

η

НКТП СОЮЗВОДСТРОЙ СССР



626
Т-78

ТРУДЫ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ
ЛАБОРАТОРИИ

(ХАРЬКОВ)

4344
История

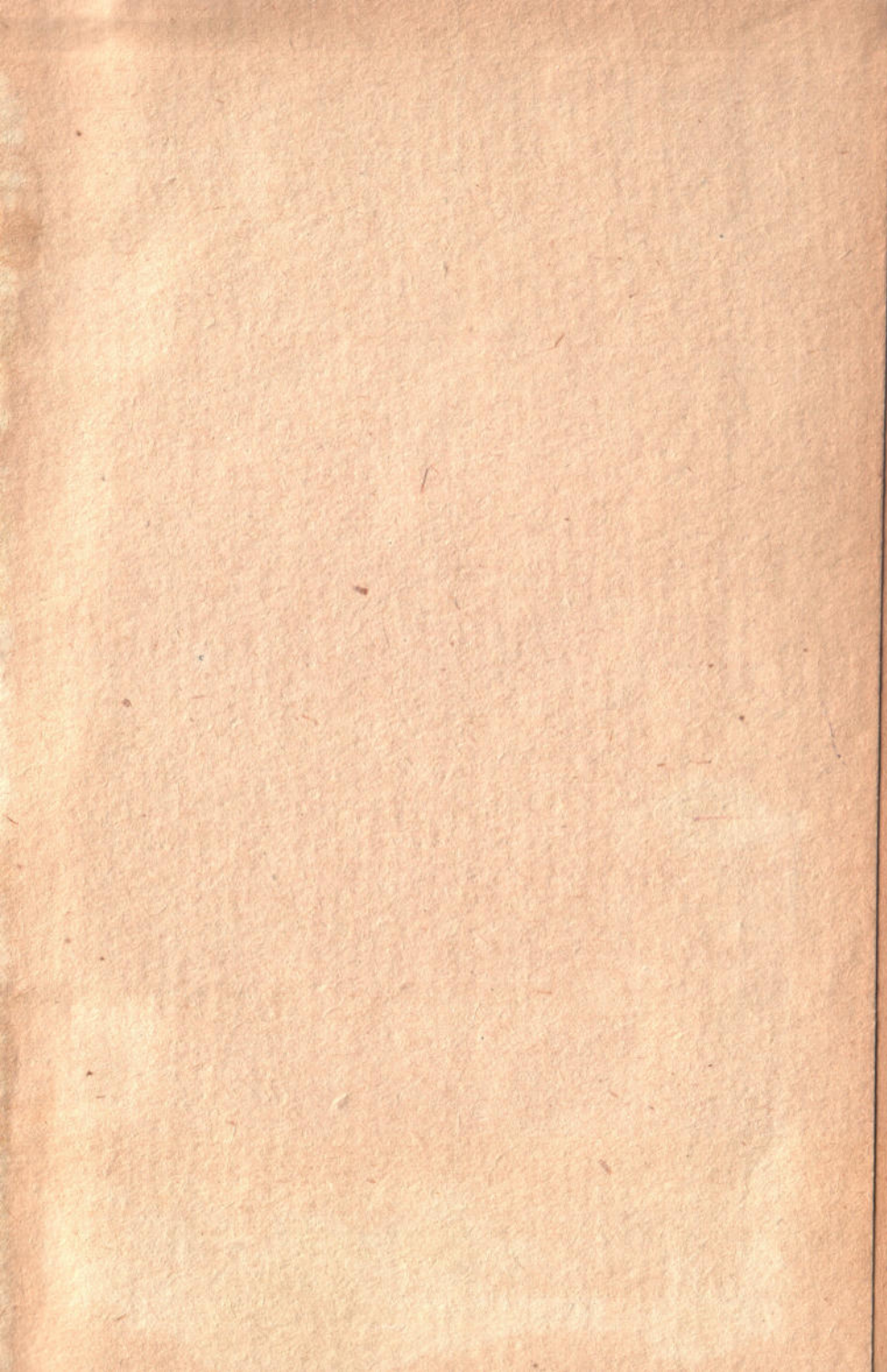


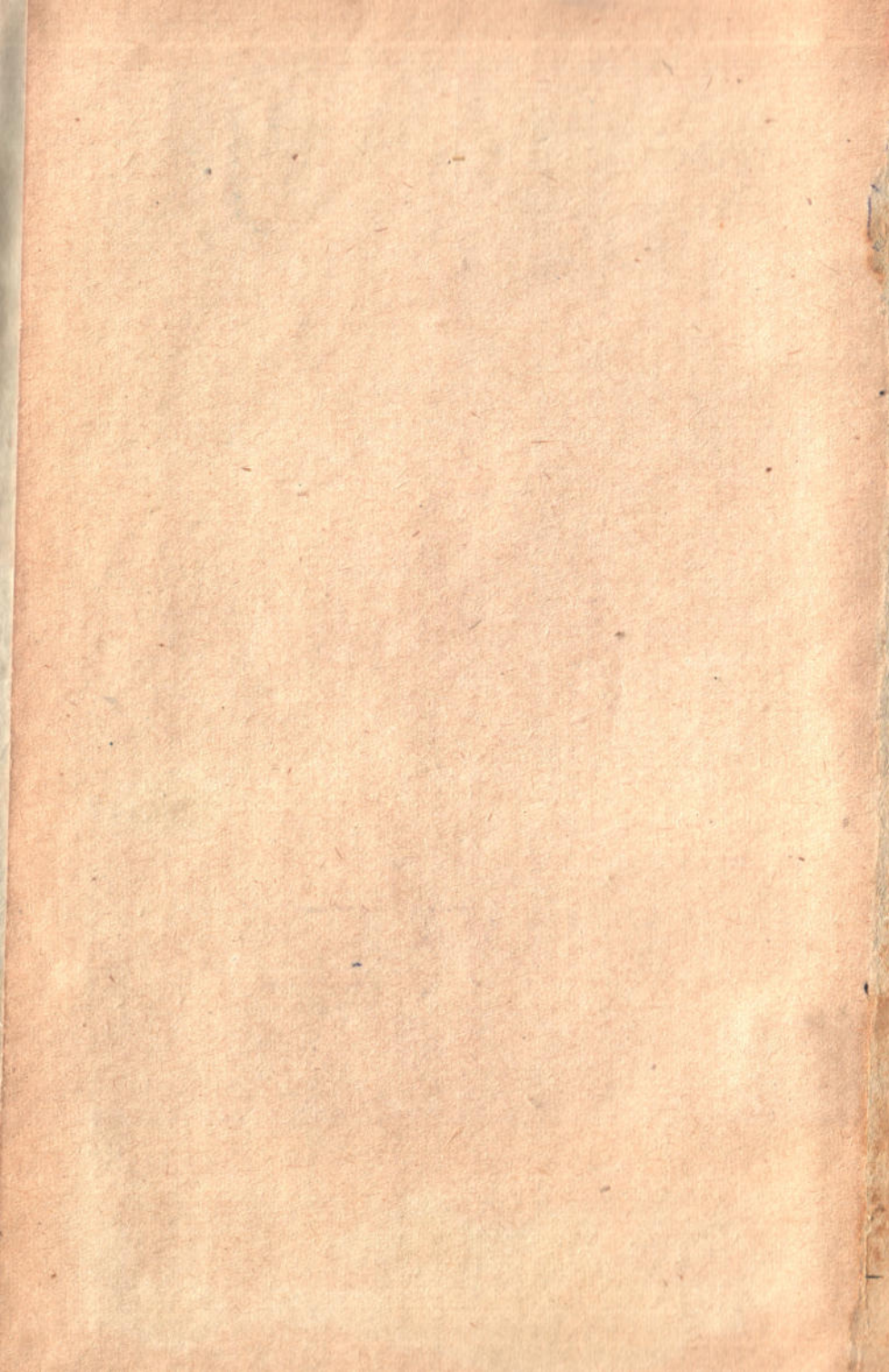
О Н Т И
Н К Т П
○ Д Н Т В У

1944

740005

✓





НКТП — СССР
"СОЮЗВОДСТРОЙ"

у 626
Т-78

Т Р У Д Ы
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

(ХАРЬКОВ)

СБОРНИК № 1

440005

1944

Литературный отдел

да

Наукова бібліотека НУВГП



740005

626 T78

Труды научно-исследовательс

И

ПО



ОНТИ ГОСУДАРСТВЕННОЕ НКТП
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
ХАРЬКОВ 1937

Библиографическое описание этого издания помещено в „Літовні Українського Друку“, „Картковому Репертуарі“ и других указателях Украинской Книжной Палаты

5-4

Типо-цинкография ДНТБУ
Харьков, Суздальск. ряды 18/20
Уполномоч. Главлита № 1095.
Зак. № 173

Редакционная коллегия: *С. Л. Козюра*, проф. *Н. Г. Малышевский*,
проф. *Я. Т. Ненько*, инж. *М. Н. Грацианский*

Ответственный редактор *Ш. А. Бунин*
Литредактор *А. Г. Левин*
Техоформление *О. А. Кадашевич*
Корректор *Ф. И. Малая*

Тираж 2000. 12^{1/2} печ. лист. В печати. листе 52 000 зн. Бумага 62×94. Вес
1 метр. стопы 38 кг. Сдано в набор 27-11-37 г. Подписано к печати 22-IV-37 г

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ (НИГЛ) „СОЮЗВОДСТРОЯ“

ОБОРУДОВАНИЕ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Начало строительства гидротехнической лаборатории относится к 1933 г. Разработка проблемы Большого Днепра и реконструкции р. С. Донца, строительство по обводнению Донбасса, Криворожья, Харькова и других промышленных районов,



Рис. 1. Фасад научно-исследовательской гидротехнической лаборатории „Союзводстроя“ в Харькове

энергетическое использование реки Ю. Буга и ряда малых энергетических источников — Тетерева, Роси, Псла и др. — разрешение всех этих задач потребовало усиления научно-исследовательской работы как в области теоретической, так и экспериментальной. Кроме того перед лабораторией стояли задачи по обслуживанию как гидротехнического, так и водопроводного строительства для промышленности.

При проектировании гидротехнической лаборатории намечено было строительство целого комплекса лабораторий: гидротехнической, водопроводной, гидрогеологической, химической, бетонной и др.

Трехэтажное здание (рис. 1) НИГЛ вмещает в себе в подвальном и первом этажах основные лаборатории: гидротехническую и водопроводную, на втором этаже — гидрогеологическую, химическую и бетонную, а также помещения для работы сотрудников.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ (рис. 2)

Богатейший опыт западно-европейских и особенно союзных лабораторий подобного типа показывает, что главное в них —

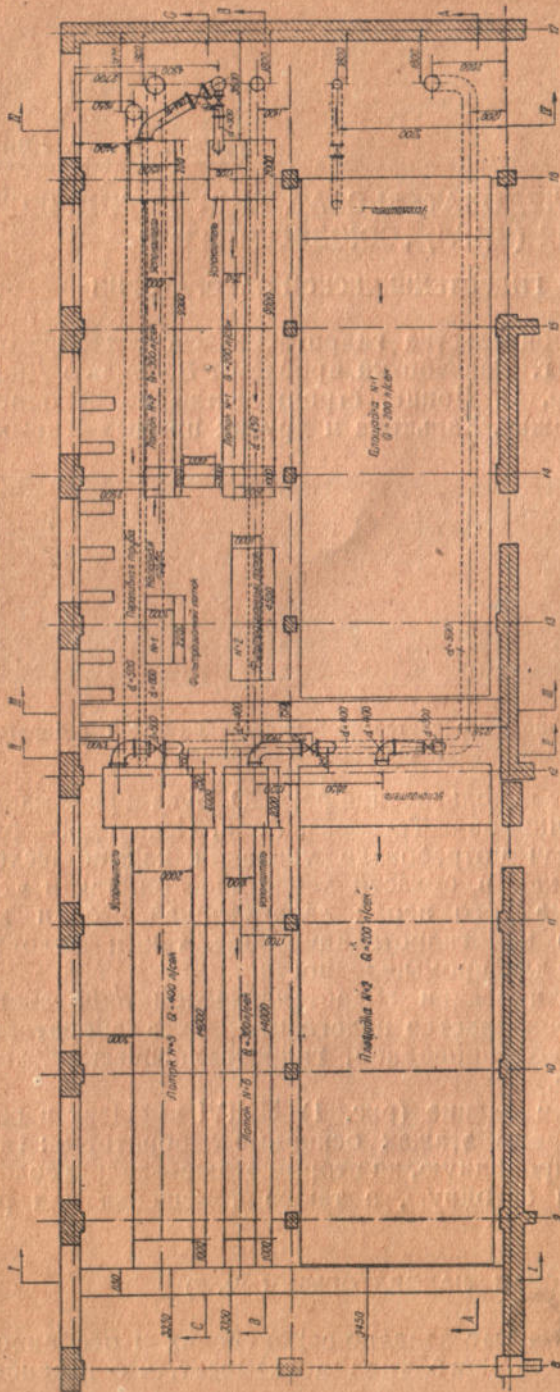


Рис. 2. План первого этажа гидротехнической лаборатории

иметь большие свободные площади, подвод и отвод к ним воды. Стационарные установки только осложняют производство опытов на самых разнообразных моделях.

Большой зал размером 14×80 м вмещает лотки разнообразной величины и малые пространственные площадки. Для больших площадок строится пристройка 50×20 м, могущая вмещать модели для самых крупных узлов Днепра.

Большой зал разделен на две части: западную и восточную с отдельными циркуляционными установками. Западная половина зала с размерами 50×14 м будет вмещать в себе четыре лотка и две пространственных площадки таких размеров:

| №№ | Наименование | №№ лотков и площадок | Максимальный расход л/сек | Размеры сооружений м | | |
|----|----------------|----------------------|---------------------------|----------------------|-------|---------|
| | | | | ширина | длина | высота |
| 1 | Лоток . . . | № 1 | 200 | 0,30 | 8,00 | 1,2 |
| 2 | " . . . | № 2 | 300 | 0,70 | 8,00 | 1,2—1,5 |
| 3 | " . . . | № 3 | 400 | 2,0 | 14,00 | 1,5—2 |
| 4 | " . . . | № 4 | 300 | 0,5 | 14,00 | 1,0 |
| 5 | Площадка . . . | № 1 | 200 | 6 | 12 | — |
| 6 | " . . . | № 2 | 200 | 6 | 12 | — |
| | | | 1600 | | | |

В этой части зала производятся испытания моделей гидротехнических сооружений, при чем каждая задача разрешается как в плоских лотках, так и на полупространственном лотке шириной 2 м и пространственных площадках.

В зале помещаются также фильтрационные лотки.

Циркуляционная сеть

Циркуляционная сеть для установок рассчитана на расход в 700 л/сек при коэффициенте одновременности 0,5, как наиболее часто встречающемся по опыту союзных лабораторий и нашей практики. Наиболее эластичными в работе будут насосы: один в 300 л/сек и два по 200 л/сек. Насосная станция установлена в подвале под полом зала, где расположены водосборные резервуары, мерный бак и вся коммуникация труб.

Общая схема циркуляционной сети имеет такой вид: из водосборного резервуара вода с напором 15—18 м нагнетается трубопроводом диаметром 600 мм в напорный бак, оттуда через головы-успокоители попадает на лотки и площадки; сброс воды в водосборный бассейн происходит по желобам, при чем для переключения ее по отдельным желобам в мерный бак имеются качающиеся и подвижные каретки.

