания в образце № 5 с примесью 8% гипса составляет 28 мг/экв аниона сульфата в час.

Объемы воды, которые пошли на выщелачивание 1% гипса из единицы объема грунта по обеим сериям опытов близки между собой.

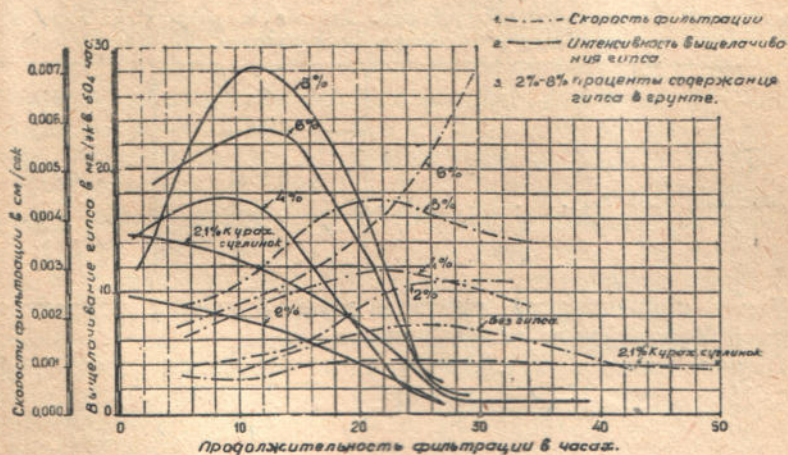


Рис. 14. 1-я серия Сравнительный график интенсивности выщелачивания гипса из грунтов

Так, по второй серии опытов для выщелачивания 1% гипса из единицы объема грунтов, содержащих больше 2% гипса, требуется около 8,5 объемных единиц воды, в грунтах же — с содержанием в 2% гипса, — около 13,5 объемных единиц воды.

По первой серии опытов — для выщелачивания 1% гипса из единицы объема грунтов, содержащих 4—8% гипса, требуется 8—10 объемных единиц воды и для грунтов, содержащих 2% гипса — около 15 объемных единиц воды, т. е. несколько больше, чем в опытах второй серии.

Продолжительность же выщелачивания гипса в первой серии опытов в 2—3 раза меньше, чем во второй серии.

В описанных опытах первой и второй серии выщелачивание гипса из грунтов производилось как об этом было сказано выше, дистиллированной водой. Для выяснения интенсивности выщелачивания гипса в условиях, более или менее близких к натурным, были поставлены по такой же методике опыты на выщелачивание гипса из грунтов гипсовым же раствором.

Приведем некоторые данные этих опытов с образцом харьковского лессовидного суглинка с примесью 2% гипса и с об-

разном кураховского лессовидного суглинка, содержащего 2,1% гипса.

Образец харьковского грунта был уплотнен до объемного веса, равного 1,69, образец кураховского суглинка был уплотнен до объемного веса, равного 1,78.

Гипсовый рассол был приготовлен в концентрации, показанной на таблице № 6.

Таблица № 6

Химический состав гипсового рассола. Данные в граммах на литр воды и мг/экв (показаны в знаменателе):

	Ca	SO <sub>4</sub>
Гипсовый рассол . . . . .	0,1881	0,4443
	9,39	9,25

Такая концентрация гипса в воде близка к концентрации гипса в Кураховском водохранилище.

Данные опытов представлены на сравнительном графике (рис. 15).

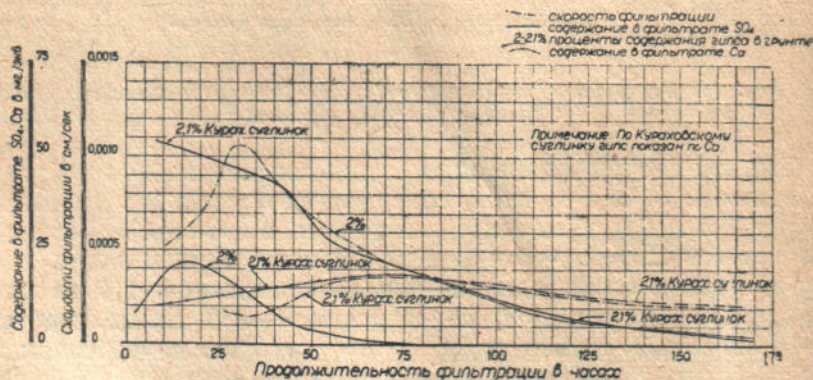


Рис. 15. 3-я серия. Сравнительный график изменения концентрации гипса в фильтратах при выщелачивании из грунтов гипсовым рассолом

Сравнение этих опытов с соответствующими опытами второй серии показывает следующее.

Концентрации гипса в фильтратах при выщелачивании рассолом не достигают такой величины, как при выщелачивании дистиллированной водой, причем разница почти равна концентрации гипса в рассоле.

При выщелачивании гипсовым рассолом кривая изменений

концентраций гипса в фильтрах держится некоторое время на постоянном уровне и затем полого падает, в опытах же с дистиллированной водой кривая изменения концентраций начинает круто падать с самого начала фильтрации.

Скорости фильтрации в опытах по выщелачиванию гипсовым рассолом мало отличаются от скоростей фильтрации в опытах с дистиллированной водой и изменяются по тому же закону. Выщелачивание в опытах с гипсовым рассолом было замедлено в образце харьковского грунта с примесью 2% гипса—на 15 часов, и в Кураховском грунте—на 50 часов против соответствующих опытов по выщелачиванию дистиллированной водой.

В опытах с гипсовым рассолом на выщелачивание 1% гипса из единицы объема пошло таких же объемных единиц воды: в харьковском грунте—15,8 и в кураховском—17,0, в то время, как в соответствующих опытах второй серии (выщелачивание дистиллированной водой)—эти величины равны 13,5 и 10,9.

Эти данные ясно указывают на замедляющую роль гипсового рассола в процессе выщелачивания гипса из грунтов. Растворимость гипса в таком рассоле уменьшается соответственно концентрации рассола, что при одинаковых скоростях фильтрации влечет за собой замедление выщелачивания.

Эти опыты позволяют также высказать предположение, что изменение скоростей фильтрации (увеличение до максимума, затем падение) происходит не вследствие физико-химических изменений в структурном состоянии грунта, а вероятнее всего, вследствие изменения пористости при выщелачивании гипса. Пористость вначале увеличивается, механически, за счет образования дополнительных пор в грунте при растворении кристаллов соли, а затем уменьшается под влиянием разрушения вновь образованного скелета. Такой вывод можно сделать потому, что в данном случае кальций, как структурообразователь, не исчезает, а находится в грунте все время в неубывающем количестве, поступая в составе гипсового рассола, фильтрующего через грунт.

Так как описанные в этой статье опыты производились с лессовидными суглинками, то выводы из этих опытов естественно распространяются только на загипсованные лессовидные грунты более или менее тяжелого механического состава (пылеватые суглинки, пылеватые глины).

### Выводы

1. Ход и интенсивность выщелачивания гипса из грунтов при всех прочих равных условиях зависят в основном от неразрывного комплекса таких факторов:

а) количества гипса в грунте, б) уплотненности грунта, в) механического состава грунта, г) химического состава фильтрующейся воды через грунт.

Эти факторы в своей взаимосвязи влияют на скорости фильтрации воды через грунт, на изменение концентраций гипса в фильтрующейся воде и в конечном счете на интенсивность выщелачивания, причем степень влияния каждого фактора зависит от степени выраженности остальных факторов.

2. В грунтах одного и того же механического состава и одинаково уплотненных, присутствие гипса резко увеличивает скорость фильтрации по сравнению с незагипсованным грунтом. В грунтах одинакового механического состава и с одинаковым содержанием гипса уплотнение грунта вызывает уменьшение скорости фильтрации.

В грунтах, содержащих одинаковое количество гипса, и одинаково уплотненных, скорости фильтрации будут тем больше, чем легче механический состав грунта.

3. Во всех грунтах как незагипсованных, так и загипсованных в различной степени изменение скоростей фильтрации с течением времени происходит по одному и тому же закону: в начале фильтрации скорости увеличиваются до максимума, затем уменьшаются и приобретают очень малый градиент падения

$$\frac{dV}{dt}$$

на более низком уровне, чем исходный. Увеличение уплотненности грунта не влияет на такой характер изменения скоростей фильтрации.

Выраженность максимума интенсивнее в грунтах, содержащих больше гипса и в грунтах имеющих более легкий механический состав.

Влияние уплотнения грунта на величину отношения максимума к начальной скорости фильтрации не обнаруживается в ясной степени: отношение:  $\frac{\text{максимальной скорости}}{\text{начальной скорости}}$  сохраняет для всех опытов с грунтами одинаковой степени засоленности почти одинаковую величину. Однако, в менее уплотненных грунтах максимум этот наступает во времени несколько раньше.

Падение скоростей фильтрации ниже максимумов начинается в тот момент, когда гипс в своей значительной части еще не выщелачен. Наименьшего же значения скорости фильтрации достигают после полного выщелачивания гипса.

4. Величина и изменение концентраций гипса, растворяющегося в фильтрующейся через грунт воде, в сильной степени зависят от содержания гипса в грунте и от скорости фильтрации.

При больших количествах гипса в грунте, величина концентраций его в фильтрующейся воде определяется пределом ра-

створимости его при данных условиях. При малых количествах гипса в грунте, концентрации его в фильтрующейся воде не достигают предела растворимости, но они тем больше, чем больше гипса содержит грунт.

При больших количествах гипса в грунте, чем больше гипса содержит грунт, тем дольше концентрации его в фильтрующейся воде остаются предельными и постоянными.

При данном содержании гипса в грунте предельная концентрация его в фильтрующейся воде может быть достигнута только при скоростях фильтрации, не превышающих определенной величины.

5. Предел растворимости гипса при условиях наших опытов был равен около 30 мг/экв аниона сульфата или кальция в литре воды (что соответствует 2,6 гр гипса), который вообще по литературным данным является наибольшим.

Достигнут был этот предел и концентрации оставались постоянными в течение некоторого периода времени—в опытах с образцами грунтов, содержащих 4—8% гипса при скоростях фильтрации не превышающих 0,003 см/сек.

При содержании же гипса в грунте около 2% концентрации его в фильтрате бывают равны пределу растворимости только в начальный момент фильтрации и затем быстро падают ниже этого предела.

6. Связь между процессом выщелачивания и изменением скоростей фильтрации не вскрывается произведенными опытами в ясной степени. Однако, более интенсивная выраженность максимума скоростей фильтрации в грунтах, более загипсованных дает основание предполагать, что увеличение скоростей фильтрации обусловлено увеличением эффективной в смысле фильтрации пористости грунта при выносе гипса. В дальнейшем эта пористость повидимому уменьшается, и скорость фильтрации приобретает ту же величину, что и в незагипсованных грунтах.

Периоду увеличения скоростей фильтрации соответствуют максимальные концентрации гипса в фильтрующейся воде.

7. Если максимальные скорости фильтрации не превышают определенного предела, интенсивность выщелачивания гипса пропорциональна скоростям фильтрации. Максимуму скорости фильтрации в этом случае соответствует максимальная интенсивность выщелачивания.

8. Интенсивность выщелачивания гипса из грунтов одинакового механического состава тем больше, чем больше гипса содержит грунт и наоборот, с уменьшением содержания гипса в грунте интенсивность выщелачивания уменьшается.

Интенсивность выщелачивания гипса из грунтов одинакового механического состава и содержащих одинаковые количества гипса уменьшается при увеличении уплотненности грунтов.

9. Для выщелачивания 1% гипса из единицы объема грунтов, содержащих 4—8% гипса, при идеальных условиях растворения

требуется в среднем 8—10 объемных единиц воды по отношению к объему грунта; для грунтов, содержащих до 2% гипса—13,5—15 объемных единиц воды. Причем объем воды, необходимый для выщелачивания 1% гипса при одинаковом содержании его в грунтах зависит от скоростей фильтрации воды в них.

При больших скоростях фильтрации этот объем воды будет больше.

Продолжительность же выщелачивания гипса из грунтов при больших скоростях фильтрации будет значительно меньше.

10. Величина отношения количества воды к выщелаченному количеству гипса в продолжение процесса выщелачивания одинакова: вначале эта величина держится постоянной в течение определенного периода времени и затем к концу выщелачивания резко начинает возрастать. К этому времени же и скорость фильтрации делается наименьшей.

В одинаковых по механическому составу грунтах величина указанного отношения сохраняется постоянной тем дольше, чем больше гипса содержит грунт.

Таким образом, выщелачивание гипса происходит с повышенной эффективностью в начале фильтрации, затем постепенно тухает.

11. При выщелачивании гипса из грунтов гипсовым раствором растворимость гипса будет меньше, чем в дистиллированной воде на величину, равную концентрации гипса в рассоле, что является физически очевидным.

12. Скорости фильтрации при выщелачивании гипса из грунтов гипсовым рассолом мало отличаются от скоростей фильтрации при выщелачивании гипса дистиллированной водой и изменяются по такому же закону.

13. Для выщелачивания 1% гипса из единицы объема грунта требуется гипсового рассола больше, чем дистиллированной воды, притом—на величину, зависящую от концентрации гипса в рассоле.

В связи с этим продолжительность выщелачивания гипса раствором будет соответственно большая, чем при дистиллированной воде, так как скорости фильтрации в обоих случаях одинаковы.

\*  
\* \* \*

Приведенные данные об интенсивности выноса солей дистиллированной водой характерны для идеальных условий выщелачивания.

В натуральных условиях интенсивность выщелачивания будет гораздо меньшей, за исключением особых случаев, когда фильтрующиеся воды содержали бы соли, способствующие усиленному выщелачиванию (аммонийные и др.).

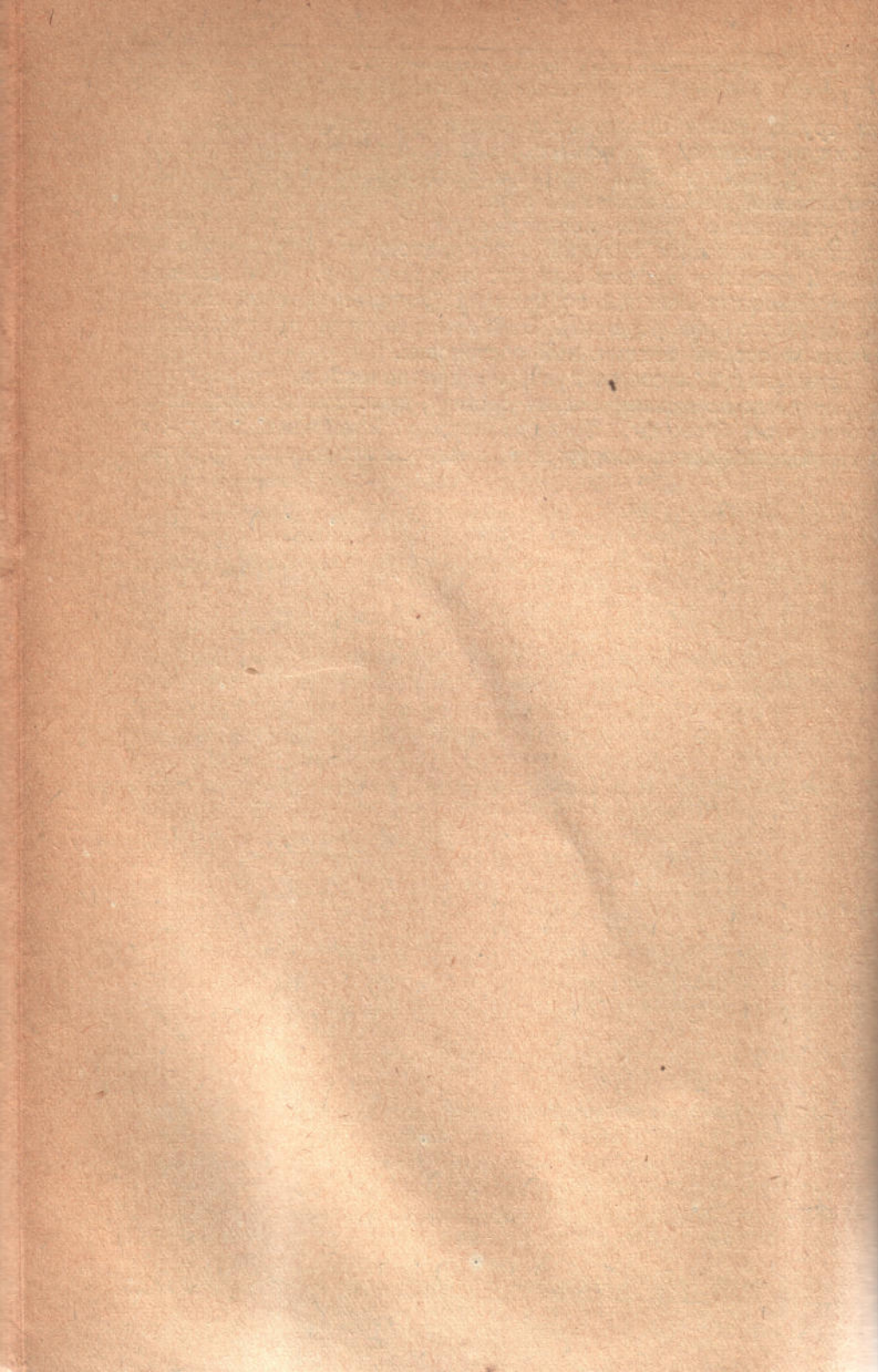
Наши опытные работы, описанные в настоящей статье, считаем лишь только началом в том большом экспериментальном



ном труде, какой предстоит в будущем; однако, даже эту скромную попытку осветить спорный и щепетильный вопрос мы считаем ценной, так как она переводит вопрос из субъективных размышлений на объективный путь.

Проделанные опыты приоткрывают только часть из всего сложного комплекса явлений фильтрационного выщелачивания солей и оставили все же для нас загадкой картину изменения фильтрационных явлений во времени (характер кривой изменения скоростей фильтрации). Это явление нами предположено изучить в особой специальной обстановке.

Наши опыты позволяют вчерне предположить, что в грунтах, тяжелых по механическому составу, присутствие гипса даже в количестве, большем 2%, не является угрожающим для работы гидротехнических сооружений, построенных из этих грунтов.



## СРАВНИТЕЛЬНОЕ РАССМОТРЕНИЕ УСКОРЕННЫХ СПОСОБОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ И ЛАБОРАТОРНАЯ ПРОВЕРКА ИХ

Данная работа была выполнена в отделе гидрогеологии и геотехники НИГЛ и имела целью установление наиболее скорого и в то же время достаточно точного способа определения влажности грунтов, который мог бы быть рекомендован к применению в условиях полевых лабораторий.

Рассмотрению были подвергнуты три ускоренных способа:

- 1) способ М. В. Ивановой;
- 2) способ цилиндра в модификации сотрудника НИГЛ А. С. Яркового;
- 3) способ агронома Н. Низенькова.

Все указанные способы являются разновидностью одного и того же пикнометрического метода.

Способ М. В. Ивановой (опубликован в ее руководстве „Методы исследования грунтов“ — 1932 г.) является пикнометрическим весовым способом.

Производятся взвешивания:

- а) образца влажного грунта;
- б) пикнометра с водой;
- в) пикнометра с водой и грунтом.

Определяется удельный вес грунта.

На основании результатов взвешиваний составляются уравнения, в результате решения которых находится вес воды в грунте.

Пусть

$A$  — вес пикнометра с водой,

$B$  — вес влажного грунта,

$C$  — вес пикнометра с водой и грунтом,

$X$  — вес воды в грунте,

$B - X$  — вес сухого грунта,

$Y$  — объем сухого грунта, равный объему вытесненной им воды.

$\gamma$  — истинный удельный вес грунта.

Составляются два уравнения:

$$(A + B - x) - C = Y$$

$$\frac{B - x}{\gamma} = Y.$$

Из решения этих уравнений относительно  $X$ , получается следующая формула:

$$X = \frac{\gamma A + B(\gamma - 1) - c\gamma}{\gamma - 1}.$$

В данном способе объем грунта, равный объему вытесненной воды ( $Y$ ) при решении уравнений исключается и остаются

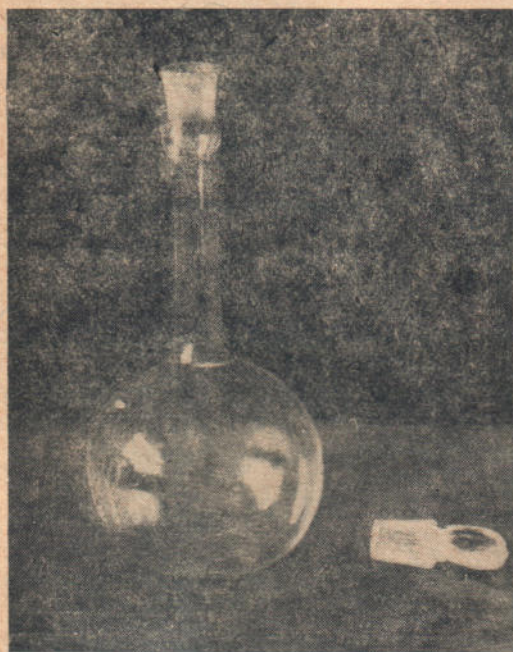


Рис. 1. Пикнометр для определения влажности грунтов по способу М. В. Ивановой

только весовые значения. Способ М. В. Ивановой в том виде как он опубликован, включает в себя кипячение с водой взвешенного влажного образца грунта в пикнометре в течение 30 мин. для удаления из грунта воздуха.

В наших опытах это кипячение было исключено. В способе М. В. Ивановой уровень воды в пикнометре определяется по выградуированной черте (рис. 1), что может вносить некоторую неточность в определение.

Способ цилиндра в модификации А. С. Яркого в отличие от способа М. В. Ивановой является объемным пикнометрическим способом.

Он сводится к сле-

дующим основным манипуляциям:

а) взятие образца грунта определенного объема режущим стаканом ( $100 \text{ см}^3$ ) и немедленное взвешивание;

б) погружение в мерный цилиндр (рис. 2, стр. 40), наполненный водой до определенного объема ( $250 \text{ см}^3$ ) и размешивание в воде вынутого из стакана образца грунта и отсчет по делениям цилиндра объема вытесненной воды;

в) производство соответствующих расчетов.

Проф. Я. Т. Ненько дал следующее математическое выражение для определения влажности по этому способу.

Пусть  $B$  — вес некоторого объема грунта, взятого для определения влажности (для определения влажности знание величины объема грунта не обязательно).

$V_s$  — объем вытесненной воды,

$\Delta$  — истинный удельный вес грунта,

$x$  — объем воды в образце.

Определяются только такие величины:

$$B; V_s; \Delta$$

$x$  — вычисляется.

$B - \gamma_0 x$  — весу сухого грунта в объеме образца где  $\gamma_0$  — объемный вес воды.

Объем твердой фракции грунта  $V_T$  может быть выражен следующими двумя зависимостями:

$$\frac{B - \gamma_0 x}{\Delta} = V_T \quad (1)$$

$$V_s - x = V_T \quad (2)$$

Приравнивая, получаем:

$$\frac{B - \gamma_0 x}{\Delta} = V_s - x. \quad (3)$$

Решая относительно  $x$ , имеем

$$x(\Delta - \gamma_0) = V_s \Delta - B$$

$$x = \frac{V_s \Delta - B}{\Delta - \gamma_0} \quad (4)$$

По этой формуле определяется объем воды, заключенный в образце грунта.

Способ Н. Низенькова отличается видом пикнометра.

Пикнометр Низенькова (рис. 3, стр. 41) представляет собой флакончик емкостью 50—100 см<sup>3</sup>. Отличительной его особенностью является наличие притертой пробки с продольным капиллярным отверстием в виде бороздки в пробке для удаления избытка воды; это обеспечивает постоянство объема (веса) содержащейся в пикнометре воды.

Определение влажности грунта производится следующим образом:

1) берется навеска грунта 15—20 гр.;

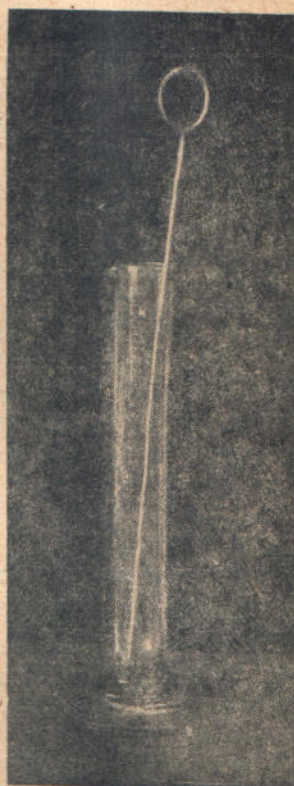


Рис. 2. Цилиндр для определения влажности грунтов по предложению А. С. Яркового

2) пикнометр с грунтом наполняется дистиллированной водой, сначала приблизительно наполовину, закрывается притертой пробкой и хорошо взбалтывается, а затем уже доливается до верха водой;



Рис. 3. Пикнометр Низенькова для определения влажности грунтов

носятся на пикнометр несмываемой краской).

Взвешивания производятся с точностью до 0,1 г.

Общий ход вычислений следующий:

Пусть

$P_w$  — вес образца влажного грунта;

$B$  — вес пикнометра, заполненного дистиллированной водой;

$A$  — вес пикнометра с водой и грунтом;

$P_1$  — вес образца грунта в сухом состоянии;

$\Delta$  — удельный вес грунта;

$W$  — влажность грунта в %;

$P_1$  — определяется вычислением:

$$P_1 = [(A - B) : (\Delta - 1)] \cdot \Delta.$$

Влажность получаем по формуле:

$$W = \frac{P_w - P_1}{P_1} \cdot 100.$$

Для вычисления влажности при определении ее пикнометром Н. Низенькова может быть применена та же формула М. В. Ивановой, так как исходные данные и сущность способа те же, что и в способе М. В. Ивановой.

Для лабораторной проверки указанных способов был взят харьковский пылеватый лессовидный суглинок (см. график механического состава на рис. 4, стр. 43).

3) суспензии дают отстояться несколько минут до просветления воды; после этого пикнометр закрывается пришлифованной стеклянной пробкой. Избыток воды удаляется при этом через капиллярное отверстие в пробке, а пикнометр тщательно обтирается досуха тряпочкой.

4) определяется вес пикнометра с водой и грунтом (вес пикнометра только с водой определяется предварительно один раз и результаты этого определения на-

По всем способам были выполнены определения в следующих вариантах:

по влажности . . . 3 варианта;  
по температуре . . . 17°С и 30°С

Повторность определений влажности по каждому варианту была 5-кратная.

Все определения по рассматриваемым способам сопровождались параллельными контрольными определениями влажности в сушильном шкафу с такой же повторностью. Производились также определения удельного веса грунта.

Для определения влажности в засоленных грунтах был применен толуол, как нейтральная жидкость. Для опытов был взят Кураховский (Донбасс) загипсованный лессовидный суглинок. Определения влажности этих грунтов с применением толуола были произведены по способам М. В. Ивановой и Низуенкова в следующих модификациях:

а) определения производились полностью в толуоле;

б) определялся только удельный вес в толуоле, все же манипуляции по определению влажности производились в дистиллированной воде.

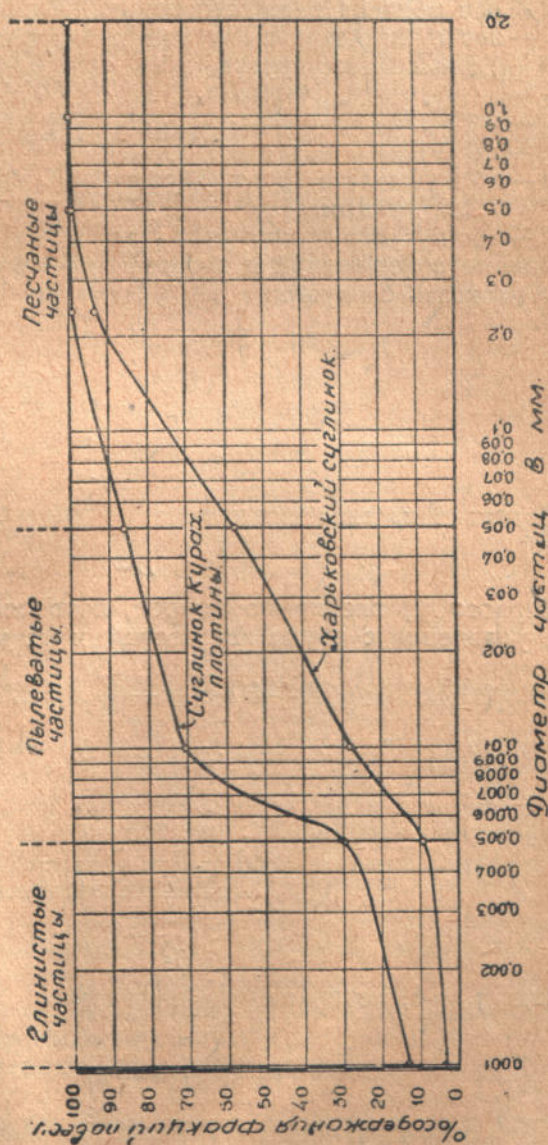


Рис. 4 График механического состава грунтов, исследованных в опытах по сравнительно му рассмотрению ускоренных методов определения влажности (в логарифмическом масштабе)

Параллельно производились контрольные определения влажности по методу высушивания в сушильном шкафу.

Для вычисления влажности засоленных грунтов, определяемой с помощью толуола проф. Я. Т. Ненько предложил следующую формулу:

Пусть

$A$  — вес пикнометра с толуолом,

$B$  — вес образца влажного грунта,

$C$  — вес пикнометра с грунтом и толуолом,

$\Delta$  — удельный вес грунта,

$\gamma_T$  — " " толуола,

$\gamma_w$  — " " воды,

$x$  — вес воды в навеске грунта,

$y$  — об'ем скелета грунта (сухого),

$W$  — об'ем пикнометра,

$P$  — вес пустого пикнометра (тары).

Данные взвешиваний и заранее определяемые данные позволяют написать следующие три уравнения:

$$P + \gamma_T w = A \quad (1)$$

$$P + \left( w - \gamma - \frac{x}{\gamma_w} \right) \cdot \gamma_T + B = C \quad (2)$$

$$\Delta y + x = B. \quad (3)$$

Подстановка значения суммы

$$(P + \gamma_T w)$$

из первого уравнения во второе, позволяет получить систему двух уравнений с двумя неизвестными ( $x$ ,  $y$ ):

$$A + B - \gamma_T y - \frac{\gamma_T}{\gamma_w} x = C$$

$$\Delta \cdot y + x = B.$$

Отсюда, исключая  $y$ , получаем

$$X = \frac{(A + B - C) \frac{\Delta}{\gamma_T} - B}{\left( \frac{\Delta}{\gamma_w} - 1 \right)} ;$$

полагая  $\gamma_w = 1$ , перепишем окончательно

$$X = \frac{(A + B - C) \cdot \Delta - B \gamma_T}{\gamma_T (\Delta - 1)}$$

Эта формула является применимой как в способе Ивановой, так и в способе Низенькова.



При определениях влажности взвешивания производились на технических весах.

Подготовка грунта к опытам производилась следующим образом: грунт укладывался в ящики, где производилось его увлажнение за сутки до того времени, когда производились определения влажности. При увлажнении грунт тщательно перемешивался, затем несколько уплотнялся, накрывался влажным полотенцем и оставлялся в таком состоянии до следующего дня. Такая подготовка производилась с целью достижения равномерного увлажнения всего грунта. Из увлажненного таким образом грунта сначала отбиралась проба стальным режущим стаканом определенного объема ( $100 \text{ см}^3$ ) для определения влажности по способу цилиндра. После этого остальной грунт перемешивался и из него немедленно же отбирались средние пробы для определений влажности по способам М. В. Ивановой, Н. Низенькова и по методу высушивания в сушильном шкафу.

Вся аналитическая работа была выполнена инж. Т. А. Ивановской. Статистическая обработка данных выполнена старшим лаборантом А. И. Зорченко.

Общее руководство принадлежало проф. Я. Т. Ненько.

### Результаты определений

Статистическая обработка данных определений влажности заключалась в нахождении общеизвестными приемами средних арифметических значений из числа определений по каждому варианту и средней квадратичной ошибки в пределах того же числа определений.

При этом сомнительные данные определений, которые сильно отклонялись от остальных данных в пределах одного и того же варианта, исключались вовсе из обработки.

Обработанные таким образом данные определений влажности по всем указанным способам для незасоленных грунтов представлены на сводной таблице № 1, стр. 45.

Как показывает таблица, разные температуры, при которых производились определения влажности по всем способам, почти не влияют на полученные значения влажности; последние не отличаются заметно между собой, так как разница находится в пределах погрешности определений.

Наиболее точными, безусловно, следует считать полученные данные по методу высушивания в сушильном шкафу.

При сравнении цифр, полученных ускоренными методами с данными определений с помощью сушильного шкафа можно видеть, что наиболее близкие к последним значения влажности дает способ М. В. Ивановой.

Разница между данными определений по методу высушивания и по методу М. В. Ивановой колеблется в пределах 1%—4%, т. е. почти в пределах погрешности определений, причем

Таблица № 1

Средние арифметические значения влажности грунта (средние из 5-ти определений). Харьковский лессовидный суглинок

Способ определения	Температура 105°C						Температура 18°C						Температура 30°C					
	Влаж-ность I		Влаж-ность II		Влаж-ность III		Влаж-ность I		Влаж-ность II		Влаж-ность III		Влаж-ность I		Влаж-ность II		Влаж-ность III	
	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Сушильный шкаф . . . . .	10,16	0,30	12,45	0,13	14,47	0,17	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Способ Ивановой . . . . .	—	—	—	—	—	—	10,63	0,74	12,32	0,23	14,30	0,38	9,76	0,23	12,40	0,25	14,47	0,35
Способ Низенькова . . . . .	—	—	—	—	—	—	12,46	0,12	13,40	0,00	15,86	0,12	12,38	0,18	13,49	0,29	15,29	0,26
Способ цилиндра . . . . .	—	—	—	—	—	—	14,56	0,76	14,88	1,41	14,87	0,40	—	—	—	—	—	—

Примечание: Удельный вес грунтов в среднем = 2,68.

различная степень увлажненности грунта несколько не отражается на сходимости данных.

Способ Н. Низенькова дает преувеличенные данные по сравнению с методом высушивания, причем это преувеличение составляет от 9% до 22%. Наиболее значительное преувеличение этот метод дает при малых влажностях грунта.

Способ цилиндра дает более преувеличенные данные, чем способ Н. Низенькова по сравнению с методом высушивания. Преувеличение значений влажности по способу цилиндра составляет от 20% до 43%; причем большее преувеличение наблюдается при малых влажностях грунта. При больших влажностях данные по этому способу близко сходятся с данными, полученными по методу высушивания.

Средняя квадратичная ошибка в определениях имеет наименьшую величину в способе Низенькова, несколько большую — в методе высушивания и еще большую в способе М. В. Ивановой. Но в способе М. В. Ивановой квадратичная ошибка все же близка к ошибке в методе высушивания.

Цифры, полученные по способу цилиндра, дают наибольшую квадратичную ошибку, достигающую в некоторых случаях значения 1,41.

Сравнение средних квадратичных ошибок при определении влажности по различным способам позволяет установить, что производство измерений в способе Низенькова является наиболее точным. Причиной этому является довольно совершенное устройство пикнометра (притертая пробка с капиллярным отверстием), которое уже само по себе устраняет возможность значительных отклонений при производстве измерений и делает точность их наиболее вероятной.

В способе М. В. Ивановой, где объем воды устанавливается не пробкой, а по мениску, в измерение объема вносится элемент субъективности и, вследствие этого, неточности.

Особенно сильно сказывается на точности измерений элемент субъективности при наблюдениях в способе цилиндра: объем воды устанавливается в цилиндре очень грубым приемом — по тем делениям, которые нанесены на цилиндре.

Кроме того, определение количества вытесненной воды по объему является окончательным, так как взвешивание не производится.

Происходящая из таких приемов неточность измерений отображена большой квадратичной ошибкой, указанной выше.

Конструкция прибора (цилиндра) в этом способе является очень несовершенной, вовсе не обеспечивает необходимой точности измерений, и, следовательно, делает полученные данные мало вероятными в каждом отдельном случае.

В отношении причин, обуславливающих получение преувеличенных данных по способам Н. Низенькова и цилиндра по сравнению со способами М. В. Ивановой и высушивания в су-

шильном шкафу, исследований не производилось за отсутствием средств. Поэтому здесь приходится ограничиться общими соображениями по наблюдениям при определении влажности.

Преувеличение влажности, которое получается по способу Н. Низенькова, обуславливается, как наиболее вероятными, следующими причинами. Когда навеска грунта помещается в пикнометр с водой, в последнем грунт частично переходит в состояние суспензии; при закрывании пикнометра притертой пробкой, излишняя вода удаляется и вместе с этой водой уходит и часть грунта в виде суспензии, вследствие чего в вес пикнометра с водой и грунтом вносится ошибка (перед закрыванием пробкой пикнометр наполняется водой до краев, чтобы избежать попадания воздуха). Для избежания утечки грунта в виде суспензии, до закрывания пикнометра последней дают время отстояться, но все же полностью эта утечка не устраняется.

Влияние этой причины было обнаружено при проведении исследований: в тех случаях, когда закрывание пикнометра производилось при неотстоявшейся или слабо отстоявшейся суспензии, были получены очень пестрые и преувеличенные данные, которые пришлось потом забраковать.

Когда же на отстаивание суспензии было уделено времени больше, результаты были получены более ровные и более близкие к истинным.

Для устранения влияния утечки грунта в виде суспензии на величину влажности была сделана попытка определять влажность по этому способу не в воде, а в толуоле. О результатах применения толуола будет сказано ниже. Второй причиной может быть недостаточное удаление воздуха при небольшом количестве воды и относительно большом количестве грунта.

В способе цилиндра возможными причинами получения неточных результатов могут быть следующие:

1) неточность в объеме отбираемого режущим стаканом образца грунта; эта неточность усугубляется деформациями стакана при отборе образца;

2) недостаточное удаление воздуха из грунта при погружении его в цилиндр с водой, так как количество грунта по сравнению с величиной применяемого цилиндра и количеством воды—довольно большое и тщательное размешивание не всегда удается;

3) объемное, а не весовое, определение количества вытесняемой грунтом воды, что при грубой градуировке цилиндра никогда не может быть достаточно точным.

Косвенным подтверждением этому является отмеченное выше обстоятельство, что при больших влажностях грунта результаты получаются точнее, чем при меньших. Последнее можно объяснить тем, что при больших влажностях количество вытесняемой грунтом воды будет большим и ошибка при измерении

объема ее будет относительно меньше, чем при меньших влажностях.

Вследствие этого—способ цилиндра в предложенной модификации вовсе не пригоден для определения малой влажности грунта.

Результаты определений влажности засоленных гипсом грунтов с применением толуола (нейтральной жидкости) представлены на таблице № 2, стр. 50.

На этой таблице представлены данные определений, произведенных в дистиллированной воде, но результаты которых вычислены по удельному весу грунта, определенному в толуоле.

Удельный вес грунта по толуолу составляет в среднем 2,70, при определении по воде он равен 2,67.

Как показывает таблица, результаты определений влажности, произведенных по способу М. В. Ивановой почти совпадают с данными по способу высушивания, причем заметна тенденция к некоторому преуменьшению влажности, определяемой по способу М. В. Ивановой с применением толуола. Но это преуменьшение настолько незначительно, что им можно пренебречь, в одном только случае оно достигает наибольшей величины—5%.

Различие в температурах, при которых производилось определение влажности по способу М. В. Ивановой с применением толуола почти не сказывается на результатах.

Средняя квадратичная ошибка незначительна, что говорит о достаточной достоверности каждого отдельно взятого определения.

На таблице № 3, стр. 51, представлены данные определений влажности засоленного гипсом грунта с применением толуола и скипидара (нейтральные жидкости), но в этом случае нейтральные жидкости применены и для определения удельного веса и для самого определения влажности. Дистиллированная вода в этом случае была вовсе исключена из определений.

По толуолу производилось определение влажности и по способу Н. Низенькова с целью избежания диспергирования грунта и утечки его в виде суспензии при закрывании пробкой пикнометра, как об этом было упомянуто выше. Применением толуола эта цель вполне достигается, так как грунт в толуоле вовсе не переходит в состояние суспензии. То же самое дает и скипидар. Вычисление влажности произведено по формуле, предложенной проф. Я. Т. Ненько, которая приведена выше, причем по этой формуле вычислена влажность, определяемая и по способу М. В. Ивановой и по способу Н. Низенькова.