Водосборный резервуар

Объем водосборного резервуара в 278 м³ определен из соображений необходимости наполнения лабораторных установок

во время работы. Для этого потребуется 200 м^3 воды, после чего в резервуаре остается глубина в $1,5 \text{ м}$, что достаточно для нормальной работы всасывающих труб. Однако одновременное заполнение всех установок во время работы едва ли возможно, поэтому средняя глубина воды в резервуаре при работе насосной станции будет равна $2-2,5 \text{ м}$.

В восточной части водосборного резервуара устроена песколловка длиной в $3,5 \text{ м}$, с перегородкой высотой в 2 м . Эти размеры достаточны для выпадения крупных частиц песка, попадающего в резервуар при производстве опытов с насосами или размывающими моделями.

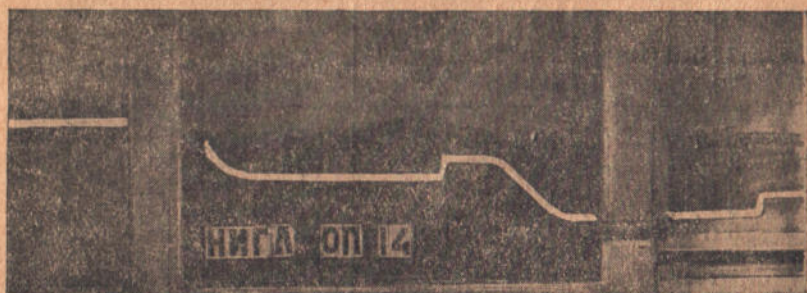


Рис. 3. Лоток с моделью водоотлива Даниловского водохранилища

Мерный бак

Измерения расходов воды, циркулирующей по лоткам и площадкам, производятся объемным способом: мерными баками, водоотливами на головах установок и водомерами на трубах. Объемный способ является наиболее точным и служит для проверки и тарировки водоотливов и водомеров. При определении размеров мерного бака следует исходить из условий точного измерения расходов до 1% .

Потребный объем бака $\sigma=20,0 \text{ м}^3$ принимаем с запасом в 30 м^3 для увеличения точности отсчета.

Напорный бак

Размеры напорного бака ($12 \times 1,5 \times 1,5$) приняты из условий размещения труб, лотков, холостого сброса и размеров помещения, в котором устанавливается бак.

Поперек бака расположены 20 лотков, через которые вода поступает из бака в главный сбросной лоток, а оттуда в сливную трубу. Эта сеть лотков сделана с целью иметь в напорном баке мало колеблющийся напор. Длина сливной грани лотков составляет $60,0 \text{ м}$. При внезапной остановке трех установок с расходом $400 + 300 = 700 \text{ л/сек}$ перелив через грани не превзойдет 4 см , что дает колебания горизонта воды не более 1% от

расчетного напора. Этим достигается равномерность подачи воды в голову сооружений.

Восточная часть зала предназначена для испытания моделей водоприемников и выпусков сточной воды в водоемы, а также труб. Восточная часть зала имеет русловую площадку

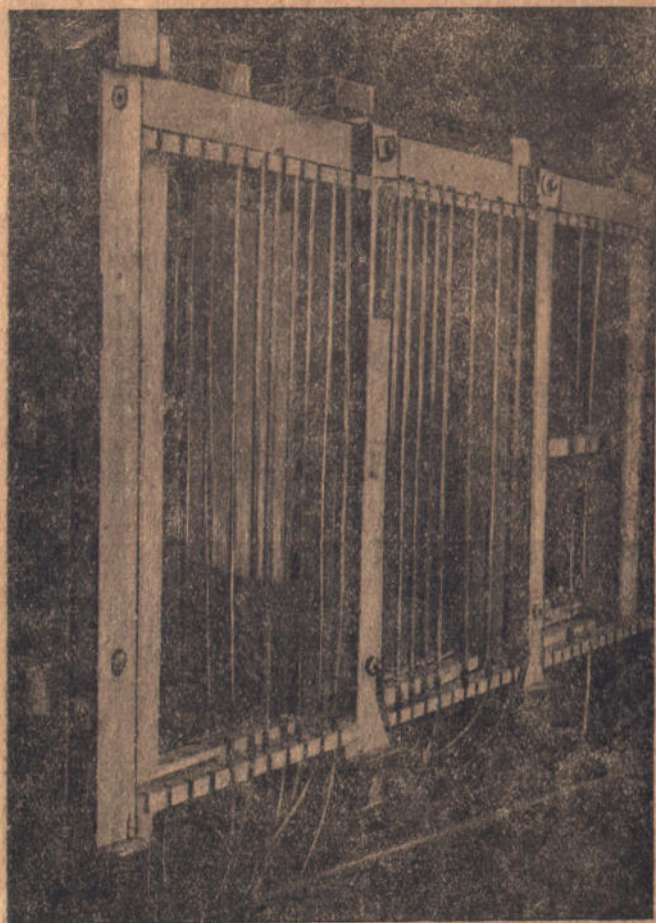


Рис. 4. Фильтрационный лоток

$25 \times 6 \text{ м}^2$ для испытания водоприемников, выпусков воды и установки по испытанию труб и сифонов. Таким образом в этой части зала сосредотачиваются установки водоснабженческого и канализационного типа. Циркуляционная сеть запроектирована по типу западного зала, при чем имеет, на случай аварии, связывающую трубу между насосными станциями.

В настоящее время оборудована только западная часть зала. Так как потребность в установках получилась несколько иная,

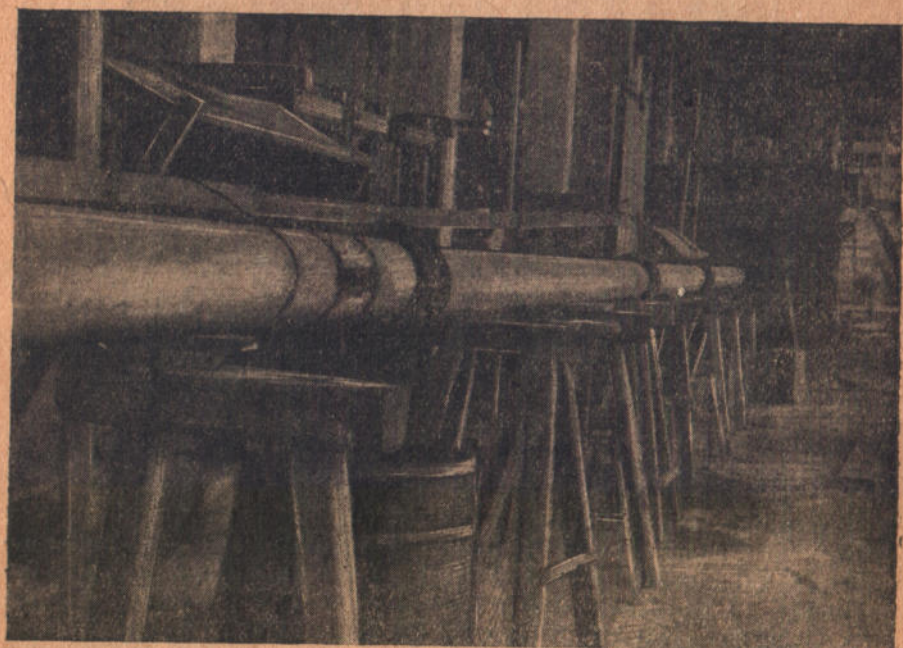
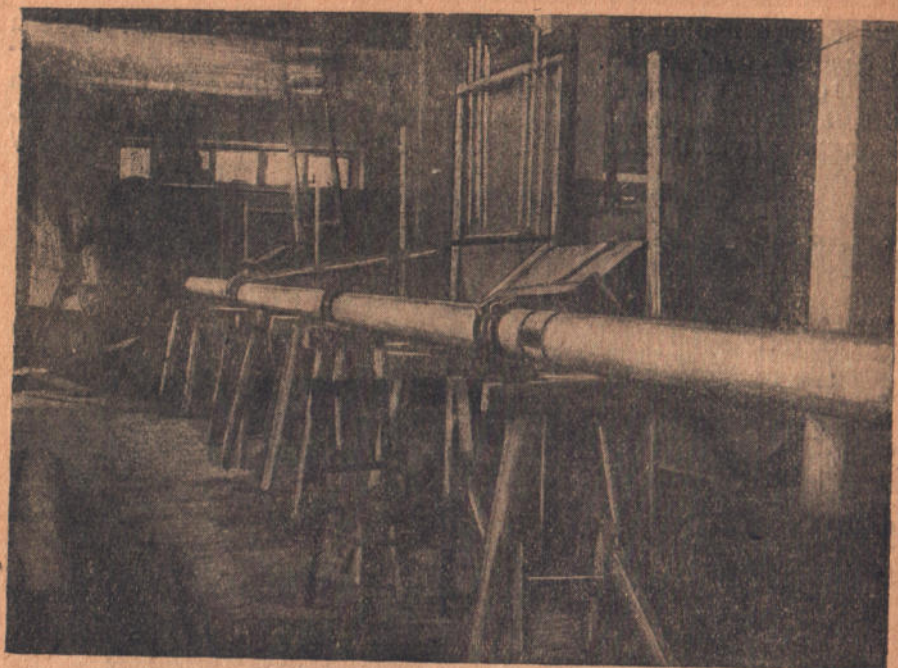


Рис. 5 и 5а (нижний). Установка по испытанию шероховатости асбоцементных труб

чём это было первоначально запроектировано, то временно оборудованье зала представляется в следующем виде.

Половину зала занимает площадка 6×12 м, на которой сделана модель русла реки Днепра у Вышгорода, выше г. Киева. На этой модели произведены опыты и выбран тип оголовка для

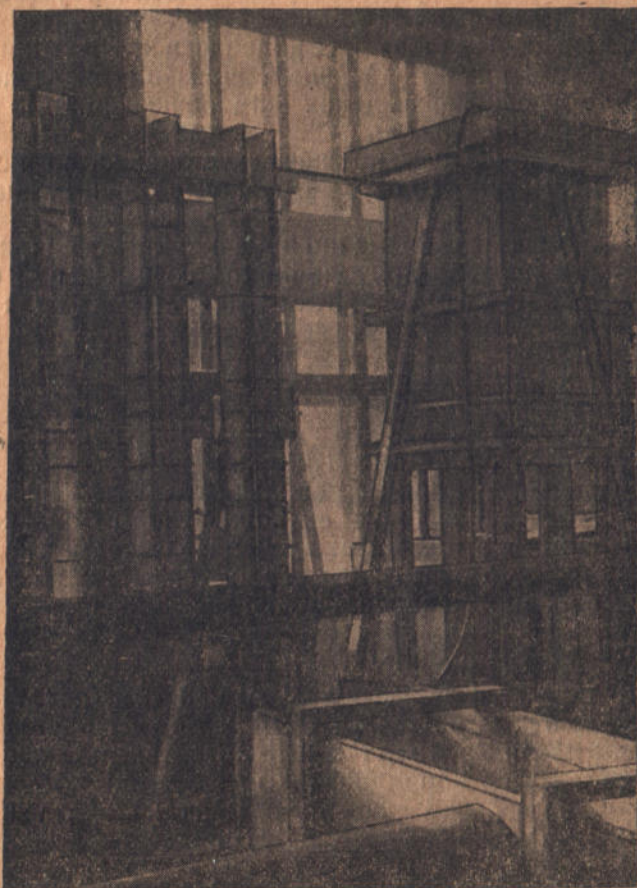


Рис. 6. Установка по испытанию фильтра для питьевой воды

ковша-водоприемника Киевского водопровода, а также ряд исследований с различными углами входа в ковши. К голове площадки пристроен плоский лоток 30 см ширины для испытания водоотлива на Давиловском водохранилище (рис. 3).

Измерения уровней воды в лотках и на площадках производятся металлическими и деревянными тастерами, скорости измеряются флюгером Подгоричани, штаукугелем и трубкой Пито, расходы измеряются при помощи водосливов.

Подача твердого расхода производится вращающейся дырчатой трубой над площадкой и специальным бачком над головой лотка.

Твердый расход и шуга моделируются нафталином.

Южная половина зала занята фильтрационным лотком (рис. 4), где и производятся работы по фильтрации через перемычки и плотины. Здесь же временно расположена и установка по испытанию шероховатости асбоцементных труб. На этой же установке, имеющей голову для подвода воды и в конце — песколовку с водомерным водосливом, производятся исследования скоростей, не дающих осаждения (самоочищающих) в трубных водоприемниках (рис. 5, 5а).

Также временно здесь помещена установка по испытанию фильтра для питьевой воды с загрузкой ее дробленным антрацитом (рис. 6).

В подвальном этаже временно помещен лоток шириной 0,7 м и длиной 8 м на своей циркуляционной сети. На нем был произведен ряд работ по водосбросам и по гасителям для деревянных плотин.

Водопроводная лаборатория

Водопроводная лаборатория помещается в трех подвальных комнатах, одной комнате в первом этаже и в зале—во втором. Подвальные комнаты используются для испытания разных материалов при заделке стыков. Угловые три комнаты в подвале, первом и втором этажах предназначены для оборудования установок по испытанию аэрлифтов, а также установок, требующих больших напоров.

Гидрогеологическая лаборатория

Гидрогеологическая лаборатория (рис. 7) занимает зал во втором этаже и оборудована для производства анализов грунтов как механических, так и химических, а также анализов воды. В ней имеется оборудование для опытов на фильтрацию с чистой водой, а также для определения кальматажа с водой, заполненной взвешенными частицами.

Лаборатория по бетону и испытанию строительных материалов предназначена для обслуживания полевых лабораторий на строительствах Союзводстроя. Оборудование ее дает возможность производить анализ цемента, подбор состава бетона, испытание образцов бетона на прочность, фильтрацию и морозостойкость. Испытание кирпича и инертных также входит в состав работ лаборатории. Лаборатория занимает угловую комнату на втором этаже.

Модельные мастерские и фото-лаборатория помещаются в вестибюльной пристройке 1-го этажа. Оборудование их рассчитано на обслуживание основных и полевых лабораторий.

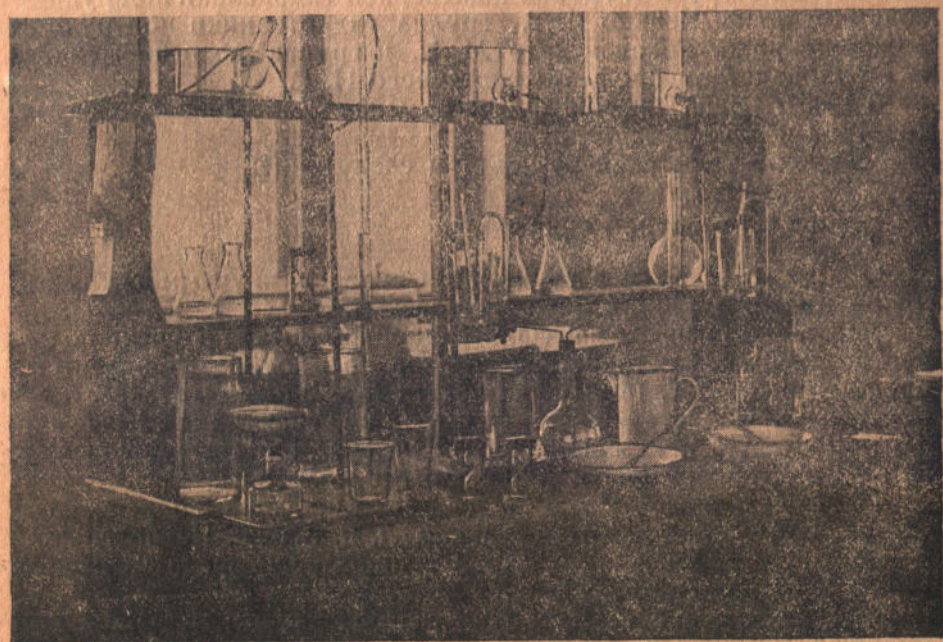
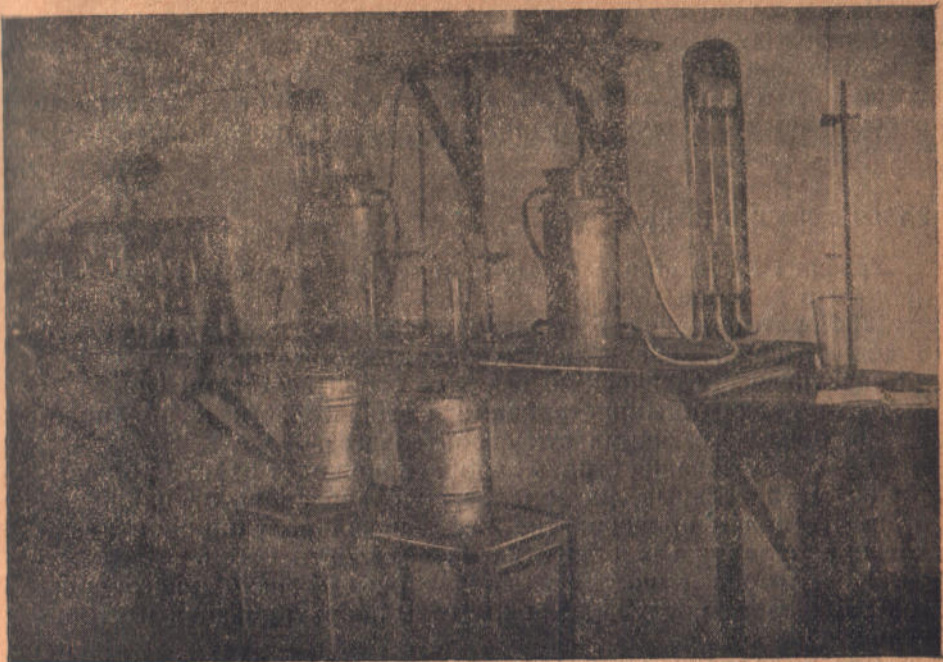


Рис. 7. Гидрогеологическая лаборатория

Лаборатории обладают только первой очередью оборудования, необходимого для начала работ. Развитие водопроводно-канализационных и гидротехнических строек для промышленности и в первую очередь в Донбассе требует дальнейшего расширения этого оборудования до уровня первоклассных лабораторий Союза.

РАБОТЫ НИГЛ В 1935 г.

Задачи НИГЛ определены уставом, утвержденным Главстройпромом в декабре 1935 г.

„Лаборатория ведет исследовательскую работу в области водоснабжения, канализации и гидротехнических сооружений, устанавливая органическую связь со строительствами Союзводстроя, а также иными стройками в этой области и предприятиями, обслуживающими эти строительства.

Для обслуживания строек лаборатория ведет работу по испытанию строительных материалов, исследованию операций по разным стадиям производства работ и является опорной базой для определения качества этих материалов и работ.

Лаборатория выполняет лабораторные и научно-исследовательские работы, улучшающие методы проектирования и строительных работ“.

Для выполнения этих задач в течение 1934 — 35 г. были образованы такие группы: группа инженерной гидравлики под руководством проф. Ненько Я. Т., группа гидротехники под руководством инж. Грацианского М. Н. и группа водоснабжения под руководством проф. Малишевского Н. Г.

В 1935 г. НИГЛ выполняла работы для Укрвосплана, Союзводстроя и ряда организаций.

Основные темы и их результаты следующие:

По группе инженерной гидравлики

1. „Движение воды в грунтах“ выполнена научным сотрудником Кранцфельдом и инж. Чайковским.

В результате опытов в фильтрационном лотке получено полное подтверждение теоретических предпосылок, разработанных проф. Ненько Я. Т. (вышли из печати отдельным выпуском лаборатории). Сконструирован новый тип дренажа для земляной плотины в виде присыпной призмы на сухом откосе. Этот тип принят при проектировании Даниловской плотины.

2. „Изучение работы каскадного водосброса“ выполнено научным сотрудником Кранцфельдом Л. Я. и инж. Чайковским.

Получены хорошие результаты с типом водосброса с суженным отверстием (щелевой).

3. „Исследование фильтрации в Лозовеньковском водохранилище“ выполняли научные сотрудники Пятак М. И. и Кошинов П. И.

Получены такие выводы:

- а) фильтрация в нижний бьеф за год составляет 8,2% от объема водохранилища против 24% расчетных. Это снижение произошло в результате заилиения водохранилища;
- б) заилиение водохранилища после 5 лет эксплуатации составляет около 20% от объема.

По группе гидротехники

4. „Методика расчетов гидроаккумуляторов“ выполнена ст. научным сотрудником Грацианским М. Н.

Разработаны такие вопросы: основные моменты экономии гидроаккумуляции в СССР, определение минимального напора при суточном регулировании, теоретические условия устойчивости откосов резервуаров при переменном режиме, тип комплексного гидроаккумулятора для гор. Харькова.

Основные разделы темы напечатаны в журнале „Український Н.-Т. Вісник“ № 5 и „Энергетика“ за 1935 г.

5. „Испытание отдельных элементов деревянных плотин“ — выполнена научным сотрудником Тихоцким И. Н. и инж. Гудзиевым К. М.

В результате опытов получен такой вывод — фильтрационный поток вокруг шпунтов, при сопряжении плотины с берегом, должен быть погашен береговым шпунтом длиной не менее глубины шпунта под плотиной; нижний шпунт должен быть дырчатым с обратным фильтром.

В конструкции деревянной плотины может быть сделано упрощение за счет сокращения понура и замены быстротока каскадным водосбросом.

6. „Техническая инструкция по изысканиям, проектированию, сооружению и эксплуатации малых ГЭС“ выполнена бригадой в составе инж. Мирошниченко П. Е., инж. Герасимова В. И., инж. Лившица И. С. и инж. Шварца Л. Н.

Работа в ближайшие месяцы будет напечатана.

7. „Контрольно-измерительные приборы на гидротехнических сооружениях“ — выполнена проф. Чеботаревым. Составлены проекты контрольно-измерительных приборов на Ашхабадской плотине и Даниловском водохранилище.

8. „Исследование намывной плотины у Ашхабада“ — выполнено в полевой обстановке инж. Лившицем И. С.

Результаты с опытами транспорта пульпы следующие: при консистенции грунта от 7:1 до 10:1 для глинистых грунтов получены выгодные уклоны лотка в 1,5%, а для конгломератов до 4%.

9. Инж. Винокуровым разработаны технико-экономические предпосылки для выбора типа вибраторов для водоводов разных форм.

По группе водоснабжения

Выполнены работы по теме „Изучение ковшей и водоприемников“. Наблюдения на ковшах в натуре в Ростове на Дону, Днепродзержинске и Донсоде и на модели производились ст. научным сотрудником Герасимовым В. И., инж. Яншиным Н. В. и инж. Одягайло И. Г.

Выводы из собранных материалов, сделанные проф. Малишевским, печатаются в статье „Ковши-водоприемники“. Наши опыты и наблюдения опровергли общепризнанную теорию Миловича о движении воды в ковшах и дали новую картину движения воды. Кроме того лабораторией даны указания для рациональной конструкции ковшей.

Вторая часть этой темы разрабатывалась сотрудниками: доц. Пановым Н. Н., инж. инж. Гехман Л. А., Рудченко Г. И., Бурас М. Л., Нечитайло М. Г., Дядющей В. А., а также инж. Яншиным Н. В. Обработанные проф. Малишевским материалы печатаются в этом сборнике под названием „Рационализация конструкций водоприемников“. Многие типы, рекомендуемые учебниками, подвергнуты строгой критике и признаны негодными. Даны новые рациональные конструкции трубных водоприемников и береговых колодцев.

Особо были обследованы галлерии водоприемников. На Волге и Каме обследование произвел инж. Рудченко Г. И. Результаты этих работ опубликованы в журнале „Водоснабжение и Сантехника“ № 5, 1936 г. Галлерии вследствие малых скоростей заносятся песком и илом и потому должны быть признаны непригодными для своего назначения.

Тему „Сварные водоводы и аварии с ними“ разработал инж. Папин. В результате его работы даны объяснения авариям трубопроводов и выработаны правила укладки железных трубопроводов. Работа помещена в этом сборнике.

РАБОТЫ НИГЛ В 1936 г.

По группе водоснабжения

Выполнены работы по изучению водозаборных сооружений с целью создания нормативов для их проектирования (продолжение); стыковых соединений из различных материалов; изучению ливней в Донбассе и создание нормативов по ним; конструирование и выполнение клапана нового типа для предохранения водоводов от гидравлических ударов; изучению свойств антрацита и других легких грузочных материалов; пропускная способность асбоцементных труб.

По группе инженерной гидравлики

Выполнены работы по изучению движения грунтового потока в разнородных грунтах (продолжение); многоступенчатому

щелевидному перепаду (продолжение), исследованию водослива для Даниловского водохранилища.

По группе гидротехники

Выполнены работы по гидромеханизации земляных работ на Ашхабадской плотине, затворам донных водоспусков, исследованию работы магистрального коллектора на Никопольстрое, технико-экономическому сравнению типа Сенкова с плотиной гравитационного типа, шлакопортландцементу для гидросооружений.

Работали полевые бетонные лаборатории на строительстве Харьковских рек и Блявского водовода и грунтотехническая — на Кураховском строительстве.

* * *

НИГЛ является научно-исследовательской организацией, которая объединяет задачи институтов с задачами лабораторий на строительствах. Комплекс лабораторий в г. Дмитрове на строительстве Москва-Волга-канал может служить лучшим примером для такого вида организаций. Теперь культура строительства поднялась настолько высоко, что без исследовательских и лабораторных работ немислимы даже строительства небольших размеров.

НИГЛ должна быть и станет центральной лабораторией строительства, с разветвленной сетью полевых лабораторий на отдельных стройках.

Проф. Н. Г. Малишевский

РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ВОДОПРИЕМНИКОВ ИЗ ОТКРЫТЫХ ВОДОЕМОВ. ТРУБНЫЕ ВОДОПРИЕМНИКИ

ВЫБОР МЕСТА ДЛЯ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Конструкции водоприемников, встречающиеся в руководствах (Гениев) и в справочниках, часто не выдерживают технической критики. Это вызывает необходимость пересмотреть весь имеющийся материал, выделить достойное и отбросить все негодное.

Распространено мнение, что место для водоприемника должно быть выбрано на вогнутом берегу реки. Такое упрощенное решение неправильно. На равнинных реках со слабым течением берега могут оставаться устойчивыми в течение десятилетий: примером могут служить многие участки рек С. Донца, Уды и проч. Проф. Великанов по этому поводу пишет (стр. 73, „Гидрология суши“): „Река, развивая извилистость, тем самым уменьшает свой продольный уклон, а, следовательно, и среднюю скорость; а потому может наступить момент, когда эта скорость даже на закруглениях будет недостаточна для дальнейшего размыва. Это случай устойчивого меандрического очертания реки“. При устойчивом русле располагать водоприемники можно на всяких берегах: вогнутых, выпуклых и прямых. При выборе места для водоприемника надо остерегаться близости притоков и оврагов с большими выносами наносов, которые могут оказать большое влияние на изменение русла. „Бывали случаи, когда эти выносы перегораживали совершенно реку“. Так говорит о Верхнем Доне инж. Поляков („Гидрология бассейна р. Дона“, 1930 г., стр. 133).

В реках со значительными скоростями речного потока размывание вогнутых и наращивание выпуклых берегов идет непрерывно; поэтому сооружение, построенное на вогнутом берегу, будет размывто, а на выпуклом занесено наносами. При выборе места для водоприемника Киевского водопровода обнаружено, что выбранное место на вогнутом берегу размывается со скоростью приблизительно 10 м в год. За 40 лет берег отошел на 400 м. Без укрепления берега устройство на нем водоприемника невозможно. По первоочередному плану берег укрепляется здесь на протяжении около 3 км. Вторая очередь предусматривает еще более дорогие работы и, между прочим, закрытие одного протока, который угрожает отводом русла в этом направ-

лении. Но если русло реки прочно закреплено гидротехническими сооружениями, тогда забор воды возможен и с вогнутого и с выпуклого берега. Правда, за вогнутым берегом остается то преимущество, что он крутой и около него близки значительные глубины¹.

В средних и нижних течениях горных рек с быстрым течением (Кубань и др.) русло реки может перемещаться ежегодно на значительные расстояния. В таком случае устройство постоянного водозабора берегового или трубного типа может оказаться невозможным без больших регуляционных работ, совершенно непосильных для водопровода. Водозаборные сооружения на таких реках должны быть очень гибкими, легко приспособляющимися к передвижениям русла. На Армавирском водопроводе всасывающие трубы насосов лежат почти на поверхности и то удлиняются, то укорачиваются, гоняясь за руслом реки.

Устройство дренажной трубы или галереи в галечнике речной долины встречает здесь препятствие в притоке очень жестких и загрязненных грунтовых вод.

По санитарным соображениям забор воды должен быть по течению выше населенного места, чтобы стоки с улиц не попадали в водопровод.

УСТРОЙСТВО ТРУБНЫХ ВОДОПРИЕМНИКОВ

Водозаборные сооружения можно разделить на две группы: а) береговые и б) русловые или трубные. К береговым относятся: 1) береговые камеры и береговые оголовки труб, 2) береговая камера, совмещенная с насосной станцией, 3) ковшеводоприемники, 4) водоприемники в теле плотин. Русловые водоприемники охватывают: 1) самотечные трубы, галереи, сифонные трубы, всасывающие трубы, 2) самотечные трубы или тоннели с кривыми в озерах и реках и башнями в запрудах. Трубный водозабор из рек и озер является самым распространенным типом водоприемника, благодаря своей простоте и дешевизне.

Забор воды трубами при значительной глубине у берега осуществляется очень просто. Заборная труба выпускается из берега в реку (рис. 1). Так устроен забор воды для фабрики „Красная Нить“ на р. Харьков, конец трубы укреплен сваями и прикрыт по ошибке дырчатой коробкой, очищаемой с берега палкой. Такого же типа был водозабор старого водопровода г. Александровска из Днепра.

На рис. 2 представлен водоприемник тракторного завода того же типа. Чтобы труба не была приморожена ко льду и затем сорвана во время половодья, она должна быть распо-

¹ Водоприемники не следует устраивать на протоках, т. к. они мелеют и при регулировании реки закрываются.

ложена ниже наинизшего горизонта воды на толщину наибольшего наблюдавшегося ледяного покрова с добавкой 100—300 м.м на запас¹.