Как показывает таблица, результаты определений с применением толуола вполне удовлетворительны, близкие к данным по способу высушивания. Способ М. В. Ивановой дает расхождение в цифрах влажности со способом высушивания до 2% в ту или другую сторону.

Способ Н. Низенькова дает такое же расхождение.

Таблица № 2

Средние арифметические значения влажностей грунта (средние из 5-ти определений),  
Кураховский лессовидный загипсованный суглинок (с содержанием гипса 2%)

Средне определенная	Температура 105°С						Температура 18°С						Температура 30°С					
	Влажность I		Влажность II		Влажность III		Влажность I		Влажность II		Влажность III		Влажность I		Влажность II		Влажность III	
	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратическая ошибка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Сушильный шкаф	15,85	0,04	22,74	0,08	24,67	0,15	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Слободы Ивановской	—	—	—	—	—	—	15,48	0,17	21,58	0,23	24,06	0,14	15,20	0,20	21,10	0,46	23,90	0,05

Таблица № 3

Средние арифметические значения влажностей грунта (средние из 3-х определений)

Кураховский лессовидный загипсованный суглинок (с содержанием гипса 4%)

Способ определения	Температура 20—21°C				Примечание
	Влажность I		Влажность II		
	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	Среднее арифметическое значение	Средняя квадратичная ошибка	
1	2	3	4	5	6
Сушильный шкаф . . . . .	27,80	0,22	31,87	0,09	
Способ Ивановой (по толуолу) . . . . .	28,27	0,09	31,67	0,25	Удельный вес грунта в среднем по определению: в воде = 2,64 в толуоле = 2,68
Способ Ивановой (по скипидару) . . . . .	27,03	0,09	30,85	0,60	
Способ Низенькова (по толуолу) . . . . .	28,05	0,11	31,27	0,38	

Средние квадратичные ошибки также близки между собой во всех способах.

Таким образом применение толуола в ускоренных способах определения влажности вполне обеспечивает получение удовлетворительных результатов.

В связи с этим в быстроте особенно выигрывает способ Н. Низенькова, так как на отстаивание суспензии не приходится вовсе тратить времени. К тому же этот способ имеет преимущество и в отношении большей простоты манипуляций, что в полевых условиях работы имеет большое значение.

Применение скипидара в способе М. В. Ивановой также дает удовлетворительные результаты: расхождение в цифрах влажности со способом высушивания составляет 2—3%. Применение скипидара имеет то преимущество, что он дешевле толуола.

Время, затрачиваемое на выполнение отдельных манипуляций при определении влажности пикнометрическим методом выражается в таких величинах:

- 1) наполнение пикнометра толуолом и взвешивание . . . . . 3 мин.
- 2) взятие навески грунта . . . . . 3 »
- 3) переноска навески грунта в пикнометр . . . . . 8 »
- 4) взвешивание пикнометра с толуолом и грунтом . . . . . 3 »
- 5) расчеты . . . . . 3 »

Производство всех манипуляций занимает в общей сумме 20 минут; удельный вес грунта определяется заранее.

## Резюме

1. Сравнительному рассмотрению были подвергнуты следующие ускоренные способы определения влажности грунтов:

- 1) способ М. В. Ивановой (без кипячения грунта);
- 2) способ Н. Низенькова;
- 3) способ цилиндра.

Все указанные способы являются модификациями одного и того же пикнометрического метода, но первые два весовые, последний объемный.

Данные определений по этим способам сравнивались с данными по способу высушивания в сушильном шкафу, как наиболее точному.

2. Результаты изучения этих способов:

Способ М. В. Ивановой дает расхождение со способом высушивания в пределах 1—4% в ту или другую сторону; причем различная степень увлажнения грунта не отражается на величине расхождения данных.

Способ Н. Низенькова с применением дистиллированной воды дает расхождение со способом высушивания в пределах 9%—22% в сторону преувеличения. Способ цилиндра дает расхождение со способом высушивания в пределах 20%—43% в сторону преувеличения.

По способам Н. Низенькова и цилиндра расхождение больше при малых влажностях грунтов.

3. По всем трем способам различие в температурах, при которых производятся определения, не вызывает ощутительной разницы в получаемых величинах влажности грунта.

4. Точность производства основных измерений при определении влажности грунта, характеризуемая средней квадратичной ошибкой, является наибольшей в способе высушивания и в способе Низенькова, несколько меньше она в способе М. В. Ивановой и наименьшая—в способе цилиндра.

Так, средняя квадратичная ошибка колеблется в следующих пределах:

в способе высушивания . . . . .	от 0,13 до 0,30;
в способе Н. Низенькова . . . . .	от 0,12 до 0,29;
в способе М. В. Ивановой . . . . .	от 0,23 до 0,74;
в способе цилиндра . . . . .	от 0,40 до 1,41.

Это говорит о том, что в первых 3-х способах приемы измерений более обеспечивают получение вполне вероятного результата в каждом отдельном случае, чем в последнем случае.

5. Вероятными причинами получения неточных данных по способам Н. Низенькова и цилиндра можно считать следующие



1) в способе Н. Низенькова с применением дистиллированной воды:

а) потери грунта в виде суспензии при закрывании пикнометра притертой пробкой;

б) недостаточное удаление воздуха из грунта погружаемого в пикнометр с водой;

2) в способе цилиндра:

а) неточность в объеме отбираемого режущим стаканом образца грунта;

б) недостаточное удаление воздуха из грунта при погружении его в цилиндр с водой;

в) неточность объемного измерения количества вытесняемой грунтом воды.

В способе М. В. Ивановой причинами не вполне точных определений влажности могут служить недостаточно точное установление по мениску требуемого одного и того же объема воды в пикнометре и неполное удаление воздуха из грунта.

6. С принципиальной точки зрения все рассмотренные ускоренные способы определения влажности грунтов следует считать правильными. Необходимо отметить положительную черту в способе Н. Низенькова—точность установления требуемого одного и того же объема воды в пикнометре при помощи притертой пробки с капиллярным отверстием.

7. Для засоленных грунтов способ М. В. Ивановой с применением толуола (нейтральной жидкости) дает вполне приемлемые результаты.

Толуол можно применять как для определения одного удельного веса, так и для определения самой влажности грунта в пикнометре. В первом случае расчеты влажности производятся по формуле М. В. Ивановой, во втором случае—по формуле предложенной проф. Ненько Я. Т., с учетом удельного веса толуола (формула применима и при другой какой-нибудь нейтральной жидкости).

Расхождение в обоих случаях со способом высушивания колеблется в пределах 2%—5% и меньше.

Применение толуола в способе Н. Низенькова устраняет потери грунта в состоянии суспензии и делает определение влажности более точным и быстрым, чем в случае применения дистиллированной воды. Расчеты влажности производятся по той же формуле, предложенной проф. Ненько Я. Т. Расхождение в цифрах влажности со способом высушивания не превышает 2%.

Это обстоятельство, а также большая простота манипуляций составляют преимущества этого способа по сравнению со всеми остальными.

Как нейтральная жидкость, может быть с успехом применен скипидар для определения влажности грунтов в тех же способах М. В. Ивановой и Н. Низенькова. Расхождение в результатах со стандартным способом высушивания составляет 2—3%.

8. На основании полученных опытных данных можно считать, что наиболее приемлемыми ускоренными способами определения влажности грунтов, являются способ М. В. Ивановой и способ Н. Низенькова с применением нейтральных жидкостей (толуол, скипидар и др.).

Способ цилиндра нуждается в усовершенствовании как аппаратуры, так и приемов измерений и других манипуляций.

9. В отношении быстроты определений способ М. В. Ивановой и способ Н. Низенькова с применением толуола также следует поставить на первое место. Одно определение по этим способам занимает около 20 мин. (удельный вес грунта должен быть определен заранее).

В способе Н. Низенькова с применением воды производство определения замедляется за счет времени, необходимого на отстаивание суспензии в пикнометре, в способе цилиндра много времени уходит на взятие образца грунта режущим стаканом и на установление уровня воды в цилиндре.

## ПРИБОР „НИГЛ“ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ТЕКУЧЕСТИ ГРУНТОВ

Как известно, пластичность является одной из важных характеристик глинистых грунтов. До настоящего времени характеристикой пластичности служит «число пластичности», предложенное Аттербергом.

Распространенными определениями нижней границы текучести грунта являются метод Аттерберга, Охотина и др., недостатки этих методов общеизвестны.

Для устранения основных недостатков этих методов проф. Казагранде \*) предложил усовершенствованную методику и прибор собственной конструкции.

Прибор Казагранде состоит из латунной чашки, укрепленной на специальной стойке посредством шарнира, в стойку заделана ось с эксцентриком на одной стороне стойки и рукояткою на другой стороне. Эксцентрик соприкасается с собачкой, при вращении рукоятки чашка поднимается на высоту 1 см над пластинкой, изготовленной из высокосортного каучука и сбрасывается на эту пластинку.

Чашка, ударяясь о пластинку, встречает образец грунта, предварительно разрезанный специальным ножом на две половины.

После некоторого количества ударов обе половины образца сходятся в середине чашки. По методу Казагранде нижним пределом текучести грунта считается влажность, при которой образец грунта сплывається на отрезке длиной 13 мм при достижении 25 ударов.

Как известно, наиболее трудоемкой операцией в определении нижней границы текучести грунта по методу Аттерберга, является подбор влажности, поэтому проф. Казагранде предложил метод быстрого определения нижнего предела текучести по двум заранее известным влажностям (большей и меньшей нижнего предела текучести). Этот метод основан на зависимости между

\*) Русское начертание фамилии (Casagrande). Заимствовано из русской технической литературы.

влажностью грунта и числом ударов, найденной проф. Казагранде. Зависимость эта может быть выражена уравнением

$$W = Flg N + c$$

где  $W$  — влажность грунта в процентах от веса грунтового скелета,

$N$  — число ударов соответствующее сплыванию грунта,

$F$  — параметр, который Казагранде назвал индексом пластичности,

$C$  — параметр.

Построив график, на котором по оси абсцисс отложено количество ударов в логарифмическом масштабе, а по оси ординат весовая влажность в %, можно найти влажность, соответствующую нижней границе текучести по двум точкам. Для этого берутся образцы грунта, один с влажностью, заведомо большей нижнего предела текучести, другой с влажностью, заведомо меньшей, и определяют количество ударов, необходимое для сплывания этих образцов на 13 мм.

Найдя необходимое для этого число ударов, наносим полученные две точки на график. Проведя через эти две точки линию, получим кривую сплывания данного грунта.

Если через точку пересечения вертикальной линии проведенной из точки на оси абсцисс соответствующей 25 ударам, с кривой сплывания, провести горизонтальную линию, то на оси ординат получим влажность, соответствующую нижней границе текучести для данного грунта.

Прибор Казагранде явился крупным усовершенствованием в деле определения нижней границы текучести грунтов, позволивший сократить количество затрачиваемого на это времени и исключить элементы субъективизма, неизбежные при пользовании другими приборами (Аттерберга и др.). Но несмотря на это прибор проф. Казагранде не лишен недостатков.

Основные недостатки это:

а) необходимость соблюдения высокой точности высоты падения чашки до 0,2 мм.

б) наклонная чашка, перемещаясь по вертикали, меняет и свою ориентировку относительно плоскости каучуковой пластинки, так, если при нижнем положении чашки, поверхность грунта находится в горизонтальном положении, в самом верхнем положении (так же, как и в любом промежуточном) грунт будет в наклонном положении, причем наклон будет в сторону стойки; частые перемещения из наклонного положения в горизонтальное создают дополнительные колебательные движения грунта, отражающиеся на результатах испытания.

Учитывая все эти недостатки, работниками НИГЛ был предложен прибор нового типа, показанный на рис.: 1, стр. 57 и 2, стр. 58.

Прибор состоит из латунной чашки диаметром — 80 мм с гладкой отшлифованной внутренней поверхностью. Чашка припаяна к стальному стержню  $D = 6$  мм, длиной 25 мм, который опускается внутри подставки и свободно опирается на эксцентрик, расположенный внутри последней. При повороте рукоятки эксцентрик поднимает чашку на высоту 25 мм, после чего стержень вместе с чашкой соскальзывает со спирали эксцентрика и чашка ударяется дном о фибровую пластинку, вделанную в верхнюю крышку подставки.

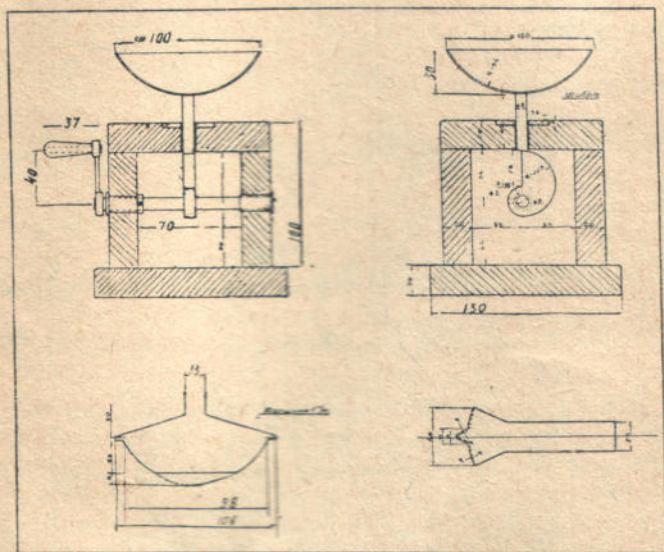


Рис. 1

Определение нижней границы текучести грунтов на приборе типа НИГЛ производится также, как и на приборе Казагранде; испытываемый грунт в количестве, необходимом для 2-х проб (около 200 г) делится на два равных образца. Первый образец увлажняется до влажности, заведомо меньшей границы текучести, второй до влажности, превышающей границу текучести грунта.

Испытываемый образец грунта кладется в чашку с таким условием, чтобы поверхность грунта была горизонтальна и высота слоя в центре чашки была равна 8 мм. Для проверки этого условия может быть применен специальный шаблон. После этого образец разрезается специальным ножом пополам (см. рис. 1 и 2, стр. 58).

Необходимо обратить особое внимание на тщательность выполнения разреза, так как отклонение линии прореза от диаметра

трального направления влечет к искажению результатов определения. После этого вращением рукоятки по часовой стрелке со скоростью двух оборотов в секунду приводят грунт к сплыванию на протяжении равном 12 мм. Последнее условие проверяется также шаблоном, на другой стороне которого устроена вилка для проверки протяженности сплывания грунта.

Таким образом находится число ударов, необходимое для сплывания грунта при данной влажности. Зная числа ударов и



Рис. 2

определив влажность исследуемых образцов грунта, строим кривую сплывания. По кривой сплывания способом, изложенным выше, определяется нижняя граница текучести данного грунта.

Тарировка прибора заключалась в определении количества ударов, необходимого для сплывания грунта, при достижении влажности, соответствующей нижней границе текучести. Тарировка производилась в следующем порядке: для трех грунтов «А», «Б» и «Г» (механический анализ см. табл. № 5), строились кривые сплывания по вышеописанному способу с той только разницей, что количество точек для построения было принято не две, а от 5 до 15 (см. таблицы № 1, № 2, № 3). После этого для этих же грунтов определялась нижняя граница текучести на приборе Охотина, результаты определения см. таблицу № 4.

Определив влажность, соответствующую нижней границе текучести на приборе Охотина, на оси ординат графика были найдены точки, соответствующие определенным величинам влажности. Проведя через эти точки горизонтальную прямую до пересечения с кривой сплывания, получим вторую точку, опустив

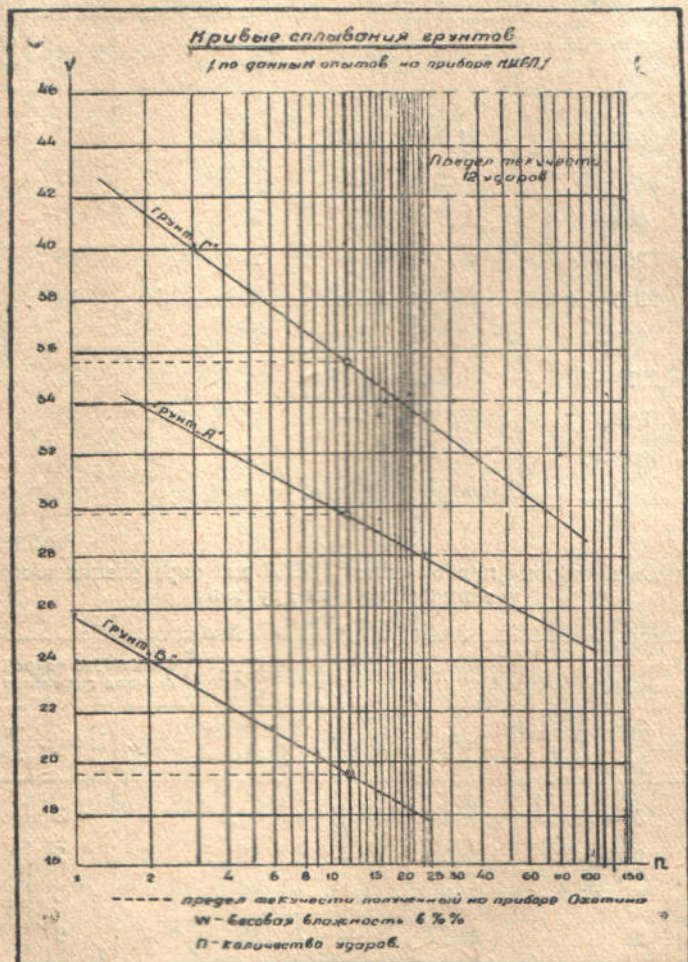


Рис. 3

перпендикуляр из которой на ось абсцисс находим число ударов, соответствующее нижней границе текучести для каждого из трех подопытных грунтов. Испытание всех трех грунтов показало, что для прибора типа НИГЛ число ударов, соответствующее нижней границе текучести, равно 12-ти (рис. 3).

Таблица № 1

Результаты тарировки прибора типа НИГЛ для определения нижнего предела текучести грунтов  
Грунт „А“

№№ п. п.	№№ опытов	Определение влажности			Количество ударов потребное для стекания грунта		
		I опр.	II опр.	среднее значение	I опр.	II опр.	среднее значение
1	297—8	31,6	32,9	31,75	4	5	5
2	295—6	32,2	29,8	30,50	7	7	7
3	299—10	30,6	29,5	30,05	10	10	10
4	303—4	29,0	—	29,0	13	15	14
5	2913—14	28,70	30,10	29,40	15	16	16
6	291—2	27,6	28,50	28,05	23	25	24
7	2911—12	26,52	27,86	26,84	33	31	32
8	312	26,75	—	26,75	—	38	38
9	305—6	27,7	—	27,7	42	46	44
10	293—4	52,50	23,6	24,55	140	146	143

Таблица № 2

Результаты тарировки прибора типа НИГЛ для определения нижней границы текучести грунтов  
Грунт „Г“

№№ п. п.	№№ опытов	Определение влажности			Количество ударов потребное для сплывания грунта		
		I опр.	II опр.	среднее значение	I опр.	II опр.	среднее значение
1	31—32	41,1	41,5	41,3	3	3	3
2	85	38,35	—	38,35	4	5	5
3	35—36	39,20	38,13	38,66	5	6	6
4	84	35,97	—	35,97	8	9	9
5	86	33,85	—	33,85	16	17	17
6	311—312	34,00	34,50	34,25	20	22	21
7	87	32,7	—	32,7	25	26	26
8	313—314	34,5	33,5	34,0	30	31	31
9	90	33,30	—	33,30	32	33	33
10	89	31,75	—	31,70	40	41	41
11	39—310	32,09	31,85	31,95	80	82	81



Таблица № 3

Результаты тарировки испытаний прибора типа НИГЛ для определения нижней границы текучести грунтов

Грунт «Б»

№№ п. п.	№№ опытов	Определения влажности			Количество ударов необходимое для сплывания грунта			Приме- чание
		I опред.	II опред.	среднее значение	I опред.	II опред.	среднее значе- ние	
1	21—22	25,80	25,80	25,80	1	1	1	
2	315—316	23,1	—	23,1	3	3	3	
3	319—3110	22,0	—	22,0	4	4	4	
4	314	21,37	—	21,37	—	6	6	
5	317—318	20,3	—	20,3	9	9	9	

Таблица № 4

Результаты определения нижнего предела текучести грунтов на приборе Охотина

№№ п. п.	Грунт	I определение	II определение	III определение	Среднее значение
1	А	31,17	28,90	29,03	29,70
2	Б	19,90	19,80	19,60	19,75
3	Г	34,90	34,40	38,0	35,80

Таблица № 5

Гранулометрический состав грунтов (данные в % по весу)

Марка грунта	Ф р а к ц и и в м м						Примечание
	1	1—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01— 0,005	Менее 0,005	
А	0,07	6,07	32,26	27,82	20,47	9,41	Содержание солей ра- створимых в 2% НС— 0,18%
Б	—	6,44	15,57	60,83	8,14	9,02	
Г	4,40	23,38	39,92	0,18	11,41	21,71	



## ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ МЕССДОЗА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ГРУНТОВ И СЫПУЧИХ ТЕЛ

При разработке проекта оборудования контрольно-измерительными приборами Ашхабадской намывной плотины возник вопрос о выборе какого-либо из существующих измерительных приборов, для исследования давления грунтов в теле плотины.

Единственным прибором, какой применялся в Союзе для указанных целей, была мессдоза системы Давиденкова.

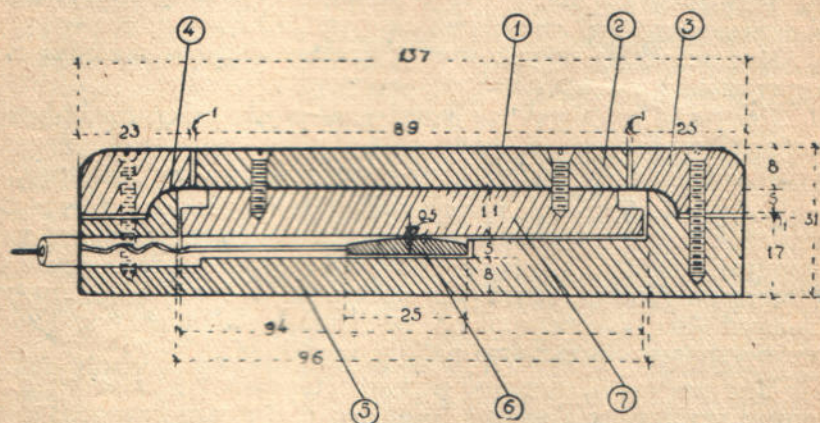


Рис. 1

Но так как последняя не обладала необходимыми для наших целей качествами, то мы вынуждены были рассмотреть еще ряд конструкций и в результате рассмотрения этих последних остановились на мессдозе пневматического типа, предложенной еще в 1916 году инженером Бюро Общественных дорог Сельскохозяйственного Строительства в США—Гольдбеком.

Мессдоза Гольдбека представляет собою герметическую коробку с тонкой мембраной, воспринимающей нагрузку (см. рис. 1).

Принцип работы пневматической мессдозы весьма прост.

Приложенная извне нагрузка уравнивается давлением сжатого воздуха, впускаемого во внутрь мессдозы во время из-

мерения. Момент уравнивания приложенной извне нагрузки давлением изнутри, фиксируется световым или звуковым сигналом следующим образом.

В корпус мессдозы внутри коробки в центре помещен на диэлектрике проводник (контакт), от которого отходит один провод. Второй провод присоединен к корпусу мессдозы.

При приложении извне некоторой нагрузки поршень 7, поддерживаемый мембраной—4, оседает вниз и соприкасается с контактом. Если проводники, соединяющие контакт и корпус мессдозы, предварительно присоединить к источнику электричества, то в момент соприкосновения поршня с контактом электрическая цепь замыкается и включенная в цепь лампочка или звонок зафиксируют соответствующим образом этот момент.

Точно также в момент отрыва поршня от контакта, (когда в мессдозу впускают воздух сжатый под давлением превосходящим внешнюю нагрузку), электрическая цепь размыкается и этот момент также сопровождается соответствующим сигналом (лампочка гаснет, звонок перестает звонить).

Величина давления воздуха внутри мессдозы в момент отрыва мембраны от контактов фиксируется манометром, присоединенным к трубке, подающей сжатый воздух в мессдозу.

Как видно из приведенного принцип работы прибора и конструктивное его оформление весьма несложны.

Несмотря на простоту конструкции пневматических мессдоз, собранные данные о применении этих приборов за границей устанавливали факты неудовлетворительного их действия.

В 1929 г. Терцаги, применивший эти мессдозы на предварительных исследованиях по определению давления грунта на подпорную стенку высотой 50 м для силовой установки в Нью-Гемпшире (исследования эти обошлись в 1 миллион долларов), должен был констатировать недостаточную чувствительность и мало-удовлетворительную работу приборов.

Тем не менее, однако, мессдозы пневматического типа были позже установлены им же (Терцаги) в качестве контрольно-измерительных приборов на строительстве упомянутой подпорной стенки.

Наиболее существенный дефект мессдоз типа Гольдбека, описанной конструкции заключается в том, что даже при незначительной эксцентричности в приложении внешней нагрузки поршень мессдозы поворачивается вокруг некоторой оси и продолжает касаться контакта, помещенного в центре прибора.

Имея это в виду немецкий инженер Зейтц предложил поставить три контакта, расположив их симметрично на некоторой окружности, описанной из центра прибора.

Самые же контакты (в отличие от контакта 6, см. рис. 1, установленного в центре прибора) осуществить с весьма незначительной площадью соприкосновения (в виде «точек»).

Это вполне правильное (по нашему мнению) решение не было конструктивно достаточно хорошо оформлено.

Дело в том, что контакты в виде «точек», имея весьма небольшую площадь, даже при небольших нагрузках, подвергаясь достаточно большим осевым давлениям (порядка 300—500 деформируются—«салятся». Малейшая же осадка контакта искажает настройку прибора, причем по данным специальных исследований инж. Сиквиета, разрыв цепи происходит при перемещении мембраны—поршня на величину порядка 1—2 микронов. Остающиеся же деформации сжатия от нагрузки в 300—500 л «точечных» контактов гораздо больше.

Другим важным недостатком мессдоз рассматриваемой конструкции является то обстоятельство, что контакты установлены в корпусе мессдозы наглухо и доступ к ним для регулировки как и сама регулировка невозможны без разборки всего прибора.

В остальном мессдоза пневматического типа представляла для решения поставленной перед нами задачи, достаточно приемлемую конструкцию.

Учитывая изложенное выше, в модернизированной НИГЛом конструкции мессдозы предусмотрено было следующее\*):

во избежание смятия точечных контактов, корпус мессдозы внутри снабжен центральным цилиндрическим упором—воспринимающим внешнюю нагрузку при опускании поршня вниз.

В целях более простой и удобной настройки прибора и его регулировки, мессдоза снабжена регулируемыми контактами, доступ к которым и регулировка возможны без разборки прибора (см. рис. 2, стр. 66).

Измерительный аппарат для определения показаний мессдозы сконструирован в двух вариантах. Стационарный (в виде щита\*\*) (см. рис. 3, стр. 67) и переносной (см. рис. 4, стр. 68).

В деревянном ящике переносного аппарата смонтировано следующее:

а) воздушный баллон для подачи сжатого газа внутрь мессдоз с приспособлением редуцирующим давление;

б) 2 воздушных манометра—один с предельным давлением в 5 и другой в 12 кг см<sup>2</sup>;

в) 3 элемента напряжением 4 в;

г) 3 сигнальных лампочки от карманного фонаря;

д) звонкового трансформатора типа «Гном».

Воздушная трубка, соединяющая воздушный баллон с воздухопроводом от мессдозы, снабжена вентилем, дающим возможность регулировать подачу воздуха.

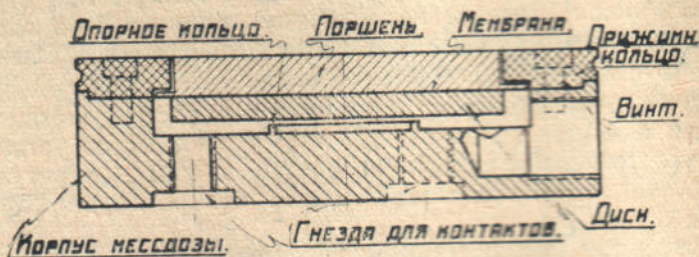
\* ) Работа проводилась инж. И. С. Лившиц.

\*\* ) По приводимой на рис. № 3 схеме, в НИГЛ был изготовлен измерительный щит на 25 мессдоз, для установки на Соколовской плотине.

Баллон наполняется сжатым воздухом с помощью обычного шинного насоса или от компрессорной установки и т. п.

Питание сигнальных лампочек производится от осветительной сети через звонковой трансформатор. Элементы служат резервным источником питания системы.

### РАЗРЕЗ ПО II



### КОРПУС МЕССДОЗЫ ВИД С ВЕРХУ

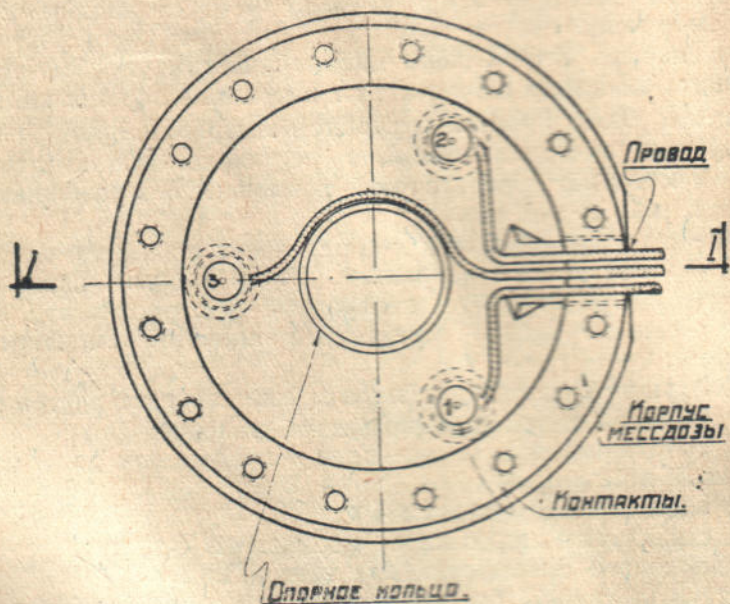


Рис. 2

Обращение с измерительным аппаратом и производство измерений весьма несложны.

Для более точных отсчетов величины измеряемого давления

аппарат может быть присоединен к ртутному манометру, что дает возможность брать отсчет с точностью до  $0,001 \text{ кг/см}^2$ .

Предварительные исследования мессдоз имели следующие основные задачи:

1) проверку соответствия опытных образцов мессдоз и измерительного аппарата предъявленным к ним технико-экономическим требованиям с целью дать портативную и дешевую аппаратуру;

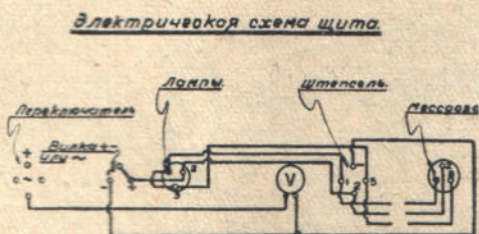
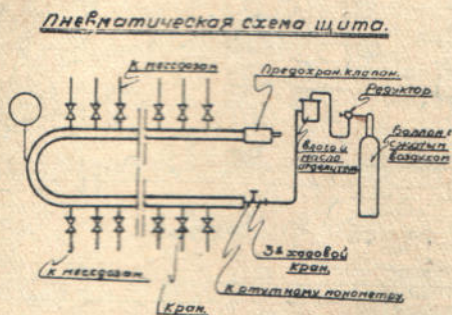


Рис. 3

2) выявление всех конструктивных и производственных дефектов и недоделок по опытным образцам прибора и измерительного (регистрирующего) аппарата. Цель—устранение неисправностей и недоделок, внесение всех необходимых исправлений до выпуска рабочих приборов;

3) освоение и проверка действия всей измерительной установки в целом с целью обеспечить безотказную работу аппаратуры и установить простейшие приемы измерений;

4) анализ результатов исследований и сравнение этих данных с расчетными, анализ слабых мест данной конструкции прибора. Цель—разработка мероприятий по улучшению прибора.

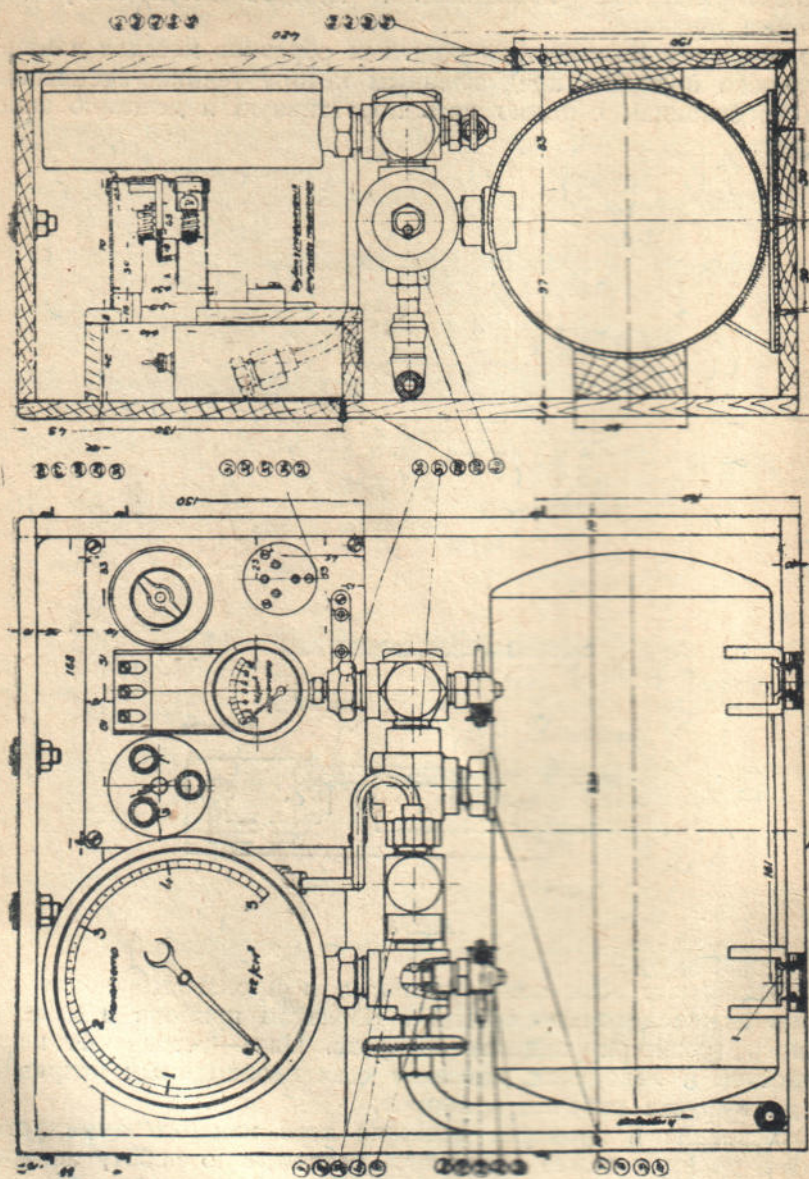


Рис. 4



Кроме указанных задач, в процессе исследования производилось уточнение методики тарировки, представляющей самостоятельную задачу.

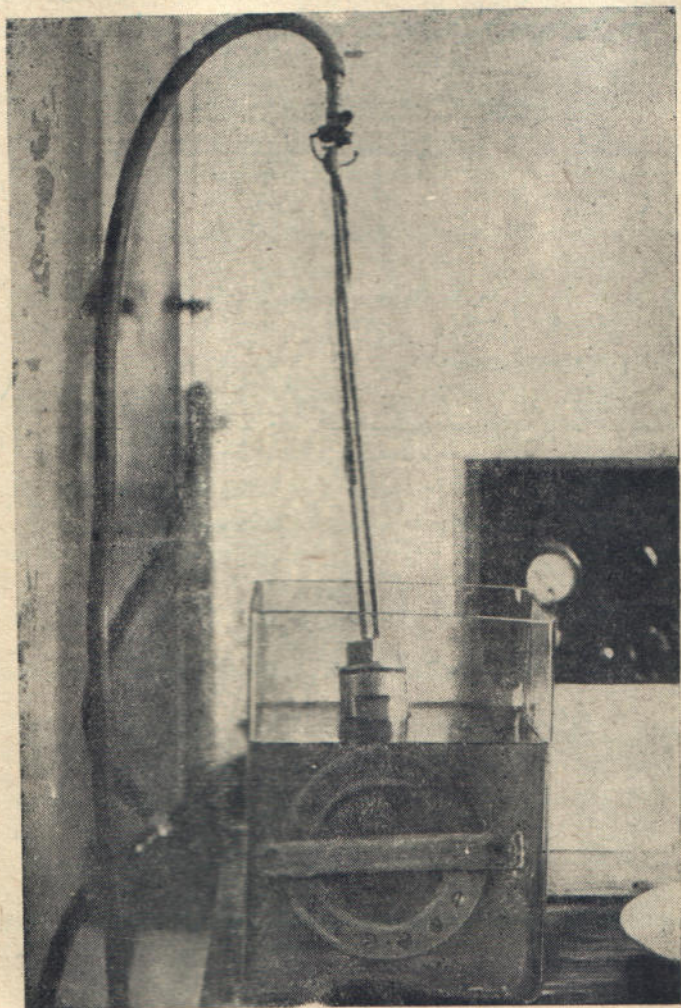


Рис. 5

Для проверки мессдоз на герметичность, последние погружались в стеклянную банку с водой (см. рис. 5). Внутри мессдозы подавался сжатый воздух давлением до 8 атмосфер. Отсутствие падения давления и выделения воздушных пузырьков в течение 15 минут принималось за удовлетворительный резуль-

тат испытания на герметичность. В дальнейшем мессдозы на герметичность испытывались под вакуумом (см. рис. 6).

Испытание на отрыв контактов, т. е. определение порога чувствительности производилось с помощью простейшей установки. Техника определения порога чувствительности видна на рис. 7, стр. 69.

Схема испытания мессдоз  
на герметичность.

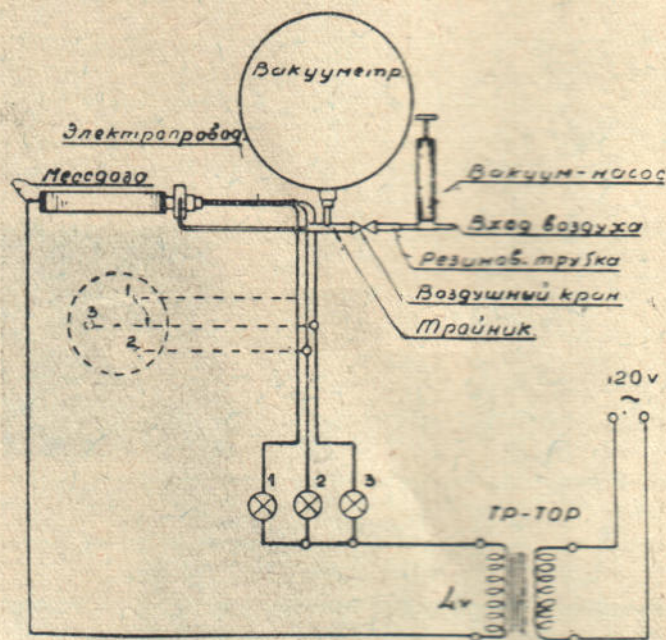


Рис. 6

Ниже нами приводятся данные испытания и тарировки мессдоз, изготовленных в НИГЛ.

Мессдозы в порядке выпуска и настройки проходили ряд следующих испытаний:

- 1) грубая регулировка на одновременность отрыва контактов и настройка на определенную чувствительность;
- 2) испытание на герметичность\*);

\* В дальнейшем, по освоению это испытание осуществлялось в самом конце, так как мастерская добилась полной гарантии в герметичности прибора.

3) окончательная настройка мессдозы на заданную чувствительность и

4) тарировка мессдозы под нагрузкой (см. рис. 8 и 9).

Грубая регулировка мессдозы осуществлялась при сборке и заключалась в постановке на место контактов. Контакты, как уже указывалось выше, можно было подавать вперед и назад, так как они законструированы в виде винта.

После грубой настройки осуществлялась герметизация и окончательная затяжка всех винтов на мессдозе и мессдоза испытывалась на герметичность (см. рис. 5 и 6).

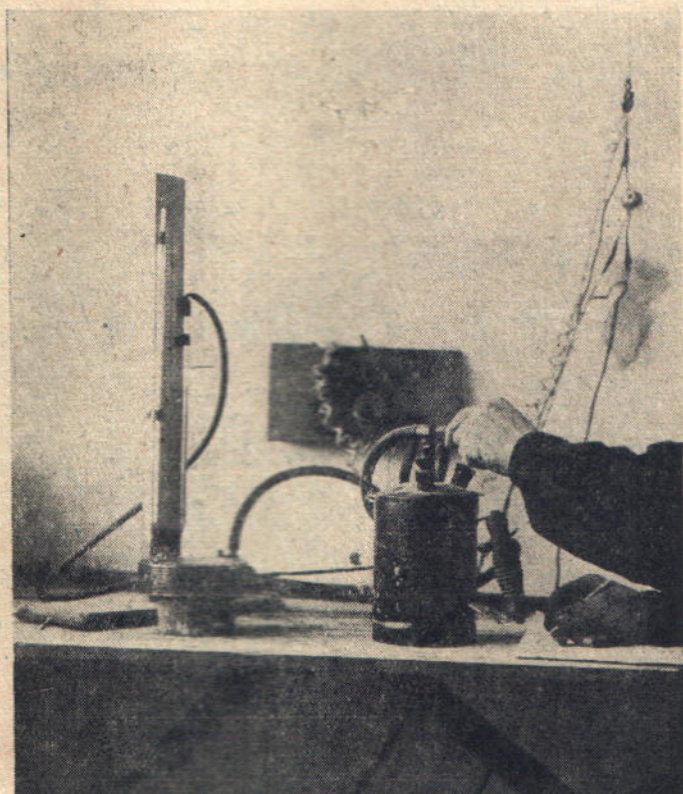


Рис. 7

После этого мессдоза поступала из мастерской в лабораторию, где и осуществлялась ее тарировка.

Тарировка начиналась с окончательной настройки мессдозы на определенную чувствительность без нагрузки. Затем мессдоза постепенно нагружалась на рычажном прессе серией грузов до 10 кг весом (см. рис. 8 стр. 72 и рис. 9 стр. 73).

Цикл нагрузки и разгрузки мессдозы при тарировке повторялся два, три и более раз до получения вполне устойчивого ряда показаний. При недостаточно устойчивых результатах изменялась настройка мессдозы с помощью регулирующих контактов и тарировка повторялась.

По осредненным данным протокола испытаний составлялась ведомость тарировки и по этой последней строились кривые (см. рис. 10, стр. 74), по которым графоаналитическим способом находилось уравнение тарировочной кривой мессдозы.

Ниже в приложениях в качестве иллюстрации приводится полностью документация тарировки одной из мессдоз (см. приложения 1—6 и рис. 10).

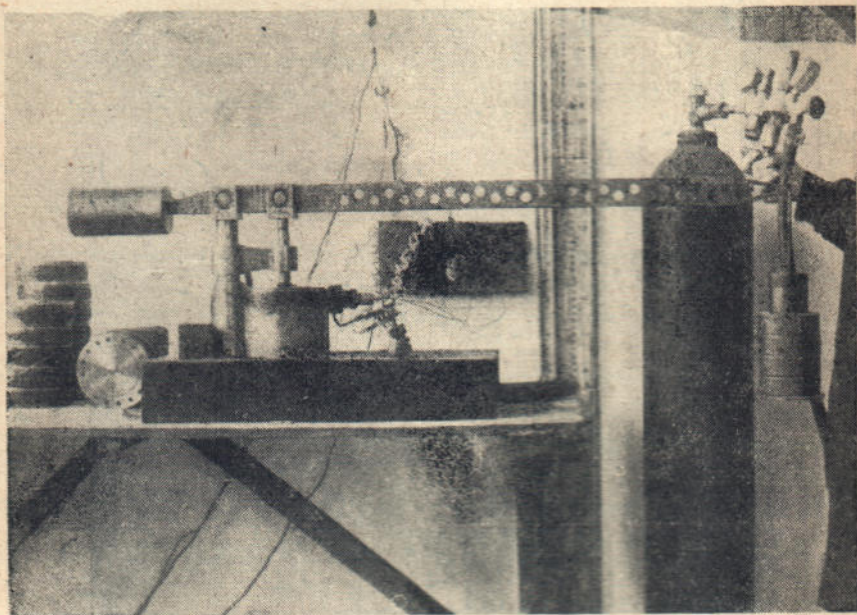


Рис. 8

Обращаясь далее к вопросу об инерции прибора, заметим следующее: установлено, что разрыв электрической цепи (т. е. момент отрыва поршня от контакта), при впуске воздуха в мессдозу происходит при величине давления несколько большей, чем при замыкании электрической цепи, при выпуске воздуха из мессдозы (момент соприкосновения поршня с контактом).

В первом случае внутреннее давление, кроме внешней нагрузки должно преодолеть еще целый ряд других усилий: вес поршня, силу трения по контуру поршня, усилие на деформацию диафрагмы и т. п.

Имея это в виду пишем:

$$P_{\text{внт}} - F = P_{\text{внш}} \dots \dots \dots (1)$$

Схема тарировки мессдозы  
нагрузкой

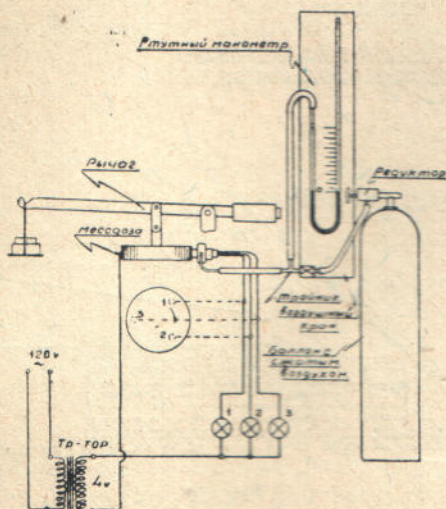


Рис. 9

где

$P_{\text{внт}}$  — внутреннее давление;

$F$  — сумма усилий сопротивлений в мессдозе (трения по контуру, усилия затрачиваемые на деформацию диафрагмы и т. п.);

$P_{\text{внш}}$  — внешнее давление;

Во втором случае условие равновесия будет представлено уже другим выражением, а именно:

$$P_{\text{внт}}^1 = P_{\text{внш}} - F^1 \dots \dots \dots (2)$$

Приравнивая усилия затрачиваемые на сопротивление в самой мессдозе получаем после незначительных преобразований:

$$P_{\text{внш}} = \frac{1}{2} (P_{\text{внт}} + P_{\text{внт}}^1) \dots \dots \dots (3)$$

Это обстоятельство мы и имеем в виду, когда берем для построения кривой тарировки среднее из двух отсчетов (разрыв цепи и замыкание цепи).

Строго говоря, усилия сопротивления мембродоз в обоих случаях не одинаковы, ибо влияние веса поршня во втором случае должно учитываться со знаком плюс, а не минус. Однако, этим обстоятельством можно пренебречь, ибо по данным наших специальных определений, влияние веса поршня сказывается только величиной 2—3 тысячных атмосферы, что в наших расчетах не имеет большого значения.

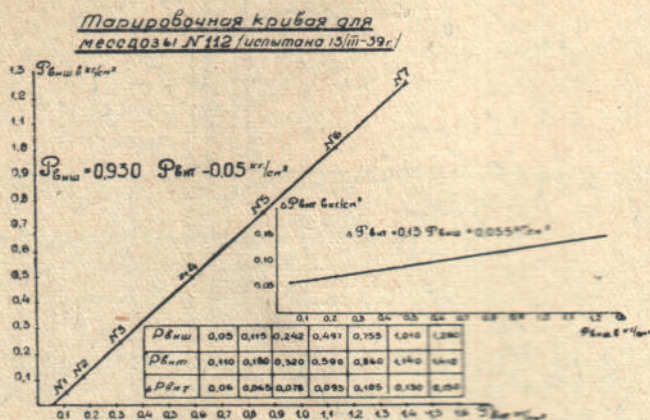


Рис. 10

Такой метод подсчетов при построении кривой, устраняя в некоторой мере «субъективный» характер показаний мембродозы зависящий от особенностей сборки, пригонки и т. п., удобен при сопоставлении давлений в одной точке двумя или несколькими мембродозами, что имеет место почти всегда при установке в створе контрольных мембродоз.

Соответствующая обработка тарифовочных данных по 25 мембродозам, изготовленным в НИГЛ показала достаточную устойчивость уравнения кривой тарифовки.

Как видим из представленной ниже сводной ведомости (см. табл. № 1, стр. 75), чувствительность мембродозы колеблется в пределах 0,04—0,09 кг/см<sup>2</sup> и только в двух мембродозах (из 25) чувствительность равна 0,15—0,20 кг/см<sup>2</sup>, так как, при меньшей ее величине нельзя было (без полной замены большинства деталей) добиться одновременности в отрыве всех трех контактов.

Само собой разумеется, что, на чувствительность мембродозы огромное влияние оказывает материал мембраны. В целом ряде случаев мембродозу можно было отрегулировать на чувствительность порядка 0,01—0,02 кг/см<sup>2</sup>.

Нами, однако (в этих случаях), чувствительность умышленно доводилась до 0,04—0,05 кг/см<sup>2</sup>, так как при такой величине наблюдалась значительно большая равномерность в показаниях мембродозы под нагрузкой.

Таблица № 1  
 Сводная ведомость технических характеристик пневматических мессдоз \*)

№ г/п.	№ мессдозы	Материал диафрагм	Чувствительность мессдозы в кг/см <sup>2</sup>	Уравнение кривой тарировки	Уравнение кривой $\Delta P_{\text{внт}}$
1	2	3	4	5	6
1	114	нержавеющая сталь	0,048	$P_{\text{внш}} = 0,881 P_{\text{внт}} - 0,01 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,15 P_{\text{внш}} + 0,05 \text{ кг/см}^2$
2	100	нержавеющая сталь	0,045	$P_{\text{внш}} = 0,865 P_{\text{внт}} - 0,04 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,16 P_{\text{внш}} + 0,03 \text{ кг/см}^2$
3	102	нержавеющая сталь	0,05	$P_{\text{внш}} = 0,898 P_{\text{внт}} - 0,03 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,12 P_{\text{внш}} + 0,02 \text{ кг/см}^2$
4	48	нержавеющая сталь	0,05	$P_{\text{внш}} = 0,940 P_{\text{внт}} - 0,05 \text{ кг/см}^2$	
5	13	нержавеющая сталь	0,04	$P_{\text{внш}} = 0,840 P_{\text{внт}} - 0,04 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,24 P_{\text{внш}} + 0,93 \text{ кг/см}^2$
6	114/3	нержавеющая сталь	0,16—0,20	$P_{\text{внш}} = 1,00 P_{\text{внт}} - 0,16 \text{ кг/см}^2$	
7	113	латунь	0,04	$P_{\text{внш}} = 0,920 P_{\text{внт}} - 0,04 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,09 P_{\text{внш}} + 0,04 \text{ кг/см}^2$
8	106	нержавеющая сталь	0,15	$P_{\text{внш}} = 1,00 P_{\text{внт}} - 0,15 \text{ кг/см}^2$	
9	119	нержавеющая сталь	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,970 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,09 P_{\text{внш}} + 0,04 \text{ кг/см}^2$
10	002	медная	0,09	$P_{\text{внш}} = 0,950 P_{\text{внт}} - 0,09 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,17 P_{\text{внш}} + 0,09 \text{ кг/см}^2$
11	110	нержавеющая сталь	0,09	$P_{\text{внш}} = 0,910 P_{\text{внт}} - 0,09 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,10 P_{\text{внш}} + 0,09 \text{ кг/см}^2$
12	115	нержавеющая сталь	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,920 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внт}} = 0,11 P_{\text{внш}} + 0,07 \text{ кг/см}^2$

\*) Мессдозы изготвлены в 1938 в НИГЛ для установки на Соколовской плотине.

Продолжение

№ п/п	Номер месдозы	Материал диафрагм	Чувствительность месдозы в кг/см <sup>2</sup>	Уравнение кривой тарировки	Уравнение кривой $\Delta P_{\text{внт}}$
1	2	3	4	5	6
13	101	нержавеющая сталь (но.з)	0,06	$P_{\text{внш}} = 0,920 P_{\text{внт}} - 0,06 \text{ кг/см}^2$	$\Delta P_{\text{внш}} = 0,11 P_{\text{внт}} + 0,06 \text{ кг/см}^2$
14	107-31	нержавеющая сталь	0,09	$P_{\text{внш}} = 0,930 P_{\text{внт}} - 0,0$	
15	101	нержавеющая сталь	0,06	$P_{\text{внш}} = 0,930 P_{\text{внт}} - 0,06 \text{ кг/см}^2$	
16	117	"	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,950 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	
17	103	латунь	0,06	$P_{\text{внш}} = 0,940 P_{\text{внт}} - 0,05 \text{ кг/см}^2$	
18	103	нержавеющая сталь	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,950 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	
19	116	"	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,930 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	
20	103	нержавеющая сталь (нош)	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,940 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	
21	118	нержавеющая сталь (мгк)	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,930 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	
22	130	нержавеющая сталь (мгк)	0,07	$P_{\text{внш}} = 0,920 P_{\text{внт}} - 0,07 \text{ кг/см}^2$	
23	111	нержавеющая сталь (мгк)	0,05	$P_{\text{внш}} = 0,920 P_{\text{внт}} - 0,05 \text{ кг/см}^2$	
24	112	нержавеющая сталь (мгк)	0,05	$P_{\text{внш}} = 0,930 P_{\text{внт}} - 0,05 \text{ кг/см}^2$	
25	104	нержавеющая сталь (мгк)	0,09	$P_{\text{внш}} = 1,02 P_{\text{внт}} - 0,09 \text{ кг/см}^2$	

Примечание: Тарировка произведена на рычажном прессе. Нагрузка при тарировке эксцентричная. Площадь поршня (наружная) 78,5 см<sup>2</sup>. Для месдоз № 4, 8, 14, 15 и др. уравнений кривой  $\Delta P_{\text{внт}}$  не определялось.



Таким образом техническую характеристику мессдозы исследованной конструкции в основном можно представить следующими данными:

- 1) пределы измерения давлений до  $5 \text{ кг/см}^2$ .
- 2) чувствительность от  $0,01$ — $0,02 \text{ кг/см}$ .
- 3) точность измерений зависит от прибора, измеряющего давление воздуха;
- 4) продолжительность измерения 3—5 минут (на стационарной измерительной установке даже меньше).

Интересно отметить еще следующее обстоятельство: величина давления извне и давление изнутри, уравнивающие первое (как это и должно быть), не равны. Это обстоятельство учитывается уравнением кривой тарировки.

Однако, расхождения между внешним и внутренним давлением не остается одинаковым для всех нагрузок, а с достаточно ярко выраженной закономерностью возрастает с увеличением нагрузки.

Аналитически нарастание этого расхождения можно представить уравнением прямой с таким, примерно, диапазоном в параметрах:

$$\left. \begin{aligned} \Delta P_{\text{внт.}} &= 0,09 P_{\text{внш.}} + 0,04 \text{ кг/см}^2 \\ \Delta P_{\text{внт.}} &= 0,15 P_{\text{внш.}} + 0,05 \text{ кг/см}^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots (4)$$

В заключение приведены данные испытания двух мессдоз в условиях близких к натурным. Результаты испытаний (см. рис. 11, стр. 78). Испытания эти были проведены в конце 1937 года, после чего в конструкцию мессдоз были внесены еще некоторые изменения.

### Выводы

Предварительные результаты проведенных исследований кратко могут быть сведены к следующим положениям.

Мессдоза пневматического типа предложенной конструкции в основном удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) простота в обращении;
- 2) прочность и выносливость в механическом отношении;
- 3) малый вес, несложность и дешевизна изготовления, удобство установки на месте;
- 4) независимость показаний от внешних факторов;
- 5) чувствительность прибора;
- 6) наглядность и удобство отсчетов;
- 7) возможность автоматической записи наблюдений.

Основные недостатки прибора на данном этапе освоения: а) недостаточное постоянство показаний; б) трудность непрерывной регистрации отсчетов или полная их невозможность; в) искажение прибором напряженного состояния среды.

Для достижения постоянства показаний необходима точная обработка деталей и соответствие основных материалов, особенно материала мембраны, требованиям технических условий.

В виду значительных затруднений для выполнения этих требований целесообразно произвести некоторые изменения в конструкции, что даст возможность уменьшить требования в отношении точности обработки и качества материалов.

В связи с искажением самим прибором напряженного состояния среды, основным назначением мессдозы НИГЛ пневматического типа следует считать: а) определение давления грун-

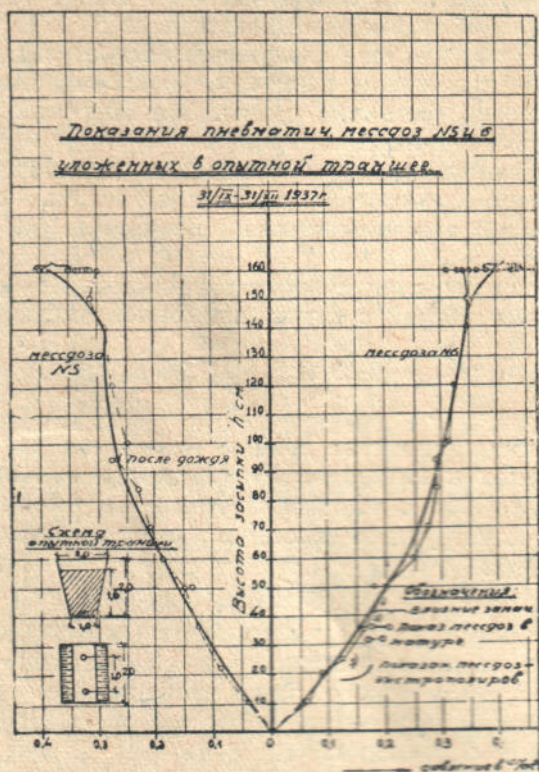


Рис. 11

тов на подпорные стенки, трубы, штольни и т. п.; б) определение давления (реакции) грунтов в основании сооружений; в) определение давления сыпучих тел и гидромассы на стенки бункеров, силосов и т. п.

На данном этапе работы трудно окончательно судить о пределах практических возможностей пневматического метода для измерения давления грунтов, а также о степени совершенства приборов.

Но уже и сейчас имеется ввиду ряд дальнейших упрощений и улучшений, что и является ближайшей задачей Харьковской Научно-Исследовательской Гидротехнической Лаборатории.

## Приложение №

Журнал № 1 испытания пневматической мессдозы № 112 на отрыв контактов

Номер испытания		Номер контактов			Среднее
		1	2	3	
		Показания ртутного манометра в кг/см <sup>2</sup>			
1 . . . . .	P	0,06	0,05	0,06	0,06
	Z	0,05	0,05	0,05	0,05
2 . . . . .	P	0,06	0,06	0,06	0,06
	Z	0,04	0,05	0,05	0,05
3 . . . . .	P	0,05	0,06	0,06	0,06
	Z	0,05	0,05	0,06	0,05
Среднее . . . . .	P	0,06	0,06	0,06	0,06
	Z	0,05	0,05	0,05	0,05

Примечание: 1. P—размыкание цепи  
2. Z—замыкание цепи  
3. Отрыв контактов при погшне вверх.

## Приложение № 2

Журнал № 2. Первичное испытание мессдозы № 112

Внешняя нагрузка в кг/см <sup>2</sup>	Номера контактов			Среднее в кг/см <sup>2</sup>	Среднее в кг/см <sup>2</sup>
	1	2	3		
	Давление в кг/см <sup>2</sup>				
0,050	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11
	0,11	0,10	0,11	0,10	
0,115	0,16	0,19	0,19	0,18	0,18
	0,18	0,18	0,18	0,18	
0,242	0,28	0,33	0,34	0,31	0,31
	0,31	0,32	0,32	0,31	
0,497	0,50	0,60	0,65	0,60	0,60
	0,57	0,60	0,60	0,60	
0,755	0,72	0,84	0,93	0,84	0,84
	0,82	0,89	0,88	0,84	
1,010	0,94	1,17	1,24	1,17	1,17
	1,07	1,18	1,17	1,17	
1,260	1,19	1,45	1,54	1,45	1,45
	1,32	1,46	1,45	1,45	

Примечание: Числитель—давление при размыкании электрической цепи (впуск воздуха в мессдозу).  
Знаменатель—давление при замыкании электрической цепи (выпуск воздуха).

## Приложение № 3

Журнал № 2 Повторное испытание (после регулировки) мессдозы № 112

Внешняя нагрузка в кг/см <sup>2</sup>	Номера контактов			Среднее в кг/см <sup>2</sup>	Среднее в кг/см <sup>2</sup>
	1	2	3		
	Давление в кг/см <sup>2</sup>				
0,050	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
	0,12	0,10	0,12	0,11	
0,115	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
	0,19	0,16	0,19	0,18	
0,242	0,31	0,30	0,32	0,31	0,31
	0,31	0,30	0,32	0,31	
0,497	0,57	0,59	0,60	0,59	0,59
	0,57	0,59	0,60	0,59	
0,755	0,83	0,88	0,89	0,86	0,86
	0,82	0,87	0,89	0,86	
1,010	1,08	1,15	1,16	1,14	1,14
	1,08	1,15	1,16	1,14	
1,260	1,34	1,43	1,45	1,42	1,42
	1,33	1,43	1,45	1,42	

Примечание: Числитель—давление при размыкании электрической цепи (выпуск воздуха в мессдозу)  
Знаменатель—давление при размыкании электрической цепи (выпуск воздуха).

## Приложение № 4

Журнал № 2. Данные тарировки мессдозы № 112 (окончательные)

Нагрузка в кг/см <sup>2</sup>	Номера контактов			Среднее в кг/см <sup>2</sup>	Среднее в кг/см <sup>2</sup>
	1	2	3		
	Давление в кг/см <sup>2</sup>				
0,050	0,12	0,10	0,12	0,11	0,11
	0,12	0,09	0,12	0,10	
	0,12	0,10	0,12	0,11	
	0,12	0,10	0,12	0,11	
	0,12	0,10	0,12	0,11	
	0,12	0,10	0,12	0,11	

(продолжение см. 81—82 стр.)

Нагрузка в кг/см <sup>2</sup>	Номера контактов			Среднее в кг/см <sup>2</sup>	Среднее в кг/см <sup>2</sup>
	1	2	3		
	Давление в кг/см <sup>2</sup>				
0,115	$\frac{0,19}{0,19}$	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,18}{0,18}$	$\frac{0,18}{0,18}$	0,18
	$\frac{0,19}{0,19}$	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,18}{0,18}$	$\frac{0,18}{0,18}$	
	$\frac{0,19}{0,19}$	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,18}{0,18}$	$\frac{0,18}{0,18}$	
	$\frac{0,19}{0,19}$	$\frac{0,16}{0,16}$	$\frac{0,18}{0,18}$	$\frac{0,18}{0,18}$	
0,242	$\frac{0,32}{0,32}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,33}{0,33}$	$\frac{0,32}{0,32}$	0,32
	$\frac{0,32}{0,32}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,33}{0,33}$	$\frac{0,32}{0,32}$	
	$\frac{0,32}{0,32}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,33}{0,33}$	$\frac{0,32}{0,32}$	
	$\frac{0,32}{0,32}$	$\frac{0,30}{0,30}$	$\frac{0,33}{0,33}$	$\frac{0,32}{0,32}$	
0,497	$\frac{0,57}{0,57}$	$\frac{0,59}{0,59}$	$\frac{0,61}{0,61}$	$\frac{0,59}{0,59}$	0,59
	$\frac{0,57}{0,57}$	$\frac{0,59}{0,59}$	$\frac{0,61}{0,61}$	$\frac{0,59}{0,59}$	
	$\frac{0,57}{0,57}$	$\frac{0,59}{0,59}$	$\frac{0,61}{0,61}$	$\frac{0,59}{0,59}$	
	$\frac{0,57}{0,57}$	$\frac{0,59}{0,59}$	$\frac{0,61}{0,61}$	$\frac{0,59}{0,59}$	
0,755	$\frac{0,82}{0,82}$	$\frac{0,87}{0,87}$	$\frac{0,89}{0,89}$	$\frac{0,86}{0,86}$	0,86
	$\frac{0,82}{0,82}$	$\frac{0,87}{0,87}$	$\frac{0,89}{0,89}$	$\frac{0,86}{0,86}$	
	$\frac{0,82}{0,82}$	$\frac{0,87}{0,87}$	$\frac{0,89}{0,89}$	$\frac{0,86}{0,86}$	
	$\frac{0,82}{0,82}$	$\frac{0,87}{0,87}$	$\frac{0,89}{0,89}$	$\frac{0,86}{0,86}$	
1,010	$\frac{1,08}{1,08}$	$\frac{1,15}{1,15}$	$\frac{1,18}{1,18}$	$\frac{1,14}{1,14}$	1,14
	$\frac{1,08}{1,08}$	$\frac{1,15}{1,15}$	$\frac{1,18}{1,18}$	$\frac{1,14}{1,14}$	
	$\frac{1,08}{1,08}$	$\frac{1,15}{1,15}$	$\frac{1,18}{1,18}$	$\frac{1,14}{1,14}$	
	$\frac{1,08}{1,08}$	$\frac{1,15}{1,15}$	$\frac{1,18}{1,18}$	$\frac{1,14}{1,14}$	

Нагрузка в $кг/см^2$	Номера контактов			Среднее в $кг/см^2$	Среднее в $кг/см^2$
	1	2	3		
	Давление в $кг/см^2$				
1,260	$\frac{1,33}{1,33}$	$\frac{1,43}{1,43}$	$\frac{1,46}{1,46}$	$\frac{1,41}{1,41}$	1,41
	$\frac{1,33}{1,33}$	$\frac{1,43}{1,43}$	$\frac{1,46}{1,46}$	$\frac{1,41}{1,41}$	
	$\frac{1,33}{1,33}$	$\frac{1,44}{1,43}$	$\frac{1,47}{1,47}$	$\frac{1,42}{1,12}$	

Примечание: Числитель—давление при размыкании электрической цепи (впуск воздуха в мессдозу).

Знаменатель—давление при размыкании электрической цепи (выпуск воздуха).

### Приложение № 5

Журнал № 3. Сводная ведомость тарировки пневматической мессдозы № 112

Дата испытания 13/III 1939 г.

№№ п/п.	Нагрузка внешняя		Показания ртутного манометра в $кг/см^2$ ( $P$ вт)				Примечание
	в кг	в $кг/см^2$ $P_{внт}$ (делим на 78,5)	Номера контактов				
			1	2	3	среднее в $кг/см^2$	
1	4,03	0,050	0,12	0,10	0,12	0,11	
2	9,03	0,115	0,19	0,16	0,18	0,18	
3	19,03	0,242	0,32	0,30	0,33	0,32	
4	39,03	0,497	0,57	0,59	0,61	0,59	
5	59,03	0,755	0,82	0,87	0,89	0,86	
6	79,03	1,010	1,08	1,15	1,18	1,14	
7	99,03	1,260	1,33	1,43	1,46	1,41	

## Приложение № 6

Научно-Исследовательская Гидротехническая Лаборатория  
гор. Харьков, Белгородская ул. № 8/10.

## Паспорт пневматической мессдозы № 112

Год выпуска . . . . . 1938 г.  
Дата приемки . . . }  
Дата тарировки . . . } 13-III 1939 г.

## Основные данные приемки:

- 1) герметичность — испытана на вакуум в 0,4 атм.;
- 2) отрыв контактов без нагрузки (см. журнал № 1, прил. № 2);  
поршень вниз (средн.) . . . . . кг/см<sup>2</sup>;  
поршень вверх (средн.) . . . . . 0,05 кг/см<sup>2</sup>;
- 3) уравнение кривой тарировки (см. журнал № 3, приложение № 5 и рис. 10);

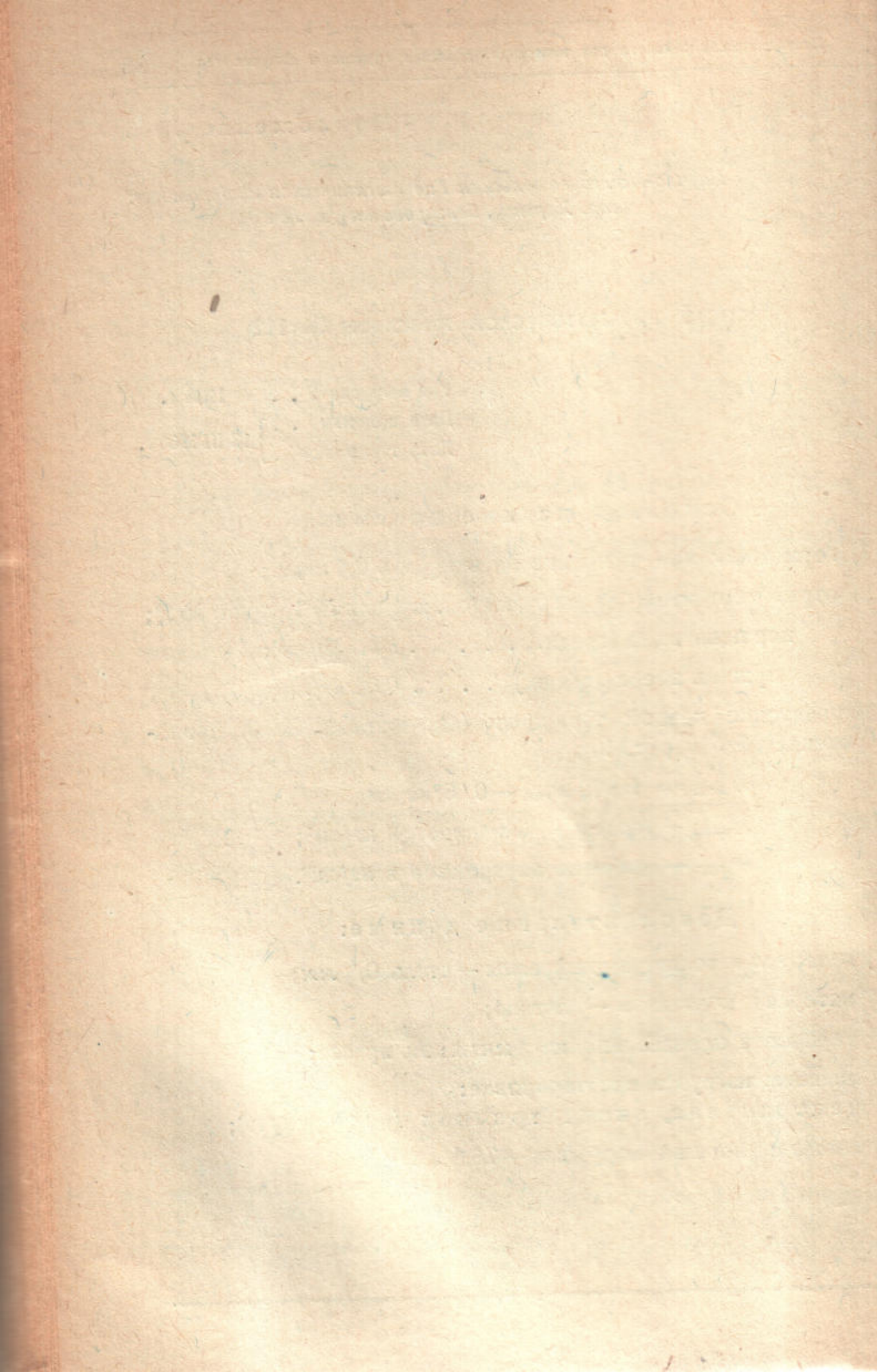
$$P_{\text{внш.}} = 0,930 P_{\text{внт.}} - 0,05 \text{ кг/см};$$

где  $P_{\text{внш.}}$  — давление внешнее в кг/см<sup>2</sup>;

$P_{\text{внт.}}$  — давление внутреннее в кг/см<sup>2</sup>.

## Дополнительные данные:

- 1) материал и толщина диафрагмы — сталь 0,3 мм;
- 2) материал контактов — платина;
- 3) тарировка произведена на рычажном прессе;
- 4) внешняя нагрузка при тарировке:  
центральная, эксцентричная (подчеркнуть);
- 5) площадь поршня наружная — 78,5 см<sup>2</sup>.





## О КОЭФИЦИЕНТЕ УСТОЙЧИВОСТИ СООРУЖЕНИЙ НА СДВИГ

(В ПОРЯДКЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ)

Вопросам устойчивости сооружения в целом инженерная мысль уделяла и уделяет много внимания. В русской технической литературе особенно много внимания уделено этому вопросу в последние годы \*).

Как известно, устойчивость сооружения в целом определяется двумя коэффициентами: коэффициентом устойчивости на сдвиг и коэффициентом устойчивости на опрокидывание. Давность этих терминов весьма солидная, но четкости в смысловом содержании этих терминов, судя по выступлениям нашей профессуры и инженеров проектировщиков, договоренности еще не имеется.

Автора настоящей заметки заставили задуматься над понятием о коэффициенте устойчивости на сдвиг, которое он считал весьма простым и не требующим особых пояснений, вопросы инженеров-проектировщиков: которое из определений (наиболее отличных одно от другого) коэффициента устойчивости на сдвиг отвечает наилучшей запроектовке—предложение инженера В. Н. Маслова или предложение профессора М. Е. Кнорре и инженера В. И. Швей.

\*) В. Н. Маслов. „О коэффициенте устойчивости сооружений на сдвиг“, журнал „Москвалволгострой“ № 4, 1934 г.

М. М. Гришин, „О коэффициентах устойчивости сооружений“, журнал „Гидротехническое строительство“, № 12, 1936 г.

И. Вайсфельд. „Об ошибках, встречающихся при определении коэффициента запаса на сдвиг и на опрокидывание“, журнал „Гидротехническое строительство“, № 12, 1936 г.

Н. Ф. Хоциалов. „Коэффициент устойчивости“, журнал „Гидротехническое строительство“, № 12, 1936 г.

П. Г. Киселев. „Замечания о коэффициенте устойчивости“, журнал „Гидротехническое строительство“, № 12, 1936 г.

М. Е. Кнорре и В. И. Швей. „О коэффициенте устойчивости гидротехнических сооружений на сдвиг“, журнал „Гидротехническое строительство“, № 10, 1937 г.

Без долгих размышлений автор настоящей заметки (должен сознаться) предложил воспользоваться в расчетных операциях тем определением, которое дает большую гарантию устойчивости сооружения, при принятии в расчет одних и тех же сил, т. е. меньшее значение коэффициента устойчивости.

С этой целью автор перефразировал выражение коэффициента устойчивости на сдвиг, данное М. Е. Кнорре—В. И. Швей:

$$K_{K-ш} = \frac{T + C + \Delta E_p^*}{(W_1 + E_1) - (W_2 + E_2)},$$

так—

$$K_{K-ш} = \frac{T + E_p + W_2 + C}{W_1 + E_1} + (K_{K-ш} - 1) \cdot \left( \frac{W_2 + E_2}{W_1 + E_1} \right) \quad (1)$$

$T$ — сила трения сооружения о грунт или грунта о грунт;

$C$ — сила сцепления сооружения с грунтом или грунта с грунтом;

$\Delta E_p$ — величина отпора грунта со стороны нижнего бьефа, за вычетом активной части давления грунта;

$W_1$ — горизонтальное давление воды со стороны верхнего бьефа;

$W_2$ — горизонтальное давление воды со стороны нижнего бьефа;

$E_1$ — активное давление земли со стороны верхнего бьефа;

$E_2$ — активное давление земли со стороны нижнего бьефа;

$E_p$ — пассивное давление грунта со стороны нижнего бьефа.

Устанавливая для сравнимости обоих предложений (М. Е. Кнорре—В. И. Швей и В. Н. Маслова) один и тот же комплект действующих на сооружение сил, т. е. полагая в формуле величину силы сцепления  $C=0$  (так как эта сила отсутствует в комплекте В. Н. Маслова), напишем оба выражения для коэффициента устойчивости на сдвиг:

В. Н. Маслова—

$$K_m = \frac{T + E_p + W_2}{W_1 + E_1} \quad (2)$$

М. Е. Кнорре—В. И. Швей—

$$K_{K-ш} = \frac{T + E_p + W_2}{W_1 + E_1} + (K_{K-ш} - 1) \left( \frac{W_2 + E_2}{W_1 + E_1} \right) \quad (3)$$

Так как величина коэффициента устойчивости должна быть всегда больше единицы

$$K > 1,$$

\*) Обозначения сил несколько изменены по сравнению с подлинником.

то формулы (2) и (3) со всей очевидностью показывают, что величина коэффициента устойчивости по М. Е. Кнорре — В. И. Швей всегда больше величины этого коэффициента по В. Н. Маслову:

$$K_{K-Ш} > K_m$$

т. е. по принятии в расчет одного и того же комплекта действующих на сооружение сил большую страховку устойчивости сооружения должна давать формула В. Н. Маслова.

Так просто, по-обывательски, автор разрешил сомнения проектировщиков. Но дальнейшие рассуждения на эту тему и внимательный просмотр доступной автору литературы привели к совершенно неожиданной для него мысли (должен сознаться), что вопрос о „коэффициентах устойчивости“ не так прост, а серьезный, интересный и глубокий в своей сущности вопрос.

Рассмотрим предложенные формулировки понятия „коэффициента устойчивости“. По В. Н. Маслову (должны оговориться, что это весьма давнее определение) величина коэффициента устойчивости на сдвиг определяется отношением суммы удерживающих сил (действующих со стороны нижнего бьефа), к сумме движущих сил (действующих со стороны верхнего бьефа).

Проф. М. Е. Кнорре и инж. В. И. Швей возражают против такого определения, мотивируя свое возражение отсутствием физического признака в выражении (2) и наличием чисто математической группировки действующих сил.

Нам же думается, что в определении В. Н. Маслова участвует исключительно наглядная физика явления: чего же проще и нагляднее — одни силы стремятся сдвинуть, другие — удержать; превалирование вторых над первыми определяет устойчивость сооружения.

Такой наглядности мы не усматриваем в формулировке проф. М. Е. Кнорре и инж. В. И. Швей\*), а в развернутой математической транскрипции понятия „коэффициента устойчивости“ отсутствует строгое разделение сил активных от реактивных. В самом деле, перепишем выражение для коэффициента устойчивости по М. Е. Кнорре — В. И. Швей, заменив в нем значение  $\Delta E_p$  ему равным:  $\Delta E_p = E_p - E_2$ ,

$$K_{K-Ш} = \frac{T + C + E_p - E_2}{(W_1 + E_1) - (W_2 + E_2)}$$

Откуда замечаем, что одна и та же активная сила ( $E_2$ ) входит в числитель и в знаменатель выражения.

\*) „Гидротехническое строительство“, № 10, 1937 г., стр. 5.

Однако, отмеченное обстоятельство не мешает нам считать это предложение шагом вперед в дальнейшем развитии вопроса, хотя бы уже по одному тому, что они решили по иному его поставить и осветить.

Обзор соответствующей литературы, привел нас к тому же выводу, к которому пришли проф. М. Е. Кнорре и инж. В. И. Швей: о необходимости установления четкой не допускающей разных толкований формулировки понятия не только для „коэффициента устойчивости“, но и для сил, действующих в комплексе.

Первым этапом в установлении четкого понятия коэффициента устойчивости на сдвиг следует считать установление характеристики действующих сил; с этой целью было бы весьма полезным ввести в обиход такие понятия:

а) силы активные—силы постоянно и непрерывно действующие на сооружение;

б) силы пассивные—это те силы, которые можно обнаружить и измерить только в момент подвижки сооружения.

Обычно, эти последние силы в момент покоя сооружения не обнаруживаются (например, сила трения, пассивное давление— $p$  грунта).

Совершенно очевидно, что пассивные силы и создают тот основной запас устойчивости, который используют строители.

Отсюда, как логическое следствие вытекает название этого основного запаса устойчивости—потенциальным запасом устойчивости.

Рассмотрим три основных схемы, которыми пользуются инженеры для создания „потенциального запаса устойчивости“.

Схема 1. Невесомая стенка (в практике это будет шпунт,

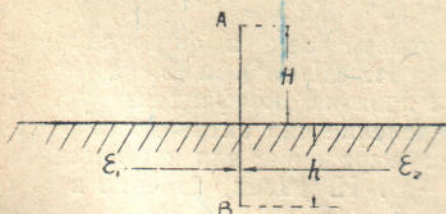


Рис. 1

тонкая диафрагма) заделана в грунт на некоторую глубину (рис. 1)  $E_1$  и  $E_2$ —активное давление грунта на стенку: первое действует слева, второе—справа.

При однородном грунте, очевидно,  $E_1 = E_2$  в случае схемы, изображенной на рисунке 1.