Трубы должны быть на некоторой высоте от дна, чтоб не забирать песок и ил со дна. Высота в 0,3—0,4 м уже достаточна,

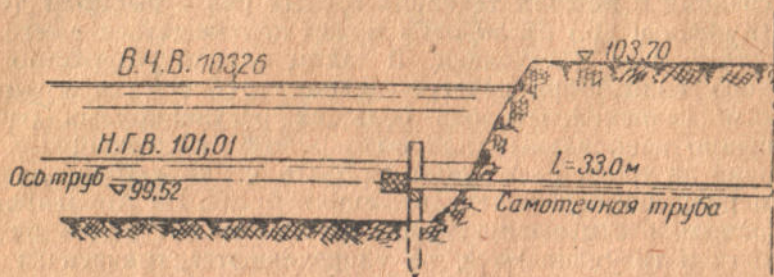
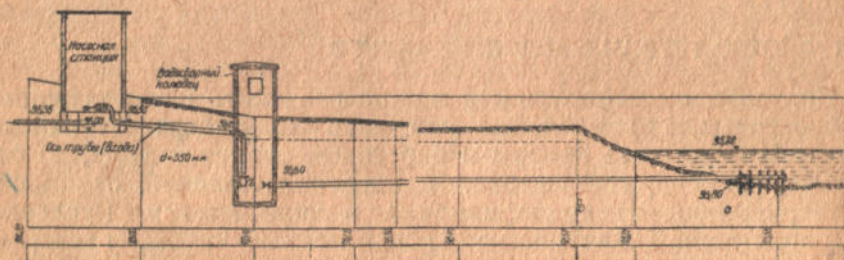


Рис. 1. Водозаборные сооружения фабрики «Красная Нить» в Харькове

но приходится при мелкой воде спускаться и ниже, а при глубокой — лучше подняться выше, чтобы предохранить трубу от возможного будущего подъема дна. В Куйбышеве труба в 600 м.м. лежит прямо на дне реки.



Разрез по А-В

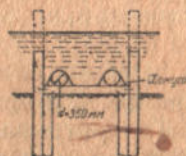


Рис. 2. Продольный разрез по водоприемным сооружениям ХТЗ

При водозаборе галереями чаще всего галерея начинается у самого дна и вреда от этого нет. Заиливание галерей объясняется малыми скоростями в них, главным образом во время половодья, а не от того, что ил со дна заносится в гал-

¹ На рис. 2 сваи забиты чересчур часто, расстояния между ними должны быть 3—4 м.

лерею. Доказательством этому служит то, что при самоочищающихся скоростях галлерей не заиливаются и дно около них не размывается сколько-нибудь заметно.

Устройство на рис. 2 применимо в медленно текущих реках, в реках с устойчивыми берегами и в озерах. В реках же с неустойчивым руслом загромождение живого сечения трубой, в особенности большого диаметра, и сваями может вызвать отклонение течения к противоположному берегу и заиливание места забора воды. Водоприемное сооружение должно возможно меньше нарушать естественный режим реки, поэтому практикующаяся иногда укладка труб на каменной насыпи тем более должна быть отвергнута.

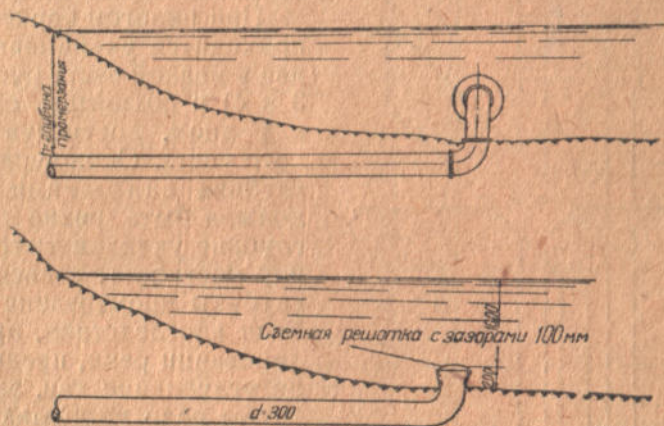


Рис. 3 и 4. Укладка труб в пологом берегу

Устройство водозабора по рис. 2 производится обыкновенно в осушенном русле, огражденном перемычками. Этот способ длинен и дорог. Между тем эту работу легко произвести без осушения русла. При песчаном и супесчаном дне нет необходимости забивать сваи, опустить их надо путем подмыва струей воды, подаваемой хотя бы ручным пожарным насосом. В разрезе по АВ рис. 2 показаны две более высокие сваи, ограждающие трубы сбоку, и сваи, поддерживающие перекладину, на которой лежат трубы. Забивка в глинистые грунты или опускание посредством подмыва в песчаные производится под водой. При этом свая, конечно, должна быть нагружена каким-нибудь грузом; под водой же укладывается и перекладина, удерживаемая на месте распором в боковые сваи, где делаются зарубки.

Когда ростверк готов и под водой выкопана траншея от *a* до *b*, собранные или сваренные трубы с подмостей или на плаву опускаются на место. После укладки труб участок *ab* засыпается, и траншея к береговому колодцу таким образом отделяется от реки. Трубу же можно закрыть с обоих концов

резиновыми баллонами, обшитыми брезентом и надутыми воздухом.

При укладке труб места, приходящиеся на перекладины, следует обмотать просмоленной лентой, для предупреждения повреждения изоляции трубы. Увеличивая толщину обмотки, легко добиться, чтобы труба хорошо опиралась на все перекладины. Толщина перекладин в свою очередь должна быть определена нивелировкой головок свай, на которых они лежат.

Таким образом легко добиться правильного расположения перекладин и труб.

Расстояния между сваями по длине трубы 3—5 м.

При пологом берегу трубы приходится укладывать ниже дна в мелкой части русла (рис. 3 и 4) и поднимать оголовок над дном, достигнув глубокого места. Около уреза воды глубина заложения трубы должна быть равна обычной глубине укладки труб в данной местности, зависящей от глубины промерзания грунта. Если впоследствии, при регулировании реки, предположено углубление дна, заборные трубы надо укладывать, применяясь к проектируемому дну.

В справочниках и учебниках часто под оголовком показывают бетонное основание. Никакого основания под железную трубу не нужно.

Нагрузка от железной и чугунной трубы на грунт ничтожна 0,1—0,2, от оголовка 0,3—0,5 кг/см². Всякий грунт эту нагрузку выдержит, за исключением торфа и ила. Допустимая нагрузка на песчано-илистый речной грунт 0,5 кг/см². Только в чисто илистых и торфяных грунтах под железные и, в особенности, под чугунные трубы следует устраивать ростверк на сваях примерно как на рис. 2.

Необходимость бетонной подушки иногда мотивируют опасностью подмыва оголовка. Но бетонная подушка может быть так же легко подмыта, как и оголовок, заглубленный в дно. Если есть опасность подмыва, необходимо или укрепить оголовок сваями (рис. 5) или укрепить дно каменной засыпкой. В случае же подмыва ранее уложенного оголовка, достаточно засыпать вымоину и более или менее значительную площадь вокруг нее, в зависимости от величины размыва, крупным

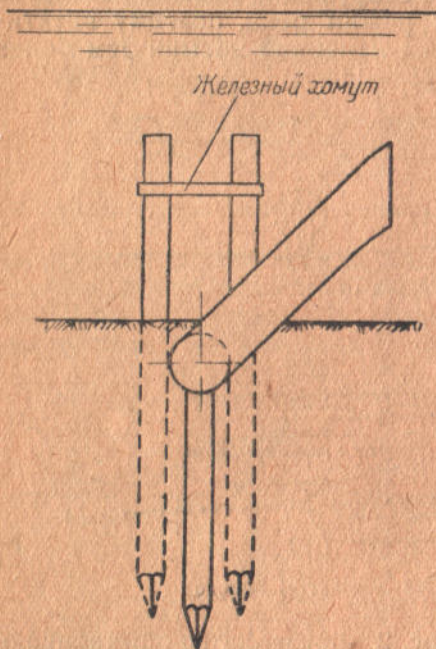


Рис. 5. Укрепление оголовка сваями

щебнем. Железным трубам надо отдать предпочтение при устройстве водозаборов как вследствие их прочности, так и удобства укладки. Против ржавчины железные трубы должны быть защищены осмолкой внутри с обмоткой смоляной лентой снаружи.

УСТРОЙСТВО ОГОЛОВКОВ

Общепринято поворачивание приемных отверстий оголовков вниз по течению, чтобы воспрепятствовать засасыванию в оголовки мимоплывущих предметов. С этой же целью оголовки

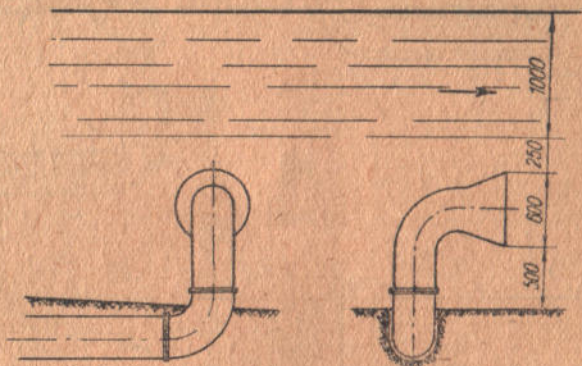


Рис. 6. Расположение оголовка

расширяется, что уменьшает входную скорость в трубу, этим же устраняется и потеря на сжатие струй при входе (рис. 6). Для устранения лишнего поворота мною запроектирован косой оголовок упрощенного типа (рис. 5, 7 и 8) для мелкой реки. Как будто напрашивается постановка к этому оголовку подпорки по рис. 9. Такая подпорка нужна для чугунной трубы и, пожалуй, для малых диаметров и больших длин во избежание дрожания трубы, утомляющего металл. При больших же диаметрах железных труб прочность такого оголовка настолько велика, что он не нуждается в подпорке, а мог бы сам выдержать еще какую-нибудь дополнительную нагрузку.

Нужно ли укрепить оголовки? В книге проф. Кашкарова „Водоснабжение“ 1934 г. и в „Справочнике инженера-водопроводчика“ изд. Главстройпрома 1933 г. приведен способ укрепления железного оголовка, указанный на рис. 10 (Кашкаров „Водоснабжение“, стр. 35).

Выше были приведены доводы против устройства бетонных оснований для оголовка, здесь же имеется бетонная подушка, подпоры оголовка, упирающиеся в бетонную подушку и кроме того еще растяжки, прикрепленные к якорям.

Против каких усилий устраиваются эти укрепления?

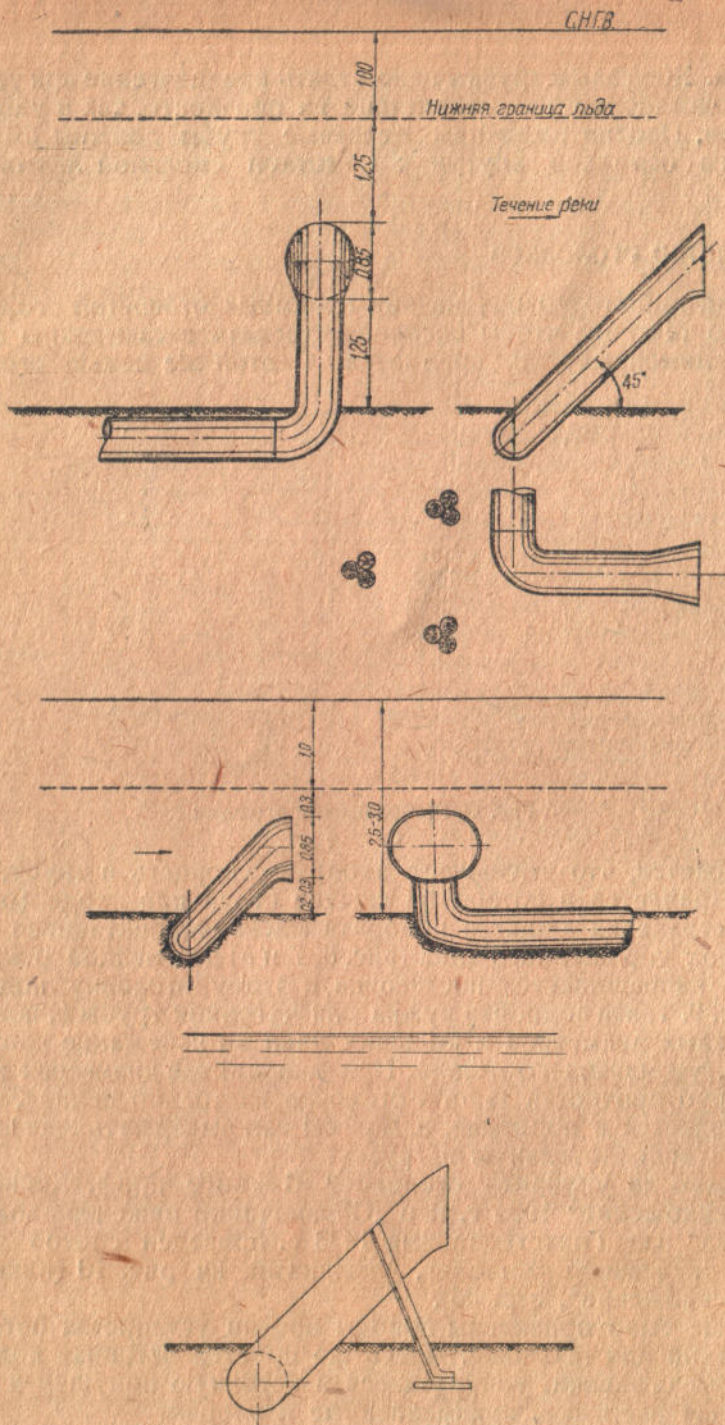


Рис. 7, 8, 9. Различные типы оголовков

Укреплять трубу против течения реки нет никакой надобности, так как это усилие ничтожно и легко выдерживается оголовком; против дрожания мелких труб достаточно простой подпорки; больших волн в реках обычно не бывает, следовательно, остается одно предположение, что укрепление делается против ударов плавающих под водой бревен. В сплавных реках и, в особенности, с молевым сплавом часть бревен тонет на дно и при этом может наткнуться на оголовки водоприемников.

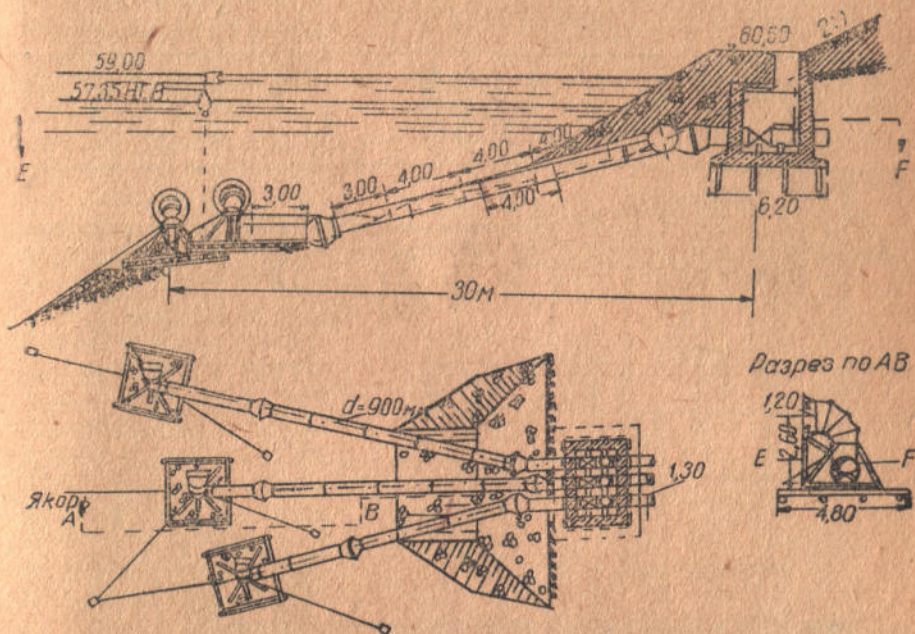


Рис. 10. Укрепление железного оголовка (верхний и нижний рисунки)

Приведенный способ укрепления оголовка стальной трубы несколько не улучшает положения против ударов подводных тел. Живая сила пльвущего под водой бревна $\frac{mv^2}{2}$ при ударе производит работу деформации Fl , где l путь, на протяжении которого средняя сила F производит деформацию оголовка во время удара.