Если на стенку начнет действовать некоторая новая горизонтальная сила слева направо, то тем самым вызовется явление отпора грунта справа (станет участвовать в игре сил пассивное давление— $E_p$ ).

Рассмотрение схемы 1-й приводит к заключению, что в этом случае „потенциальный запас устойчивости“ равен:

$$\Pi_1 = E_p;$$

этот запас устойчивости способен оказать сопротивление некоторой силе, действующей, например, слева направо.

Для пояснения нашей мысли изменим несколько схему 1-ю. Пусть некоторая сила  $R$  с помощью тонкой (невесомой) стенки

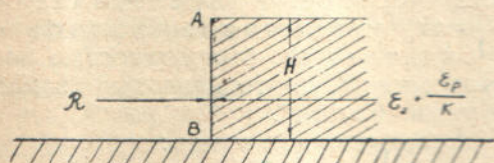


Рис. 2

$AB$  удерживает насыпь из грунта высотой  $H$ , расположенную на плоском горизонтальном основании.

Рассмотрим случаи предельного (неустойчивого) равновесия:

а) нижний предел — стенка будет находиться

в неустойчивом равновесии, когда  $R = E_2$  (активному давлению справа).

Если величина силы  $R$  станет меньше  $E_2$ , то стенка станет скользить влево ( $\leftarrow$ )

б) верхний предел — стенка будет находиться в неустойчивом равновесии, когда  $R = E_p$ .

Если величина силы  $R$  станет больше силы  $E_p$ ,

$$R > E_p$$

то скольжение стенки будет протекать вправо ( $\rightarrow$ ).

Следовательно, устойчивость стенки будет сохраняться во всех тех случаях, когда величина силы  $R$  будет равна:

$$R = E_2 + \frac{E_p}{K},$$

где  $K$  — любое число в пределах от

$$\frac{E_p}{E_p - E_2} \text{ до } \infty.$$

Все это можно весьма наглядно иллюстрировать графически (рис. 3).

Схема 2. Стенка работает только собственным весом (рис. 4 стр. 90).

В этом случае потенциальный запас устойчивости равен

$$\Pi_{II} = T = fG,$$

где

$G$  — вес стенки (за вычетом привода давления в случае гидротехнического сооружения),

$f$  — коэффициент трения покоя.

Схема 3 (комбинированная).

Стенка работает собственным весом и отпором.

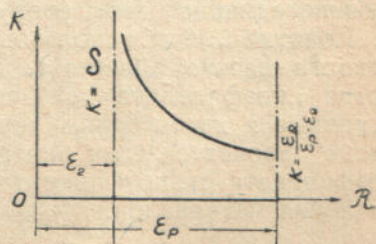


Рис. 3

„Потенциальный запас устойчивости“ в этом случае равен:

$$\Pi_{III} = T + E_p.$$

Подвергнем стенки одностороннему действию некоторой силы  $W_1$  (слева направо), но с таким расчетом, чтобы стенки сохраняли устойчивое равновесие, т. е. не был полностью использован „потенциальный запас устойчивости“.

Тогда будем иметь:

По схеме 1-й —

$$W_1 + E_1 = \frac{E_p}{K_I} + E_2. \quad (4)$$

По схеме 2-й —

$$W_1 = \frac{T}{K_{II}}. \quad (5)$$

По схеме 3-й —

$$W_1 + E_1 = \frac{T + E_p}{K_{III}} + E_2. \quad (6)$$

где

$$K_I, K_{II}, K_{III} > 1.$$

Назовем величину отношения  $\left(\frac{1}{K}\right)$  мерой использования „потенциального запаса устойчивости“ сооружения.

Выражения (4), (5) и (6) показывают, что „мера использования“ потенциального запаса устойчивости должна быть всегда меньше единицы, дабы сооружение оставалось сохранным.

Понятие „меры использования“ потенциального запаса устойчивости весьма облегчает, автор так думает, установление понятия „коэффициента устойчивости на сдвиг“. Особенно четко основные и характерные черты понятия „коэффициента устойчивости“ проявятся, если определению предпослать аналогию этого коэффициента с „коэффициентом безопасности“ из теории сопротивления материалов.

$$n = \frac{R'}{R} = \frac{\text{(временное сопротивление)}}{\text{(допуск. напряжение)}}$$

Таким образом, в результате приведенных рассуждений можно предложить такое определение коэффициента устойчивости:

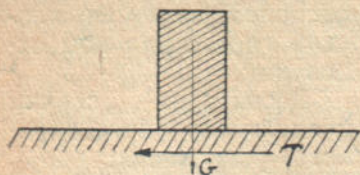


Рис. 4

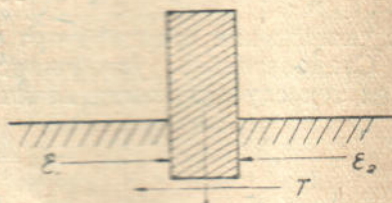


Рис. 5

„Коэффициент устойчивости сооружения на сдвиг (коэффициент безопасности, коэффициент незнания) — величина обратная мере использования  $\left(\frac{1}{K}\right)$  потенциального запаса устойчивости сооружения в целом.

Такое определение облегчает установление градации величины „коэффициента устойчивости“ по степени важности сооружения, по характеру грунтов, по схемам создания потенциального запаса устойчивости и, что особенно важно, по точности и надежности расчетных операций.

Это же понятие позволяет без колебаний получить точную алгебраическую расстановку действующих сил в выражении для этого коэффициента в любом случае действия комплекта горизонтальных сил.

Например, для случая, рассматриваемого вышеназванными авторами, двустороннего действия горизонтальных сил на сооружение по схеме 1-й будем иметь:

$$W_1 + E_2 = \frac{E_p}{K_1} + W_2 + E_2;$$

откуда

$$K_1 = \frac{E_p}{(W_1 + E_1) - (W_2 + E_2)}; \quad (7)$$

по 2-й схеме;

$$W_1 = \frac{T}{K_{II}} + W_2,$$

откуда

$$K_{II} = \frac{T}{W_1 - W_2}; \quad (8)$$

По схеме 3-й (комбинированной):

$$W_1 + E_1 = \frac{T + E_p}{K_{III}} + W_2 + E_2,$$

откуда

$$K_{III} = \frac{T + E_p}{(W_1 + E_1) - (W_2 + E_2)}. \quad (9)$$

Сила сцепления нами опущена, да и введение этой силы в комплект действующих сил не всеми поддерживается. Во всяком случае, если некоторые проектировщики найдут необходимым эту силу ввести в комплект, то они это очень легко сделают, поставив эту силу в числитель дробного выражения.

В заключение полезно сравнить выражение (9) для коэффициента устойчивости на сдвиг с выражениями (2) и (3); последнее выражение для удобства сравнения несколько перефразировано:

$$K_M = \frac{T + E_p + W_2}{W_1 + E_1} \quad (\text{по В. Н. Маслову});$$

$$K_{K-III} = \frac{T + E_p + W_2}{W_1 + E_1} + (K_{K-III} - 1) \frac{W_2}{W_1 + E_1} + (K_{K-III} - 1) \frac{E_2}{W_1 + E_1}$$

(по М. Е. Кнорре — В. И. Швей);

$$K_{III} = \frac{T + E_p + W_2}{W_1 + E_1} + (K_{III} - 1) \frac{W_2}{W_1 + E_1} + \left( K_{III} \cdot \frac{E_2}{W_1 + E_1} \right). \quad (9')$$



## ДВИЖЕНИЕ ЖИДКОСТИ ПО КАСКАДНОМУ ВОДОСБРОСУ

1. Трудность задачи проектирования каскадных водосбросов, иначе называемых — многоступенчатыми перепадами, заключается для практиков в неуверенности правильного назначения длины отдельных ступеней водосброса, для теоретиков же — в невозможности подойти с анализом к тому сложному гидравлическому феномену, какой наблюдается при движении жидкости по «ступенчатому руслу».

Инженерная мысль всегда стремилась подвести теоретическую базу под данные опыта, дабы тем самым иметь возможность предугадать возможную картину явлений на вновь проектируемом сооружении, и, главное, уменьшить по возможности влияние на результаты решения задачи такого фактора, как интуиция проектировщика и строителя. К этому фактору часто прибегают, но не всегда удачно.

Вот почему нелишне заняться еще и еще раз задачей построения теоретических расчетов для движения жидкости по каскадному водосбросу, задачей еще не разрешенной до сего времени, хотя потребность в таком решении ощущается повседневно.

В настоящей работе мы не собираемся давать теорию вопроса в целом, мы только попытаемся теоретически обосновать расчетную схему движения жидкости по отдельной ступеньке перепада.

2. Движение жидкости вдоль каскадного водосброса весьма сложное и весьма интересное явление, и действительная картина этого движения весьма далека от тех схем (расчетных моделей), какие были предложены гидравликами до сего времени, и какие продолжают еще рассматриваться всеми авторами. Особенно значительно отклоняется от действительного явления расчетная модель движения жидкости вдоль водосброса без специальных устройств на ребре ступени для создания водяной подушки («простая ступень»).

Существующая общепринятая модель движения жидкости

вдоль «простой» ступени перепада (без водобойного колодца) изображена на рисунке 1.

Согласно этой схемы струя жидкости, падая с верхней ступени, продолжает далее продвигаться по нижней, сохраняя

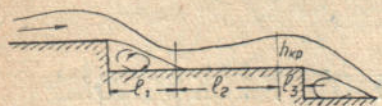


Рис. 1

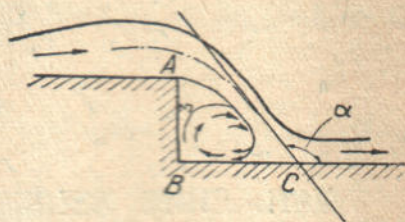


Рис. 2

плавное очертание на всем протяжении ступени. Общая картина движения такова:

- а) поверхность ступени горизонтальна;
- б) вид поверхности струи — кривая подпора;
- в) течение «бурное»;
- г) на некотором отдалении от сливного ребра устанавливается критическая глубина;
- д) струя не падает, а ложится на ступень и все время пробега лежит на ступени.

Потребная длина ступени согласно схемы складывается из таких частей:

- первой — дальности отлета струи от стенки падения  $l_1$ ;
- второй — длины кривой подпора, начиная от самого сжатого живого сечения струи (момента сопряжения со ступенькой) до установления критической глубины ( $h_{кр}$ );
- третьей, принимаемой, обычно, без расчета и равной,  $\frac{3}{2} h_{кр}$  кривой спада, или по Б. А. Бахметеву ( $2-2,5 h_{кр}^*$ )

Таким образом, общая длина ступени должна быть равной:

$$L = l_1 + l_2 + l_3.$$

3. Посмотрим, какова в действительности картина протекания жидкости вдоль ступени каскадного водосброса.

Струя в силу простой физики явления не ложится на ступеньку, а падает, встречая плоскость ступени под некоторым углом (рис. 2).

В силу этого обстоятельства она (струя) должна в точке падения раздвоиться: часть струи должна отклониться влево и

\*) Профессор Б. А. Бахметев, «Гидравлика», Ленинград, 1932 г. стр. 229.

образовать постоянный водяной мешок с непрерывной в нем циркуляцией жидкости. В этом случае струя в нижней своей части будет эжектировать воду из водяного мешка и вновь пополнять его запасы.

При эжекции, как известно, всегда неизбежны значительные потери \*); следовательно, принятие в расчет потерь в струе только на простое «преобразование» энергии означает отсутствие реального охвата явления, или, попросту — наблюдательности.

Необходимо отметить еще одно существенное обстоятельство: уровень жидкости под струей даже в случае полного отсутствия вакуума держится всегда выше, чем глубина струи вправо от точки падения на ступеньку; это говорит за то, что этот уровень поддерживает то количество кинетической энергии, которое непрерывно подводит под струю отделяющаяся влево часть потока.

4. Плавное очертание струи и ее полное прилипание к площадке ступени возможно лишь в тех случаях, когда ступенька коротка и потери энергии потока на трение по контуру (на стенках) настолько невелики, что не могут преодолеть упругих свойств струи. В этом случае об установлении критической глубины на какой либо части ступени говорить, конечно, и не приходится. Если ступень окажется для данного потока достаточно длинной и трение по контуру соприкосновения потока со ступенькой достигнет относительно (к мощности потока) значительной величины, то в потоке должны появиться значительные деформации.

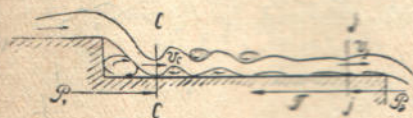


Рис. 3



Рис. 4

Известно, что жидкость, находящаяся в движении уподобляется упругому телу (например, струе), и чем с большими скоростями движется жидкость, тем сильнее проявляют себя упругие свойства, приобретенные струей. Следовательно, струю, расположенную на ступеньке, можно рассматривать как упругое твердое тело, движущееся с трением вдоль ступеньки. В результате на некотором протяжении струи должна появиться сила, которая будет вызывать продольный изгиб последней (рис. 3).

\*) Ненько Я. Т. «Теория эжектора», Труды научно-исследовательской гидротехнической лаборатории за 1938 г., выпуск «Вопросы водоснабжения», Харьков.

Силу эту легко подсчитать, если имеются данные измеренных скоростей в сечениях  $C-c$  и  $j-j$ :

$$T = P_1 - P_2 = \frac{\gamma Q}{g} (v_c - v_j).$$

Под действием этой силы струя должна деформироваться и принять извилистую форму, подобно бруску из пластичной массы, сжимаемому с двух концов.

Следовательно, струя при относительной длине ступени (по отношению к мощности потока) должна двигаться колебательным движением, причем наивысшая высота подъема должна расположиться непосредственно у места ее падения на ступеньку, потому что здесь приложена наибольшая сила, убывающая по мере сближения скоростей  $v_c$  и  $v_j$ .

Опыт легко обнаруживает это явление: пьезометры, поставленные вдоль ступеньки, дают зеркальное отображение картины движения.

В этом случае поверхность потока будет являть внешне кривую спада, хотя поток будет находиться в состоянии «бурного» течения (рис. 4, стр. 95).

Наличие колебательного движения струи вдоль ступени легко обнаруживается наблюдениями над дальностью отлета струи при падении ее на нижерасположенную ступеньку.

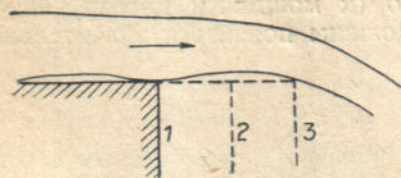


Рис. 5



Рис. 6

Струя может покидать ступеньку в моменты различных фаз волны и в начальной фазе (фазе подъема), и в момент наивысшего подъема, и на спаде (рис. 5). Во всех этих случаях, очевидно, дальность отлета струи будет различна; удлинение ступеньки может вызвать увеличение дальности отлета и, наоборот, укорочение длины ступени вызовет уменьшение дальности отлета струи: явление явно парадоксальное для того, кто не умеет наблюдать.

5. Утверждение гидравликов, что глубина струи на ступени может достигнуть глубины критической при плавном очертании потока и при отсутствии прыжка на ступени, не доходя до сливного ребра, является простым недоразумением.

При плавном очертании струи и жидкости на ступени должно происходить спокойное возрастание глубин в силу наличия

потерь в потоке; это возрастание глубин может быть только до того момента, когда в потоке устанавливается минимальный запас удельной энергии. Последнее может случиться только на сливном ребре в случае плавного роста глубин в потоке.

Указание гидравликов на то обстоятельство, что критическая глубина устанавливается в таких случаях на расстоянии, примерно, равном  $3/2 h_{кр}$  или по Б. А. Бахметеву (2—2,5)  $h_{кр}$  от сливного ребра; ссылка их на опыты проф. Б. А. Бахметева и И. О. Москвитинова просто устанавливает непонимание физической стороны явления и противоречие самим себе: как может поток жидкости, текущий по горизонтальному ложу, достигнуть на каком то расстоянии критической глубины (рассеяв весь излишек удельной энергии) и затем начать уменьшать свои глубины, увеличивая вместе с тем запасы своей энергии без всякого приведения последней извне (самозарождение энергии?!).

Между тем легко показать, что та глубина, которую гидравлики при производстве своих опытов принимают за критическую, является результатом лишь несовершенства опытов и измерений, и что установлению действительной критической глубины на ребре слива мешает кривизна струи спадающего потока, а в случаях длинной ступени и колебательное движение потока.

6. Напишем уравнения движения жидкости для элементарной струйки вязкой жидкости и любого угла наклона оси  $X$ -ов к горизонту:

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{du}{dt} &= \rho g \sin \delta - \frac{\partial p}{\partial x} - i_f; \\ 0 &= \frac{\partial p}{\partial y}; \\ \rho \frac{dw}{dt} &= \rho g \cos \delta - \frac{\partial p}{\partial z}, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1).$$

где  $\delta$ —угол, составляемый осью  $X$ -ов с горизонтальной прямой,  $u, v$  компоненты скорости.

Так как распыление потока в стороны отсутствует, то величина компонента скорости  $v$  принята равной нулю (во втором уравнении системы 1).

Внутренним трением жидкости, вернее вертикальной его составляющей, пренебрегаем  $\left( \frac{\partial T}{\partial z} \cong 0 \right)$ .

Пусть рисунок (6) изображает конец горизонтальной площадки, где поток претерпевает наибольшую деформацию изгиба. Направим ось  $X$ -ов вдоль по площадке по течению потока, тогда угол  $\delta = 0$ .

Рассмотрим движение криволинейной элементарной струйки (рис. 6, стр. 96) и для нее перепишем систему уравнения (1):

$$\left. \begin{aligned} \rho \frac{du}{dt} &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho \frac{\bar{v}^2}{R} \sin i - i_f; \\ 0 &= \frac{\partial p}{\partial y}; \\ \rho \frac{dw}{dt} &= -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \rho \frac{\bar{v}^2}{R} \cos i, \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2)$$

где  $i$  — угол, составляемый касательной к струйке в данной точке, ее сечения (рис. 63);

$\frac{\bar{v}^2}{R}$  — ускорение центробежной силы, действующей на струйку.

Посчитав поток на участке 1-2 его наибольшей кривизны до сливного ребра потенциальным, сможем для дальнейших своих рассуждений использовать равенство:

$$\bar{v}R = C = \text{const} \dots \dots \dots (3)$$

где  $\bar{v}$  — скорость движения струйки в данном сечении;

$R$  — радиус вращения данного живого сечения струйки вокруг мгновенного центра.

Так как все струйки в рассматриваемой части потока криволинейны, за исключением струйки, прилегающей непосредственно к ступеньке, то скорости их должны составлять некоторый угол  $i$  с осью абсцисс. Это последнее обстоятельство позволяет нам написать:

$$\left. \begin{aligned} U &= \bar{v} \cos i \\ W &= \bar{v} \sin i \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

Уравнение первой системы (2) при принятии во внимание зависимости (4) может быть преобразовано так:

$$d\left(\frac{\bar{v}^2}{2g} \cos^2 i\right) = -d\left(\frac{P}{\gamma}\right) + \frac{\bar{v}^2}{gR} \sin i dx - i_f dx, \dots \dots (5)$$

где  $\gamma = \rho g$ .

Имея в виду, что  $\sin i \cdot dx = dR$ , перепишем уравнение (5)

$$d\left(\frac{\bar{C}^2}{2gR^2} \cos i\right) = -d\left(\frac{P}{\gamma}\right) - d\left(\frac{C^2}{2gR^2}\right) - i_f dx.$$

Интегрируя от первого сечения струйки до второго, получим:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} - \frac{C_2^2}{2gR_2} (1 + \cos^2 i_2) + \frac{C_1^2}{2gR_1} (1 + \cos^2 i_1) - \int_1^2 i_f dx (6)$$

Пользуясь зависимостями (4), преобразуем третье уравнение системы (2):

$$d\left(\frac{\bar{v}^2}{2g} \sin^2 i\right) = -dz - d\left(\frac{P}{\gamma}\right) + \frac{\bar{v}^2}{gR} \cos i d_2;$$

но  $dz \cdot \cos i = dR$ , а  $\bar{v} = \frac{C}{R}$ ,

Тогда уравнение переписывается так:

$$d\left(\frac{C^2}{2gR^2} \sin^2 i\right) = -dz - d\left(\frac{P}{\gamma}\right) - d\left(\frac{C^2}{2gR^2}\right),$$

или

$$d\left(\frac{P}{\gamma} + z\right) + d\left(\frac{C^2}{2gR^2} + \frac{C^2}{2gR^2} \sin^2 i\right) = 0. \dots (7)$$

Интеграл этого уравнения будет иметь вид:

$$\frac{P}{\gamma} + z + \frac{C^2}{2gR^2} (1 + \sin^2 i) = A = \text{const.} \dots (8)$$

Пренебрегая атмосферным давлением на поверхность потока (так как оно остается постоянным вдоль потока), определяем величину постоянной  $A$  на основании таких соображений: при

$$Z = h, P = 0, R = R_0, i = i_0.$$

тогда имеем

$$A = h + \frac{C^2}{2gR_0^2} (1 + \sin^2 i_0),$$

и, следовательно, уравнение (8) переписывается так:

$$\frac{P}{\gamma} = h + \frac{C^2}{2gR_0^2} (1 + \sin^2 i_0) - z - \frac{C^2}{2gR} (1 + \sin^2 i). \dots (9)$$

Подставляя значение  $\frac{P}{\gamma}$  из уравнения (9) в уравнение (6), получим:

$$\begin{aligned} h_2 + \frac{C_2^2}{2gR_{02}^2} (1 + \sin^2 i_{02}) - z_2 - \frac{C_2^2}{2gR_2^2} (1 + \sin^2 i_2) = \\ = h_1 + \frac{C_1^2}{2gR_{01}^2} (1 + \sin^2 i_{01}) - z_1 - \frac{C_1^2}{2gR_1^2} (1 + \sin^2 i_1) - \\ - \frac{C_2^2}{2gR_2^2} (1 + \cos^2 i_2) + \frac{C_1^2}{2gR_1^2} (1 + \cos^2 i_1) - \int i dx \dots (10) \end{aligned}$$

Так как мы рассматривали движение любой струйки потенциального потока, то в силу этого, очевидно, мы вправе писать

уравнение (10) для любой струйки потока. Перепишем уравнение (10) для донной струйки, лежащей на плоскости поверхности, для которой мы имеем:

$$Z_1 = Z_2 = 0, R_1 = \infty \text{ и } R_2 = \infty,$$

$$h_2 + \frac{C_2^2}{2gR_{02}^2}(1 + \sin^2 i_{02}) = h_1 + \frac{C_1^2}{2gR_{01}^2}(1 + \sin^2 i_{01}) - \int_1^2 i_f dx. \quad (11)$$

В сечении первом (1-1) струйки отличаются малой кривизной ( $\frac{1}{R} \cong 0$ ), поэтому мы позволим себе посчитать в этом сечении поток прямолинейным и для уменьшения погрешности от этого допущения отбросим член:  $\int_1^2 i_f dx$ , выражающий собою гидравлические сопротивления в потоке на длине от сечения 1-1 до сечения 2-2. В результате таких упрощений получим:

$$h_2 = h_1 - \frac{\bar{C}_2^2}{2gR_{02}^2}(1 + \sin^2 i_{02}) \dots \dots \dots (12)$$

Или, приняв во внимание зависимость (3), напишем:

$$h_2 = h_1 - \frac{\bar{C}_{01}^2}{2g}(1 + \sin^2 i_{02}) \dots \dots \dots (13)$$

Уравнение (13) показывает, что изменение глубин в потоке в конце ступени происходит весьма интенсивно в сторону уменьшения, хотя запас удельной энергии в потоке остался почти неизменным: вся суть явления заключается в том, что перераспределение энергии в потоке криволинейном между частями кинетической и потенциальной происходит в этом случае не по простой зависимости:

$$E = h + \alpha \frac{Q^2}{g\omega^2},$$

а более сложной, в виду несохранения постоянства для любой точки живого сечения потока суммы членов:

$$\left(\frac{P}{\gamma} + Z\right).$$

В криволинейном потоке величина суммы  $\left(\frac{P}{\gamma} + Z\right)$  в любом сечении последнего меняется от точки к точке (см. уравнение 9), этим и объясняются расхождения между данными опытных изме-

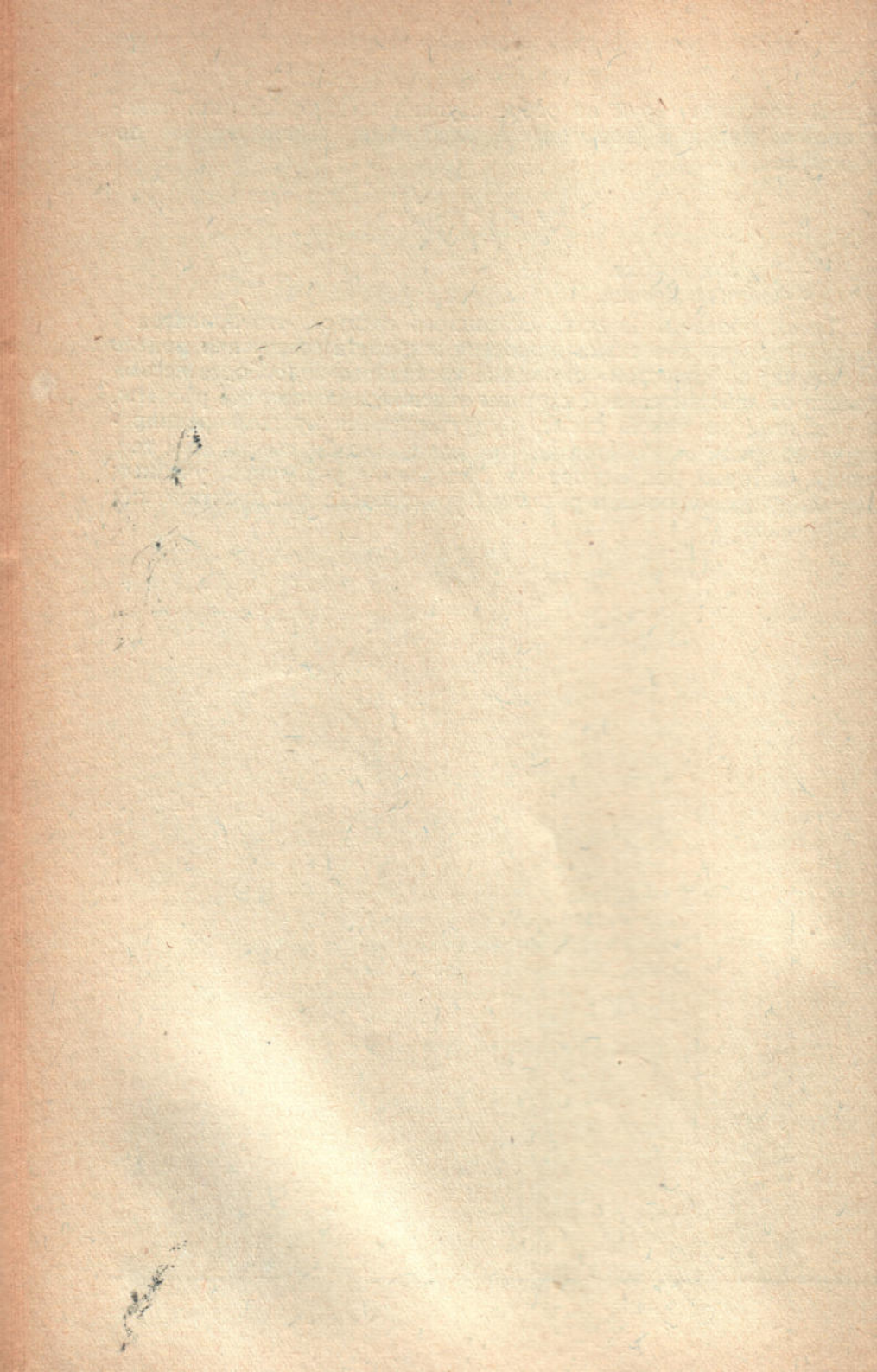


рений толщины струи на ребре ступени водосброса (или водослива с широким порогом) и глубинами, вычисляемыми по формуле

$$h_{кр} = \sqrt[3]{\frac{\alpha Q^2}{gb^2}}$$

где  $Q$  — расход потока,  
 $b$  — ширина потока.

Таким образом, из всего сказанного следует, что принятая у наших гидравликов схема движения жидкости (расчетная модель движения) по «простой» ступеньке каскадного водосброса весьма далека от действительной картины явления, а потому все расчеты, основанные на такой схеме, будут являться пустым времяпрепровождением. Это обстоятельство следовало бы учесть всем тем лицам, которые претендуют на составление учебников, учебных пособий, справочников и различных руководств для практических работников.



## О ПРИЧИНАХ ПОРЧИ ВОДЫ В СКВАЖИНАХ ГОР. КРАМАТОРСКА И О МЕРОПРИЯТИЯХ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПОСЛЕДНЕЙ

Водоснабжение гор. Краматорска и его заводов базируется на 4-х скважинах, расположенных на правом берегу р. Торец в 700 метрах от него.

Место для заложения скважин выбрано чрезвычайно неудачно.

Скважины заложены на площадке, расположенной в непосредственной близости к коксохимическому заводу, металлургическому заводу, нефтескладу, конному двору, неблагоустроенному рабочему поселку и на месте бывшей свалки (см. схему стр. 104).

В связи с тем, что подземный поток в трещиноватом мелу оказался небольшого дебета, фильтры были заложены и в верховодке в мергеле. Учитывая водопроницаемость песчаного грунта, можно считать вполне возможным в данных условиях загрязнение верховодки, угрожающее питьевому водопроводу.

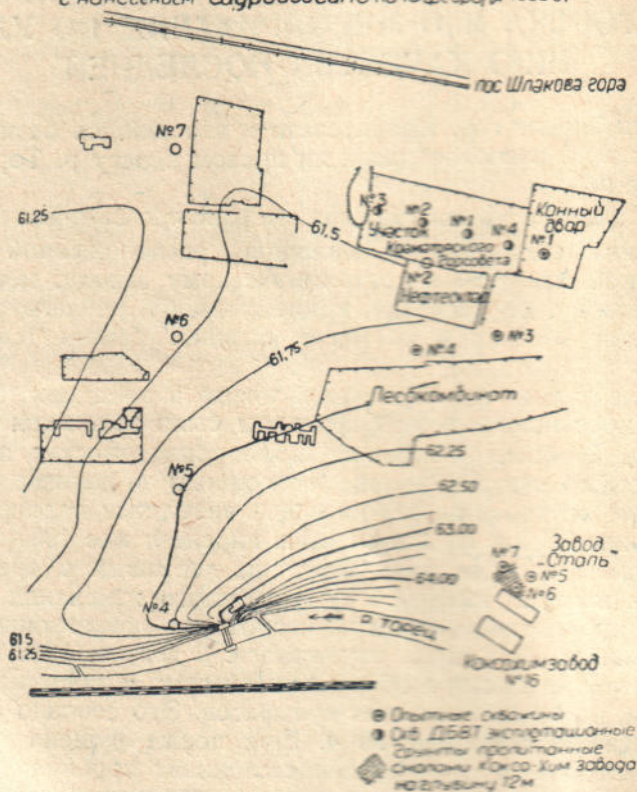
Скважины № 3 и № 1 пущены в апреле и мае 1931 г. В первый год эксплуатации этих скважин, дававших в среднем по  $40 м^3$  в час каждая, никакого существенного изменения в составе вод не происходило, затем на второй год эксплуатации состав воды скважины № 1 начал ухудшаться. В августе 1932 г. появились нитриты, в декабре обнаружен аммиак, и повысился солевой состав, в основном за счет сульфатов. Это совпало с пуском в эксплуатацию скважины № 4. Еще позже пущена скважина № 2, с увеличением откачки депрессионная воронка увеличилась и в скважины стали подсасываться воды из более отдаленных районов, в частности из района расположения коксохимического завода. Вскоре, что и надо было предполагать, в воде повысилась окисляемость и появился неприятный запах и привкус.

Работниками Артемовской лаборатории треста по водоснабжению Донбасса (ДБВТ) запах хлорированной воды был определен как хлорфенольный. И только лишь в наиболее отдаленной скважине № 3 запаха и привкуса не обнаруживалось до 1935 г. В 1935 г. в воде этой скважины появился еле уловимый запах. Наиболее резкий запах и привкус обнаруживается в воде

наиболее молодой скважины № 2, имеющей наименьший дебет, затем в скважине № 1 и потом уже в скважине № 4.

Содержание этих ароматических веществ в воде скважин и представляло большой интерес. В связи с тем, что природа этих ароматических соединений была неизвестна, местная лаборатория производила только лишь определение фенолов по методу

Схематический план  
района расположения водонаблюдающих скважин  
г. Краматорска (Ч/з Д.Б.В.Т.)  
с нанесением гидроизогипс на 18 декабря 1935 г.



Тульского завода и по методу Хандена. Методика как одна, так и другая не совершенна, расхождения в результатах исследования содержания фенолов по обоим методам оказались по ряду причин большими и в силу этого полученные результаты не могли быть использованы для построения кривой содержания фенолов в воде каждой из 3-х скважин. Следует еще раз подчеркнуть, что помимо фенолов в воде скважин содержался сложный комплекс органических соединений, не определяемых по Тульскому методу и по методу Хандена. Методикой доступной лабо-

ратории установлено, что содержание фенолов в воде скважин не одинаковое для трех скважин и колеблется по каждой из них; то наблюдается ничем не объяснимое увеличение их, то уменьшение.

Во время длительной остановки коксохимзавода для производства капитального ремонта, содержание ароматических соединений в воде скважин не только не уменьшилось, но напротив увеличилось. Это обстоятельство указывает на наличие источника загрязнения, не стоящего в связи с работой коксохимического завода, сбрасывающего сточные воды.

С другой стороны, наличие в воде ароматических соединений давало указание на загрязнение подземных вод сточными водами химического завода. Эти противоречивые данные побудили произвести обследование коксохимзавода, нефтесклада, поселка и конного двора, проведенное в 1934 г. Центральной научно-исследовательской лабораторией (ЦНИЛ) ДБВТ. В результате обследования выявлено, что завод периодически выпускает свои отработанные воды из известковых колонн аммиачного отделения в поглощающую яму. Заводу предложено прекратить выпуск вод, содержащих фенолы, в почву и предложено использовать их для тушения кокса.

Содержание ароматических соединений в воде скважин: № 1, 2 и 4 все возрастало. Запах и привкус настолько усилились, что вода стала непригодна для питья. Невольно напрашивался вопрос, а не вредна ли эта вода для человеческого организма? Положение с Краматорским водоснабжением стало затруднительным. Краматорск мог остаться без питьевой воды.

Управление Донбассводтреста потребовало срочной высылки экспедиции ЦНИЛта для установления причин порчи воды, природы ароматических соединений, их источника, проработки способа очистки воды от привкуса и запаха и указания конкретных мероприятий по краматорским скважинам под руководством старшего научного сотрудника ЦНИЛта Щеголева К. В.

### Санитарное состояние территории скважин

Краматорские эксплуатационные скважины питьевого водопровода расположены на границе поймы р. Торец на правом берегу в 700 метрах от реки, по прямой линии в направлении с юго-запада на северо-восток в таком порядке скважины: № 4 и 1, № 2, № 3. Расстояние между смежными скважинами 100 метров. К территории расположения скважин примыкает конный двор Индустроя, насчитывающий до 300 лошадей, шлаковая гора металлургического завода, представляющая собой большой отвал остывшего шлака, вывозимого в ковшах из доменного цеха, заводской поселок барачного типа, весьма неблагоустроенный и в санитарном отношении неблагополучный, склад нефтепродуктов

и поблизости расположены заводы: машиностроительные, металлургический и коксохимический.

В прошлом территория скважин была свалкой хозяйственного мусора. Естественно, что грунт района расположения скважин должен быть загрязнен.

Геологическое строение района скважин, судя по данным геологического разреза скважин, не в состоянии предохранить ни верховодку, ни меловой горизонт от загрязнений, вносимых промышленными предприятиями, поселком и конным двором.

### Характеристика скважин

Скважина № 3 пущена первой в 1931 г., глубина заложения фильтра в скважине 11,5—15 метров, фильтр заложен в трещиноватом мелу.

Слой чернозема . . . . .	1,5 мтр		
Сухой песок . . . . .	от 1,5 мтр	до 3,0 мтр	
Глина песчаная . . . . .	3,0	4,5	„
Песок крупно-зернистый сухой . . . . .	4,5	7,4	„
Песок мелкий с гравием . . . . .	7,4	8,7	„
Песок крупный водоносный . . . . .	8,7	9,7	„
Гравий водоносный . . . . .	9,7	10,7	„
Серый крупно-зернистый, водоносный песок . . . . .	10,7	11,2	„
Разборный мел с кремнем, водоносный . . . . .	11,2	17,2	„
Плотный мел с кремнем . . . . .	17,2	35,0	„

Существенного изменения солевого состава воды скважины № 3 не произошло за время с 1931 по 1935 г.

Длительная откачка на изменение состава вод заметно не повлияла. Дебет скважины № 3 остался неизменным. Скважина № 3 может иметь больший приток, вследствие того, что она только одной стороной прилегает к скважинам.

Скважина № 1 пущена в 1931 г. одновременно со скважиной № 3. Фильтр заложен на глубине 14,5 метров, в трещиноватом мергеле и в плотном мелу.

### Геологический разрез скважины № 1

Черноземный слой . . . . .	1,5 мтр		
Желтый песок . . . . .	от 1,5	до 5 мтр	
Красная глина с песком . . . . .	5	6	„
Крупно-зернистый влажный песок . . . . .	6	8	„
Мергель водоносный . . . . .	10,25	21,00	„
Плотный мел . . . . .	21,00	63,0	и т. д.

За время откачки с 1931 по 1935 г. в составе воды произошли существенные изменения как солевого состава, так и физических

свойств воды. Плотный остаток возрос с 1024 *мгр* до 1345 *мгр* на литр, сульфаты с 196 *мгр* до 320 *мгр* на литр, жесткость с 24,8° до 39,4°.

	Май 1931 г.	Май 1935 г.
Аммиака . . . . .	0	12,5
Нитриты . . . . .	0	0,13
Нитраты . . . . .	16,0	15,0

Окисляемость воды не постоянная и колеблется в пределах от 1,1 *мгр* в 1931 г. до 13,76 в 1935 г. Вода с конца 1932 г. приобрела неприятный привкус и запах. В 1933 г. примененная методика дала возможность определить в воде скважины № 1 сотые и десятые миллиграмма фенолов, в 1935 г. содержание фенолов в воде исчислялось 3—4 *мгр* на литр. Физические свойства воды делают ее совершенно непригодной для питья. Вода стала опалесцировать, прозрачность ее сильно упала. На скважине № 1 работает 2 насоса производительностью 50 *м³* каждый.

Скважина № 4 пущена в 1933 г.

#### Геологический разрез скважины № 4

Слой чернозема и супеси . . . . .	1,5	<i>метр</i>
Темно-красный глинистый песок . . . . .	от 1,5	до 4,60 <i>метр</i>
Темно-красная глина . . . . .	4,60	" " 6,70 "
Мелкий глинистый песок . . . . .	" 6,70	" " 8,50 "
Крупный гравий с галькой и крем- нем . . . . .	" 8,50	" " 11,5 "
Трещиноватый мергель . . . . .	" 11,5	" " 35,7 "
Мягкий мел с кремнем . . . . .	" 35,7	" " 51,0 "

С первого же момента откачки воды скважина № 4 показала повышенный солевой состав по сравнению со скважинами № 1 и 3.

	Май 1933 г.	Январь 1934 г.
Плотный остаток . . . . .	1180 <i>мгр</i>	1467 <i>мгр</i>
Хлориды . . . . .	162,6 "	185,0 "
Сульфаты . . . . .	258,0 "	384,0 "
Жесткость в нем. град. . . . .	25° "	37° "
Аммиака . . . . .	0 "	0 "
Нитриты . . . . .	0 "	0 "
Нитраты . . . . .	9,8 "	30,0 "
Окисляемость $O_2$ . . . . .	1,3 "	16 "
Фенолы . . . . .	—	0,05 "

Физические свойства ухудшились — появился неприятный привкус и запах. Содержание фенолов возросло до 0,4 *мгр* на литр. Дебет скважины 20 *м³* час.

Скважина № 2 пущена в 1934 г. Фильтр заложен на глубину 3,35 метра.

#### Геологический разрез скважины

Влажный желтый песок . . . . .	1,5	мтр	
Зернистый песок . . . . .	от 1,5	„	до 3,5 мтр
Крупно-зернистый водоносный песок с гравием . . . . .	3,5	„	5,0 „
Гравий кремнистый мелкий водоносный . . . . .	5,0	„	6,0 „
Разборный разрушенный мел водоносный . . . . .	6	„	12 „
Плотный мел с кремнем . . . . .	12	„	18 „

Также как и в скважине № 4 в начале откачки солевой состав воды скважины № 2 повышен по сравнению с водой скважин № 1 и 3 в начале откачки их.

	Апрель 1934 г.	Сентябрь 1934 г.
Плотный остаток . . . . .	1131 мг	1269 мг
Хлориды . . . . .	221,0 „	263,0 „
Жесткость общая . . . . .	27,8 „	32,8 „
Аммиак . . . . .	1,46 „	2,15 „
Нитриты . . . . .	0,108 „	0,34 „
Нитраты . . . . .	6,4 „	4,9 „
Окисляемость . . . . .	4,4 „	7,3 „
Фенолы . . . . .	0,42 „	0,56 „

Неприятный запах и привкус в воде скважины увеличивался в процессе откачки. Содержание фенолов и окисляемость возрастают. В январе 1935 г. в литре воды обнаружено 9,2 мг фенолов. Вода опалесцировала, временами прозрачность ее резко падала, появилась значительная цветность, иногда были обнаружены смоляные нити. Запах и привкус увеличивались и откачка скважины была прекращена.

В бактериологическом отношении вода скважин относительно благополучна, коли-титр менее 100 гс.

#### Природа веществ, сообщающих воде привкус—запах

В конце 1932 г., как только появился в воде Краматорского водопровода неприятный привкус и запах, Артемовская районная лаборатория ДБВТ обратила на это внимание и приступила к установлению природы этих веществ и путей проникновения их в скважины водопровода.

Эти привкус и запах были объяснены наличием в воде скважин фенолов. Фенолы из-за отсутствия микро-методики определялись по появлению в воде после хлорирования запаха хлорфенола.



Наличие в воде подземного потока и верховодки значительных количеств фенола может быть объяснено загрязнением ее стоками коксохимического или фенольного заводов. Как уже указывалось выше в Краматорске в 500 мтр от скважины расположен коксохимический завод, спускающий свои фенольные и отработанные воды в легко-водопроницаемый грунт.

Вопрос природы веществ, загрязняющих воду скважин, не может считаться в какой бы то ни было мере разрешенным установлением факта наличия фенолов. Вода скважин ведет себя несколько своеобразно. Как правило, водам, содержащим фенолы даже в ничтожных количествах и не имеющих до хлорирования ощутимого запаха, при хлорировании сообщается неприятный хлорфенольный запах. При хлорировании фенольных вод запах усиливается, в то время как воды скважин № 1, 2 и 4 имеют неприятный запах, несколько отличный от запаха фенола до хлорирования, не усиливающийся после хлорирования. Это обстоятельство заставляет призадуматься над вопросом о природе веществ, содержащихся в воде Краматорских скважин.

Прежде чем приступить к изучению способов борьбы с явлением наличия запаха и привкуса в воде и к выработке мероприятий по предупреждению появления в воде скважин веществ, сообщающих привкус и запах, необходимо установить природу этих веществ.

Для производства анализа этих органических соединений необходимо овладеть методикой и в данном случае микро-методикой, так как содержание этих веществ в питьевой скважинной воде не велико. Применявшиеся Артемовской и Краматорской лабораториями методы не приемлемы.

Данные анализа одной пробы воды, произведенного по обоим методам, сильно разнятся. Времени для лабораторной проверки этих способов не было, поэтому особенно полагаться без проверки на эти способы мы не могли и результатам определения фенолов особенно не доверяем. Данные о довольно высоком содержании фенолов, доходящем до 9 и 13 мгр, безусловно, невероятны, повидимому, указанные методы определения не специфичны для фенолов. При наличии такого количества фенолов вода имела бы запах карболки, при хлорировании резкий запах хлорфенола и для питья была бы совершенно непригодна.

В связи с отсутствием микро-методики определения фенолов и методик определения всех органических веществ ароматического ряда, входящих в сложный комплекс соединений, содержащихся в воде скважин, пришлось идти к определению природы этих веществ не аналитическим путем, а синтетическим, путем искусственного получения аналогичных вод растворением в естественной грунтовой незагрязненной воде, продуктов производства и продуктов отброса производств коксохимического завода и нефтепродуктов.

В связи с тем, что нефть представляет собой сложную смесь разных химических соединений, главную массу которых составляют углеводороды предельные, циклические, ароматические и полициклические, мы не могли нефть и продукты ее переработки не включить в число тех продуктов, с которым мы рассчитывали экспериментировать по тем соображениям, что возможность поступления их при проливах в грунтовой песок на территории нефтесклада не была исключена. Водные вытяжки нефти, смазочных масел и мазута и др. нефтепродуктов не дали реакции на фенол по Хандену и при хлорировании не возникало запаха, присущего воде скважин, или хлорфенола. Таким образом установлено, что нефтесклад не имеет отношения к появлению в воде скважин запаха и привкуса.

На коксохимическом заводе для экспериментов были взяты следующие воды: вода из аммиачного цеха после известковых колонн, вода кругового процесса, вода от промывки солярового масла и надсмольная вода. Помимо того была взята и газовая смола, в связи с тем, что на территории завода расположены большие смолохранилища, возможность утечки смолы из которых не исключена.

Разведение надсмольной воды в 200 раз водой из новой скважины Комхоза, близкой по своему составу к воде скважины № 3, дало воду с характерным запахом и привкусом, присущим воде Краматорских скважин № 1, 2 и 4 и наличие аммиака и фенолов по Хандену. Водная вытяжка из газовой смолы дала такой же результат. Остальные воды показали отдаленное сходство.

Из сказанного видно, что запах, присущий воде скважин, есть запах газовой смолы. Следовательно, порча воды скважин происходит в результате загрязнения их промышленными стоками, содержащими газовую смолу, фенолы и аммиак.

Для установления пути поступления этих веществ в воду скважин, прежде всего было произведено обследование завода № 16. В основном обследование завода ставило своей целью установление мест выпуска вод, содержащих газовую смолу и мест хранения этих вод и самого продукта.

На коксохимическом заводе имеется один вид вредных сточных вод—эти сточные содержащие фенол воды от известковых колонн аммиачного цеха по прохождении отстойников выпускающиеся на протяжении ряда лет в поглотительную яму, расположенную за забором химзавода на территории металлургического завода. Количество этих вод довольно значительно, достигающее до 1246 м<sup>3</sup> в месяц. Выпуск этих вод неравномерный, а периодический, через 2 суток на третьи. Воды от промывки соляровых масел обычно в стоки не выпускаются, а если и выпускаются в виде исключения, то тоже в эту же поглотительную яму.

Сточные воды от известковых колонн газовой смолы не содержат. А по данным Краматорской лаборатории в 1935 г. в воде скважины № 2 были обнаружены сгустки смолы и смоляные нити, следовательно выпуском в почву фенольных вод от известковых колонн нельзя объяснить наличие в воде значительного количества газовых смол. Хранилище для газовой смолы находится под землей—большой бетонированный резервуар емкостью до 200 м<sup>3</sup>, постоянно наполняемый и разгружаемый, учеть утечки не представляется возможным без специальных сложных подготовительных работ и устройств.

Ознакомление с производством во времени позволило выяснить, что завод был пущен почти на год раньше нежели было пущено аммиачное отделение и на протяжении 1924 и начала 1925 года выпускал надсмольные воды, содержащие газовую смолу, аммиак, свободный и связанный и фенолы в лощину, расположенную рядом с территорией завода.

Для выявления влияния сброшенных в грунт огромных количеств надсмольной воды на грунтовые воды, мною было намечено изучение грунтовых вод и с этой целью заложено 7 скважин.

Скважина № 1 (см. схему расположения пробных скважин) должна была дать представление о составе вод в этой скважине и о влиянии на грунтовый поток отвало-шлаковой горы и конного двора.

Скважина № 2 должна была дать представление о влиянии нефтесклада на грунтовый поток.

Скважина № 3 и № 4 должны были дать представление о характере загрязнения грунтовых вод сточными водами коксохимзавода и о направлении грунтового потока и о размере депрессии.

Скважина № 5 заложена в поглощающей фенольные сточные воды яме с целью изучения состава грунтовых вод и установления степени их загрязнения сточными фенольными водами.

Скважина № 6 заложена в лощине, в которую выпускались надсмольные воды в 1924-25 году.

Скважина № 7 заложена по пути следования вод от скважины № 6 к скважинам ДБВТ с тем, чтобы установить как далеко проникли смолы и надсмольная вода обнаруженные в скважине № 6.

Разрез скважин дает представление о геологическом строении поймы Торца от Коксохимзавода к скважинам ДБВТ.

Буровая скважина № 1 заложена на конном дворе Индустроя по линии эксплуатационных буровых скважин на расстоянии 119,50 м от скважины № 4 на Юг. Начата и закончена 20-V1935 г.

Наименование пород	Мощность пород:			Стат. ур. воды от поверх. земли
	от	до	мощность пласта	
1. Чернозем . . . . .	0,00	2,55	2,55	20/V—9,35 21—8,60
2. Песок темнобурый .	2,55	6,20	3,65	22—7,70 23—8,10
3. Глина бур. песчан. твер. . . . .	6,20	8,15	1,95	24/V—8,00 25—7,90
4. Песок бурый с кремнев. галькой . . . .	8,15	10,85	2,70	
5. Песок бурый крупнозернистый с кремнев. галькой . . . .	10,85	12,30	1,45	

Буровая скважина № 2 во дворе эксплуатационных скважин ДБВТ возле забора нефтесклада. Начата 20-V-1935 года, закончена 20-V 1935 г.

№ п. п.	Наименование пород	Мощность пород:			Стат. уровень воды от поверхности земли
		от	до	мощность пласта	
1	Чернозем песчаный со шлаком . . . . .	0,00	2,90	2,90	20/V—5,70
2	Суглинок грязнобурый влажный . . . . .	2,90	4,70	1,80	21/V—5,50
3	Песок грязносерый мелкозернистый, сухой .	4,70	5,50	0,80	22/V—5,52
4	Песок серый мелкозернистый мокрый .	5,50	6,90	1,40	26/V—5,54
5	Песок светло-желтый глинистый, мелкозернистый, водоносный .	6,90	8,05	1,15	24/V—5,40
6	Песок серый, крупнозернистый с кремневой крупной и мелкой галькой . . . . .	8,05	8,50	0,45	25/V—5,40

Буровая скважина № 3—возле базисного склада № 2, начата и закончена 21/V 1935 г.

№№ п/п.	Наименование пород	Мощность пород:			Стат. уровень воды от поверхности земли
		от	до	мощность пласта	
1	Чернозем . . . . .	0,00	2,10	2,10	21/V—4,78
2	Суглинок бурый гнейдами ржавчины с известью . . . . .	2,10	3,00	0,90	22/V—4,78
3	Суглинок светло-бурый мягкий . . . . .	3,00	4,45	1,45	23/V—4,70
4	Песок серый, разнозернистый с желтым оттенком, глинистый . . . . .	4,45	7,90	3,45	24/V—4,80 25/V—4,80

Буровая скважина № 4 начата 20/V, закончена 21/V 1935 г., заложена возле забора и шоссеной дороги металлургического завода

№№ п.п.	Наименование пород	Мощность пород:			Стат. уровень воды от поверхности земли
		от	до	мощность пласта	
1	Чернозем . . . . .	0,00	2,15	2,15	21/V—4,60
2	Глина темно-бурая твердая . . . . .	2,15	4,95	2,80	22/V—4,52 23/V—4,60
3	Песок желтый . . . . .	4,95	6,30	1,35	24/V—4,44
4	Песок серый крупнозернистый с кремнев. галькой . . . . .	6,30	8,90	2,60	25/V—4,45

Буровая скважина № 5 начата 21/V, закончена 21/V 1935 г. во дворе завода возле электрической вышки в районе Сахалина

№№ п.п.	Наименование пород	Мощность пород:			Стат. уровень воды от поверхности земли
		от	до	мощность пласта	
1	Чернозем насыпной с разным мусором . . . . .	0,00	1,80	1,80	21/V—5,00
2	Суглинок бурый гнейдами ржавчины с известковыми вкраплениями, твердый . . . . .	1,80	3,20	1,40	22/V—4,20

№№ п/п.	Наименование пород	Мощность пород:			Стат. уровень воды от поверхности земли
		от	до	мощность пласта	
3	Суглинок бурый с желтоватым оттенком, твердый . . . . .	3,20	4,10	0,90	23/V—4,00
4	Песок бурый, разнозернистый, с желтоватым оттенком . . . . .	4,10	5,90	1,80	24/V—3,90
5	Песок серый разнозернистый . . . . .	5,90	7,20	1,30	25/V—4,05
6	Песок серый крупнозернистый с кремневой галькой . . . . .	7,20	8,00	0,80	—

Буровая скважина № 6 начата 21/V, закончена 24/V 1935 г. у коксохимического завода на участке Сахалин.

№№ п. п.	Наименование пород	Мощность пород:			Стат. уровень воды от поверхности земли
		от	до	мощность пласта	
1	Чернозем насыпной . .	0,00	2,35	2,35	23/V—6,30
2	Ил темно-зеленоватый пропитанный газовой смолой . . . . .	2,35	6,85	4,50	24/V—4,90
3	Суглинок темно-зеленый то же со смолой	6,85	7,15	0,30	25-V—4,73
4	Супесок разнозернистый с зеленым оттенком . . . . .	7,15	9,30	2,15	—
5	Песок серый крупнозернистый с крупной пропитанной газовой смолой . . . . .	9,30	10,40	1,10	—
6	Мел плотный глинистый, темный в виду наличия газовой смолы .	10,40	12,55	2,15	—
7	Мел светло-синий, трещиноватый с включением кремнево-мергелевой гальки с сильно отдающим запахом газовой смолы . . .	12,55	24,70	12,15	—
8	Мел чисто белый, вязкий без запаха . . .	24	26,30	1,60	—

Буровая скважина № 7 начата 22/V, закончена 23/V 1935 г.  
у коксохимического завода на участке Сахалин.

№ № п/п.	Наименование пород	Мощность, пород:			Стат. ур- вень воды от поверх- ности земли
		от	до	мощ- ность пласта	
1	Чернозем . . . . .	0,00	0,55	0,55	25/V—8,50
2	Суглинок бурый гнез- дами ржавчины с из- вестковой прослой- кой твердый . . . . .	0,55	2,20	1,65	24/V—4,30
3	Суглинок светлбурый	2,20	4,20	2,00	25/V—4,30
4	Суглинок грязнобурый (запах смолы) . . . . .	4,20	5,70	1,50	
5	Песок бурый разнозер- нистый, запах смолы	5,70	7,10	1,40	
6	Песок темнобурый раз- нозернистый . . . . .	7,10	7,70	0,60	
7	Песок темно - серый крупно - зернистый с кремн. и кварц. галь- кой . . . . .	7,70	9,65	1,95	

Данные анализа вод из пробных скважин мг/литр

	Скв. № 1	Скв. № 2	Скв. № 3	Скв. № 4	Скв. № 5	Скваж. № 6			Скв. № 7
						гл. 15 м.	12 мт	18 мт	
Цвет . . . . .	б/ц	слегка желт.	тоже	б/ц	сл. ж.	желт.	ярко- кирп.	желез.	—
Запах смолы . . .	—	смолы	газом	газо- смолы	газо- смолы	газо- смолы	газо- смолы	—	—
Аммиак следы . . .	—	3,6	13,2	2,7	66,7	147,0	132,6	135,1	—
Нитриты . . . . .	1,56	1,05	2,5	3,07	1,28	0,37	нет	0,73	—
Нитраты . . . . .	17,0	31,2	4,9	13,1	1,1	нет	—	следы	—
Реакция . . . . .	4,8	3,4	4,8	3,6	8,8	—	—	—	—

	Скв. № 1	Скв. № 2	Скв. № 3	Скв. № 4	Скв. № 5	Скваж. № 6			Скв. № 7
						гл. 15 м.	12 м	18 м	
Хлориды . . . .	132	132	414	200	390	2699	—	—	—
Окислям. . . .	29,0	11,4	25,5	14,3	71,4	1100,0	3126,0	912,6	—
Фенолы . . . .	0,57	0,49	2,49	0,37	9,05	406,8	1292,0	339,0	—
Плотный остаток	976	952	2020	1428	1750	3000,0	3300	—	—
Сульфаты . . . .	184	176	376	352	616	696,0	528,0	—	—
Окись кальция .	282,0	250,0	452,0	378,0	218	524,0	840,0	—	—
Окись магния .	67	58	109	93	56	54,0	36,0	—	—

Основным источником загрязнения воды скважин является коксохимический завод, сбрасывавший надсмольную воду и смолы, обнаруженные в грунте скважины № 6. На глубине 2,3 метра в скважине № 6 обнаружен грунт, пропитанный газовой смолой совершенно черный. Дальнейшее бурение показало, что скв. № 6 весь грунт пропитан смолой на глубину до 10-ти метров, имеет черный цвет с зеленоватым отливом. Вода была обнаружена на глубине 6,3 метра, отобранная для анализа проба была совершенно черного цвета, после длительной фильтрации приобрела цвет крепкого настоя чая. На глубине 10,4 мтр обнаружен мел, окрашенный в темный цвет с резким запахом смолы, также, как и вода в мелу оказалась сильно окрашенной и с резким запахом газовой смолы. И только лишь на глубине 24,7 метров мел был лишен ощутимого запаха. Повидимому загрязняющие грунт вещества не смогли проникнуть так глубоко. Заслуживает быть отмеченным то обстоятельство, что пловун черного цвета с большим включением смол.

Смежная скважина № 5, расположенная в 40 метрах в месте бывшей ямы, всасывающей фенольные воды, дала воду с незначительным содержанием фенола и с явно ощутимым запахом газовой смолы. Никаких включений газовой смолы в грунте скважины не обнаружено. Скважина № 7, заложенная в 75 метрах от скважины № 6 с целью установления зоны распространения загрязненного смолы пловуна, дала воду и кварцевый песок, отдающие запахом газовой смолы. Включений смолы в породе не обнаружено.



Данные анализа вод из скважин №№ 6, 7 и 5.

	Скважина № 6 с глубины		Скважина № 7 с глубины		Скважина № 5 с глубины	
	10 мт 23/V	10 мт 25/V	8,5 м 24/V	19,5 м 25/V	8 мт 24/V	11 м 25/V
Окисляемость . . .	3333,0	426,0	24,3	29,8	62,60	43,80
Фенолы . . . . .	714,3	64,9	4,15	1,0	4,40	6,10
Аммиак . . . . .	117,8	10,0	30,0	28,7	88,8	60,0
Нитриты . . . . .	нет	сл.	нет	0,25	нет	0,1
Нитраты . . . . .	—	1,5	0,8	3,2	1,2	1,4

Анализ вод скважин дает указание на незначительное распространение смол и концентрированных вод.

В связи с получением этих материалов картина загрязнения вод скважин Краматорского водопровода рисуется так: в 1924-25 году систематически ежедневно выпускалась сырая надсмольная вода с содержанием смол, аммиака, фенолов непосредственно в грунты, грунты легкопроницаемы, поэтому смолы проникли достаточно глубоко, постепенно происходило скопление смол, образовавших почти водонепроницаемую прослойку в грунте перед мергелем, таким образом сильно концентрированные воды в своей основной массе не стали просачиваться в глубь. Легкая водопроницаемость грунта способствовала тому, что воды первоначально свободно фильтровались в глубь и слабо рассасывались вследствие этого по сторонам. Со временем смолы настолько забили пустоты между песчинками, обволокли их так, что песок стал слабоводопроницаемым и началось скопление концентрированных вод, обнаруженных нами при бурении скважины № 6.

Почвенные воды на своем пути встречали участок загрязненный смолами и постепенно размывали смолы и вымывали фенолы. Надо полагать, что с момента пуска 4-х скважин ДБВТ скорости грунтового потока возросли и интенсивность рассасывания смол увеличилась, что депрессия, созданная в результате усиленной откачки скважин ДБВТ захватила и район скв. № 6 видно из того материала, который получен нами в результате замера статического горизонта в пробных скважинах.

Наименование скважин	Отметки скважин в метрах	Отметки уровня воды в метрах	Отстояние от скважины № 1 (эксплоатац. в м)
Скважина № 1 аксплоатац. .	69,05	—	—
„ № 1 пробная . .	69,53	60,93	202,0
„ № 2 „ . . . . .	66,32	60,63	103,0
„ № 3 „ . . . . .	66,28	61,48	202,0
„ № 4 „ . . . . .	65,98	61,48	274,0
„ № 5 „ . . . . .	66,38	62,38	494,0
„ № 6 „ . . . . .	66,21	62,48	518,0
„ № 7 „ . . . . .	67,41	62,31	485,0

Разница в отметках статического уровня воды в скв. № 6 наиболее отдаленной и скв. № 2 наиболее близкой к эксплуатационной скважине—1,85 метра.

Рассасывание скопления смолы и фенолов в грунте происходит тем интенсивнее, чем больше откачка воды из скважины.

Отдача воды по Краматорскому водопроводу возрастает.

#### Водоотдача Краматорских скважин:

Если принять водоотдачу 1931 года . . . . .	за 100%
то „ „ 1932 „ . . . . .	составит . 450%
„ „ „ 1933 „ . . . . .	420%
„ „ „ 1934 „ . . . . .	440%

Характерно, что с увеличением водоотдачи скважин в 1932 году появился в воде скважин привкус и запах.

Отсутствие заметного привкуса и запаха в воде скв. № 3 объясняется тем, что она заложена на большом отдалении от очага загрязнения и в том, что фильтр сравнительно небольшой заложен в мелу, следовательно исключена возможность подсосывания верховодки. Скважина является крайней, следовательно, одной стороной прикасается к скважинам и депрессия в сторону скв. № 6 места скопления фенолов и смол меньшая.

Теперь вернемся к вопросу о природе первоначально появившегося привкуса и запаха в воде Краматорских скважин определенного ими как хлорфенольный.

Можно предполагать, что фенолы более растворимые в воде, нежели газовая смола, были скорее вымываемы из скопленных обнаруженных при бурении скв. № 6, что находит свое

подтверждение в факте обнаружения запаха хлорфенола, без посторонних примесей в воде скважины № 1 еще в 1932 году.

Не исключена возможность того, что запах газовой смолы появился в воде скважины № 1 в 1932 году, но он маскировался фенольным запахом и не был обнаружен лабораторными работниками.

Кроме того, нельзя отрицать того факта, что с сентября 1934 года в воде скважин усилился посторонний нефенольный запах газовой смолы, да и хлорфенольный запах был недостаточно различим. Нельзя забывать, что аммиак и аммиачные соли не менее растворимы и должны были содержаться в воде в таких количествах, что при хлорировании должна была происходить автоматически преаммонизация, исключая возможность появления хлорфенола при хлорировании воды малыми дозами.

Помимо того, появлению ощутимого запаха хлорфенола препятствует высокое содержание в воде солей щелочных и щелочноземельных металлов (см. ст. Углова и Болтиной в журнале Гигиены и Эпидемиологии за 1931 г.). Кроме того, наличие ничтожного количества газовой смолы в воде уже сообщает ей неприятный резкий запах, который в состоянии маскировать другие запахи. Природа и характер запаха и привкуса воды не были определены до последнего времени.

Перед нами была поставлена задача установить есть ли практическая возможность очистить воду скважины, освободить ее от привкуса и запаха. С этой целью В. К. Денисенко был проделан ряд опытов по очистке воды скв. № 1 сложными способами, преаммонизацией, суперхлорированием и аэрацией не давших вовсе положительных результатов.

Фильтрация воды скв. № 1 без суперхлорирования в лаборатории и на опытном фильтре активированного угля смонтированном на скважине № 1, показала, что для достижения удовлетворительных результатов скорость фильтрации не должна превышать  $0,3-0,5$  см/сек. Утомляемость активированного угля при этом наступает через 6—7 часов. Подобные же результаты получены и при фильтрации воды с предварительным добавлением  $7$  мг хлора на литр воды. Данные наблюдения позволяют прийти к выводу, что очистка воды краматорских скважин активированным углем, ввиду необходимости применения очень малых скоростей фильтрации и быстрой утомляемости активированного угля, не может быть признана практически пригодной.

Перспективы водоснабжения Краматорска таковы.

Практическая возможность очистки воды краматорских скважин исключена. Вода скважин № 1, 2 и 4 для питья непригодна. Вода скв. № 3 может приобрести и запах и привкус, присущие водам остальных скважин. Другими словами те скважины, из которых базируется водоснабжение Краматорска, могут вы-

быть из строя. В данный момент Городской отдел Коммунального хозяйства (1936 г.) Краматорска пробурил скважины № 5 и № 6 на левом берегу Торца возле цилиндрической плотины. Дебет скважины № 5, 40 м<sup>3</sup> в сутки, при откачке уровень воды в скважине падает на 7 метров. При остановке насоса уровень восстанавливается на протяжении 1—2-х минут. Глубина скважины № 5, 34 метра<sup>1</sup> воды—11,5°.

Данные анализа воды скважины № 5 от 19-V 1935 г. (в мг на л).

	Проба воды из скважины № 5 мест-хоза от 19/V	Р. Торца у плотины Гебеля 19/V
Плотный остаток . . . . .	1368,0	1660,0
Запах . . . . .	без	речи.
Вкус . . . . .	приятный	—
Прозрачность . . . . .	6. 40 см	—
Титримная реакция . . . . .	щ. 4,6	щ. 5,4
Аммиак . . . . .	нет	0,18
Нитриты . . . . .	—	0,09
Нитраты . . . . .	22,2	2,3
Хлориды . . . . .	176,0	260
Окисляемость . . . . .	1,45	10,19
Сульфаты . . . . .	392,0	488,0
Окись кальция . . . . .	308,0	230,0
Окись магния . . . . .	97,8	152,2
Жесткость общая . . . . .	44,5°	44,3
Жесткость постоянная . . . . .	32,7°	32,3
"    устраняемая . . . . .	11,8°	12,3
Железо . . . . .	0,82	1,46
Фенолы . . . . .	нет	0,29
Число колоний . . . . .	5	—
Коли-титр . . . . .	100	—

Несмотря на создавшееся у работников Донбассводтреста убеждение, что все незначительные водные ресурсы Краматорского района использованы, на самом деле это убеждение ошибочно и во всяком случае требует проверки и доказательств. Помимо приведенного факта получения доброкачественной воды на левом берегу Торца, заслуживает внимания и выдержки из работы Лучицкого, приведенные Шатковским (архив проектного отдела), в которых проф. Лучицкий указывает на наличие мощного водоносного горизонта в районе балки реки Нижней Бельенкой и деревни Николаевки. По словам главного инженера отдела коммунального хозяйства Краматорска, когда рыли котлованы для эмшеровского колодца в районе Н. Бельенкой, удалил фонтан, затопивший котлован. Для откачки воды потребовалось поставить насос производительностью  $100 \text{ м}^3$  час на сутки. Независимо от того, что могут быть использованы новые водные ресурсы Краматорска, их не так много, чтобы можно было допустить дальнейшее загрязнение верховодки и подземного потока на правом берегу Торца в районе коксохимического завода.

Угроза загрязнения вод скважин висит и над машиностроительным заводом, скважины которого расположены ниже по движению грунтового потока.

В целях предупреждения дальнейшего загрязнения верховодки правого берега, и подземного потока, необходимо немедленно заложить скважину, поставить мощный насос и начать откачку вод из мела, в месте закладки опытной скважины № 6 в лощине, в которую выпускались надсмольные воды.

Благодаря усиленной откачке произойдет изменение направления депрессии в связи с остановкой скважин №№ 1, 2 и 4 треста и создастся депрессия не в сторону скважин треста, а в противоположную сторону.

Таким образом загрязненные воды будут постепенно откачиваться из мелового слоя до тех пор, пока содержание растворенных в воде органических соединений, смол и фенолов настолько понизится, что не будет создавать угрозы появления в воде эксплуатационных скважин на правом берегу и на левом берегу Торца неприятного привкуса и запаха. Одной откачкой сильно концентрированных фенольных вод и загрязненных грунтовых вод ограничиться нельзя. Необходимо извлечь огромные запасы смол, фенолов и аммиачных солей, которые отложились в грунте и, вымываясь водой, будут сообщать ей привкус и запах. По предварительным сведениям площадь лощины, в которую выпускались смолы, не превышает  $100 \text{ м}^2$ . Далеко в стороны смолы не проникли, об этом говорится выше и в подтверждение приводятся данные о бурении скважин №№ 5 и 7, заложенных вблизи скважины № 6. По данным бурения скважины № 6 видно, что грунт загрязнен смолой достаточно глу-

боко, смола в виде включений встречается на глубине не свыше 12—14 метров, а глубже мел пропитан запахом смолы, но отдельных включений смол не обнаружено. Таким образом грунт надо выбрать метров на 14—15 вглубь, площадью около 100—150 м<sup>2</sup>. Для того, чтобы установить объем земляных работ, необходимо предварительно провести изыскательские работы с целью установления размера загрязнения грунта смолами и уже после этого производить самые работы. Изыскания должны выразиться в закладке скважин в районе скважины № 6 на различном отдалении, которые и дадут требуемый материал. После того, как эти работы по изъятию грунта, загрязненного смолой, будут закончены, необходимо засыпать котлован песком с водонепроницаемой крышей. Породу со смолами можно выбрасывать на отвал шлаковой горы, где происходит очень быстрое выветривание, смолы и породы теряют свой вид, привкус и запах снижаются.

Слабо концентрированные сточные воды, содержащие фенолы и смолы, следует откачивать и самотеком направлять в нижний бьеф плотины Гебеля. Надо полагать, что сравнительно небольшое количество фенольных вод и невысокая концентрация фенолов в воде не сможет сказаться на составе воды Донца у хут. Светличного, принимая во внимание то обстоятельство, что эти воды, а количество их невелико, будут выпущены в Торец в летнее время, когда процесс биологического самоочищения Донца протекает интенсивно. Наконец, наиболее концентрированные воды можно безболезненно пустить на тушение кокса.

Вся эта работа может быть проведена силами и средствами коксохимического завода № 16 и в возможно короткий срок.

Помимо этого дирекция завода № 16 не отрицает возможности фильтрации вод кругового процесса и вод из известковых колонн из бетонированных отстойников. Необходимо срочно принять меры к устранению фильтрации фенольных вод в почву.

На время производства работ по удалению загрязненного грунта и откачки концентрированных фенольных вод из грунта, скважины треста № 1, 2 и 4 должны быть выключены из эксплуатации с тем, чтобы ускорить изменение направления депрессии в сторону пробной скважины № 6.

Могут быть высказаны сомнения в действенности предложенного мероприятия по тем соображениям, что помимо установленного источника могут существовать и другие источники загрязнения грунтовых вод.

Высказывается предположение, что скважины питаются водой Торца, содержащей фенолы и с удалением очага концентрированных фенольных вод и смол, содержание фенола уменьшится, но будет недостаточным для того, чтобы сообщать воде привкус и запах.

Не подлежит сомнению, что обнаруженный в грунте скважины № 6 источник загрязнения вод способствует загрязнению скважиной воды и достаточен для того, чтобы понизить качество воды до степени, уже обнаруживаемой в настоящее время.

По данным наших исследований содержание фенола в воде Торца в мае 1935 г. ничтожно или отсутствует. В предыдущие годы содержание фенола в Торце было гораздо выше. Можно предположить, что устройство цилиндрической плотины, поднявшее уровень воды в Торце выше плотины—этим самым способствовало фильтрация воды Торца в сторону скважины треста. Соглашаясь с такой возможностью, нельзя отрицать и того, что фильтрация воды из Торца могла происходить и до постройки плотины в моменты низкого стояния грунтовых вод и выпадения дождей. При наличии в воде больших количеств фенолов в воде скважин появлялся бы привкус и запах и в 1931 г., а таких случаев не наблюдалось. В колодцах, расположенных на берегу Торца фенолов и при хлорировании хлорфенола не обнаруживается—отсюда вывод, что если вода Торца и фильтруется, то в процессе фильтрации теряет фенолы, если они в ней содержатся.

Этот вывод не идет в разрез с тем представлением, которое имеется о фенолах, фенолы окисляются при фильтрации через грунт в результате жизнедеятельности организмов и частичной абсорбации их.

Вода Торца, фильтруясь, при наличии сопряженности горизонтов, может попасть в мел и сказаться до некоторой степени на повышении солевого состава воды скважин в силу того обстоятельства, что она несколько сильнее минерализована, нежели меловая вода. При ознакомлении с графиком, дающим представление о суммарном солевом составе воды скважин № 1 и 3 п/р. Торца выше плотины Гебеля за ряд лет, бросается в глаза отсутствие какой либо связи в колебаниях солевого состава вод скважин и реки, или заметного повышения солевого состава вод скважин в зависимости от вод Торца.

Примечание: Из этого нельзя сделать заключения о том, что все фенольные воды незачем удалять, так как фенолы окисляются. Фенолы окисляются при фильтрации в ничтожных количествах, а здесь концентрат, помимо того в смолах содержится еще и бензол

Прежде всего обращает на себя внимание резкое понижение солевого состава воды в р. Торца, сопровождающееся менее резким понижением солевого состава воды скважины № 1 и еще менее резким понижением в скважине № 3 от VII 1933 г. Объясняется это тем, что в июле 1933 г. выпало огромное количество атмосферных осадков—расход Торца возрос в десятки раз, но одновременно повысился уровень стояния грунтовых вод, увели-

чился дебет верховодки, следовательно, возможность фильтрации вод из Торца на этот период времени отпала.

Еще большее понижение солевого состава воды Торца за время паводка 1934 г. как будто бы еще больше могло сказаться на понижении солевого состава вод скважин. На самом деле наблюдается незначительное понижение опять таки в период, когда возможность фильтрации воды из Торца в грунт в момент высокого уровня стояния грунтовых вод исключена. А если резкие скачки в солевом составе воды Торца в сторону понижения солевого состава не сказываются заметно на воде скважин, то почему мы должны думать, что будут наблюдаться случаи обратного порядка, когда Торец будет резко влиять на повышение солевого состава воды скважин.

Заслуживает быть отмеченным случай, когда солевой состав воды Торца был равен 2440 мгр на литр в декабре 1938 г. и 1770 мгр в июле того же года, т. е. разница в солевом составе воды произошла на 700 мгр, в то время, как солевой состав воды скважины № 3 повысился за это время на 24 мгр, т. е. с 1056 до 1080 мгр.

Средний солевой состав воды скважин 1000 мгр. Таким образом заметного влияния р. Торца оказать на солевой состав скважины № 1, а все скважины находятся в одинаковых условиях, следовательно, и всех скважин—не может оказать. Из того, что скважины № 1 и № 3 ведут себя неодинаково по солевому составу, можно сделать вывод, что они находятся не в одинаковых условиях. Резкий запах газовой смолы, не обнаруживаемый в воде Торца, дает указание на истинный источник загрязнения вод скважины № 1, 2, 4 и 6 ароматическими соединениями и солями. Если же посмотрим данные анализа вод из пробной скважины № 6, то увидим, что эти воды богаты солями и в состоянии внести те изменения, которые наблюдаются в солевом составе вод скважин № 1, 2, 4.

Наблюдающееся явление ухудшения вод существующих скважин № 2, пущенной позже всех скважин и № 1 и 4 может получить следующее объяснение (см. схему).

Скважины № 3 и 1 пущены раньше других, им не хватало притока воды. После пуска смежной скважины № 4 притока оказалось недостаточно и эти скважины № 1 и 4 стали подсасывать воды, загрязненные стоками химзавода. Несмотря на то, что скважина № 4 пущена позже № 1, качество воды ее лучше, вследствие того, что она крайняя и подсасывает чистые воды из-под горы в то время, как скважина № 1, будучи зажатой между скважинами № 3 и 4, получает сравнительно меньше воды с южной стороны и недостаток пополняет водой, подсасываемой со стороны коксохимического завода. С момента пуска скважины № 2 качество воды скважин № 1 и № 4 ухудшилось, так как скважина № 2 отняла от них часть незагрязненной воды, которой питались эти скважины. Таким образом с увеличе-



нием дебета скважин и депрессионной воронки, скважины пополняют недостачу за счет вод, подсасываемых со стороны завода—вод, содержащих фенолы. Естественно, что вода крайних скважин с наибольшей площадью питания лучшая по качеству

Фенольные воды коксохимического завода являются основной причиной появления непереносимых привкуса и запаха в воде скважин. Первоначально в воду скважин поступали воды, загрязненные только фенолами и аммиаком и с повышенным солевым составом, благодаря легкой растворимости указанных веществ, вследствие этого мы скоплений фенолов и аммиака в фенольной поглощающей яме не обнаружили.

Позже начала размываться смола и растворяться фенолы, содержащиеся в ней, и запах и привкус в воде скважин резко усилились и изменились.

Второстепенными загрязнителями вод скважин могут являться небольшие количества фенольных вод, просачивающихся сквозь бетонные стены отстойников, это требует еще подтверждения и может быть при желании устранено.

### Резюме

1) В воде скважин в 1932 г. появился неприятный хлор-фенольный запах и привкус и в 1934 г. появился запах и привкус газовой смолы. Исследовательские работы, проведенные ЦНИЛ'ом ДБВТ и еще ранее Артемовским районом, установили, что появление в воде привкуса и запаха объясняется поступлением в воду скважин фенола и смолы, содержащихся в сточных водах коксохимического завода.

Поступлением этих сильно минерализованных вод до некоторой степени объясняется и увеличение солевого состава вод скважин.

2) На территории металлургического завода автором работы обнаружен грунт, пропитанный газовой смолой, содержащий скопления фенольных вод на глубину до 12 метров. Менее концентрированные фенол содержащие воды, обнаружены и на глубине 18 метров в мелу и только на глубине 26,3 м запах в мелу отсутствовал. Предположительно по показаниям старослужащих завода площадь ямы, в которую опускались надсмольные воды—100 м<sup>2</sup>.

В 40 метрах от скопления смол находится всасывающая яма, в которую выпускались обработанные фенольные воды. В воде скважины, заложенной в этой яме, обнаружено незначительное количество фенола. Благодаря легкой водопроницаемости грунта и большой растворимости фенолов, они в значительной мере вымыты.

3) Канализация сточных вод коксохимического завода находится в таком состоянии, что просачивание в грунт фенольных

вод, загрязняющих в большей или меньшей степени верховодку, не исключено.

4) С западной стороны вплотную к территории скважин прилегал нефтесклад, часть нефтехранилищ и маслохранилищ которого устроена под землей. Не исключена возможность утечки нефтепродуктов в грунт. Аналогичный случай там же имел место в предыдущие годы. Кроме того при разгрузке цистерн происходит пролив нефтепродуктов, впитывающихся в грунт. Часть хранилищ нефтепродуктов уже вынесена на дневную поверхность, что в достаточной мере гарантирует возможность предупреждения загрязнения нефтепродуктами, содержащимися в этих хранилищах.

5) На Юг от скважин расположен конный двор Индустроя, насчитывающий до 300 лошадей. Несмотря на принятие некоторых мер, моча все же впитывается в почву, тем самым загрязняя ее.

6) Непосредственно за конным двором расположен отвал шлака от доменных печей. Шлак доставляется на отвал в расплавленном состоянии и остывая, спекается вплотную на относительно пористую массу. В силу высокого содержания солей в шлаках они влияют на повышение солевого состава грунтовых вод, главным образом за счет поступления сульфатов, уносимых в почву атмосферными осадками.

7) На восток от территории скважин в непосредственной близости расположен заводской поселок барачного типа, находящийся в антисанитарном состоянии. Уборные со всасывающими выгребами, плохо оборудован ассенизационный обоз и свалки мусора на улице.

8) Скважины питаются водами из трещиноватого мергеля и примесью верховодки. Трудно установить играет ли какую либо роль р. Торца в питании скважин. По значительному превышению воды в Торце над динамическим уровнем скважин, можно полагать, что подсосывание вод Торца в скважины возможно. В основном воды Торца могут сказаться в некотором незначительном повышении солевого состава воды скважин, так как повышение солевого состава идет и за счет примеси сточных вод химзавода, сообщающих воде скважин неприятный привкус.

9) Определить степень влияния Торца на воду скважин в связи с происходящим повышением солевого состава последних за счет поступления вод коксохимзавода и вод из под шлаковой горы, по данным химических анализов не представляется возможным: грунты в основном легко водопроницаемы, строение их не однородно — встречаются линзы, что в связи с неравномерностью откачки скважин еще более затрудняет построение выводов о влиянии Торца на повышение солевого состава вод скважин. Это подтверждается еще тем, что скважина с наимень-

шим дебетом № 2 является одновременно скважиной с наихудшей водой, носящей следы загрязнения ее водами химзавода, подсасываемыми издалека. Крайние скважины с большим притоком чистых вод являются скважинами с лучшим составом.