Кроме деформации оголовка (смятие, изгиб и кручение) происходит и деформация ударившегося тела. Сила F остается той же самой, а длину пути деформации тела обозначим через l_1 , таким образом имеем $\frac{mv^2}{2} = F(l + l_1)$.

Чем меньше $(l + l_1)$, тем больше F и, наоборот: жесткая конструкция увеличивает разрушительную силу удара, упругая же конструкция уменьшает ее.

Укрепление оголовка осталось по традиции от прежних чугунных оголовков. На упругость чугуна при изгибе и кручении особенно рассчитывать нельзя: он прочен только на сжатие, этим и объясняется укрепление чугунных оголовков. Но и для чугунных труб такой способ укрепления от ударов не пригоден. Чугун от удара может разбиваться, чтобы защитить его, надо воспринять удар особой защитой: сваями, ряжем и пр. Неукрепленный железный оголовок представляет настолько проч-

Продольный разрез

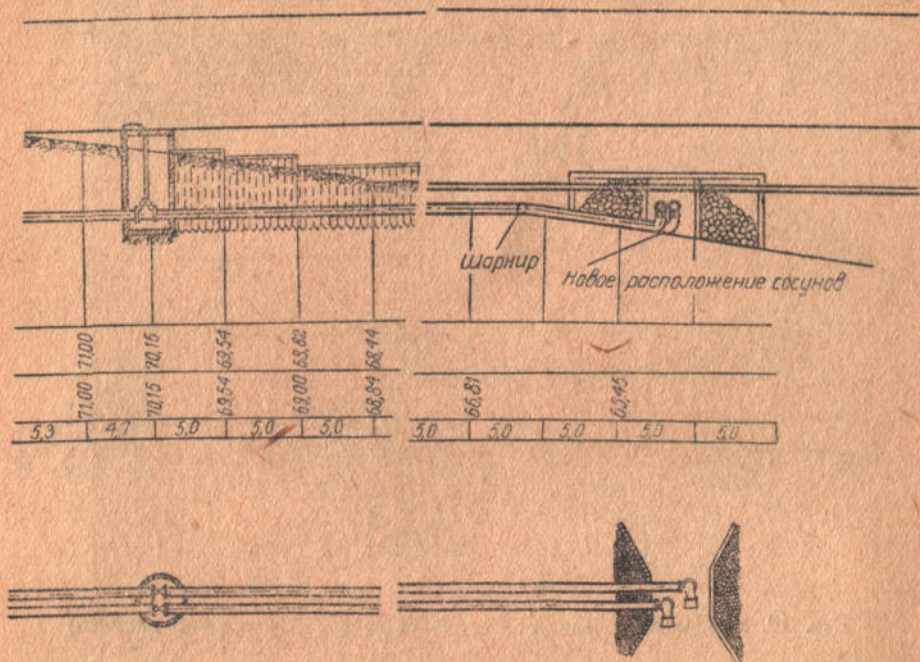


Рис. 11. Водоприемник Кинешемского водопровода

ную и упругую конструкцию, что удары подводных тел для него не страшны. Момент сопротивления 400 мм трубы равен моменту сопротивления 40 см железной двутавровой балки, а 900 мм труба на рис. 10 имеет момент сопротивления в 5 раз больший. Опасность таких ударов, кроме рек с молевым сплавом, а также и горных рек — почти отсутствует.

В Кинешме устроен эжекторный водоприемник (рис. 11)—здесь оголовки труб, как будто нарочно, выставлены под удар всего, что может быть занесено в проток водоприемника. И другие эжекторные водоприемники устроены так же, и, если они существуют и не разбиваются ударами плавающих в воде тел, значит опасность таких ударов почти отсутствует. Таким образом,

как будто нет оснований устраивать защиту водоприемника от ударов в реках, за исключением горных рек, перекатывающих в паводок большие камни, и рек с молевым сплавом. Защита оголовка от ударов должна производиться там, где это необходимо, особым сооружением, которое бы воспринимало удары целиком на себя. Ряд свай или кустов свай (рис. 12), срезанных чуть выше оголовка, представляет хорошую защиту оголовка от ударов. В гравелистых грунтах вместо деревянных свай можно забивать рельсы или двутавровые балки.

Здесь следует оговорить, что все сказанное о ненужности укрепления оголовка относится к сварным или другим способом (нарезные муфты) прочно соединенным трубам. Такие трубы теперь обычно и применяются для самотечных водоводов. На рис. 10 представлена довольно редкая и устаревшая конструкция (а чертеж типовой) коротких самотечных труб, соединенных шаровыми шарнирами. При такой конструкции оголовков не может держаться отвесно без подпорок.

Две подпорки для такого оголовка с одной и с другой стороны нужны. Упираются подпорки должны прямо в дно.

Шаровые шарниры применяются и теперь для опускания с подмостей или баржей чугунных переходов через реки и самотечных труб большой длины. Шарниры дают возможность трубопроводу приспособляться к поверхности дна.

При применении железных труб, в особенности недлинных, дорогие шарниры не нужны: трубы свариваются на берегу по профилю дна или, вернее, приготовленной для них подводной траншеи, подводятся к месту или на плаву путем закупорки обоих концов, проще всего резиновыми баллонами, или подводятся на баржах, понтонах и пр. и погружаются на дно. На рис. 13 показаны работы по опусканию труб на плаву.

Ряжи

Для защиты оголовков широко применяются ряжи.

На рис. 14 показана простая конструкция ряжа. Он состоит из сруба с досчатым полом. Крайние клетки заполняются камнем

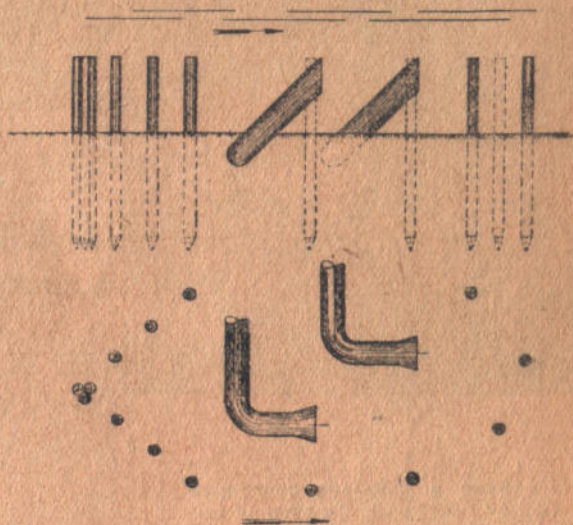
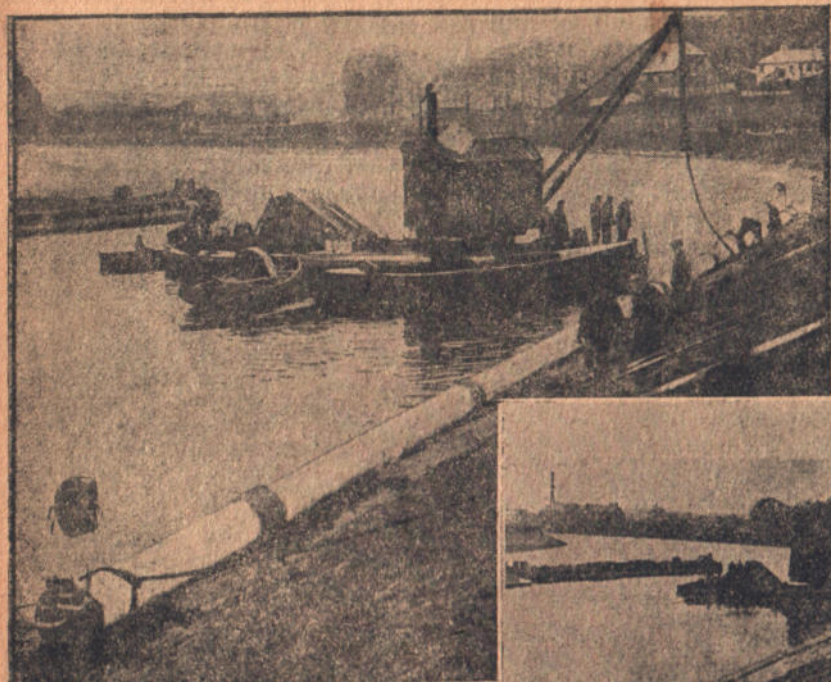


Рис. 12. Защита оголовков



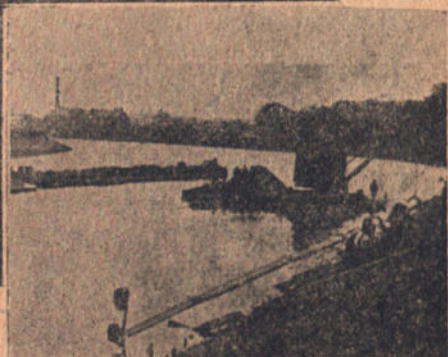
a

На снимке *a* показана собранная на берегу труба с заглушенными концами. Сборка повидимому произведена нарезными муфтами. Стоящий около трубы пловучий кран собирается захватить трубу.

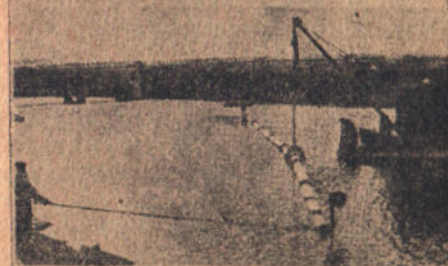
На снимке *b* пловучий кран, захвативший трубу каната, начинает отводить ее от берега.

На снимке *c* труба, подвешенная (посредине) канатом крана, устанавливается на плаву поперек реки. Для этой цели один конец трубы удерживается с берега канатом.

На снимке *d* труба поставлена поперек реки. Теперь начнется опускание трубы на дно посредством заполнения ее водою.



b



c



d

Рис. 13. Различные моменты работ по опусканию труб на плаву

или бетоном, и тогда сруб, собранный на плаву, погружается на дно. Средние клетки служат для помещения в них концов самотечных труб. Вода поступает внутрь сруба через щели между пластинами сруба, специально для этого сделанными. Кроме того и верхнее покрытие камер с трубами сделано со щелями. Все удары, какие могут быть, воспринимаются ряжем, а трубы защищены от них.

В последнее время встречается конструкция ряжа, отличающаяся от описанной тем, что конический конец самотечной

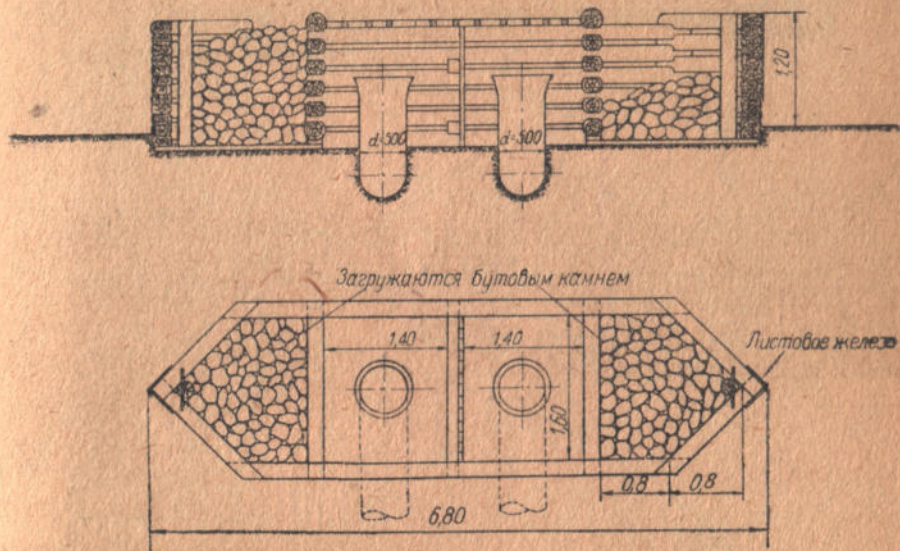


Рис. 14. Конструкция ряжа

трубы проходит через ряж и оканчивается в стене ряжа (рис. 15). Такая конструкция хорошо защищает оголовок от ударов, но совершенно не защищает от шуги и донного льда (см. ниже), и потому должна уступить место первой конструкции (рис. 14). В ряже этой конструкции может отлагаться песок, удаление его не встретит затруднений. Верхняя решетчатая крышка ряжа может быть приподнята с лодки. Песок с лодки может быть высосан ручным насосом, хотя бы и диафрагмовым.

НЕПРАВИЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО РЯЖЕЙ

В „Справочнике инженера-проектировщика“ и у Гениева помещен (рис. 16) ряжевый водоприемник с бухточкой. Эта конструкция весьма неудачна. Здесь трубы пропущены через ряж и дырчатые оголовки выпущены из ряжа. Чтобы защищать их от ударов, к ряжу приделаны выступающие части, образу-

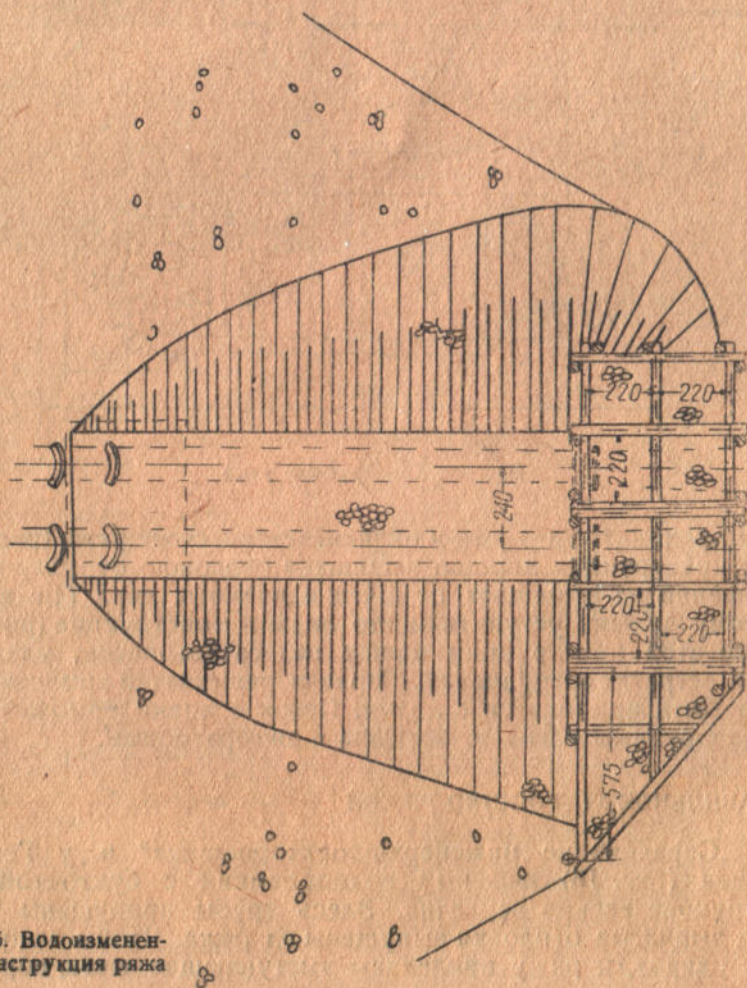
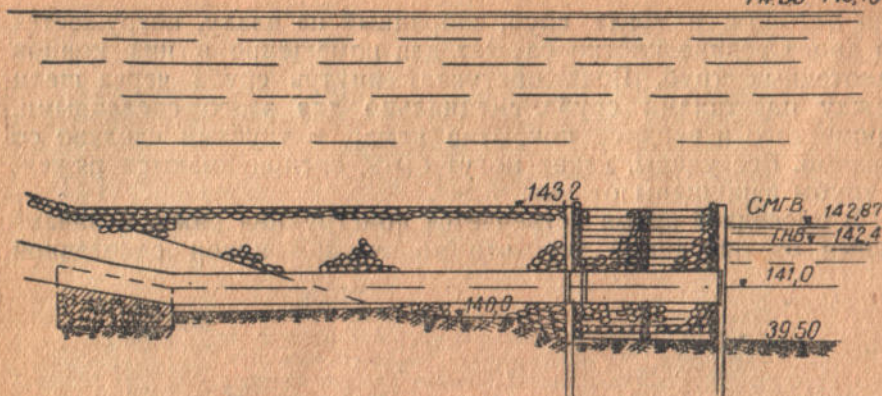


Рис. 15. Водоизменяемая конструкция ржа

щие так называемую бухточку. Ряж построен для защиты труб, следовательно, концы труб надо было поместить так, чтобы они были защищены ряжем, т. е. внутри ряжа или в его наружной стене, и тогда не было бы необходимости в бухточке.