10) Эксперименты с вымыванием из грунта органических веществ, содержащихся в сточных водах коксохимзавода и в грунте обнаруженных бурением скважин № 6 и 5, показали, что фенолы вымываются относительно легко, а смолы чрезвычайно медленно. Эти эксперименты дают основание высказывать серьезное опасение по поводу наличия больших скоплений смол и сильно концентрированных фенольных вод в грунте.

11) Вода краматорских скважин при наличии неприятного привкуса и запаха, вызываемых содержащимися в воде ароматическими соединениями, возможно вредными для питьевых целей, непригодна.

12) Полностью прекратить подачу воды из скважин № 1, 2, 4 нельзя, так как этим самым население Краматорска будет вынуждено пить воду из колодцев—копанок, расположенных на р. Маячке, пользование которыми по данным санитарной станции давало вспышки инфекционных заболеваний.

13) В целях улучшения качества питьевой воды гор. Краматорска можно рекомендовать следующие мероприятия:

1. В связи с тем, что подземный поток в значительной мере уже загрязнен и дебет скважин невелик и удовлетворить потребности растущего города не в состоянии, необходимо изыскивать новый источник водоснабжения. Изыскания необходимо вести в районе дер. Николаевки по р. Н. Беленькой, согласно имеющихся указаний проф. Лучицкого.

2. Принимая во внимание безводье Донбасса необходимо принять все меры к тому, чтобы спасти меловые воды от дальнейшего загрязнения, с этой целью необходимо:

удалить скопление смол и фенольных вод, которые обнаружены экспедицией ЦНИЛТа в грунте в районе химзавода. Для этого, необходимо откачать концентрированные фенольные воды, изъять грунт пропитанный газовой смолой и, остановив скв. № 1, 2 и 4 на некоторое время, производить откачку сравнительно загрязненных вод от места обнаружения очага загрязнения с таким расчетом, чтобы создать обратное направление депрессии.

Дальнейшие мероприятия будут сводиться к профилактике намечаемой для каждого производства отдельно в проекте зон санитарной охраны источника.



## О ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ В КОВШАХ проф. А. Я. МИЛОВИЧА\*)

Одной из задач ковшей проф. Милович считает возможно полное предохранение водоприемника от занесения донными наносами.

Насколько эта задача не соответствует действительности ясно видно из следующего «В наших равнинных реках донные наносы составляют ничтожную долю взвешенных наносов. По данным инж. Б. А. Аполлова, в устье Волги по дну движется  $\frac{1}{500} - \frac{1}{1200}$  от количества взвешенных наносов». (Инженер Поляков, «Гидрология бассейна реки Дона» под ред. Аксамитного, 1930 г. стр. 113).

По исследованиям инж. Полякова, количество донных наносов для р. Дона равно  $\frac{1}{700}$  количества взвешенных наносов. С такими ничтожными количествами донных наносов по сравнению со взвешенными не приходилось бы считаться, если бы они даже заходили в ковш. По данным Ростовского водопровода в ковше осаждается около 30% взвешенных наносов; если прибавить сюда 1% донных наносов, то общее положение от этого не изменится.

В действительности же входные скорости в ковш значительно меньше скоростей в реке, поэтому донные наносы вообще в ковш не должны заходить, как и показывает кривая Буле (рис. 17, стр. 141), что подтверждается нашими наблюдениями\*\*).

Задача ковшей по общему признанию состоит в защите водозабора от шуги в первую очередь и в осаждении наиболее крупных взвесей во вторую. «Защита от шуги требует, пишет проф. Милович, по возможности уменьшать скорости движения воды в водоприемном сооружении, а также питать его только верхними слоями потока. При этих условиях шуга всплывает вверх». А разве из нижних

\*) Водоснабжение и санитарная техника, 1938 г., № 11.

\*\*) Вопросы водоснабжения. Сборник НИГЛ 1938 г. проф. Малишевский «Забор воды из рек ковшами и деривационными каналами», стр. 15, а также «Водоснабжение и Сантехника» 1938 г.

слоев шуга не всплывает вверх? Конечно, всплывает, на это потребуется несколько больше времени, но длина ковша должна быть таковой, чтобы всплывание шуги было вполне обеспечено. Таким образом утверждение, что ковш надо питать только верхними слоями лишено основания.

### Треугольник скоростей

Изложение своей теории проф. Милович начинает с треугольника скоростей (рис. 1). Соотношение между углами и сторо-

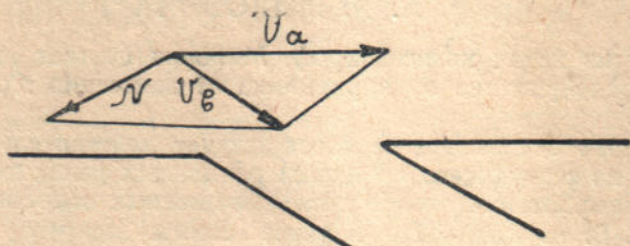


Рис. 1

нами треугольника дает возможность определить замыкающую скорость  $W$  через скорости  $v_a$ ,  $v_b$  и угол входа  $\varphi$ . Дифференцируя выражение для  $\frac{W^2}{2g}$ , автор находит максимум и минимум при  $\varphi = 0$ .

$$\frac{W^2}{2g}_{\min} = \frac{(v_a - v_b)^2}{2g}$$

$$\frac{W^2}{2g}_{\max} = \frac{(v_a + v_b)^2}{2g}$$

Отсюда следует, что  $W_{\min} = v_a - v_b$ , а  $W_{\max} = v_a + v_b$ .

Чтобы прийти к этому результату не было надобности производить вычисление, достаточно сопоставить скорости в реке и в канале при входе по течению и против течения. Из рис. 2

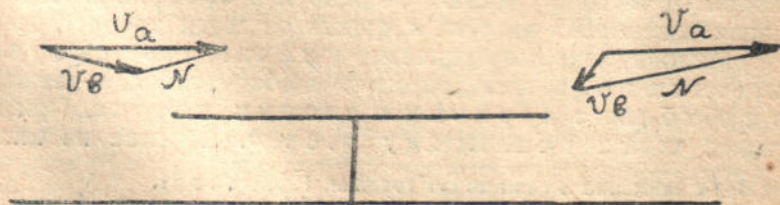


Рис. 2

ясно видно, что в первом случае замыкающая треугольник скоростей, который при  $\varphi = 0 = 180^\circ$ , превращается в прямую линию,

$$W = v_a - v_b,$$

а во втором

$$W = v_a + v_b.$$

Если же желательнo применить тригонометрию, то

$$W^2 = v_a^2 + v_b^2 - 2v_a v_b \cos \varphi \text{ при } \varphi = 0 \text{ и } \varphi = 180^\circ,$$

получатся те же равенства.

Но эти простые истины ровно ничего не объясняют в движении воды в ковше. Разве вода при входе в ковш ответвляется прямолинейно, как показывает треугольник скоростей.

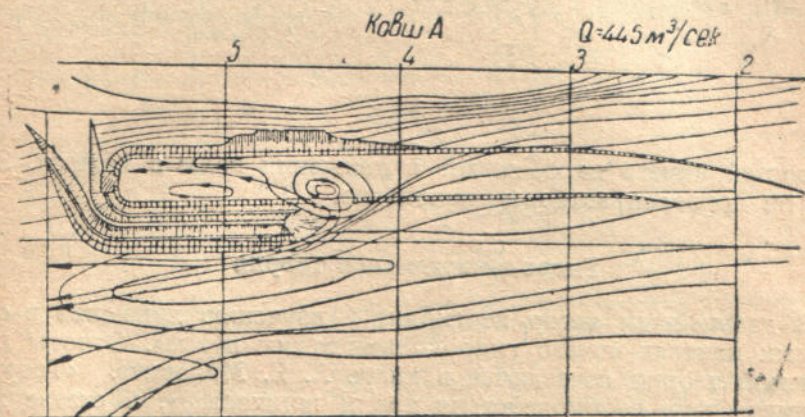


Рис. 3

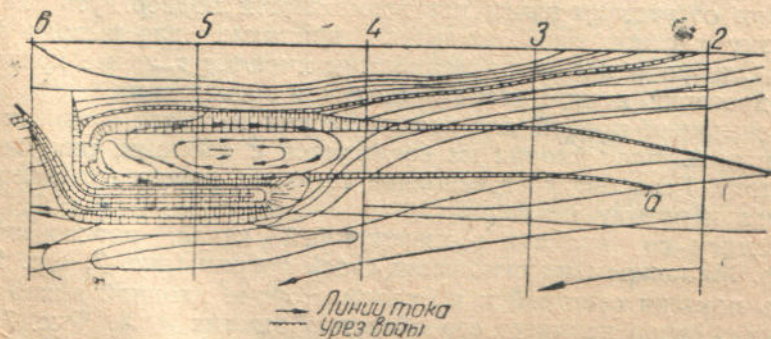


Рис. 4

На рисунках 3 и 4 приведены картины движения воды в ковшах по течению на моделях в опытах инж. Белокопя, а на рис. 5 инж. Офицера. (Водоснабжение и Сантехника, 1937 г., № 8 стр. 33 и 34), а на рис. 6 стр 132, показаны токи, наблю-

денные в натуре на ковше против течения в Днепродзержинске\*). Как же треугольником скоростей можно объяснить вращательное движение при входе в ковш? Ясно, что треугольник

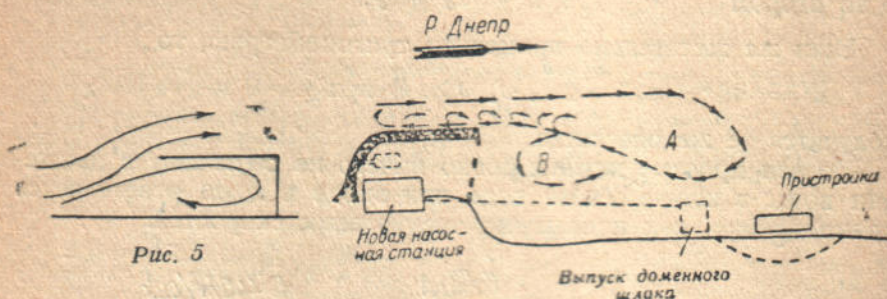


Рис. 5

Рис. 6

скоростей ничего не объясняет в движении воды в ковшах. Зачем он приведен автором—непонятно.

### Гидродинамическая теория

В дальнейшем автор переходит к изучению движения в отводных каналах «чисто гидродинамическим путем». Основы излагаемой теории печатаются в книге А. Я. Миловича. «Теория динамического взаимодействия тел и жидкостей», в статье же приведены только готовые формулы скоростей в разных местах реки и отводного канала.

При отсутствии книги нет возможности подвергнуть критическому рассмотрению основания, принятые для вывода формул. Однако в нашем распоряжении имеются главные критерии для проверки всякой теории—опыты и наблюдения.

Решающей пробой для всякой теории является сравнение ее с фактами. Если теория не согласуется с фактами, она ничего не стоит. Если она дает неполное согласие, значит она односторонняя и потому не верна.

Начнем со входа в деривационный канал, нарисованного проф. Миловичем на основании своей теории (рис. 7, стр. 133). Здесь показан отжатый к верхней стороне входной вихрь или «валец». Автор называет его областью отжима АЕА. Рис. 7 похож на рис. 8 и 9 из опытов Буле, длина вихревого вальца в

\*) Для большей объективности изложения я привожу рисунки не из наших опытов. Ковши рис. 3, 4 и 5 расположены под углом  $90^\circ$  к оси реки. Струи реки обходят ковш, при входе же в ковш образуется вихрь. На рис. 3 изображены траектории струй при расходе в реке в натуре  $445 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а на фиг. \*4 тот же ковш при расходе  $7720 \text{ м}^3/\text{сек}$ .



опытах Буле менялась с изменением углов отвода (рис. 8 и 9). Проф. Милович пишет, что область отжима продолжается в бесконечность. «Предельные токи» асимптотически приближа-

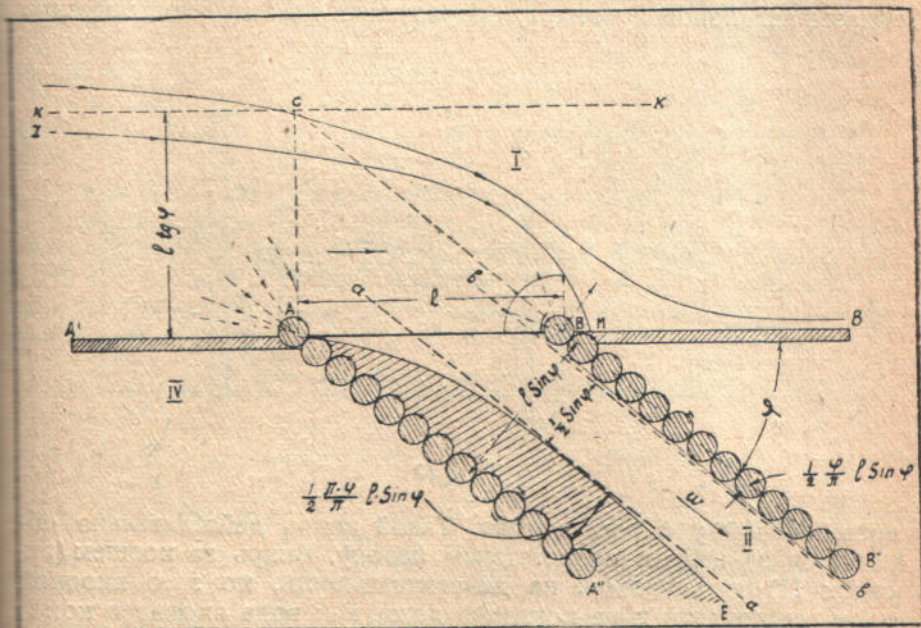


Рис. 7

ются к прямым  $aa'$  и  $bb'$ . Это совершенно противоречит действительности.

Далее, у проф. Миловича область отжима совсем не то, чем она является в действительности; в ней происходит непрерыв-



Рис. 8

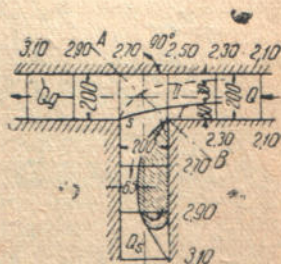


Рис. 9

ное вихревое движение — это «вихревой валец». (Егиазаров, «Гидроэлектрические силовые установки», ч. 2, 1935 г. стр. 130), (рис. 8 и 9). Таким образом картина входа воды в отводной канал, хотя и имеет некоторое сходство с общепризнанной картиной Буле, однако настолько от нее разнится (бесконечная

длина отжима и отсутствие вихря), что должна быть признана в общем неправильной.

Другой рисунок, составленный на основании теории (рис. 10), показывает половину вихря, образующегося за перегородкой,

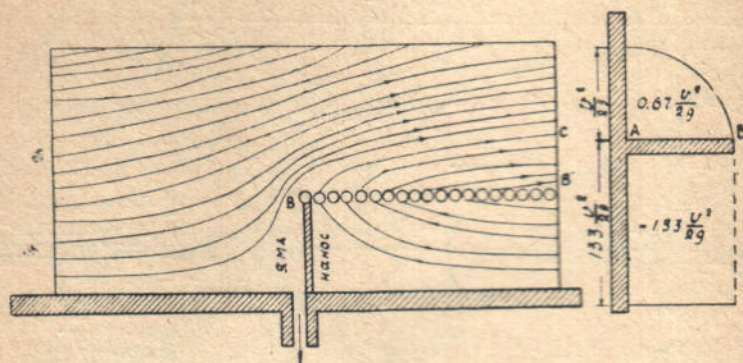


Рис. 10

поставленной у берега потока. Такой вихрь действительно образуется за всяким препятствием потока. Вихрь за ковшем (рис. 11) также похож на действительность, но зато входной вихрь не показан и не показано даже, как вода входит в ковш, а в этом же вся суть дела.

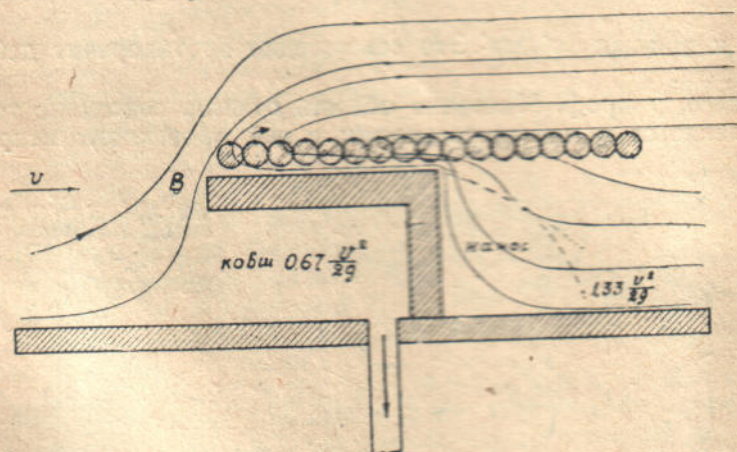


Рис. 11

Вход в ковш показан прямолинейным на рис. 12 стр. 135— тут полное противоречие с действительностью.

На рис. 7 дана картина входа в отводной канал. Отводный канал тем отличается от ковша, что скорости в нем того же по-

рядка, что и в реке, и расходы поэтому большие. Скорости же в ковшах примерно раз в 10 меньше скоростей в реке. Эта количественная разница изменяет качество явления. Количество переходит в качество. Вместо отжимного вальца по рис. 7, 8 и 9 вся горловина ковша на рис. 3 и весь ковш на рис. 4 заполняется водоворотом.

Если кое-какое сходство имеется между картиной входа в отводный канал проф. Миловича и действительным явлением (Буле), то уже совсем нет никакого сходства между входом в ковш (рис. 3, 4 и 5) и картиной проф. Миловича (рис. 7).

У читателя может возникнуть вопрос, зачем же искать сходства между разными явлениями: входом в канал и входом в ковш. Но в том то и дело, что все формулы проф. Миловича относятся к каналу, но на них же основываются и выводы о ковшах, что, конечно, противоречит и логике и фактам.

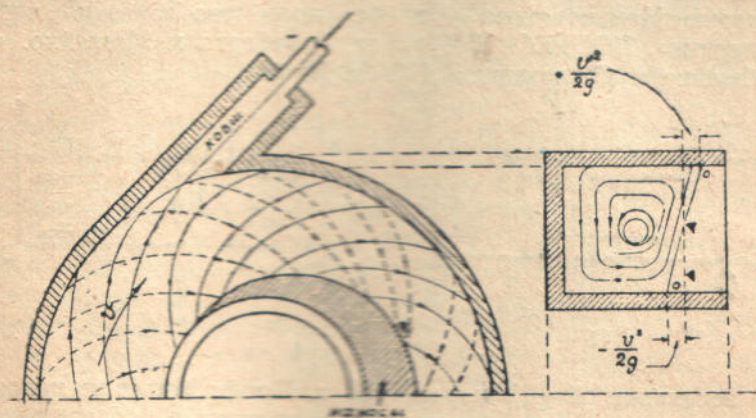


Рис. 12

Тут гидродинамическая теория проф. Миловича оказалась совершенно несостоятельной. Во всех наших опытах и собранных нами опытах и наблюдениях в натуре вход в ковш всегда совершается вихреобразно, за исключением одного случая ковша Донсода на С. Донце, где скорости в реке и ковше одного порядка около 0,1 м. Инж. Офицеров пишет в «Водоснабжении и Сантехнике» 1937 г. № 8, стр. 31 «На основании наших опытов в Институте ВОДГЕО и в ЦАГИ с отстойниками гидроэлектростанций надо согласиться с тем, что, независимо от угла захвата (входа, авт.) воды, в ковше будет всегда, как минимум, один вихрь с вертикальной осью».

Проф. Милович на основании своей теории дал хоть какую-нибудь картину входа в отводный канал, но картины входа в ковш не дает, повидимому тут теория оказалась непригодной. Рис. 9, 11 и 12 производят такое впечатление, что они состав-

лены не на основании гидродинамической теории, а на основании общих и произвольных соображений.

Если это предположение верно, то значит, что гидродинамическая теория автора бессильна подойти к ковшам и, следовательно, объяснить движение воды в них не может. Если же входы в ковш на рис. 11 и 12 построены на основе теории, что сомнительно, тогда теория на этом деле не оправдалась, так как входы на рис. 11 и 12 совершенно противоречат действительности.

### Двухярусное движение

Важно отметить, что в статье проф. Миловича нет указаний на двухярусное движение воды в ковшах: верхнее в ковш, нижнее из ковша или, наоборот, тогда как до сих пор отличительной особенностью теории Миловича была эта двухярусность. См. статью Маньковского «Водное хозяйство заводов черной металлургии». ВОДГЕО 1935 г., ст. Альтберга и Можейко. «Водоснабжение и Сантехника» 1936 г. № 6.

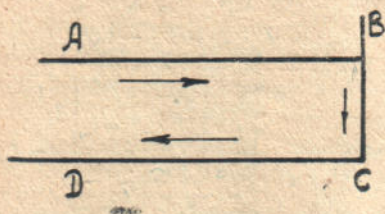


Рис. 13

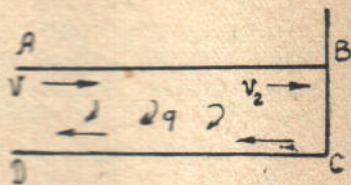


Рис. 14

На заседании 20—22 марта 1938 г. Проф. Милович докладывал, что в ковше типа «по течению» движение совершается в два слоя, как указано на рис. 13; при этом все осадки будут вымываться из ковша донным течением, а уровень воды будет повышаться к концу ковша, т. е. к точке В.

Здесь речь может идти о двух родах движения: одно—с постоянной скоростью, другое—с убывающей скоростью и восстанавливающимся напором за счет уменьшения скорости.

Легко доказать, что движение с постоянной скоростью невозможно по рис. 13. Если вода движется с постоянной скоростью от точки А к точке В, то точка В должна быть ниже точки А—разность высот А—В необходима на потерю на трение. Для того, чтобы по дну вода двигалась с постоянной скоростью от точки С к точке D необходимо, чтобы был уклон от В к А. Таким образом, точка В должна быть одновременно и ниже и выше точки А, что, конечно, невозможно; значит невозможно и движение по рис. 13 с постоянной скоростью.

Теперь предположим, что движение происходит с переменной скоростью, т. е., что у точки А скорость  $v_1$ , а у точки В

скорость  $v_2$  гораздо меньше  $v_1$ , а может быть даже равна нулю. Чтобы возможно было такое изменение скоростей, необходимо (рисунок 14), чтобы количество движущейся воды постепенно уменьшалось от  $A$  к  $B$ ;  $v = \frac{Q}{F}$ , где  $F$  равно верхней половине поперечного сечения ковша и остается постоянным. Чтобы  $Q$  могло уменьшаться по пути от  $A$  к  $B$ , необходимо, чтобы от  $Q$  непрерывно отделялись некоторые доли  $q$  и переходили из верхнего слоя в нижний, движущийся, как показано стрелками, в обратном направлении. В этом случае, уровень воды в точке  $B$  был бы выше уровня воды в точке  $A$  на  $\frac{v_1^2 - v_2^2}{2g}$  (рис. 14).

При описанном двухслойном способе движения воды в ковше ни о каком выносе осадков из ковша не могло бы быть и речи. При движении от  $A$  к  $B$  скорости убывают, при движении от  $C$  к  $D$  скорости возрастают почти на те же величины (за вычетом небольшого расхода через водозабор). Пока скорости достаточно большие, — взвеси не выпадают; когда скорости уменьшаются, начинается выпадение более крупных взвесей. Это, очевидно, происходит на участке  $qB$ , но на участке  $Cq$  в нижнем слое скорости будут также малы. Если на участке  $qB$  происходит выпадение взвесей, то оно будет происходить и на участке  $Cq$  по той же причине, т. е. благодаря малым скоростям. На участке  $Dq$  скорости могут возрасти до такой величины, предположим, что станет возможен вынос осадков. Но как раз тут осадков нет, потому что тут и в верхнем слое скорости большие и взвеси проносятся через пространство  $Aq$ , не выпадая из воды.

Итак, если бы двухрусное движение воды в ковше было возможно, то и тогда вынос осадков из ковша был бы невозможен. Кроме того, осадки по этой гипотезе должны выпадать только в конце ковша, тогда как в действительности они выпадают главным образом в начале ковша» (стр. 15 «Вопросы водоснабжения»). Поверхность воды в ковше по измерению т. Белокопя горизонтальна, никакого повышения к т.  $B$  нет. В лаборатории НИГЛ, у нас также были пронивелированы уровни в ковше типа Миловича при посредстве вакуумных пьезометров: уровень поверхности воды в ковше оказался горизонтальным при точности измерения до 0,5 мм. Скорости в русле были на модели 0,3—0,4 м/сек, а соответствующие скоростные напоры 4,5 и 8 мм. Такие величины легко было обнаружить пьезометрами. Расход из ковша был небольшой.

Очевидно, проф. Милович убедился в том, что такого двухрусного движения в ковшах не существует, приведенные им формулы такого движения не допускают, хотя они относятся не к ковшам, а к деривационным каналам, как указано выше.

Хотя проф. Милович продолжает говорить о питании ковша его типа верхними слоями, однако об обратном течении в нижней части ковша нет ни слова. Можно с удовлетворением отметить, что одним заблуждением у нашего оппонента стало меньше, очевидно, не без влияния нашей обширной фактической аргументации.

### Подсасывание или эжектирование воды

В своем изложении проф. Милович несколько раз употребляет выражение подсасывание, но нигде не указывает истинной причины этого явления. Обыкновенно подсасывание объясняется пониженным давлением, но какая физическая причина вызывает пониженное давление при подсасывании.

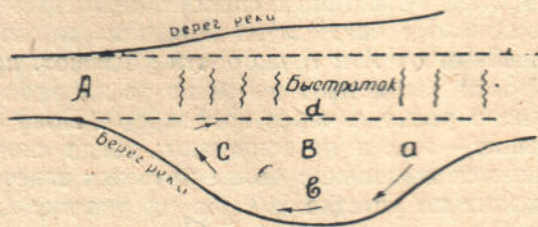


Рис. 15

Очень яркий пример подсасывания представляет эжектор. Почему в эжекторе создается вакуум? Струя эжектора благодаря трению об окружающий воздух или воду захватывает примыкающий к ней слой воздуха или воды и выносит его из эжектора. Непрерывный вынос воздуха и воды создает вакуум между соплом и диффузором.

Непрерывное удаление центробежной силой вращающегося колеса рабочей среды создает вакуум в центробежном насосе. Тоже происходит и в поршневом насосе только другою силою.

Всякая струя воды захватывает трением примыкающий к ней слой жидкости и уносит его с собой. Этим обстоятельством объясняются и вихревые движения при входе в ковш.

Мне пришлось однажды наблюдать на С. Донце в Изюме это явление в очень ярком выражении. Из быстротока А (рис. 15), оставшегося от прежней мельницы, вода вытекает с большой скоростью в расширенное русло В. В расширении образуется круговое движение *abc*.

Благодаря тому, что струя быстротока имеет волнистую поверхность, а в расширении В поверхность гладкая, то очень хорошо наблюдался захват быстротоком воды с гладкой поверхностью. Быстроток захватывает воду, на пути *CD* и видно, как площадки с гладкой поверхностью входят в волную-

щуюся поверхность быстротока, уносятся им и постепенно охватываются волнением быстротока.

Такое же самое явление происходит при входе в ковш при всех углах входа, кроме входа, направленного вниз по течению, там вихрь относится от входа и образуется перед ковшем (рис. 6).

Вихрь при входе в ковш образуется как тогда, когда ковш не работает, так и тогда, когда он несет малые расходы. С увеличением расходов и скоростей явление постепенно меняется — вихрь отжимается к верховой стороне, а с низовой ясно выделяется струйное течение.

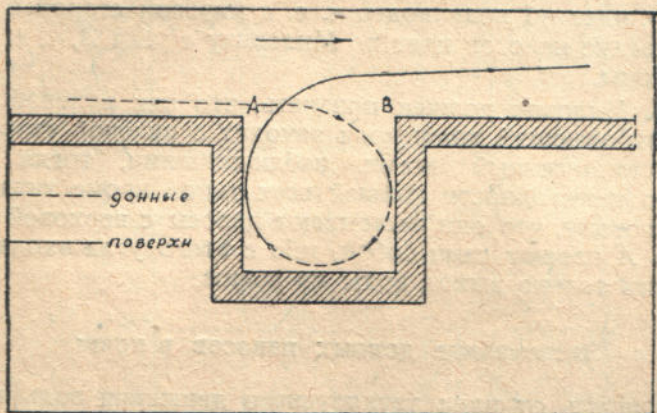


Рис. 16

Наличие вихря в ковше без забора воды признает и проф. Милович (рис. 16). Однако объяснение и описание этого явления неверны. «В выемке берега или стенке бывает один вихрь, всасывающий жидкость у дна потока и выбрасывающий ее по поверхности, т. е. наблюдается винтовое движение жидкости».

Вихрь образуется в выемке берега потому, что граничные струи речного потока благодаря трению увлекают с верховой части выемки прилегающий к ним слой неподвижной или мало подвижной воды и уносят его с собой. Таким образом в выемке образуется постоянная убыль — на пополнение этой убыли необходим приток воды с низовой стороны. Из выемки вода всасывается с верховой стороны, а в выемку всасывается с низовой. Так как трение речной струи происходит по всей высоте потока, то засасывание из ковша и всасывание в ковш также происходит по всей высоте потока, следовательно, вихрь будет вертикальный, а не винтовой, — такие вихри мы и наблюдали.

Движение вихря в горизонтальной проекции на рис. 16

указано правильно: с низовой стороны вода заходит в ковш и выходит с верховой стороны. Что же произойдет с вихрем, когда из ковша начнут забирать понемногу воду. В вихрь будет заходить больше воды и часть ее, отходя от вихря, направится к водоприемному отверстию. По мере увеличения водозабора вихрь начнет оттесняться к верховой стороне струями воды, идущими к водозабору. Наконец, при больших заборах воды, когда ковш переходит в деривационный канал вихрь отжимается еще больше (входной вихревой валец) и получается картина движения, изображенная на рис. 8 и 9.

Засасывание донных наносов в неработающий ковш по Миловичу идет по ходу воды, т. е. с низовой стороны. На рис. 7 засасывание наносов идет по Миловичу с угла  $A$ , т. е. с верховой стороны.

Проф. Милович должен признать, что как в неработающий, так и в работающий ковш вода заходит с низовой стороны это факт, установленный всеми наблюдателями, тогда все его выводы о невыгодности ковшей всех типов кроме типа «по течению», потому, что они засасывают наносы с верховой стороны — с угла  $A$  падают сами собой, ибо с этого угла входа в ковш нет, а есть только выход воды из ковша.

### Засасывание донных наносов в ковш

Отказавшись от идеи двухрусного движения воды в ковше, проф. Милович теперь другим способом объясняет причину занесения ковшей всех направлений, кроме того, что совпадает с течением реки, донными наносами. Эта причина лежит в подсосывании в углу  $A$  (рис. 7), донных токов, показанных пунктирными стрелками. Из гидродинамической теории автора никак нельзя вывести, что в п.  $A$  будет происходить донное подсосывание. В формулы для компонентов скорости глубина потока совершенно не входит, следовательно, по всей глубине потока явления должны быть одинаковы. Если в п.  $A$  пониженное давление, то подсосывание должно происходить по всей высоте. Но тут автор отступает от теории и ссылается на опыт, зафиксированный на фотографии.

Что занос донных наносов имеет место в отводных каналах, это всем известно, только объясняется он иначе, а именно — образованием поперечного уклона в речном потоке у входа в отводный канал. В детали этого вопроса входить сейчас не будем, так как мы занимаемся не отводными каналами, а ковшами. Какое же, спрашивается, имеет отношение к ковшу то, что происходит в деривационном канале. Проф. Милович просто приписывает ковшу то, что может происходить в деривационном канале — это совершенно противоречит действительности.

Завлечение донных наносов в отводные каналы изучено



Буле, и его кривая (рис. 17) дает закон, по которому изменяется это явление при переходе от больших скоростей в канале к малым, т. е. при переходе от канала к ковшу. Егизаров, там же. На рис. 17 по оси абсцисс откладываются расходы в % ко всему расходу реки, причем слева откладывается расход, остающийся в реке  $Q_g$ , а справа расход деривационного канала  $Q_s$ . По оси ординат откладываются наносы снизу вверх, остающиеся в реке  $S_g$ , а сверху вниз  $S_s$ , завлекаемые в канал.

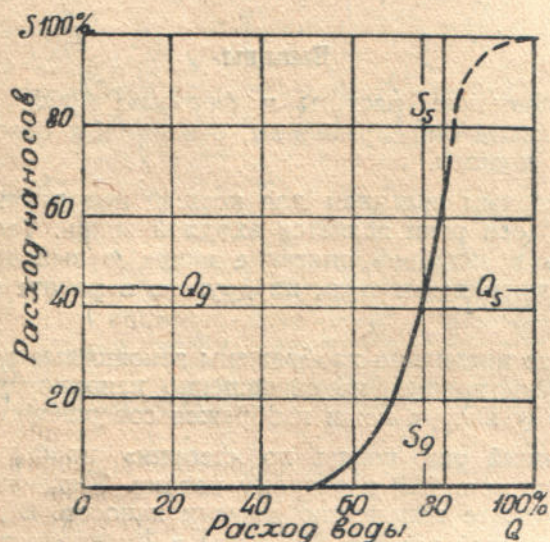


Рис. 17

При отводе в канал  $\frac{1}{2}$  и более речного потока все наносы выносятся в канал. Начиная с отвода в канал 40% и менее начинается быстрое уменьшение завлечения донных наносов в канал. При отводе 18% речного потока в канал заходит только 20% наносов, т. е. почти пропорционально расходу  $Q$ .

Уже в этом случае количество донных наносов будет составлять  $\frac{1}{500} - \frac{1}{1000}$  от количества взвешенных наносов, т. е. величину совершенно незаметную по сравнению со взвесями. При меньших же расходах количество донных наносов стремится к 0. При наших опытах с ковшами, когда расходы составляли единицы процентов речного потока, донные наносы отсутствовали в ковшах всех направлений. При переходе от каналов к ковшам количественные изменения переходят в качественные.

Осадки, образующиеся в ковшах, целиком проиходят от взвесей. Входной вихрь заводит в ковш гораздо больше воды, чем забирается из ковша, поэтому в Ростовском на Дону ковше в 1935 г. было выбрано в 6 раз больше осадков, чем следовало

бы по количеству забранной воды. В ковше же Днепродзержинска, направленному вниз по течению, лишних осадков не было. При втрое большем расходе, чем в Ростове, осадков выбрано в 1935 г. столько же (2000 м<sup>3</sup>), но на  $\frac{2}{3}$  осадки состояли из доменного шлака, выпускавшегося у самого ковша. Таким образом, ковш который по теории проф. Миловича должен быть наихудшим оказывается наилучшим. Это является яркой демонстрацией ошибочности рассматриваемой «теории»\*).

### Выводы

1. Математические расчеты и формулы проф. Миловича в той мере, в какой они правильны, относятся к отводным каналам, а не к ковшам.
2. Характерным явлением для ковшей под углами входа от 0 до 180° к оси реки является входной вихрь. Теория ковшей должна дать правильное описание вихря и выяснить причины его происхождения; ни того, ни другого в работе проф. Миловича нет.
3. В работе правильно изображены заковшевые вихри, выступающих в реку ковшей, но совершенно игнорируются входные вихри, поэтому вход в ковш изображен совершенно неверно.
4. Наихудший тип ковша по «теории» проф. Миловича — ковши со входом в 180° к речному потоку. Такой ковш должен давать наибольшее количество донных наносов. В действительности же реальный ковш такого типа в Днепродзержинске дает наименьшее количество осадков.

### Ковш в Кемерово

На рис. 18 показано расположение ковша на р. Томи. Река Томи в этом месте по наблюдениям 1937 г. имела расход в половодье 13.000 м<sup>3</sup>/сек, а в межень 200—300 м<sup>3</sup>/сек. Минимальный расход считается 20 м<sup>3</sup>/сек. Расход в ковше 3—4 м<sup>3</sup>/час. В половодье при расходе 13.500 м<sup>3</sup>/сек твердый расход был равен 9.578 м<sup>3</sup>/сек или 0,07%.

В межень вода в реке чистая.

Скорость в реке в половодье 2—3,4 м/сек, а в межень 0,3—1,0 м/с, меньшая величина у берега, большая на стрежне.

Низшие отметки дна в реке 101—100,5 м, а в ковше, повидимому, 102—102,5. Весной 1937 г. во время половодья вода переливалась через дамбу ковша, здесь образовался значительный перепад, так как уровень воды в конце определялся уровнем

\*) Труды Научно-исследовательской гидротехнической лаборатории (Харьков) 1937 г. Водоснабжение и Сантехника. 1937 г.

воды реки у горла ковша, расположенного значительно ниже по течению начала дамбы.

Благодаря переливу через дамбу у насосной станции ТЭЦ дно размыто и вымытый материал отложился в горле ковша, что ясно видно по горизонталям дна. При понижении уровня воды в августе до отметки 104,80 вода могла поступать в ковш по узкому каналу у правого берега.

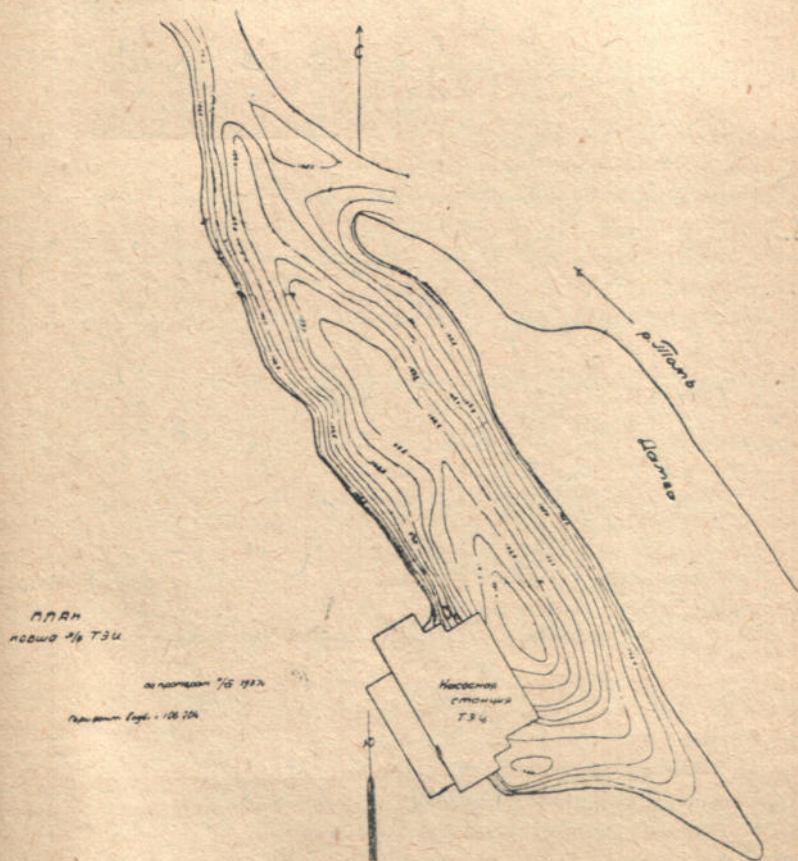


Рис. 18

Потребовалось углубление горла ковша, которое не было закончено еще к середине ноября. Наблюдение за работой ковша при таких условиях не могло дать нормальных результатов. Только после полной расчистки входа в ковш от весенних наносов работа ковша могла притти в норму.

Механический анализ осадка в ковше дал 4% фракций от 0,5 м, 67% от 0,5 до 0,05 и остальное от 0,05 до 0,001 м.м.



## ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ АСБЕСТОЦЕМЕНТНЫХ ТРУБ

По заданию бывшего Союзводстроя, а затем треста «Союзасбоизделия», Харьковская Гидротехническая лаборатория Южспецстроя проводила исследования по определению пропускной способности асбестоцементных труб, изготавливаемых заводом «Красный Строитель» в г. Воскресенске. Исследования проводились под руководством проф. Н. Г. Малишевского в экспериментальном зале лаборатории.

Первый этап исследований был произведен в 1937 г. Результаты этих исследований были опубликованы в сборнике НИГЛ «Вопросы водоснабжения», 1938 г. В 1938 г. исследования были продолжены как в отношении накопления опыта (увеличение количества испытываемых диаметров, увеличение количества опытов на каждом трубопроводе, благодаря большей амплитуде изменения скоростей), так и в отношении улучшения методики производства испытаний. Результаты исследований 1938 г. дали возможность уточнить выводы и расчетные формы исследований 1937 г.; отчет об этих исследованиях приводится в данной статье.

Вода для производства опытов подавалась насосом, установленным в подвальном этаже здания лаборатории, в водонапорный бак, расположенный на балконе в экспериментальном зале на высоте 4,0 м от пола. Из этого бака вода по трубам подается к исследуемому участку труб. План и разрезы по установке показаны на рис. 1, стр. 146.

В конце исследуемого участка труб длиной  $l \cong 35,0$  м установлен бак успокоитель, а из него отходит прямоугольный лоток, длиной 4,0 м поперечным сечением  $0,4 \times 0,6$  м в котором устанавливались водосливы для измерения расходов воды (рис. 2, стр. 147).

Небольшие расходы воды измерялись треугольным водосливом с углом между стенками  $90^\circ$ . Большие расходы воды измерялись прямоугольным водосливом.

Для измерения высоты напора на водосливе из лотка выве-

дена пьезометрическая трубка, установленная на доске с миллиметровой шкалой и прикрепленная к стенке лотка.

Разница между показателями при уровне, соответствующем порогу водослива и уровне при работе, дает напор на водосливе.

В отдельных опытах помимо пьезометрической трубки устанавливался мерный мастер.

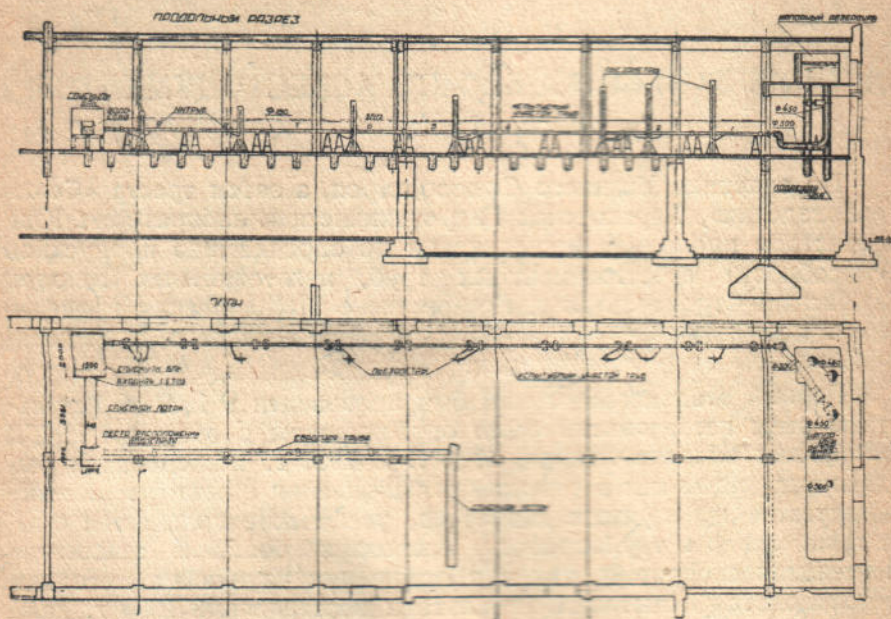


Рис. 1

### Измерение потери напора

Потери напора в трубах измерялись по показаниям пьезометров, установленных по длине трубопроводов. Пьезометрические трубки устанавливались на досках непосредственно у места присоединения пьезометра к трубопроводу. Для производства отсчетов показаний уровней в пьезометрах на доске укреплена миллиметровая шкала. Чтобы привести все пьезометры к одному горизонту берем показания пьезометров при статическом горизонте. Разница между показаниями пьезометров при динамическом и статическом горизонтах дает показания, приведенные к одному горизонту и характеризующие потерю напора в трубопроводе.

Для исключения влияния мениска при отсчетах уровня и для устранения колебаний в пьезометрических трубках диамет-

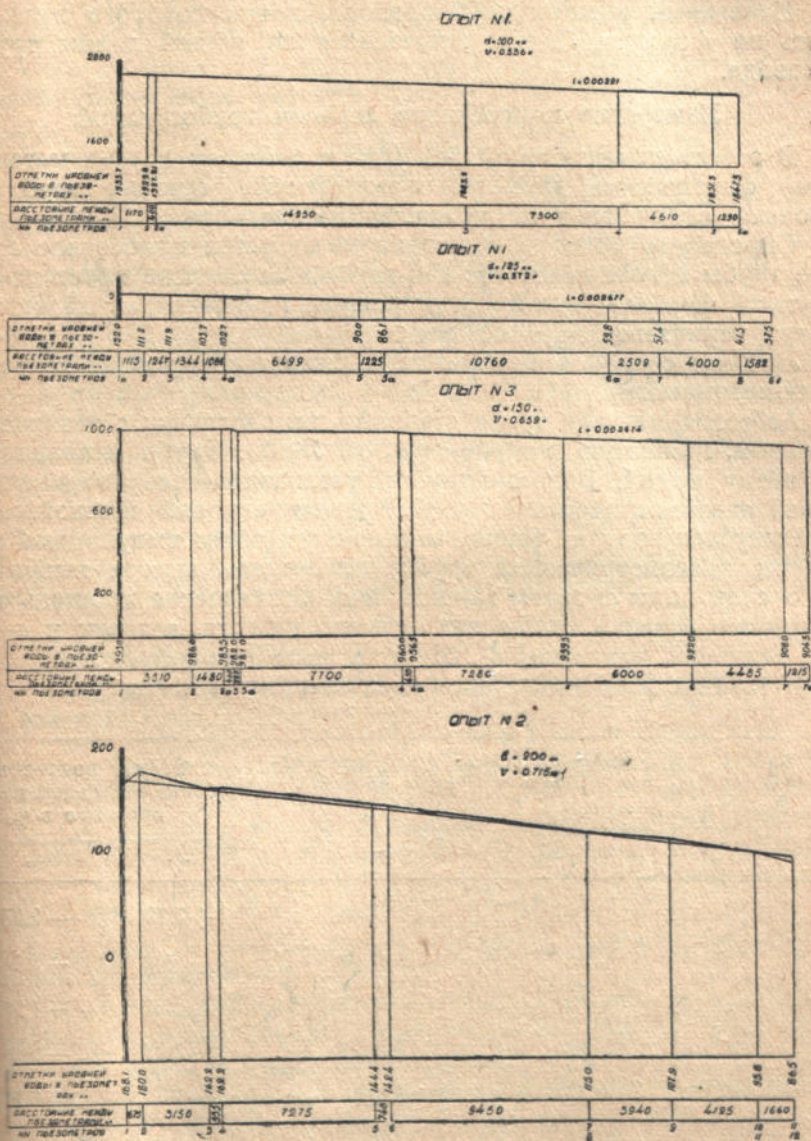


Рис. 2

ры их взяты 30 мм с сужением в месте присоединения к испытуемой трубе до 10 мм.

Начальный участок трубопровода, длина которого вычислялась по формуле Лацко, исключался из общей длины трубопровода.

### Измерение поперечного сечения трубопровода

В асбестоцементных трубах (как и в трубах других материалов) фактические диаметры и поперечные сечения труб несколько отличаются от номинальных размеров.

Определить простым измерением диаметра поперечное сечение трубы невозможно, так как труба в сечении не имеет строго круглой формы — диаметры в разных направлениях несколько могут отличаться друг от друга.

Лучшим способом измерения сечения трубопровода является волнометрический.

Асбестоцементная труба ставилась на пластинку с резиновым кольцом, прижатую к трубе муфтой Жибо. Труба наполнялась до верха водой. Рядом с трубой устанавливалась соединенная с ней пьезометрическая трубка с миллиметровой шкалой.

Выпуская воду из трубы, взвешивался объем выпущенной воды, на пьезометрической трубке измерялась высота выпущенного слоя воды и затем вычислялась фактическая площадь поперечного сечения трубы для данного участка, а затем и средние значения для каждой трубы и всего трубопровода.

В таблице № 1 приводим результаты этих вычислений.

Таблица № 1

№ п/п	Номинальн. диаметр м/м	Номинальная площадь поперечного сечения см <sup>2</sup>	Средняя фактическая площадь поперечного сечения для всего трубопровода	Отклонения поперечных сечений отдельных труб от среднего в %	
				+	-
1	50	19,635	20,06	+3,79	-2,25
2	75	41,18	45,24	+1,2	-1,1
3	100	78,54	78,77	+2,1	-1,5
4	125	122,83	122,74	+2,07	-0,8
5	150	176,70	174,70	+1,0	-0,8
6	200	314,16	313,87	-	-

### Измерение расходов

Небольшие расходы (до 22 литр/сек) воды измерялись треугольным водосливом Томсона с прямым углом между стенками водослива.



Вычисление расхода по измеренной высоте напора на водосливе произведено по формуле Кинга

$$Q = 1,343 H^{2.47}$$

Большие расходы воды измерялись прямоугольным водосливом: вычисление расхода произведено по формуле проф. Ребока (1929 г.).

$$Q = (1.782 + 0,24 \frac{H + 0,0011}{P_1}) \cdot v(H + 0,0011)^{3/2}$$

Прямоугольный водослив является наиболее проверенным измерителем расхода воды.

Ошибка измерений расхода не более 0,5%.

Для проверки степени точности измерений треугольного водослива были произведены опыты (на трубах  $d = 125$  и  $200$  мм) при примерно одинаковых расходах и на треугольном и на прямоугольном водосливе.

Расхождения в пропускной способности между результатами опытов треугольного и прямоугольного водосливов равна примерно 2—3% (при прямоугольном водосливе меньше).

Считая, что прямоугольный водослив дает показания более точные, чем треугольный, мы величину пропускной способности труб, полученную на трубопроводах, где измерения производились треугольным водосливом, уменьшаем на 3%.

### Определение потери напора в трубах при опытах

Опыты производились отдельно на каждом трубопроводе. Измерив уровни стояния воды в установленных по длине трубопровода пьезометрах, мы получаем линию потери напора.

В однообразной по сечению трубе линия потери напора должна быть прямой. В произведенных опытах линия потери напора очень близка к осредненной прямой, а в многих опытах совпадает с ней.

В некоторых опытах линия потери напора несколько отклоняется от прямой.

Одной из основных причин отклонений линии потери напора является неравномерность поперечного сечения труб. Произведенные замеры поперечных сечений показывают, что максимальные отклонения поперечных сечений отдельных труб от средней величины по всему трубопроводу колеблются от +3,8 до —2,2, т. е. разница может достигать до 6%.

При измерении поперечного сечения трубы будет происходить изменение скоростного напора; при увеличении поперечного сечения трубы будет происходить восстановление пьезометрического напора, а при уменьшении дополнительное падение пьезометрического напора.

При максимально возможных изменениях поперечного сечения на 6%, т. е. в 1,06 раза возможные колебания напора равны

$$\Delta h = \frac{(1,06 v)^2 - v^2}{2g} = \frac{0,122 v^2}{2g}$$

При скорости, равной 1,0 м величина скоростного напора равна 6 м, при скорости равной 2,0 м напор равен 24 мм.

Помимо влияния изменений поперечного сечения отклонение линии потери напора от прямой происходит также по следующим причинам:

а) попадания в пьезометрическую трубку воздуха (для избежания этого, вода из пьезометрических трубок периодически отливается, вместе с водой выходит и воздух);

б) тщательности выполнения соприкосновения поверхности отверстия пьезометра с внутренней поверхностью трубы.

Небольшие отклонения линии потерь напора от прямой свидетельствуют о тщательной постановке опытов.

Опыты проведены в большом количестве на трубах диаметром 50, 75, 100, 125, 150, 200 мм; общее количество опытов — 120 шт.

По показаниям опытов построены линии пьезометрического напора; в опытах, где эти линии отклонялись от прямой, нанесены на них осредненные линии падения напора, по которым и приняты средние величины потерь напора на единицу длины.

На рис. 2 приведены опыты при экономически выгодных скоростях для диаметров 100, 125, 150, 200 мм.

### Роль температурного фактора

Влияние вязкости на пропускную способность труб пропорционально

$$\nu - 0,081$$

При эксплуатации водопроводных сетей температура воды может быть разная в зависимости от источника водоснабжения.

Наиболее низкие температуры возможны в речной воде, которые принимаем как минимальные 1°C (учитывая прокладку труб в земле ниже глубины промерзания).

Опыты на трубах диаметром 50, 75, 125, 150 мм приводились при температурах воды 20°C, опыты на трубах диаметром 200 мм при температуре, равной 14°C, на трубах диаметром 100 мм при средней температуре 13°C.

Определив значение ( $\nu - 0,081$ ) для вышеприведенных температур и для минимально возможной при поверхностном водоснабжении равной 1°C и принимая за единицу измерения пропускную способность при этой температуре, находим пропускную способность для остальных температур.

Температура воды	Отношение получаемой пропускной способности к пропускной способности при $t^{\circ}=1^{\circ}$	Разность в %
1°	1,00	—
10°	1,023	+ 2,3
13°	1,03	+ 3,0
14°	1,032	+ 3,2
20°	1,045	+ 4,5

Из других новейших формул, учитывающих влияние вязкости в очень простой форме, является формула Блазиуса (для гладких труб)

$$R = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{R_e}} R_e - \text{число Рейнольдса равно } \frac{ud}{\nu}.$$

Следовательно, потеря напора пропорциональна значению  $a$  равному

$$a = \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{1}{\nu}}}.$$

Влияние вязкости по формулам Рейнольдса и Блазиуса (для гладких труб) почти одинаково.

Так как асбестоцементные трубы нельзя причислить к совершенно гладким трубам, мы на основании опытов считаем, что влияние вязкости для них точнее учитывается формулой Рейнольдса при значении величины  $m = 1,85$ .

### Результаты произведенных измерений

Измерив потери напора в опытах при определенных постоянных расходах и определив волюметрическим способом фактическое поперечное сечение труб, мы подсчетом определяем средние скорости движения воды в трубах.

Эти экспериментальные данные нанесены на профилях. Результаты опытов мы привели к виду несколько известных формул.

Основой мы принимаем формулу Вильямса Хазена

$$V = C^1 R^{0,63} I^{0,54}$$

Эта формула получила большое распространение в Америке, где проверена целым рядом экспериментальных исследований.

Большое удобство формулы состоит в том, что в простой пропорциональности дается зависимость пропускной способности от коэффициента  $C^1$ . Этим же коэффициентом выражается изменение пропускной способности в зависимости от возраста труб.

Обработка наших опытных данных показала, что они хорошо согласуются с формулой Вильямса Хазена.

В таблице 2 приводим номинальные и фактические площади поперечного сечения труб (средние для всего трубопровода), значения коэффициента  $C^1$ , вычисленные по формуле Вильямса Хазена по фактическим поперечным сечениям и значения  $C^1$ , вычисленные по номинальным поперечным сечениям.

Таблица № 2

Номинальный диаметр труб в мм	Номинальная площадь поперечного сечения $C^1$	Средняя фактическая площадь поперечного сечения $C^1$	Отношение фактической площади к номинальн. в %	Коэффициент $C^1$ среднее значение по фактическим сечениям	Коэффициент $C^1$ среднее значение по номинальн. сечениям	Температура воды при производстве опытов $t$ °C
50	19,635	20,06	101,0	124,3	127,8	20°
75	44,18	45,24	101,2	125,3	132,34	20°
100	78,54	78,77	100,15	128,0	128,50	13°
125	122,74	122,83	100,05	125,4	126,56	20°
150	176,70	174,70	99,4	124,8	122,96	20°
200	314,16	313,87	99,95	120,3	120,16	14°
				$C^1_{ср} 124$	$C^1_{ср} 126,4$	

На основании выводов, приведенных в разделе «Измерение расходов», полученная пропускная способность в опытах, где измерения производились треугольным водосливом, уменьшена на 3%, значения  $C^1$  соответственно этому исправлению приведены в табл. 3.

Так как значения  $C^1$  получены при разных температурах, приводим значения  $C^1$  к одной температуре 20° (табл. 3), пользуясь вышеприведенной формулой Рейнольдса при  $m = 1,85$

и произведенными по ней подсчетами изменения пропускной способности.

Таблица № 3

Номинальный диаметр труб $mm$	Значения $C^1$ по фактическим поперечным сечениям с учетом изменения пропускной способности д/опытов на треугольн. водосливе	Коэффициент увеличения пропускной способности при изменении температуры от провод. в опыте до $20^{\circ}C$	Коэффициент $C^1$ (для $t^{\circ} = 20^{\circ}C$ )
50	120,6	1,0	120,6
75	124,5	1,0	124,5
100	124,2	1,015	126,1
125	126,4	1,0	126,4
150	124,8	1,0	124,8
200	120,3	1,0125	121,8
	$C^1_{cp} = 123,4$		$C^1_{cp} = 124,0$

Полученные результаты среднего значения  $C^1$  в формуле Вильямса Хазена (табл. 2  $C^1 = 125,4$ ) выведены, исходя из фактического поперечного сечения и диаметра труб.

Значения  $C^1$ , полученные по номинальному диаметру  $C^1 = 126$  на  $+ 0,8\%$  больше.

На основании промеров 7—8 труб нельзя считать, что отношение фактической площади к номинальной всегда остается неизменным, поэтому принимаем значения  $C^1$  вычисленные по фактической площади.

Значение  $C^1 = 124,0$  можно принимать при расчетах новых асбестоцементных труб по формуле Вильямса Хазена при температурах воды  $20^{\circ}C$ . В водопроводных магистралях при заборе воды из открытых водоемов температура воды в зимнее время может снижаться до  $1^{\circ}C$ .

При температурах  $t^{\circ} = 1^{\circ}C$  значение  $C^1$  должно быть снижено на  $4,5\%$  и будет равно

$$C^1 = 118,0.$$

Сравним результаты опытов с данными для расчета чугунных труб. По Вильямсу Хазену значение  $C^1$  для новых чугунных труб  $C^1 = 110$ . Следовательно, по сравнению с формулой Вильямса Хазена пропускная способность асбестоцементных труб на  $7\%$  больше, чем чугунных (новые трубы).

Далее, результаты опытов были выражены формулой

$$i = \lambda \frac{v^2}{2gd}$$

Для каждого опыта определено значение  $\lambda$ . Это дает возможность сравнить наши материалы с целым рядом квадратичных формул.

Учитывая принятое нами уменьшение пропускной способности труб в 3% для диаметров 50, 75, 100 мм (где измерения производились на треугольном водосливе) и общее для всех трубопроводов уменьшение пропускной способности в 4,5%, из-за большей вязкости воды при низких температурах, значения коэффициентов сопротивления увеличены для труб 50, 75, 100 мм на 15%  $(1 + 0,045 + 0,03)^2$ , для диаметров 125, 150, 200 мм — на 9%  $(1 + 0,045)^2$ .

Результаты наших исследований сравнены с новейшими формулами (учитывающими и влияние вязкости воды) Блазиуса и Прандтля для гладких труб.

Формула Блазиуса рекомендуется для значений  $Re$  до 100.000.

Значения коэффициента сопротивлений, полученные из опытов, мы, учитывая возможную ошибку в измерениях расходов в 3%, при применении треугольного водослива увеличиваем на 6%.

Влияние вязкости воды учитывается формулами Блазиуса и Прандтля при определении числа Рейнольдса.

Поэтому для сравнения в значениях коэффициентов сопротивлений из опытов поправки вносить не нужно.

В таблице 4 приводим сравнительные значения из опытов, и по формулам Блазиуса и Прандтля.

Таблица № 4

Номинальн. диаметр трубы	Средние значения $\lambda$ из опытов	Коэффициент увеличения значения $\lambda$ учитывая ошибку при измерении треугольным водосливом	Увеличенное значение $\lambda$	Средние значения $\lambda$ по формуле Блазиуса $\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$	Средние значения $\lambda$ по ф-ле Прандтля $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10}(Re\sqrt{\lambda}) - 0,8$
Для $Re < 100.000$					
50	0,0210	1,06	0,0223	0,0201	0,0200
75	0,0191	1,06	0,0202	0,0188	0,0189
100	0,0190	1,06	0,0201	0,0199	0,0198

Продолжение табл. № 4

Номинальн. диаметр трубы	Средние значения $\lambda$ из опытов	Коэффициент увеличения значения $\lambda$ учитывающая ошибку при измерении треугольным водосливом	Увеличенное значение $\lambda$	Средние значения $\lambda$ по формуле Блазиуса $\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}$	Средние значения $\lambda$ по ф-ле Прандтля $\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log_{10} (Re \sqrt{\lambda}) - 0,8$
Для $Re > 100.000$					
100	0,0175	1,06	0,0187	0,0166	0,0170
125	0,0170	1,00	0,0170	0,0156	0,0160
150	0,0170	1,00	0,0170	0,0157	0,0163
200	0,0182	1,00	0,0182	0,0157	0,0163

Из приведенных подсчетов следует, что пропускная способность асбестоцементных труб при малых диаметрах близко подходит к совершенно гладким трубам (в малых трубах влияние шероховатости меньше сказывается), в трубах больших диаметров пропускная способность асбестоцементных труб несколько меньше, чем совершенно гладких, примерно, в 1,05 раза, сравнительно с формулой Прандтля, которая считается наиболее верной при

$$Re > 100.000.$$

### Уменьшение пропускной способности трубопроводов

Пропускная способность чугунных труб с возрастом их непрерывно падает. По данным таблицы Вильямса Хазена потеря пропускной способности через 20 лет должна быть 23%, через 30 лет — 32%. Расчетное значение  $C^1$  для чугунных труб наиболее часто принимается  $C^1 = 100$  (для футов), для метров  $C^1 = 85$ , что соответствует возрасту трубы в 20 лет.

По формуле Маннинга, коэффициент шероховатости принимается равным для новых труб 0,011. Для старых труб 0,012.

Значение коэффициента Шези по выражению Маннинга:

$$C^1 = \frac{1}{n} R^{1/6}$$

Потеря напора обратно пропорциональна квадрату значения  $C^1$  откуда находим, что

$$\frac{\lambda_{\text{старых}}}{\lambda_{\text{новых}}} = 1,194$$

Это соответствует уменьшению пропускной способности на 8,5%. Потеря пропускной способности по формуле Маннинга предусматривается значительно меньшей, чем по кривой Вильямса Хазена (см. выше), что является недостатком формулы Маннинга.

В 1934-35 г. была проведена большая работа американским водопроводным обществом по проверке уменьшения пропускной способности трубопроводов\*).

По данным этой работы, «средняя действительная потеря пропускной способности чугунных асфальтированных труб после 30-летней службы, основанная на исследованиях 473 трубопроводов 19-ти различных систем, равнялась 52%».

Из этих данных видно, что в действительности потеря пропускной способности в чугунных трубах протекает более интенсивно, чем это предусматривается кривой Вильямса Хазена. Асбестоцементные трубы в отношении потери пропускной способности выгодно отличаются от чугунных.

Проф. Шимеми считает, что можно провести аналогию между асбестоцементными трубами и хорошо оштукатуренными бетонными, при чем преимущество будет за асбестоцементными. По данным вышеприведенной работы «Исследования бетонных труб после достаточного периода времени показали, что при нормальных условиях первоначальная пропускная способность относительно постоянна».

Для бетонных труб обширные опытные данные обработаны Скобеем, который дает формулу

$$V = C^{11} d^{0,825} I^{0,5}$$

(для метровых размеров).

Значения коэффициента  $C^{11}$  к формуле Скобея даны в таблице 60 справочника Н. Н. Павловского.

По данным Скобея, в бетонных трубах не установлено уменьшения пропускной способности от зарастания. Скобей в своей формуле предлагает такую поправку: расчетный расход (при определении потерь напора) следует увеличить на 5% для труб без осадков, на 10% при возможности осадков и 15% при значительных осадках.

Проф. Людин считает, что снижение пропускной способности в асбестоцементных трубах вероятно в пределах 5—10% и рекомендует принимать в среднем 7%.

Окончательное подтверждение для исправления указанного процента снижения пропускной способности возможно только после наблюдений над трубопроводами, бывшими много лет в работе.

\*) Journ. Americ. Water Works Assocation 1936 г., vol № 9.



Мы считаем достаточным принять уменьшение пропускной способности для старых труб на 7,0%, что соответствует увеличению потери напора на 14,5%. При этом коэффициенте  $C^1$  для формулы Вильямса Хазена следует принять 0,93 от  $C^1$  для новых труб, т. е.  $0,93 \times 118 = 110$ , а скорость

$$V = 110 R^{0,63} I^{0,54}$$

### Сравнение результатов наших исследований с другими исследованиями по асбестоцементным трубам

1. Формула проф. Шимеми для новых труб

$$V = 163 R^{0,68} I^{0,54}$$

или

$$I = 0,0005895 \frac{v^{1,786}}{d^{1,214}}$$

2. Формула проф. Людина  
Для новых труб

$$V = 134 R^{0,65} I^{0,54}$$

или

$$I = 0,0006102 \frac{v^{1,852}}{d^{1,204}}$$

Для старых труб

$$V = 124 R^{0,65} I^{0,54}$$

или

$$I = 0,0007045 \frac{v^{1,852}}{d^{1,204}}$$

3. Формула Вильямса Хазена (рекомендуемая нами с коэффициентами  $C^1$ , полученными в результате наших исследований).  
Для новых труб

$$V = 118 R^{0,63} I^{0,54}$$

или

$$I = 0,0007336 \frac{v^{1,852}}{d^{1,167}}$$

Для старых труб

$$V = 110 R^{0,63} I^{0,54} \text{ или } I = 0,0008356 \frac{v^{1,952}}{d^{1,167}}$$

Для сравнения приравнивая уклоны по этим формулам к формуле Маннинга

$$I = 6,35 \frac{n^2 v^2}{D^{1,33}}$$

определяем значение коэффициента шероховатости при экономически выгодных скоростях.

Для определения экономически выгодных скоростей пользуемся формулой, рекомендуемой проф. Лобачевым

$$v = \frac{4}{\pi} D^{0,5} = 1,2732 D^{0,5}.$$

Все полученные значения  $n$  приводим в таблице 5.

Таблица № 5

Наименование формулы	Диаметры	
	100 мм	300 мм
1. Шимеми (новые) . . .	0,00929	0,00934
2. Людина (новые) . . .	0,00907	0,00933
3. „ (старые) . . .	0,00975	0,01003
4. Вильямса Хазена с коэф. $C^1$ НИГЛ (но- вые) . . . . .	0,00952	0,0100
5. Вильямса Хазена с коэф. $C^1$ НИГЛ (ста- рые) . . . . .	0,01017	0,01068

Приведенные подсчеты показывают небольшое расхождение между результатами наших исследований и результатами работ Людина и Шимеми.

При этом следует учесть следующие обстоятельства:

1) опыты Людина производились при температуре близкой к  $14,5^\circ\text{C}$ , увеличение вязкости воды при пониженных температурах и связанное с этим уменьшение пропускной способности трубы формулой Людина не учтено.

2) Опыты Шимеми производились при температурах  $9^\circ$ — $10^\circ$ .

Формулой не учтено уменьшение пропускной способности труб с понижением температуры воды.

Чтобы привести опыты Людина и Шимеми к минимальной температуре, к которой приведены наши опыты ( $+1^\circ\text{C}$ ), нужно пропускную способность труб, полученную по формуле Людина снизить на 3,2%, по формуле Шимеми пропускную способность снизить на 2,2%.

Значение коэффициентов шероховатости полученные из формул Шимеми и Людина с уменьшением пропускной способности, при учете температуры воды в  $1^\circ$ , а также значение этих коэффициентов из рекомендуемой нами формулы приведены в табл. № 6.

Таблица № 6

№№ п/п	Наименование формулы	Диаметры		Примечание
		100 мм	300 мм	
1	Шимеми (новые) . . . . .	0,00949	0,00954	Пропускная способность уменьшена на 2,2%
2	Людин (новые) . . . . .	0,00930	0,00962	
3	„ (старые) . . . . .	0,01006	0,01035	{ Пропускная способность уменьшена на 3,2%
4	Вильямса Хазена с коэф. С <sup>1</sup> НИГЛ (новые) . . . . .	0,00952	0,01000	
5	„ (старые) . . . . .	0,01017	0,01068	

При внесении в формулы Шимеми и Людина исправлений, учитывающих понижение температуры (табл. 6) получаем результаты почти совпадающие с результатами наших опытов.

#### Сравнение потерь напора в асбестоцементных трубах с потерями в чугунных трубах (по формуле Маннинга для старых труб.)

Потеря напора в трубах по формуле Маннинга пропорциональна коэффициенту шероховатости во второй степени.

Величина  $\left(\frac{n}{0,012}\right)^2 = K$  характеризует отношение величины потери напора по формулам с другими значениями  $n$  к потерям, вычисленным по формуле Маннинга. Приводим таблицу значений  $K$ .

$n$	0,00975	0,010	0,01003	0,01017	0,1068	0,011
$K = \left[\frac{n}{0,012}\right]^2$	0,660	0,694	0,699	0,718	0,792	0,840

Из сравнения потерь напора в асбестоцементных трубах (по рекомендуемой нами формуле  $d=100$ ,  $n=0,01017$ ;  $d=300$ ,  $n=0,01068$ ) с потерями в чугунных трубах по формуле Маннинга  $n=0,012$  (для старых труб) находим, что потери в асбестоцементных трубах, при экономически выгодных скоростях будут меньше—для труб диаметром 100 мм в 1,4 раза  $\left(\frac{1}{0,718}\right) = 1,4$  для труб диаметром 300 в 1,26 раза.  $\left(\frac{1}{0,792} = 1,26\right)$ .

Следовательно, пропускная способность асбестоцементных труб больше, чем чугунных (при экономически выгодных скоростях) для труб диаметром 100 мм примерно в 1,18 раз, для диаметром 300 мм примерно в 1,12 раз.

Нужно отметить, что потеря пропускной способности чугунных труб происходит значительно интенсивнее, чем это предусматривается формулой Маннинга и расхождение будет увеличиваться.

### Выводы

Для подсчета потерь напора в асбестоцементных трубах Воскресенского завода треста Союзасбоизделия на основании произведенных исследований рекомендуем пользоваться формулой Вильямса Хазена.

$$V = C^1 R^{0,63} J^{0,54}$$

При значениях  $C^1$  — для старых труб  $C^1 = 110$   
 »           »       — » новых труб  $C^1 = 118$ .

Формула приведена для температуры воды + 1°C. При более высоких температурах воды, напр., при подземном водоснабжении, а также летом при пропуске воды из поверхностных источников формула будет давать запас вследствие некоторого увеличения пропускной способности труб. Это увеличение может быть подсчитано по данным, приведенным в разделе «Влияние температурного фактора на пропускную способность труб».

## СЕРНОПЕСЧАНЫЙ СОСТАВ ДЛЯ ЗАЛИВКИ СТЫКОВ РАСТРУБНЫХ ТРУБ

### I

Изыскание способа соединения раструбных труб, удовлетворяющего требованиям: 1) недефицитности и невысокой стоимости материалов; 2) легкости и удобству производства работ (без длительной чеканки и подогрева стыков); 3) получения прочности, эластичности и герметичности стыкового соединения; 4) легкости ремонта и 5) устойчивость против местной специальной обстановки работы трубопровода (например, химия, температура и т. д.) давно стоит в порядке дня инженерной деятельности. Таким требованиям может удовлетворить серно-песчаный сплав «гидротайт», если последний специально подобрать к местным условиям.

Нами была предпринята работа с целью изучения свойств сернопесчаных составов типа гидротайта. В последние годы в американских химических журналах \*) были опубликованы результаты исследовательских работ по изучению сернопесчаных составов. Оттуда мы и получили первоначальные сведения о составе гидротайта.

Состав типа гидротайт получается из сплава серы с мелким песком (55 : 45) с прибавлением 1-3% тиокола и голландской сажи. В нашей литературе имеются указания, что добавка сажи сделана с целью маскировки истинного состава гидротайта \*\*), как увидим ниже, что не верно.

При проведении работы по изучению свойств сернопесчаного состава для заливки стыков был принят следующий порядок изучения сплава: а) без добавок, б) с добавками: 1) нафталина, 2) железных опилок с хлористым аммонием, 3) голландской сажи 4) сульфонафтенной кислоты, 5) с добавлением резинита (тиокола) и голландской сажи.

\*) Chemical and Metallurgical Engineering 1934 г., стр. 583.

\*\*) Проф. Н. Н. Гениев, Водоснабжение городов и промышленных предприятий 1931 г., стр. 508; инж. Н. П. Корниенко. Гидротайт вместо свинца и цемента, «Слесарь водопроводчик» № 5-6, 1937 г.

Получаемые сплавы испытывались как в образцах, полученных при заливке пробных форм (восьмерки, кубики, трубочки), так и на специальных опытных установках. Последние представляли собой закрытые по концам заглушками трубопроводы из чугунных раструбных труб, расперты домкратами между двумя опорами. Опыты начинались трубами малых диаметров (до 125 мм), затем производились на более крупных: 150; 200; 250 и 400 мм (рис. 1). (Схема трубопроводов для испытания стыков).

Схемы трубопроводов для испытания стыков

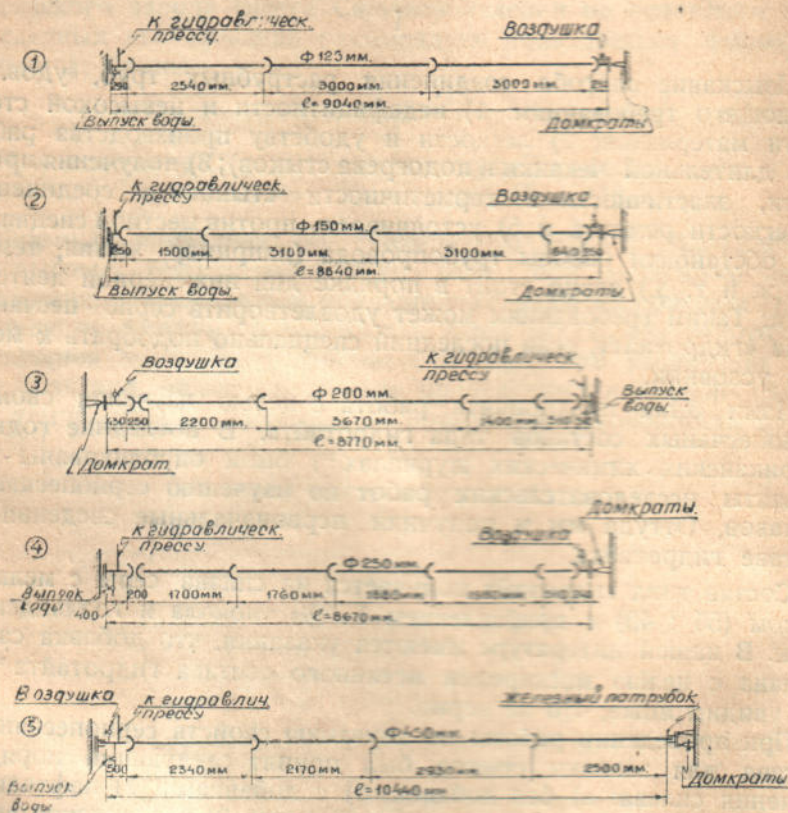


Рис. 1

Перед заливкой в каждый испытуемый стык закладывалась прядь (белый канат) со слабым уплотнением ее колец, чтобы по возможности устранить влияние конопатки. Стыки заливались опытными сплавами.

Через несколько часов после заливки трубопровод подвергался испытанию гидравлическим давлением.

Под давлением трубы при испытании выдерживались не менее 15 минут. Для сравнимости результатов испытаний была принята следующая единая характеристика поведения стыков: а) стык сухой при данном давлении, б) стык потеет, в) слезится (но не дает капель), г) каплет (причем каждый раз определялось число капель, падающих со стыка за 1 мин.) д) стык течет струей — когда количество отдельных капель невозможно уловить (непрерывная течь). При испытаниях обязательно фиксировалось время падения давления в линии на 1 ат.

Кроме того, отмечались такие данные, как расходимость труб при давлении (определения индикатором), результаты испытаний на разрыв линии при оvoidженных опорах, уплотненность пряди при выбивании сернопесчаного сплава из стыка и результаты прогиба линии в каком-нибудь стыке.

Для ориентировочной оценки качества стыка в том случае когда он вначале давал некоторую утечку, мы на основе принятых у нас и в Америке норм предельно допускаемой для трубопроводов величины суточной утечки определили величину ее для одного стыка (число капель в 1 мин. на 1 дм).

Для этого мы приняли на основе повторенных многократно определений, что 10 капель воды при средней их величине занимают объем в 1 см<sup>3</sup>. Исходя из нормы утечки, принятой на Московском водопроводе \*) и 1000 л. в сутки на дециметр диаметра и километр длины, мы находим величину утечки для одного стыка (число капель в мин.) по формуле:

$$K_1 = \frac{1000 \cdot 1000 \cdot 10}{14 \cdot 60 \cdot 5 s},$$

где S количество стыков на 1 км трубопровода.

Для труб диаметром от 75 до 150 мм при длине каждой из них 3 м,  $K_1 = 20,8$  или округленно 21 капле в 1 мин. на 1 дм. Для труб диаметром от 200 до 450 мм при длине = 4 м,  $K_1 = 27,8$  или округленно 28 капель в 1 мин. на 1 дм. Если же исходить из американских данных, опубликованных в 1937 г.\*\*), где допускаемая утечка на дюйм диаметра, милю длины в 24 часа при давлении 150 фунтов на 1 кв дюйм определяется равной 75 галл, то искомое число капель в 1 мин на 1 дм при 4-х мет. трубах будет:

$$K_2 = \frac{75 \cdot 3 \cdot 78 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 4 \cdot 4}{24 \cdot 60 \cdot 1609} = 19,55$$

или 20 капель в 1 мин. При 3 метровой длине труб утечка на один стык выразится в 14,7 или 15 капель в 1 мин.

\*) „Водоснабжение и с.техника“ № 11, 1938 года, статья инженера Г. И. Яковлева.

\*\*) „Hydraulic Development Corporation“.

Для сравнительной оценки допустимости этой величины утечки в наших опытах остановились на последних двух цифрах, т. е. 15 и 20 капель в мин. на 1 *дм* диаметра, избирая их в дальнейшем в зависимости от длины труб. На этой основе условно для удобства сравнения приняли следующие показатели качества стыка: 1) наивысшая оценка — стык сухой при давлении в 15 и 20 *ат* с течением времени до 25 дней после заливки; 2) высокая оценка — стык сухой при 10 *ат* или дает допустимую утечку при 15 *ат* на 25-й день; 3) стыки приемлемые — дают допустимую утечку через 25 дней при давлении в 10 *ат*; 4) стыки — неприемлемые — дают недопустимую утечку при 10 *ат* через 25 дней.

## II. Сернопесчаный сплав без добавок

Все опыты за исключением нескольких стыков (пробных) проводились с серой, имеющей до 0,5% посторонних примесей. Составляя процентное отношение компонентов, мы всегда сводили взятую серу к количеству содержащейся в ней чистой серы, считая, что некоторая часть инертных примесей ее идет в зачет количества песка. Отметим, что хотя применение молотой серы и удобнее с точки зрения расчетов и в силу ее раздробленности, все же практически, при производстве работ по заливке стыков, когда потребуются большие количества серы, придется пользоваться более дешевой и распространенной комовой серой. Необходимо только знать количество чистой серы в ней и не допускать ее с большим количеством посторонних примесей.

Количество и качество составных частей подбирались такими, чтобы в итоге получались наиболее плотные сплавы. Для этой цели были взяты отсеvy чистого речного кварцевого песка с разной крупностью частиц. В таблице 1 дается механический анализ песка двух принятых для опытов — сортов.

Таблица 1

Наименование пробы	Содержание частиц в % с размерами в мм						Удельный вес	Объемный вес	Порозность в % по удельному и объемному весу	Порозность опре- деленная спосо- бом насыщения
	более 0,25	0,25 до 0,05	0,05 до 0,01	0,01 до 0,005	0,005 до 0,001	менее 0,001				
Песок Т—25 . . . . .	1,04	95,96	1,40	0,45	0,00	0,55	2,77	1,62	41,5	38,0
Песок Т—40 . . . . .	21,77	75,42	0,40	2,41	—	—	—	—	—	32,0



Вначале была испытана известная из опубликованной литературы пропорция составных частей, а именно: 55% серы и 45% отсеянного песка (Т-25).