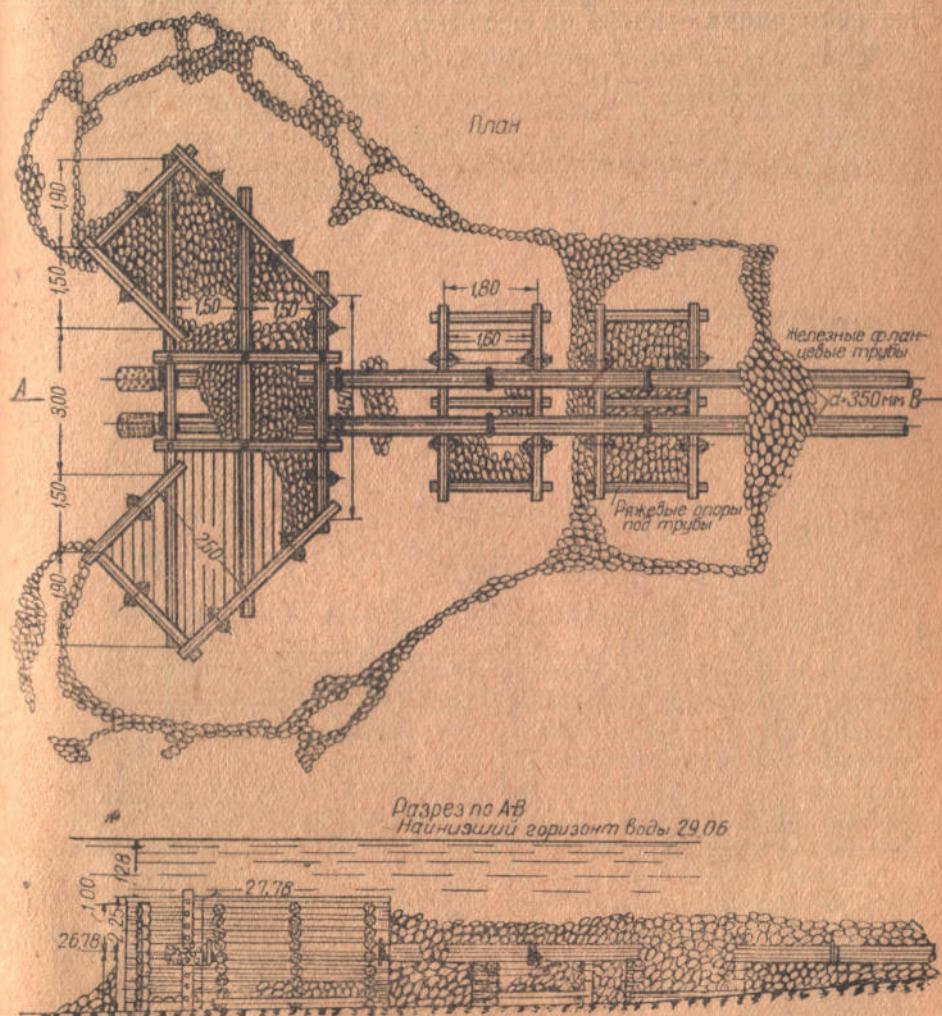


Рис. 16. Ряжевый водоприемник с бухточкой

Вместо дырчатых коробок на конце труб надо было использовать в качестве грубой решетки внутренние коробки ряжа, снабдив их достаточным количеством щелей. Площадь отверстий этой решетки была во много раз больше площади дыр в чугунных коробках (рис. 14) и размеры щелей 100 мм таковы, что они не будут забиваться мелкими взвесями.

По типу ряжевых оголовков начали устраивать свайные оголовки. На рис. 17 показан пример такой конструкции, примененный для другой цели. Свая представляет собой тип конструкции, резко отличный от сруба, поэтому слепое копирование сваями ряжа недопустимо. Если каменная засыпка для ряжа необходима — иначе он всплывет, — то такая же засыпка для

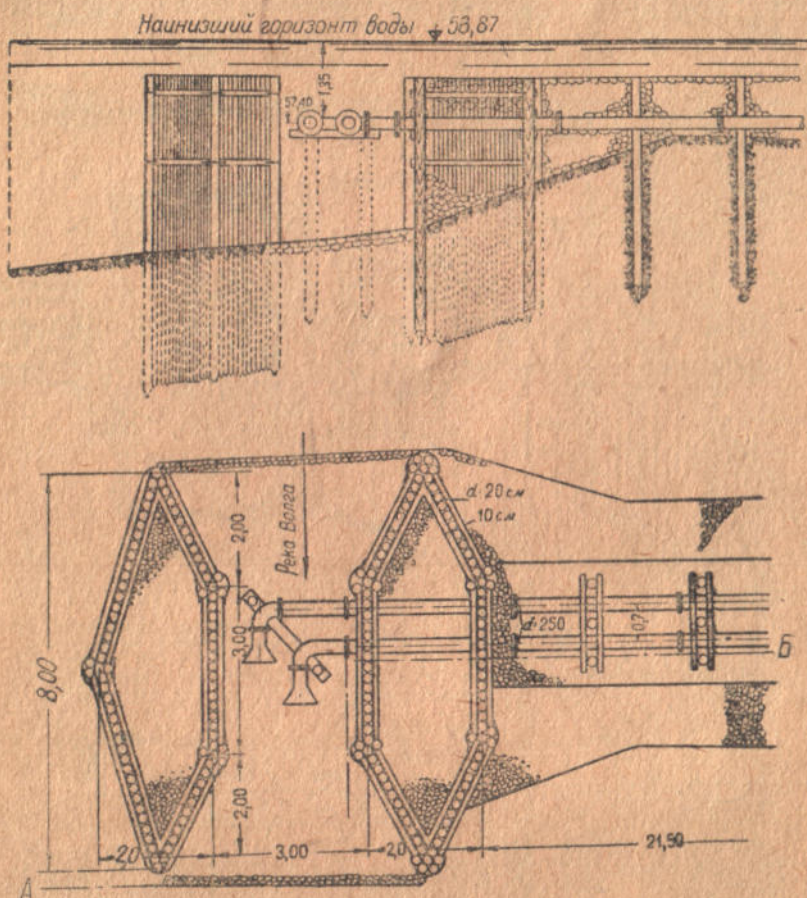


Рис. 17. Свайная конструкция оголовка

свайной конструкции не имеет смысла. Свая представляет собой очень прочную конструкцию и совершенно не нуждается в поддержке каменной засыпкой. Сплошная стенка ряжа вызывается срубовой конструкцией и необходимостью удерживать камень. Для свайной же конструкции эти причины исчезают, поэтому целесообразная свайная конструкция для защиты оголовка должна состоять не из сплошной стенки, а из отдельных свай (рис. 12) или кустов свай, как, например, ледорезы, пред-

назначенные для борьбы с во много раз большими усилиями. С низовой стороны оголовков не нуждается в защите от плавающих на глубине тел, но для защиты от лодок может быть огражден несколькими сваями и с низовой стороны (рис. 12).

Применение ряжевых водоприемников послужило поводом для изобретения другого своеобразного сооружения, так называемого эжекторного водоприемника. На рис. 11 показаны водоприемники г. Кинешмы. Узкий проход при водозаборе сделан с целью увеличить скорость течения и тем предотвратить занесение водоприемника песком и илом. Этот тип водоприемника также неудачен. Можно доказать с достаточной точностью, что в суженном протоке водоприемника не может быть большей скорости, чем в реке.

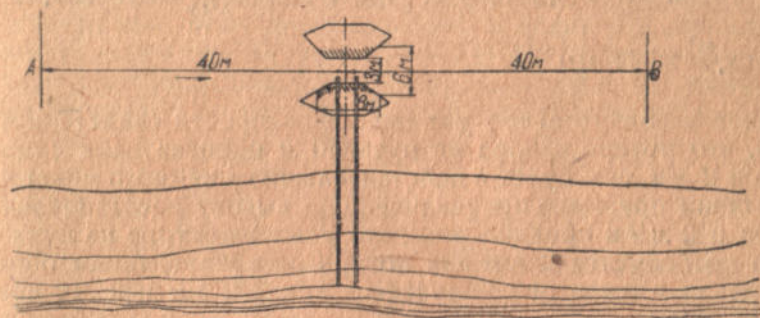


Рис. 18. Эжекторный водоприемник

Рис. 18 изображает русло реки с эжекторным водоприемником. Водоприемник вносит в однообразное течение потока некоторую пертурбацию. Предположим, что влияние этой пертурбации при длине самого водоприемника 8 м начинается с сечения А и оканчивается в сечении В, на расстоянии, предположим, 80 м одно от другого. Если примем уклон речного потока 0,0001 (как, напр. Днепр у Киева), то на расстоянии 80 м имеется падение 8 мм. Сравним движение струи в речном потоке при отсутствии водоприемника и движение той же струи при проходе ее через водоприемник.

В первом случае вся энергия падения реки на этом участке 0,008 м тратится только на трение. Во втором случае та же энергия расходуется не только на трение, которое для струи, проходящей через водоприемник, больше, чем для струи в речном потоке, но кроме того при проходе через водоприемник имеет место тройное преобразование энергии.

При входе в водоприемник создается небольшой подпор, скорость уменьшается, в узком сечении скорость возрастает, а при выходе из водоприемника в расширенной части скорость снова убывает. Это тройное преобразование также требует некоторой потери напора.

Предположим для упрощения, что это преобразование совершается без потери энергии и посмотрим, как могут при этом измениться средние скорости перед входом в узкую часть и в самой узкой части эжекторного водоприемника. Подпор, образуемый замедлением течения перед водоприемником, не может быть более 4 мм, так как при таком подпоре уровень воды у водоприемника сравнялся бы с уровнем в сечении А, а при равенстве уровней движения от А к водоприемнику было бы невозможно. Далее, этот подпор должен быть менее 4 мм, так как иначе ничего не остается для потерь на трение на этом участке в 40 м длиной. Предположим, что на трение тратится 2 мм и 2 мм остается на подпор. При подпоре в 2 мм скорость с 1 м уменьшится до 0,98 м. При $v = 1$ м, $\frac{v^2}{2g} = 51$ мм, а при $v = 0,98$, $\frac{v^2}{2g} = 49$ мм.

Такое незначительное уменьшение скорости свидетельствует о том, что потеря напора на пути 40 м оценена нами слишком низко в 2 мм, она будет в действительности немного менее 4 мм. Но оставим прежнюю преувеличенную высоту восстановленного напора в 2 мм и предположим, что ниже эжектора на пути 40 м также потребуется 2 мм для потерь на трение, таким образом, на перепад в эжекторе получается снизу 2 мм и 2 мм сверху, а всего 4 мм.

Этот перепад в 4 мм увеличит скорость с 0,98 м/сек до 1,02 м/сек.

$$\frac{0,98^2}{2g} = 49 \text{ мм}; 49 + 4 = 53 \text{ мм}; v = \sqrt{2g \cdot 0,053} = 1,02 \text{ м/сек.}$$

Такое увеличение скорости получается при пренебрежении потерями в самом эжекторе и преуменьшении потерь на трение речной струи на протяжении 80 м. Если же учесть все потери, то окажется, что потери на трение при эжекторе, не включая потери, вызываемые эжектором на протяжении 80 м, могут быть только чуть ниже, чем без эжектора. Скорость могла уменьшиться при подпоре до 0,98 м, т. е. на 2%. Потеря напора, следовательно, уменьшится только на 4%. Если же прибавить сюда еще потери напора в сужении и потери на преобразование энергии, тогда окажется, что имеющегося в распоряжении напора 8 мм нехватит на все потери; таким образом, на увеличение скорости сужения в лучшем случае ничего не остается. Правда, донные скорости увеличатся относительно более, чем поверхностные, но все же величина этого изменения незначительна.

Предыдущие рассуждения имеют силу, когда дело идет о большой реке, например, Днепре или Волге. Загромождение русла эжекторным водоприемником в этом случае создает настолько незначительный подпор, что им можно пренебречь. Если же эжекторный водоприемник будет устроен в малой реке, тогда

он может создать заметный подпор и, следовательно, заметное повышение скорости. Но это повышение скорости проявится во всем речном потоке.

Сужение же речного русла водоприемником, отходящим от берега в виде полузапруды, может только повести к отклонению течения к противоположному берегу и в небольших реках к размыву его.

При изменчивом русле реки, когда речной поток то размывает берег, то заносит его песком, имеется только одно средство защиты водоприемника как от подмыва, так и от заноса песком — регулирование русла реки.

Никакие ухищрения в устройстве водоприемника тут не помогут. Эжекторный водоприемник ст. Баглей на Днепре заносится песком и требует ежегодной очистки.

В довершение всего оголовки труб в таких водоприемниках располагаются в суженной части (рис. 11), благодаря чему суженная часть загромождается, и потери на трение от этого еще больше возрастут, а скорость еще больше уменьшится.

СЕТКИ

На концах оголовков самотечных труб часто устанавливаются сетки с прозорами около 5 мм (см. „Справочник инженера-водопроводчика“, курс Гениева и пр.). Это место совершенно не подходит для установки сеток, потому что доступ к нему затруднен, а во время ледохода и совсем невозможен. Сетки задерживают крупные взвеси и забиваются ими, очистка сеток необходима, поэтому сетки должны быть всегда легко доступны. Местом для сеток должны служить береговые колодцы, на концах же самотечных труб рекомендуют ставить решетки с прозорами 50—100 мм. Но и в решетках на концах труб нет необходимости. При расположении оголовков труб вниз по течению бревно в трубу не затянет, а крупная рыба, в случае ее захода в трубу, дальше сеток берегового колодца не пойдет. Решетки же представляют удобное место для намерзания шуги и донного льда и, таким образом, способствуют закупорке трубы.