Осуществляя слабое уплотнение пряди (путем закладки ее в стык от руки) и испытывая залитые сплавом стыки в день заделки или на второй день, после опробования 19 стыков 150 мм раструбных труб, мы обнаружили, что 90% всех стыков не выдерживают давления выше 3 ат при испытании их в день заливки. Чтобы выявить действия времени на герметичность стыка, были испытаны повторно (на другой день после первого испытания) шесть стыков тех же труб. При этом оказалось, что четыре стыка улучшили свою работу, один — остался без изменения и один — ухудшился. Затем, на этих же трубах было проведено несколько опытов с видоизмененным составом сплава.

Изменение процентажа составных частей сернопесчаной смеси не дало явного преимущества ни одной из новых смесей. Резко отличающийся результат был получен при опыте со сплавом, имевшим 68% серы, на тех же трубах диаметром 150 мм в том случае, когда прядь (канат) для закладки в стык была взята сухая, хорошо скрученная; законопачивалась в раструб она молотком с чеканкой; заливка стыка осуществлялась через высокую воронку, облегчавшую удаление воздуха из стыка при его наполнении. При испытании на другой день после заливки все три стыка выдержали давление в 20 ат: опробование работы каната после выбивания сплава из стыка № 2 показало, что он сильно спрессовался и выдерживает самостоятельно давление в 18-20 ат.

Дальнейшее испытание сернопесчаного сплава без добавок было перенесено на опытную установку с трубой диаметром 200 мм. Испытанию подверглись три вариации состава, причем оказалось, что если из общего числа 24 стыков исключить четыре, где явно влияние уплотнившегося каната, то из оставшихся 20 стыков 17, или 85%, текут при давлении до 2 ат.

И так, в отношении герметичности, сернопесчаная смесь без добавок, испытанная на трубах диаметром 150 и 200 мм при слабой конопатке пряди (каната), оказалась неудовлетворительной. Правда, при высокой и средней степени уплотнения каната результат может быть получен значительно лучший. На такое уплотнение, очевидно ориентировались авторы статей, опубликованных в журнале «Слесарь—водопроводчик» \*).

Вообще же говоря, если верно, что сернопесчаная смесь без улучшающих добавок не дает герметичности стыка, базироваться на работе каната (хотя и хорошо уплотненного) конечно, нельзя, так как последний с течением времени разрушается. Будет

\* ) М. М. Порфирьев, № 8, 1937 г., Н. П. Алексеев и Н. М. Ермолаев №-2, 1938 г.

менять структуру и сернопесчаный сплав, поддерживающий конопатку; сплав перекристаллизовывается, делается зернистым и крошащимся, вследствие неизбежных температурных колебаний. Об этом говорят результаты испытаний, которые мы провели с образцами этого сплава при обработке их в среде с меняющимися температурами (от 10 до 75° С и др.); уже после 15-ти кратной обработки материал разрушался (см. ниже описание термических испытаний).

### III. Добавки к сернопесчаному сплаву

Испытав на трех стыках добавку из железных опилок с хлористым аммонием, получив некоторое улучшение стыка в отношении герметичности, мы прекратили дальнейшие опыты с этим сплавом в силу быстрого ржавления состава, обнаружившегося через 25 дней \*).

Несколько опытов было проведено со сплавом, включающим от 1 до 3% только голландской сажи (10 стыков), добавление которой по американским данным вместе с другими добавками несколько увеличивает химическую стойкость, поддерживает однородность расплавленной массы и пр. Здесь наряду с некоторым небольшим улучшением работы стыков по истечении некоторого времени отмечается и ухудшение работы четырех стыков после повторных испытаний. Возможно, что стыки при этом расстраиваются или же сплав дает усадку; во всяком случае дальнейших исследований сплава с прибавлением одной только сажи мы не производили.

Результаты испытания 9 стыков, залитых сернопесчаным сплавом с 1% добавкой нафталина, говорят о значительно большей герметичности таких стыков. Прибавление к сере и песку нафталина и сажи дает положительный результат в опытах с четырьмя стыками 200 мм труб и менее удовлетворительный результат при 250 мм трубах. В дальнейших опытах мы перешли к опробованию других примесей, в частности, сульфонафтеновой кислоты. Исходя из стремления получить примесь, подобную упомянутому, в американском журнале \*\*) «олефин полисульфид», мы, по указанию химиков Харьковского Химико-Технологического Института, применили сульфонафтеновую кислоту с добавлением сажи. Из 12 испытанных стыков 17% дали наивысшие показатели, 33% — высокие и 42% — удовлетворительные (утечка в пределах допустимого). Неудовлетворительные показатели дал один стык, что составило около

\*) Об уменьшении сопротивления химическим воздействиям при добавлении к сернопесчаному сплаву этих реактивов говорит американский исследователь С. К. Payne „Engineering and Contract Record“, Oct. 6, 1937.

\*\*) „Engineering Contract Record“, D-r С. К. Payne.

8%. При испытании стыков по проставкам, более длительного срока соотношение показателей соответственно оказалось: 17, 50, 25 и 8%.

Испытанный сплав проявляет явную тенденцию к самоуплотнению, но время необходимое для этого, велико.

### Добавление резинита (тиокола) и голландской сажи

В поисках «олефин полисульфида» после ознакомления со статьей \*) мы решили испробовать в качестве примеси к сернопесчаному сплаву резинит (тиокол). Последний сравнительно недавно освоен нашей промышленностью \*\*).

Применение резинита как добавки к сернопесчаному сплаву по мнению работников Харьковского Химико-Технологического Института инженеров Д. В. Безуглова и Ю. И. Черняевой «стабилизирует молекулярное состояние серы, чем и объясняется большая устойчивость и прочность серного цемента...» «органические сульфиды, кроме того, изменяют также и пластичность серного цемента, что вызывает особый интерес к такого рода добавкам».

Проведя серию опытов на трубах различных диаметров с составом, включающим добавку резинита и голландской сажи, мы получили результаты, свидетельствующие о качестве состава более высоком, чем мы имели во всех ранее испытанных вариантах сернопесчаного материала (таблица 2).

Если полученный в каждой графе результативный материал (таблица 2) отнести к общему количеству испытанных стыков (53), то, принимая во внимание установленные выше 25-дневный срок уплотнения стыков, получим такую картину: оценку наивысшую имеют 42%, высокую—38% приемлемую—5% и неприемлемую 15%. Если бы мы расширили принятый условно срок самоуплотнения стыков до 1 месяца 10 дней, то соотношение неприемлемых стыков изменилось бы за счет четырех стыков диаметром 450 мм уменьшив эту графу до 7%. Дальнейшее увеличение сроков самоуплотнения приближает число неудовлетворительных заливок к нулю.

Об уменьшении утечки говорят и американские данные, приведенные фирмой, рекламирующей гидротайт \*\*\*)). Согласно

\*) W. W. Duescker в журнале Chemical and Met. Eng. 1934 г., стр. 583.

\*\*) Проф. Зеленский. Новый суррогат каучука-тиокол. «Резиновая промышленность». № 6, 1933 г., П. Павлович и Г. Тартаковский, тот же журнал № 6, 1934 г.

\*\*\*) Сведений о работе существующих водопроводов, залитых гидротайтом, непосредственно от эксплуатирующих водопроводы организаций за границей, получить не удалось. Изготовители же гидротайта приводят данные, характеризующие его как отличный материал, превосходящий свинец, например, по устойчивости вибрации.

этим данным на протяжении всего периода испытаний, т. е. 140 дней, на водоводе Нью-Джерси, происходило непрерывное уплотнение стыков и уменьшение утечки (рис. 2. График самоуплотнения стыков).

На этом основании американцы рекомендуют при производстве работ осуществлять засыпку траншей землей, не ожидая прекращения утечки в стыках.

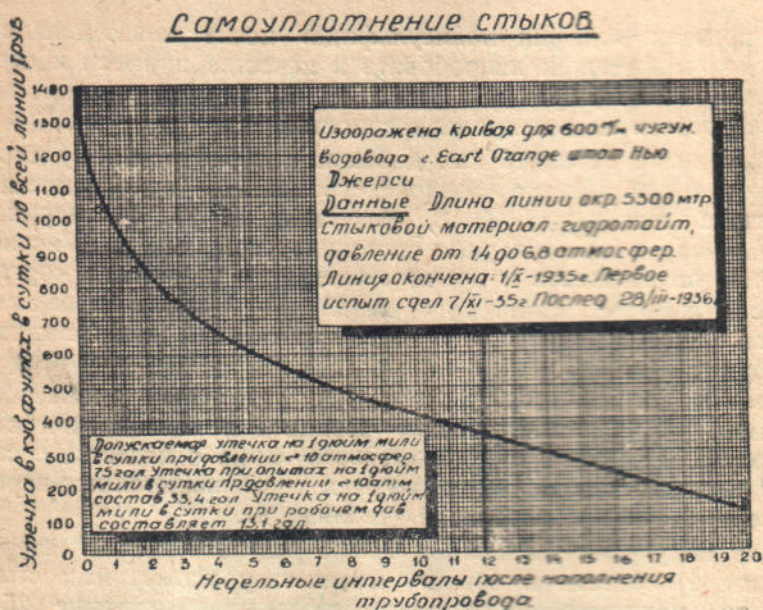


Рис. 2

В результате проведенных наблюдений мы пришли к заключению, что стыки дающие допустимую утечку (таблица № 2), можно принимать как годные.

Вопрос о времени испытания должен разрешаться в зависимости от местных условий с учетом, что стыки, давшие незначительное число капель при испытании на второй или третий день после заливки, быстрее улучшают свою работу, чем стыки, давшие вначале недопустимую утечку. Стыки, дающие вначале около 200 капель в 1 минуту при давлении в 3—5 ат, надо считать дефектными.

Возможно, что замедление в уплотнении таких стыков связано с некоторым изменением массы мастики, например, с выщелачиванием каких-либо составных частей сплава при прохождении значительных количеств воды через неуплотненный стык. С этой точки зрения быть может и является целесообразным в производственной обстановке сильное уплотнение

Таблица 2

Диаметр труб, мм	Допускаемая утечка (число капель) на 1 стык в 1 мин.	Количество стыков	Утечка при испытании (число капель в 1 мин.) при давлении в ат.					Оценка качества в % к общему числу стыков для данного диаметра:			
			10	12	15	18	20	наивысшая	высокая	приемлемая	неприемлемая
125	19	3	—	—	—	—	5, 0, 7	33	67	—	—
150	22	6	—	—	—	9, 0, 12	3, 0	50	50	—	—
200	40	16	77 потек	35	200, 28, 40, 170	—	7 сух., 10, 30	44	25	12	19
250	50	20	22	—	51, 6, 3, 145, 30	—	23, 1, 10, 17, 6, 15 7 сух., 1 слезит	40	45	10	5
450	90	8	57, 80, 64 36*)	—	3 сух. 90	—	—	37	13	—	50**)

\*) Через 1 месяц 10 дней.

\*\*) Условно, так как для большого диаметра требуется больше времени на уплотнение стыка.

каната, дающее уменьшение первоначальной утечки в стыке. Возможно также что этим объясняется требование американских проспектов производить сильное уплотнение каната. Поэтому, делая свои выводы, мы должны оговориться, что к сильному уплотнению мы не прибегали.

#### IV. Физико-химическое испытание сернопесчаного сплава

Установив ряд достоинств сернопесчаного сплава, мы перешли к его физико-химическим испытаниям.

Для испытания материала на разрыв составом заливались формы в виде восьмерок, обычно применяющиеся при опробовании строительных растворов (цемента). После испытания 24 разных вариаций состава и способа обработки 56 образцов, получены следующие результаты:

1. Из испытанных составов наибольшее сопротивление разрыву оказывает состав, имеющий 55% серы, 2% резинита, 2% сажи и 41% мелкого отсеянного речного песка; он дает среднюю цифру (из 8 случаев)  $40,3 \text{ кг/см}^2$ , не отличающуюся от американских данных, приведенных в упомянутой выше статье, опубликованной журналом\*). Надо отметить, что с течением времени крепость материала несколько увеличивается, но одновременно уменьшается его гибкость, в то время как сернопесчаный сплав без добавок, хотя вначале и имеет крепость, близкую к вышеприведенной—с течением времени слабеет и крошится.

2. Термическая обработка образцов производилась двумя способами: а) при колебаниях температур от 3 до  $100^\circ$  и от 10 до  $75^\circ$ ; б) при пятичасовом кипячении их в воде при  $100^\circ$  с целой и снятой поверхностной пленкой. Все эти испытания показали, что сернопесчаный сплав без добавок разрушается или после 15—20 циклов периодической термической обработки или после пятичасового кипячения, в то время, как сплав указанного в п. 1 состава сохраняет от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{2}{3}$  своего первоначального сопротивления разрыву.

3. Для проверки данных американской литературы, утверждающей, что гидротайт хорошо противостоит химическим воздействиям, мы испытали влияние двух реагентов: аммиака и азотной кислоты. Воздействие аммиака при концентрациях 10—20% и азотной кислоты при концентрациях от 10 до 38% в течение промежутка времени до 12 суток на образцы всех видов сернопесчаных сплавов (как с примесями, так и без примесей) показало отсутствие изменений на шлифованной поверхности. Эти результаты совпадают с литературными данными по этому вопросу. Отметим, что мы не испытали действия на сернопесчаные мате-

\*) „Chemical and Met. Eng.“.

риалы флористой кислоты, которая как наиболее агрессивная из ряда галлоидов, согласно тем же литературным данным, оказывает влияние на сплавы, не имеющие примеси сажи. Следуя этим указаниям, мы включили в сернопесчаный состав последнюю, тем более, что ей также приписывают свойство улучшать смачивание металла и удерживать песок во взвешенном состоянии.

Для определения сопротивления сернопесчаных материалов сжатию мы испытывали специальные образцы—кубики, изготовленные из разных сплавов, подвергая их до раздавливания тем

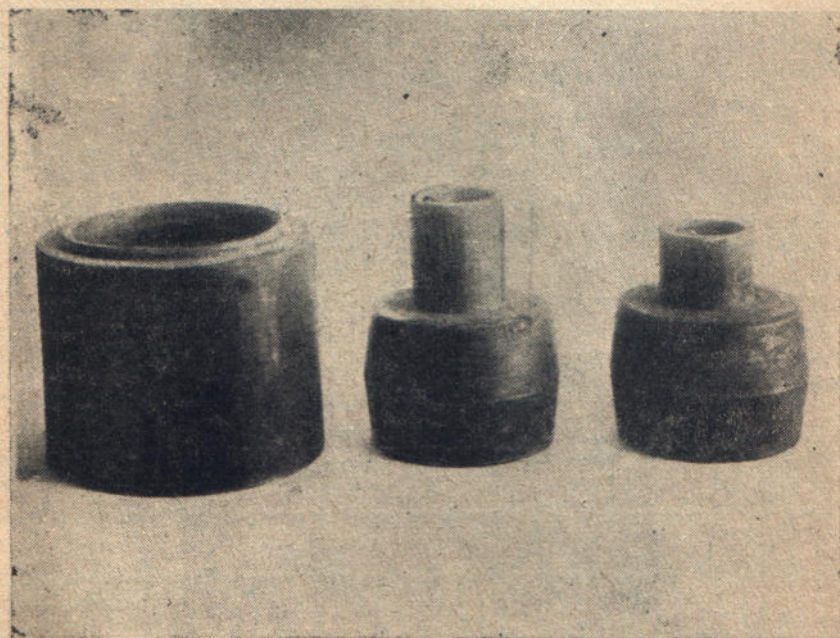


Рис. 3

же термическим и химическим обработкам, которые указаны выше. После испытания 77 образцов установлено, что сопротивление принятого сплава сжатию через несколько дней после заливки в среднем составляет  $450 \text{ кг/см}^2$ , повышаясь до  $600 \text{ кг/см}^2$  при месячном стаже материала.

Величина сцепления сернопесчаного сплава с чугуном определялась по предложению проф. Я. Т. Ненько путем заливки кольцевого зазора в кусках труб разных диаметров (см. рис. № 3) с последующим сжатием их на прессе до начала смещения одной трубы относительно другой. Испытания при разных глубинах заливки произведенные через  $1-1\frac{1}{2}$  часа после остывания материала, дают среднюю цифру  $48 \text{ кг/см}^2$ . Повторные

испытания на тех же формах, произведенные через четыре дня после заливки, дают увеличение силы сцепления до  $75 \text{ кг/см}^2$  \*).

По нашему заданию гидрогеологическая лаборатория НИГЛ определила: объемный вес материала  $= 2,22$ ; удельный вес  $= 2,64$ ; порозность  $= 16,0$ .

Для получения некоторой характеристики электропроводности материала, в силу отсутствия нужной аппаратуры, образцы его включались в 220-ти вольтную электролинию, причем даже при тонких прослойках ток прерывался.



Рис. 4

#### В. Некоторые указания на порядок производства работ по заделке стыков

В результате наших опытов намечается такой порядок приготовления сплава и заделки стыков.

1. Изготовление состава для заливки труб лучше производить заводским или полузаводским путем с последующим расплавлением готового материала в передвижной печи у траншей (рис.4). Передвижная печь для разогрева материала.

\*) Интересно эти цифры сопоставить с данными приведенными инж. И. А. Калининским в докладе на X Русском водопроводном съезде. Так, для свинца чеканенного сдвиг или срез составляет  $40-54 \text{ кг/см}^2$ , для нечеканенного  $18-20 \text{ кг/см}^2$ , а для пенькового каната, сильно уплотненного  $14 \text{ кг/см}^2$ .



В случае необходимости изготовлять состав на месте требуется: а) знать количество чистой серы в исходном материале; б) иметь мелкий чистый отсеянный на сите с диаметром отверстий не более 0,4 мм речной песок с минимальным количеством пустот; в) производить измельчение технического тиокола в такой степени, в какой это необходимо для растворения в расплавленной сернопесчаной массе.

Сера, песок и голландская сажа тщательно отвешиваются в нужной пропорции и насухо перемешиваются до получения вида однородной смеси. Комовую серу надо предварительно растолочь. Смесь первых трех компонентов (готовый материал) расплавляется при температуре около  $180^{\circ}$ , причем во избежание воспламенения огонь не должен быть большим. Сплав следует перемешивать для равномерного прогрева всей массы; в случае, если сера загорится, сосуд, в котором происходило плавление, необходимо закрыть крышкой для прекращения доступа воздуха. Другим способом тушения загоревшейся серы и охлаждения ее является добавление менее разогретого сплава. Измельченный тиокол добавляется к сыпучей смеси серы, песка и сажи до сплавления их или к перекипевшему, переставшему подниматься на огне сплаву небольшими порциями при непрерывном перемешивании. После полного растворения тиокола в массе и получении однообразного сплава, последний при охлаждении до  $125-130^{\circ}$  может быть применен для заливки раструбов чугунных труб. Эта температура заливки даст минимальную усадку сплава при охлаждении. При достаточном навыке в работе измерение температуры сплава не обязательно, так как характерные внешние признаки говорят о готовности материала к заливке, а именно: наличие зеркальной поверхности, жидкой консистенции охладившегося сплава (стекает тонкая струя в мешалки, волнуется как вода при взбалтывании) и черный однообразный цвет материала без пены или пузырей воздуха.

2. Для заливки стыка к раструбу прижимается асбестовое кольцо, смоченное глиняным раствором; в верхней части раструба устанавливается воронка для заливки сплава в зазор между асбестовым кольцом и раструбной щелью (рис. 5, стр. 174. Момент заливки стыка).

В месте соприкосновения воронки с кольцом и раструбом, равно как и в местах неплотного прилегания кольца к раструбу, для устранения вытекания сплава под напором столба его, определяемого верхним уровнем воронки, целесообразна подмазка глиной.

3. Перед заливкой раструб должен быть плотно законопачен белым, сухим, хорошо скрученным канатом. Расположение обоих закладываемых в раструб колец каната должно быть такое, чтобы места стыка концов их были сдвинуты на  $90^{\circ}$  один относительно другого.

4. Стык перед конопаткой и заливкой должен быть очищен от грязи, ржавчины и жиров.

5. Заливать сплав следует непрерывной струей до полного наполнения стыкового зазора и воронки; при этом состав надо непрерывно перемешивать мешалкой.

6. Для того, чтобы убедиться, что стык полностью залит сплавом, асбестовый шнур через несколько минут после заливки



Рис. 5

можно снять, после чего возможен осмотр **стыка** в нижней части (куда сплав мог не дойти, если он был **сильно сгущен**).

7. Воронки, так же как и сплав, застывший в них, снимаются после остывания легким ударом руки по **направлению** к раструбу. Сплав из них **извлекается** и **расплавляется** для последующей работы, воронки также используются в дальнейшем.

8. Первое испытание труб гидравлическим давлением целесообразно производить не ранее, чем на пятый день после заливки, когда уже успеет в некоторой мере сказаться начальное (более интенсивное) самоуплотнение.

### Заливка стыков зимой и во влажных условиях.

После всех описанных испытаний мы произвели также несколько опытов по заливке труб на морозе. Предыдущие опыты показали хорошее сцепление сплава с трубами; последние не разрывались в стыках при давлении  $20 \text{ ат}$  без зажатия их концов домкратами; поэтому мы попробовали произвести испытание стыков при свободных концах. Две линии труб были залиты составом: 55% серы, 2% резинита, 2% сажи и 41% просеянного песка. Несмотря на значительный мороз ( $-15^{\circ}\text{C}$ ), сплав нагретый до  $180^{\circ}$ , в течение 5 мин. охлаждался до требуемой температуры, при которой он находясь еще в жидком состоянии, имеет зеркальную поверхность (температура  $125-130^{\circ}$ ). Заливка прошла вполне нормально, по внешним признакам, ничем не отличаясь от летней. На четвертый день после заливки попытались приступить к опрессовке  $150 \text{ мм}$  линии, чего в полной мере провести не удалось из-за сильного мороза ( $-30^{\circ}\text{C}$ ). Так как при повышении, давления до  $10 \text{ ат}$  и некоторой паузе при этом давлении, трубки, подводящие к манометрам, замерзли, испытание пришлось прекратить.

При давлении в  $10 \text{ ат}$  из трех стыков второй оставался все время сухим, а первый и третий давали 17 и 15 капель в минуту. При повторном испытании через 15 дней с подогревом воды первый стык был сух при  $10 \text{ ат}$  и начал потеть при  $12 \text{ ат}$ , давая при  $18 \text{ ат}$  допустимую утечку (16 капель); второй стык начал течь струей при  $12 \text{ ат}$  (он при опрессовке был «на весу») и третий—был сух при  $18 \text{ ат}$ , а при  $20 \text{ ат}$  дал 7 капель в минуту. При  $20 \text{ ат}$  трубы не разорвались.

Так же как и в первом случае, на четвертый день подверглась испытанию  $200 \text{ мм}$  линия. Из четырех стыков два остались еще сухими при давлении в  $12 \text{ ат}$ , третий стык, начавший потеть при  $3 \text{ ат}$ , дал при  $8 \text{ ат}$  около 50 капель в минуту, при  $10 \text{ ат}$  потек струей и при  $12 \text{ ат}$  разорвался с вылетом трубы из раструба; четвертый стык дал 3 капли в минуту при  $3 \text{ ат}$ , 22 капли при  $5 \text{ ат}$  и потек струей уже при давлении в  $8 \text{ ат}$ .

Считая пока недостаточным число и результаты опыта заливки труб в зимних условиях, все же отметим, что: 1) заливка зимой вполне возможна (на это указывают и американцы); 2) срок первого испытания зимой надо брать более длительный, так как, очевидно, при низких температурах и расширение и «укрепление» материала происходит более медленно; 3) изучение производства работ зимой требует постановки дополнительных опытов.

Несколько опытов по заливке, проведенных с предварительным смачиванием внутренней части стыков, говорят о том, что влага не служит помехой для применения этого материала; это важно для работы во влажных грунтах.

### Выводы

Из проведенной работы можно сделать следующие выводы: 1) чистый сернопесчаный сплав без улучшающих добавок, рекомендуемый рядом авторов, не может считаться надежным заменителем свинца, 2) в качестве заменителя свинца может быть применен сернопесчаный сплав с добавлением малого количества улучшающих примесей (резинита и сажи), 3) на основании данных Харьковской Научно-исследовательской гидротехнической лаборатории Южспецстроя можно установить, что этот заменитель: а) обладает большой прочностью; б) дает очень хорошее сцепление с чугуном, как асфальтированным, так и неасфальтированным; в) с течением времени дает самоуплотнение стыка; г) дешевле свинца; д) удобен в производстве и требует меньшей затраты рабочей силы, чем свинцовый стык; е) имеет удельный вес в 4 раза меньше, чем свинец; ж) хорошо противостоит химическим и термическим воздействиям; з) допускает работу в мокрой среде; 4) возможность производства работы на морозе с этим материалом окончательно не проверена, однако результаты двух опытов дают основание предполагать, что работа на морозе даст хорошие результаты. Для окончательной проверки этих предположений желательно продление зимних опытов, особенно с трубами больших диаметров (600, 900 и 1050 мм); 5) полученные результаты позволяют перейти на заливку этим заменителем опытно-эксплуатационных водоводов с постановкой наблюдений за их работой в течение определенного времени в разных естественных условиях.

## ГАШЕНИЕ ЭНЕРГИИ ПОТОКА РАСЩЕПЛЕНИЕМ СТРУИ

Харьковский трест по водоснабжению гор. Харькова — Водотрест поручил Научно-исследовательской гидротехнической лаборатории произвести в лабораторных условиях испытание за-проектированного Водотрестом гасителя энергии.

Гаситель этот располагается в конце водосброса, по которому сбрасывается промывная вода с фильтров насосной станции донецкого водовода с. Кочеток (на р. С. Донец).

Основные размеры сооружения:

Длина трубопровода 890 м.

Диаметр трубопровода 600 и 800 мм.

Разность отметок верхнего и нижнего бьефа 67,8 м.

Расходы от 0,5 до 2,5 м<sup>3</sup>/с.

В конце трубопровода запроектирован гаситель для рассеяния энергии струи поступающей из водосброса в отводящий канал.

Как видно из рис. 1 стр. 178, запроектированный Водотрестом гаситель состоит из полукруглой в плане камеры, которая должна была создавать условия истечения воды из трубопровода «под уровень». Вода из камеры по всему ее периметру должна поступать на водобойную площадку и оттуда в отводящий канал.

Высота камеры 2,0 м, ширина 3,0 м, ширина водобойной площадки 9,8 м, длина 6,6 м, ширина отводящего канала (по дну) 2,0 м.

Работы по моделированию были выполнены отделом инженерной гидравлики НИГЛ бригадой в составе: ст. научн. сотрудника Кранцфельда Л. Я., инж. Бесова П. И. и инж. Киселева Ю. К., под руководством проф. Ненько Я. Т.

Моделирование производилось в масштабе 1 : 15,4 натуральной величины. Моделированию подвергнут был участок сооружения, состоящий из отрезка трубопровода длиной 60 м, гаситель с водобойной площадкой, и часть отводящего канала длиной 30 м. Общая длина моделированного участка сооружения составила таким образом 100 м или на модели около 6 м.

Трубопровод на модели был изготовлен из стеклянных труб, что давало возможность вести наблюдение за образованием воз-

душных полостей в трубопроводе в отдельные моменты работы гасителя.

При экспериментировании определялись скорости в голове отводящего канала и в пределах гасителя, давления испытываемые отдельными элементами гасителя и режим наносов, содержащихся в воде, а также, как было указано выше, наблюдение за накоплением воздуха в трубопроводе.

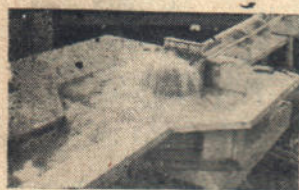
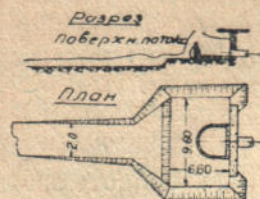


Рис. 1. Испытание модели по первоначальному проекту

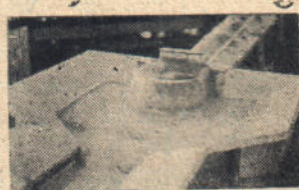
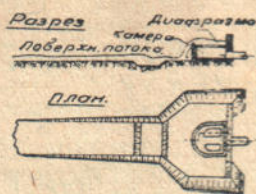


Рис. 2. Испытание модели с диафрагмой

Первые же опыты показали, что запроектированный гаситель не удовлетворяет своему назначению. При средних и больших расходах перелив происходит не по всему верхнему периметру камеры, а только через небольшой участок, с далеким отбросом струи. Это хорошо видно на рис. 1, где на схеме и фото видно, что поток как бы выбрасывается из камеры.

В результате ряда испытаний были изменены отдельные конструктивные элементы гасителя, причем лучшие результаты были получены при устройстве в камере горизонтальной диафрагмы с двумя отверстиями и устройством двух небольших порогов на дне камеры. Это дало возможность несколько снизить высоту камеры и уменьшить размеры водобойной площадки. Было предложено также устройство в конце водобойной площадки водобойного колодца, путем поднятия отметок dna отводящего канала.

На рисунке 2 видны результаты испытаний этой модели и спокойный равномерный перелив воды через стенку камеры гасителя.

Несмотря на удовлетворительные результаты работы модели, все же она сохраняла основные недостатки конструкции, вытекавшие из компоновки и схемы сооружения.

Таким недостатком являлись значительные размеры водобойной площадки и наличие трудно доступных при эксплуатации деталей сооружения.

Для дальнейшего улучшения гидравлических условий работы сооружения, а также для устранения упомянутых выше недостатков основной запроектированной водотрестом конструкции, проф. Я. Т. Ненько было предложено переконструировать весь узел сооружения.

При переконструировании, проф. Я. Т. Ненько применил предложенный и разработанный им принцип рассеяния энергии путем расщепления струи (изменения ее массы)\*.



Рис. 3. Испытание модели, предложенной проф. Я. Т. Ненько (без расщепителя)



Рис. 4. Испытание модели, предложенной проф. Я. Т. Ненько (с расщепителем)

Теоретические выводы, сделанные в упомянутой работе, показывают, что изменение массы движущегося тела (увеличение или уменьшение) оказывает тормозящее действие на движущееся тело.

В новой предложенной проф. Я. Т. Ненько конструкции расщепление струи достигается, как это показано на рис. 5, устройством против отверстия водосбросного трубопровода ряда лопаток, постепенно отщепляющих части основной струи.

Такое расщепление потока, а затем его соединение благодаря пересечению и перемешиванию отраженных от бортов гасителя струй, создает непрерывное изменение массы, а следовательно и тот эффект, о котором говорится в упомянутой выше работе.

Следует подчеркнуть, что рассеяние энергии достигается здесь не ударом струи о лопатку, а отделением части струи, при

\*) Проф. Я. Т. Ненько. «О движении жидкости с переменной вдоль потока массой», Харьков, 1938 г.

этом наибольший эффект получается в том случае, когда угол образованный осью потока и касательной к кривой, по которой очерчена лопатка, равен  $90^\circ$ .

Новая конструкция, показанная на рис. 3, 4 и 7, состоит из прямоугольной в плане камеры с порогом и установленными



Рис. 5 Схема расщепления струи

внутри лопатками — расщепителями. Между камерой и отводящим каналом устраивается небольшой водобойный колодец.

На рисунках 3, 4 и фото показаны результаты испытания модели нового гасителя. На рисунке 3 показана работа гасителя без лопаток и на рисунке 4 — при наличии лопаток.

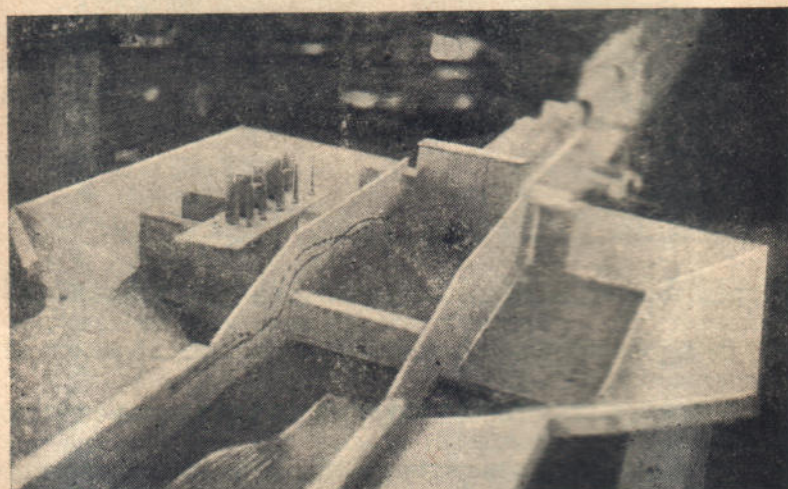


Рис. 6. Очертание поверхности потока, нанесенное на стенке камеры без расщепителей (пунктир) и с расщепителями (сплошная линия)

На этих рисунках, а также на рисунке 6 видно, что лопатки являются необходимой частью конструкции, так как без них струя не помещается в колодце и перебрасывается через порог.

При наличии же расщепителей поток спокойно переливается через порог. Очертание поверхности потока в обоих случаях нанесено на стенке камеры.



На рисунке 7 показан общий вид модели гасителя с установленными расщепителями, без воды.

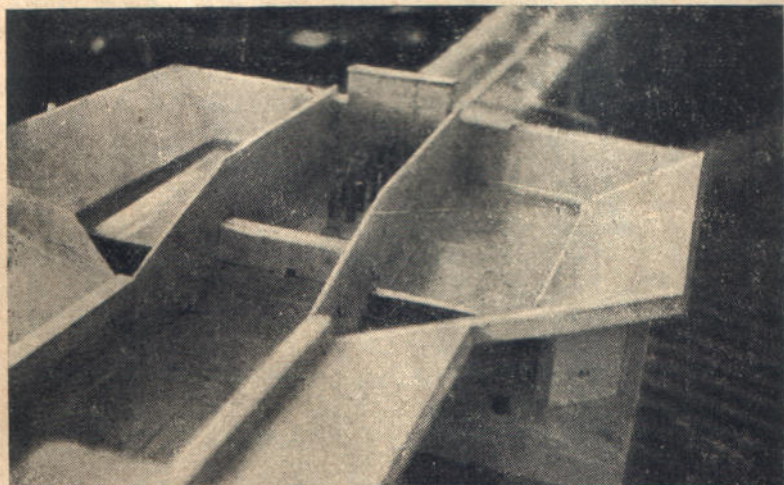


Рис. 7. Общий вид гасителя с расщепляющими поток лопатками

На рисунке 8 нанесена схема первоначально запроектированного Водотрестом гасителя и новой конструкции, рекомендованной в результате дополнительных испытаний.

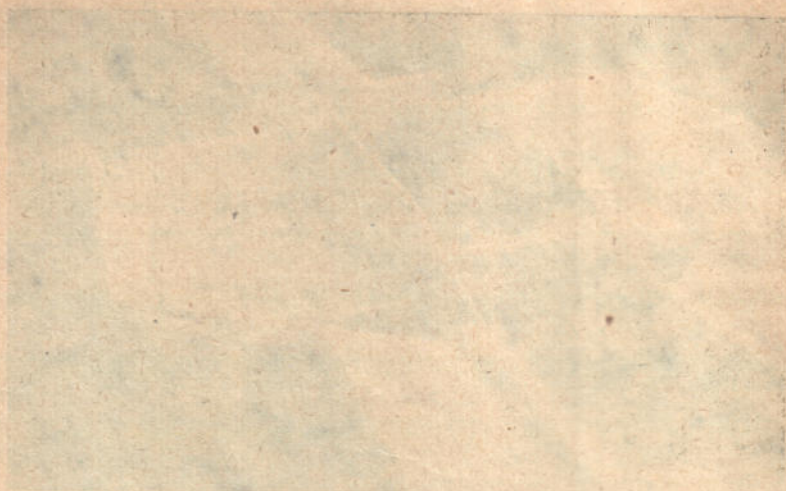


Рис. 8

Из совмещения обеих схем видно насколько новая схема упрощает конструкцию и уменьшает объем необходимых работ.

После ознакомления с результатами испытания, Водотрестом была принята к производству и осуществлена в натуре новая конструкция гасителя, предложенная проф. Я. Т. Ненько.

Гаситель этот выстроен в с. Кочеток, при испытаниях показал хорошие результаты и работает в настоящее время.



## ГАСИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ДОННОГО ВОДОСПУСКА

В 1938 году в Научно-исследовательской гидротехнической лаборатории проводились по заданию Украинского отделения Гидроэнергопроекта — Укргидепа лабораторные испытания модели гасителя энергии донного водоспуска проектируемой Старо-Крымской плотины.

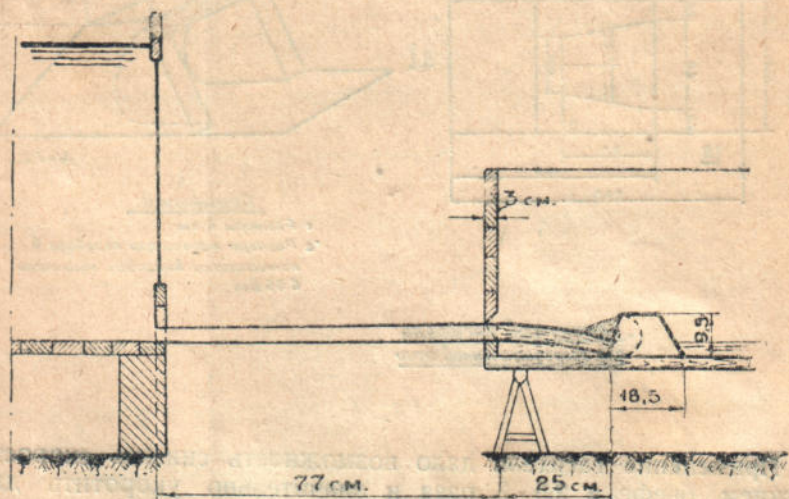


Рис. 1

Основные размеры сооружения следующие:

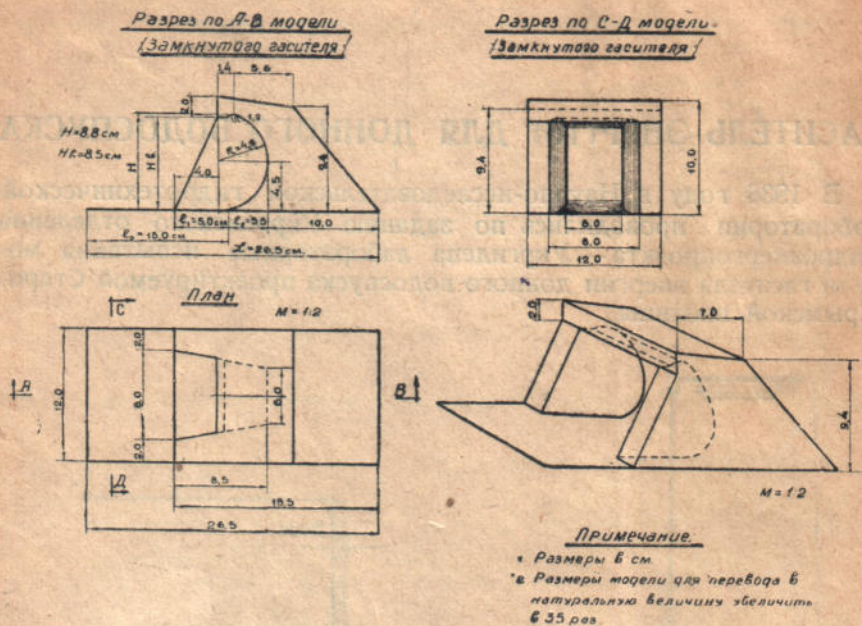
Напор порядка 25,0 м, расход  $30 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

После ряда опытов и испытаний различных моделей мною была предложена конструкция гасителя, принцип действия которого заключается в следующем.

Нормально к вытекающей из водоспуска струе устанавливается железобетонный зуб, имеющий нишу, очерченную по форме вальца, образующегося в нижнем бьефе при затоплении струи. Вода, вытекающая из водоспуска, попадает в гаситель, образуя в нише его валец с горизонтальной осью вращения и

отводится дальше в нижний бьеф, обтекая гаситель с боков. Схема гасителя показана на рисунке 1, стр. 183.

Лабораторные испытания показали достаточную эффективность действия гасителя. Схема лабораторной установки видна на рисунке 2.



Замкнутый гаситель  
для сосредоточенной струи

Рис. 2

Применение гасителя дало возможность снизить скорости в нижнем бьефе в 2,5-3 раза и значительно укоротить длину крепления нижнего бьефа, так как гашение сосредоточено на коротком участке.

В результате испытаний указанный новый тип гасителя принят УкрГИДЭПОм для технического проекта и осуществления в натуре при постройке Старо-Крымской плотины.

Предложенный автором тип гасителя \*) может найти применение при устройстве донных водоспусков и других водосбросных сооружений.

\*) Схема гасителя заведена в Бюро Новизны НКТП за № 17005 от 28/V 1938 г.