САМООЧИЩАЮЩИЕ СКОРОСТИ И ГАЛЛЕРИИ

Закупорка самотечных труб осадками и, главным образом, песком — явление очень редкое и происходит там, где диаметры труб слишком велики для обслуживаемых ими расходов воды. При указанной диспропорции диаметров с расходами скорости в трубах получают малые, а при скоростях ниже 0,3 м, как известно, песок осаждается в песколоуках. Для предупреждения осадков в трубах скорости в них не должны падать ниже самоочищающих величин. Точные величины самоочищающих скоростей неизвестны, но можно предположить, что скорости около

1,0 м/сек уже достаточны для предупреждения выпадения песка¹.

При устройстве трубных водоприемников самотечные трубы обыкновенно укладываются сразу на расчетный расход; если расчетный расход в несколько раз больше первоначального, то возникает опасность заноса труб песком в первые годы эксплуатации. В таких случаях следует рекомендовать укладку лишней меньшей трубы, рассчитанной на первоначальный расход и во время половодья и больших паводков забирать воду только через эту трубу. В межень же и зимой, когда в воде нет песка, можно брать воду и большими трубами.

При постройке деревянных галлерей вместо самотечных труб стремятся достигнуть их проходимости (Гениев „Водоснабжение городов“, стр. 144, изд. 1933 г.), благодаря этому сечения их получаются слишком большие для проектных расходов, а скорости малые. Вследствие этого галлерей заносятся песком, выпадающим из воды. Поэтому принцип проходимости должен быть отвергнут (см. „Водоснабжение и Сантехника“, 1936 г., № 5 — Водозаборы-галлерей)².

Существует мнение, что для забора больших количеств воды нужны особые водоприемники-галлерей или кривы. Американская практика совершенно опровергает это мнение. Из 12 000 городских водопроводов США примерно одна треть забирает воду из рек и отчасти озер. Не говоря об озерных кривых, которые имеют особые основания для своего существования, все речные водозаборы — береговые или трубные, кроме двух городов: С. Луи и Цинцинати, при чем крив С. Луи, кажется, уже заменен береговым водоприемником.

Примером крупного водозабора из реки может служить г. Монреаль. Для забора свыше 15 м³/сек из р. Св. Лаврентия запроектировано 6 труб диаметром 2,13 м каждая, длиной свыше 600 м.

Укладку железных самотечных труб проще всего вести на плаву. Место для трубы сначала приготавливают землечерпалкой или землесосом, труба собирается на берегу и вплавь подводится к месту укладки, где и опускается. Удобно также опустить трубы со льда (рис. 19).

Если ложе реки скалистое, то трубы могут укладываться в траншее, подготовленной взрывными работами, при чем и ложе под трубой на 15—20 см и сверху трубы обсыпаются мелким щебнем. Если живое сечение реки велико и стеснение его трубой не имеет значения, тогда возможна укладка труб по поверхности дна. При этом необходимо для трубы создать постель, чтобы она не лежала на нескольких острых выступах скалы. Простое и дешевое устройство такой постели можно произвести посредством укладки сбоку трубы небольших мешков

¹ Опыты Хар. НИГЛ показали, что мелкий и средний песок осаждается в трубах весь при скорости 0,5 м/сек. Полное самоочищение происходит при $v = 1,0—1,1$ м (инж. Яншин Н. В.).

² НИГЛ обследовала работу нескольких галлерей на Волге и на Каме (инж. Рудченко Г. И.).

ОПЕЧАТКА *

| Стр. | Строка | Напечатано | Должно быть |
|------|-----------|--------------|---------------|
| 35 | 16-17 св. | с перерывным | с непрерывным |

* По вине автора

№ 173/1205

с бетоном. Укладка производится с лодки. Мешки с бетоном являются также очень удобным способом укрепления оголовков труб против морских волн.

СИФОНЫ

Самотечные трубы в береговой своей части обыкновенно сильно заглубляются, так как должны быть уложены ниже низшего уровня воды в реке на высоту потери на трение при пропуске расчетного расхода. Укладка на большой глубине и в грунтовых водах представляет трудную и дорогую работу. Дело сильно облегчается, если вместо самотечных труб проложить сифонные трубы, так как глубина заложения сифонов может быть на 6—7 м меньше глубины заложения самотечных труб.

К колодцу сифонная труба идет с перерывным подъемом, а войдя в колодец опускается вертикально на глубину до 8 м. Отсасывание воздуха из сифона производится из верхней точки сифона.

Для самоосвобождения сифона от выделяющегося из воды воздуха на вертикальной части сифона в колодце устанавливается труба Вентури. К узкой части этой трубы воздух подводится небольшой трубкой с самой высшей точки сифона.

На Шахтинском водопроводе длина сифона от р. Дона до берегового колодца около 2 км, диаметр 300 мм.

Сифон Киевского водопровода имеет длину около 1 км, диаметр 1 метр.

ДОННЫЕ ЛЕД И ШУГА

Трубные водоприемники страдают от донного льда и шуги. Отверстие оголовка может обрастать льдом и закупориваться. Борьба с этим ведется обратной промывкой, срывающей лед с оголовка.

Кроме того, применяется и более примитивный способ непосредственной очистки оголовков от губчатого льда с лодок или водолазами. По анкете постоянного бюро всесоюзных водопроводных съездов 1926 г. выяснилось, что затруднения от донного



Рис. 19. Опускание труб

льда испытывают следующие города: Псков, Томск, Новочеркасск, Ростов-Дон, Москва, Горький, Тюмень, Грозный, Оренбург, Астрахань, Сталинград, Одесса, Ленинград, а также Тбилиси, Анапа, Алма-Ата и Ташкент. Из этого списка видно, что донный лед бывает не только на севере и в центре, но и на юге СССР. Этот список совершенно не исчерпывает городов, испытывающих затруднения от донного льда. Явление распространено гораздо шире. Так, например железнодорожные водопроводы на Днепре постоянно должны бороться с закупоркой льдом самотечных труб, как например: ст. Баглей, ст. Амур-Нижнеднепровск и пр. (см. „Санитарная Техника“ № 8—9, 1932 г).

Только трубный водоприемник (рис. 20) городского Днепропетровского водопровода, оканчивающийся в ряже, почти не страдает от донного льда. За 30 лет был только один случай обмерзания ряжа.

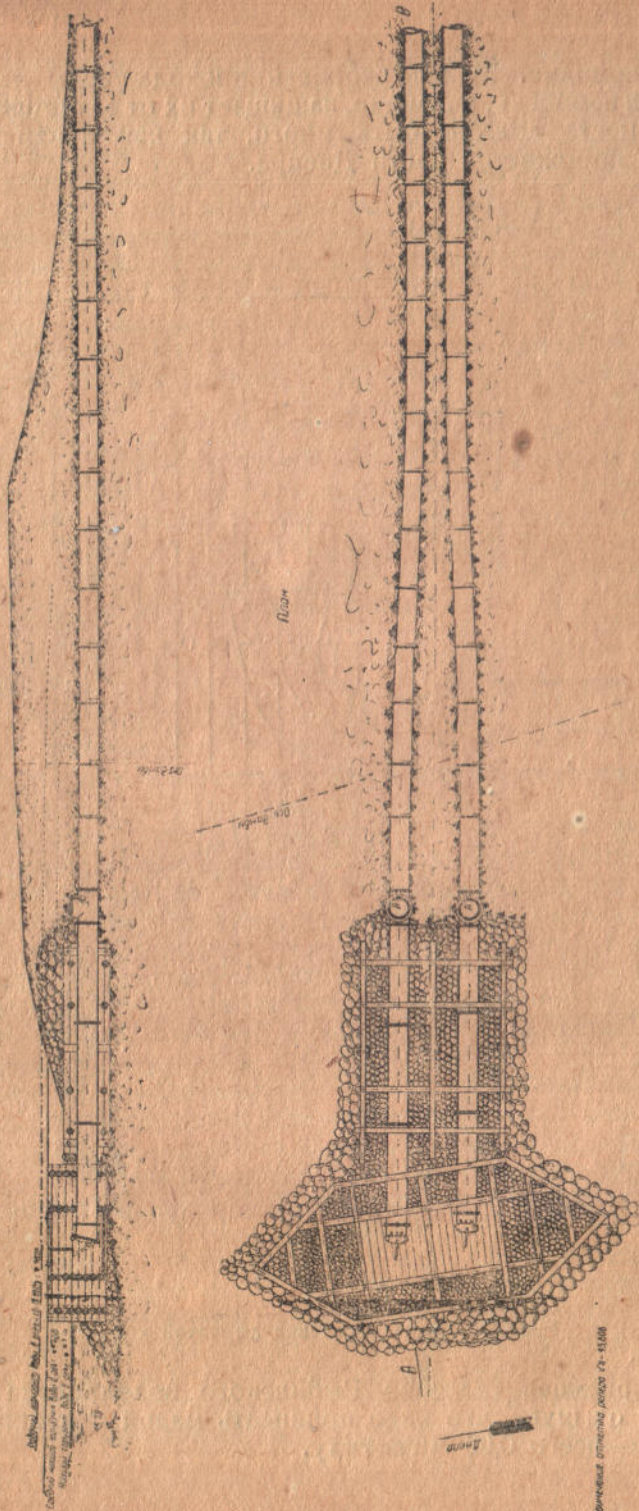
Причина, почему оголовки самотечных труб Днепропетровского водопровода, спрятанные в коробку ряжа, почти не страдают от ледовых затруднений, заключается очевидно в малой скорости входа воды в щели деревянной коробки. Площадь сечения этих щелей в несколько раз больше живого сечения самотечных труб; во столько же раз меньше и входные скорости сравнительно со скоростями в трубах. Один недавний случай обмерзания ряжа может быть объяснен недостаточной площадью деревянной решетки при возросших расходах водопровода.

При малых скоростях входа в коробку ряжа, шуга по инерции проносится быстрым течением реки мимо, а в ряж заходит преимущественно более подвижная вода. Таким образом, в коробку ряжа будет попадать относительно меньше шуги, чем ее имеется в речной воде.

Кроме того, облипание шугой входного отверстия очевидно будет идти тем скорее, чем больше проносится через него шуги, чем, следовательно, выше скорость входа в отверстие. Уменьшением скорости входа в 10 раз от 1 м до 0,1 м должно во столько же раз замедлить закупорку шугой отверстия. А по соображениям, изложенным выше, при малой скорости входа и шуги должно проноситься относительно меньше через входные отверстия. Это вызовет еще большее замедление в обмораживании входных отверстий. Так, очевидно, объясняется защитное действие ряжа против шуги.

Пример водоприемника ст. Синельниково, за 30 лет ни разу не испытывавшего затруднений от шуги, также подтверждает вышесказанные объяснения. Этот водоприемник устроен по типу часто встречающемуся на железнодорожных водопроводах. Головная часть водоприемника состоит из цилиндрической бетонной камеры диаметром 3,20 м с купольным перекрытием и семью окнами в стенах. Камера обсыпана каменной наброской, так называемым фильтром. Конечно, в качестве фильтра эта наброска не имеет никакого значения, но она создает громадную поверхность поступления воды в водоприемник через промежутки

Разрез на А-В



Длина стальной трубы 120 м.
Средняя ширина 0,8 м.
Высота стальной трубы 0,8 м.
Высота стальной трубы 0,8 м.

Рис. 20. Трубный водоприемник Днепропетровского водопровода

между камнями. Малая скорость прохода воды через поры каменной наброски, очевидно, защищает их от закупорки. А шуги в этом месте должно быть много, так как приемник расположен в порожиистой части Днепра.

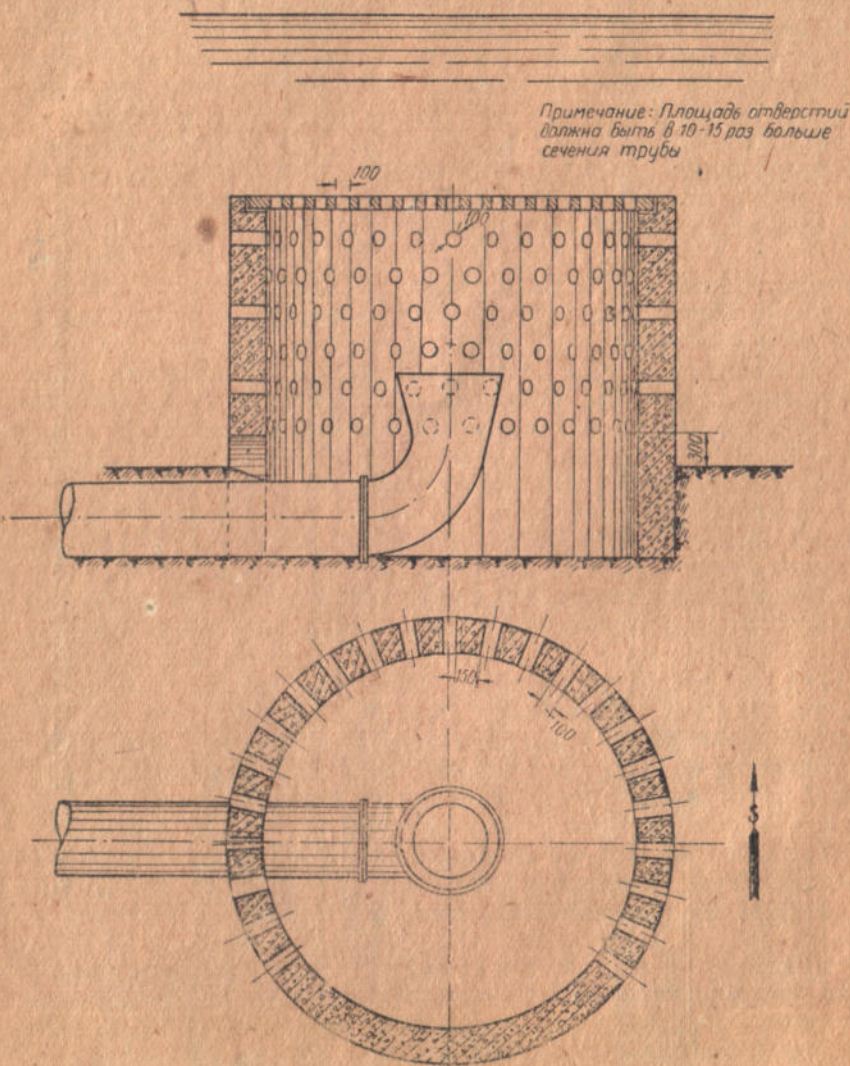


Рис. 21. Защита оголовка дырчатой коробкой

Водоприемная галерея Рыбинского водопровода также не страдает от шуги, что надо приписать малой скорости входа в галерею—всего 0,06 м/секунду.

Галлерей-водоприемники постройки последних лет существуют еще слишком короткое время, чтобы по ним можно было судить о ледовых затруднениях. Однако один из водоприемников этого типа, а именно Кузнецкий на р. Томи, в первые же годы своего существования стал забиваться шугой. Скорость входа в него 0,5 м, тогда как скорость входа в другие водоприемники, не испытывавшие еще шуговых затруднений, в 3—4 раза меньше.

Все вышеизложенное заставляет думать, что для защиты оголовка самотечной трубы от обмерзания шугой надо закрыть оголовок дырчатой коробкой таких размеров, чтобы скорости входа в щели коробки были порядка 0,1 м. Дырчатая коробка может представлять или деревянный ряж (рис. 14) или бетонный закрытый сверху колодец, погруженный ниже уровня льда (рис. 21).

Проф. Альтберг и Можейко в „Санитарной Технике“ № 8—9, 1932 г. высказывают уверенность, что криб совершенно обезопасит водопровод от закупорки льдом. Эта мысль опровергается практикой эксплуатации крибов на американских озерах. Waterworks Handbook by Flinn, Weston and Bogert указывает на ледовые затруднения на озерных крибах, также говорит и Public Water Supplies by Turneure and Russel.

БЕРЕГОВЫЕ КОЛОДЦЫ

Забор воды из рек можно вести способом засасывания воды насосом непосредственно из водоема или же воду по самотечной трубе подают из водоема в береговой колодец, откуда уже она и забирается насосами (рис. 1, 2 и 22).

Первый способ устарелый и представляет собой простой перенос обычного способа забора воды из искусственного резервуара на забор воды из естественных водоемов, без приспособления этого сооружения к новым условиям водозабора. Всасывающий клапан нуждается в периодической замене уплотняющих прокладок, дырчатая коробка-сетка нуждается в еще более частой чистке, между тем достать их из под воды без водолаза почти невозможно, особенно в половодье, а во время ледохода они становятся совершенно недоступными.

В атласе Цекомбанка листы № 15, 17, 18 и в книге проф. Гениева Н. Н. „Водоснабжение городов и промышленных предприятий“ показаны дырчатые коробки-сетки на оголовках труб в реке. Помимо недоступности такие сетки в реке будут очень быстро забиваться шугой. На водопроводе Ленинграда, на оголовках труб были установлены сетки, которые очень быстро забивались шугой и по предложению инж. Алтухова еще в 1894 г. были сняты, правда, и без сеток трубы иногда закупориваются шугой, но сетка во много раз ускоряет закупорку.

Исходя из вышеуказанных соображений от установки всасывающих клапанов и сеток в реке нужно отказаться. Для устранения недостатка установки клапана в реке применяются задвижки на всасывающей открытой с конца трубе (рис. 22).

Задвижка ставится на уровне самого низкого горизонта воды. Перед пуском насоса задвижка закрывается, насос и всасывающая труба от него до задвижки наполняются водой, а участок от реки до задвижки всегда заполнен водой. После пуска насоса задвижка открывается.

При наличии вакуум-насоса, при отсасывании воздуха, труба и насос заполняются водой из реки, и необходимость в обратном клапане или задвижке отпадает.

Применяют также обратный клапан в отдельном береговом колодце, установленный на всасывающей трубе. Такой колодец под названием „Сухой колодец“ приводит проф. Гениев в своей книге „Промышленное водоснабжение“, § 31. При таком колодце здесь также происходит непосредственное засасывание из реки.

Водоприемник Куйбышевского водопровода (рис. 22) состоит из четырех всасывающих труб диаметром от 600 до 700 мм, сходящихся на берегу в сухом колодце с задвижками для переключений. От колодца до станции в тоннеле уложено только две 600 мм всасывающих трубы, соединяющиеся с четырьмя речными трубами. Заливание водой насосов и труб производится вакуум-насосом.

На станции их установлено два. На время половодья скорость в р. Волге доходит до 3 м, река несет много песка, ракушек,—все это попадает в насосы. В 1934 г. из смесителя было выбрано 18 м³ песка, поданного туда насосом. Песок проникает в сальники насосов, истирает втулки, уплотняющие кольца и вал. В 1933 г. пришлось заменить вал истертый песком.

Чтобы не допустить к насосу ракушек, листьев и прочей крупной взвеси, во всасывающую трубу вделали особую ловушку, песок же попрежнему идет через насосы. Чистка ловушки связана с остановкой насоса.

Днепропетровский водоприемник имеет береговой колодец, в котором нет сеток.

В паводок, вследствие больших скоростей в реке, наблюдаются огромные выносы взвешенных веществ, попадающих в колодец, а оттуда в насос.

Управление водопровода вынуждено периодически останавливать насосы на очистку. Из насосов вынимались ветки, листья и даже куски досок; такое положение создавало значительные перебои в подаче воды во время паводка, т. е. 2—3 недели. В Днепропетровске раза три в течение 30-летней эксплуатации насосы останавливались из-за закупорки насоса сомом. На примере Куйбышевского и Днепропетровского водопроводов видно, к каким затруднениям в эксплуатации ведет непосредственное засасывание из реки.

Непосредственное засасывание из рек допустимо только для кратковременных установок.

От этого способа забора воды для постоянных водоприемников надо отказаться.

Правильно устроенный водоприемник должен иметь мокрый

береговой колодец, куда вода подается самотечными трубами. Главное назначение такого колодца быть местом для установки легко доступных сменных сеток, защищающих насосы от крупных взвесей. Кроме того этот колодец должен служить песколовкой, для этого в нем должно быть достаточно места для осаждения песка как по площади, так и по глубине. Песок и ил должны систематически удаляться из колодца эжектором или особым песковым насосом. Отсутствие этих приспособлений ведет к тому, что в колодце залеживаются илистые осадки и загнивают. Роль колодца, как песколовки, еще мало оценена, между тем через Днепропетровский колодец проходило за годовое более 100 м³ песка.

Большое значение колодца выражается еще и в том, что он делит водовод на самотечную и всасывающую часть, укорачивая всасывающую трубу. Кроме того он дает возможность легко наблюдать за работой обеих труб и в случае аварии облегчает локализацию места повреждения. Если насос перестал подавать воду, а уровень воды в колодце упал низко, значит—забилась самотечная труба. Если, наоборот, уровень в колодце стоит на уровне воды в реке—значит повреждена всасывающая линия.

В водосборном колодце (рис. 23) самотечные трубы прерываются, колодец делится на две части сетками, во второй части колодца, куда вода поступает только пройдя через сетки, начинаются всасывающие трубы.

Приводим пример рационального устройства колодца для водопровода средней производительности 7000—10000 м³ в сутки (рис. 23), запроектированный инж. Гехман Л. А.

Колодец круглый, диаметр его определен размерами, необходимыми для размещения фасонных частей и арматуры для устройства переключений, а также осаждения песка.

Самотечные трубы заканчиваются задвижками для возможности выключения на промывку или на случай ремонта каждого отделения. Для этой же цели трубопровод, подводящий напорную воду, отделяется задвижками от каждой самотечной трубы.

Между самотечными и всасывающими трубами устанавливаются сетки. Сетки с прозорами около 5 мм и должны быть сделаны из медной, алюминиевой или латунной проволоки, железные сетки недопустимы, так как быстро пропадают, в крайнем случае нужно применять оцинкованные. Сетки двигаются в направляющих швеллерах. Для подъема сеток и арматуры трубопроводов в перекрытии устроены проемы.

Для ремонта или промывки без остановки всего водоснабжения колодец делится сплошной перегородкой на две части. Перегородка доведена несколько выше уровня меженного горизонта, доводить перегородку до горизонта высоких вод нет необходимости, так как в этом случае она получилась бы слишком громоздкой. Выключение же одного из отделений для ремонта может быть произведено либо после спада горизонта высоких вод, либо при горизонте высоких вод путем понижения уровня

в другом отделении посредством прикрытия задвижки на самотечной трубе.

Для работы всеми насосами при выключении одной из самотечных труб в перегородке устроено соединение обоих отделений через патрубков с задвижкой на нем.

На всасывающих трубах не установлены всасывающие клапаны. Так как всасывающие клапаны требуют значительной потери

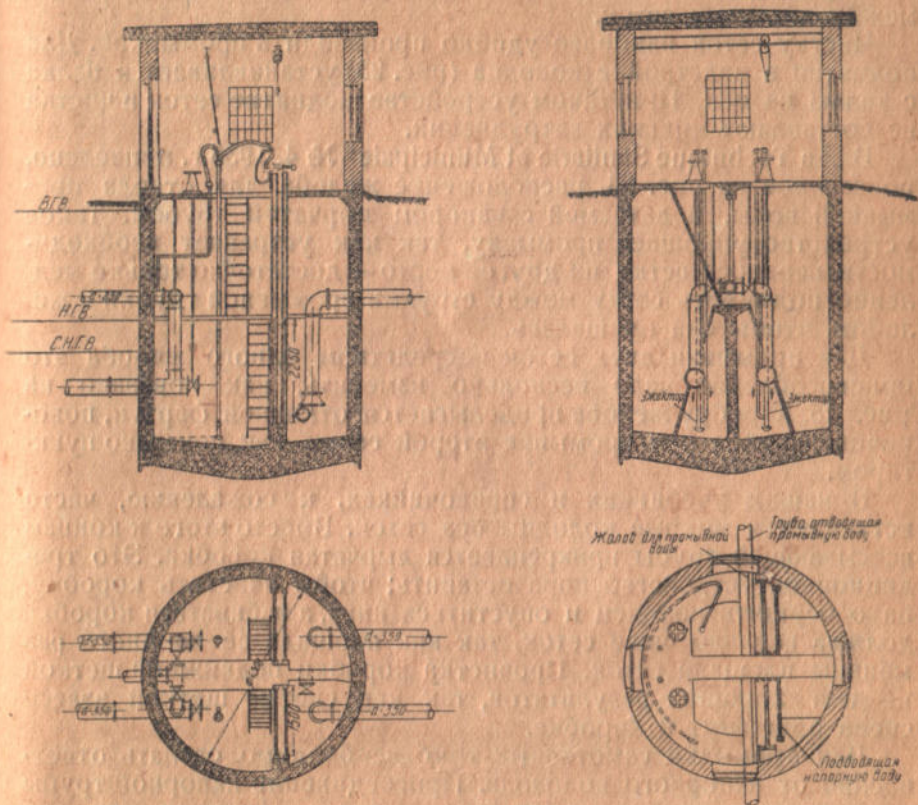


Рис. 23. Устройство берегового колодца

напора, перемены уплотняющих частей, то на больших станциях их не ставят, а заменяют вакуум-насосами — это же следует делать и на средних станциях.

Чтобы во время чистки сетки взвеси не попадали в отделение всасывающих труб, сетки нужно устанавливать в два ряда. Прежде чем вынимается одна сетка, другая должна быть поставлена на свое место. Только в отдельных случаях, где перед поднятием сетки может быть произведена чистка отделения и одно из отделений может быть выключено на время чистки — решетки могут устанавливаться в один ряд. В малых водопроводах,

где выход колодца из работы на время чистки допустим,— возможно устройство одного отделения.

Площадь сеток при установке их в колодце в 5—10 раз больше площади трубы, подводящей воду. При этом сетки создают незначительный подпор, не имеющий практического значения, кроме того при засорении даже значительной части отверстий, сетка все же будет пропускать воду без большого подпора, а это обеспечит довольно продолжительные периоды между чистками сеток.

Чистку сеток наиболее удобно производить промывкой. Для поднятия в надстройке колодца (рис. 23) устанавливается балка с талью на ней. При таком устройстве поднятие сеток и чистка не составляют никаких затруднений.

В „La Technique Sanitaire et Municipale“ № 4, 1935 г. приведено, показанное на рис. 24, расположение желоба для отвода промывной воды, подаваемой с напором дырчатой трубой. Такое устройство упрощает промывку, так как устраняет необходимость переноса сетки на другое место — достаточно только медленно поднимать сетку между струями промывной трубки и желобом, чтобы она очищалась.

Для промывки двух сеток посредством одного желоба это приспособление надо несколько изменить, как показано на рис. 25. К ребру желоба приделывается откидной фартук, поворачивающийся при промывке второй сетки, как показано пунктиром.

В наших учебниках и справочниках, к сожалению, часто встречаются мокрые колодцы без сеток. Вместо этого к концам всасывающей трубы прикрепляется дырчатая коробка. Это традиционное устройство пора оставить; чтобы очистить коробку, надо осушить колодец и опуститься вниз, а забиваться коробка должна гораздо чаще сеток, так как площадь ее во много раз меньше площади сеток. Прочистка коробки подвижной щеткой не дает хороших результатов, так как снятые щеткой взвеси снова приставут к коробке.

Для промывки самотечных труб необходимо сделать ответвление от напорного водовода. Присоединение напорной трубы к самотечным трубам может быть выполнено внутри или вне колодца. На рис. 26 показано присоединение, расположенное внутри колодца — оно удобно тем, что задвижки находятся в колодце, а также часть напорной трубы подвешивается на стенах колодца; задвижка на вертикальном ответвлении к первой самотечной трубе лежит горизонтально, поэтому для управления сверху нужна коническая передача.

Неудобство такого устройства состоит в загромождении внутреннего помещения колодца; устраняет это неудобство наружное расположение соединительных труб, как показано на рис. 27. Но при этом возникает новое неудобство. Напорная труба, обходящая колодец, попадает в нарушенный грунт, поэтому ее надо или отвести подальше, при чем участок, лежащий

Отливной зонт
открывается при
протывании решетки
№2

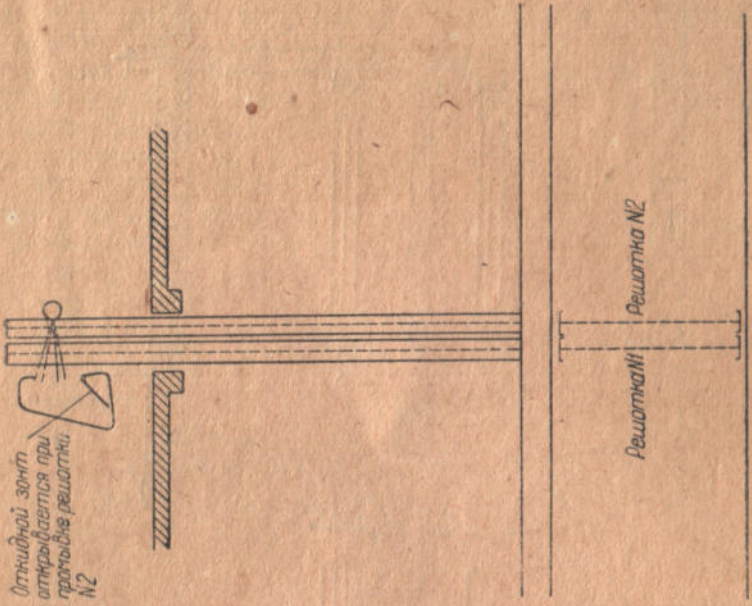


Рис. 25. То же расположение, что и на рис. 24, несколько видоизмененные

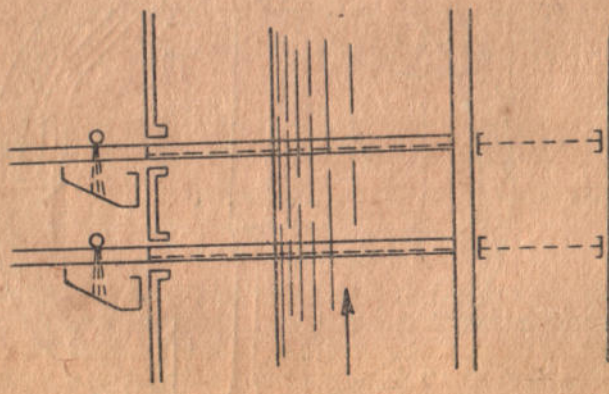


Рис. 24. Расположение желоба для отвода промывной воды

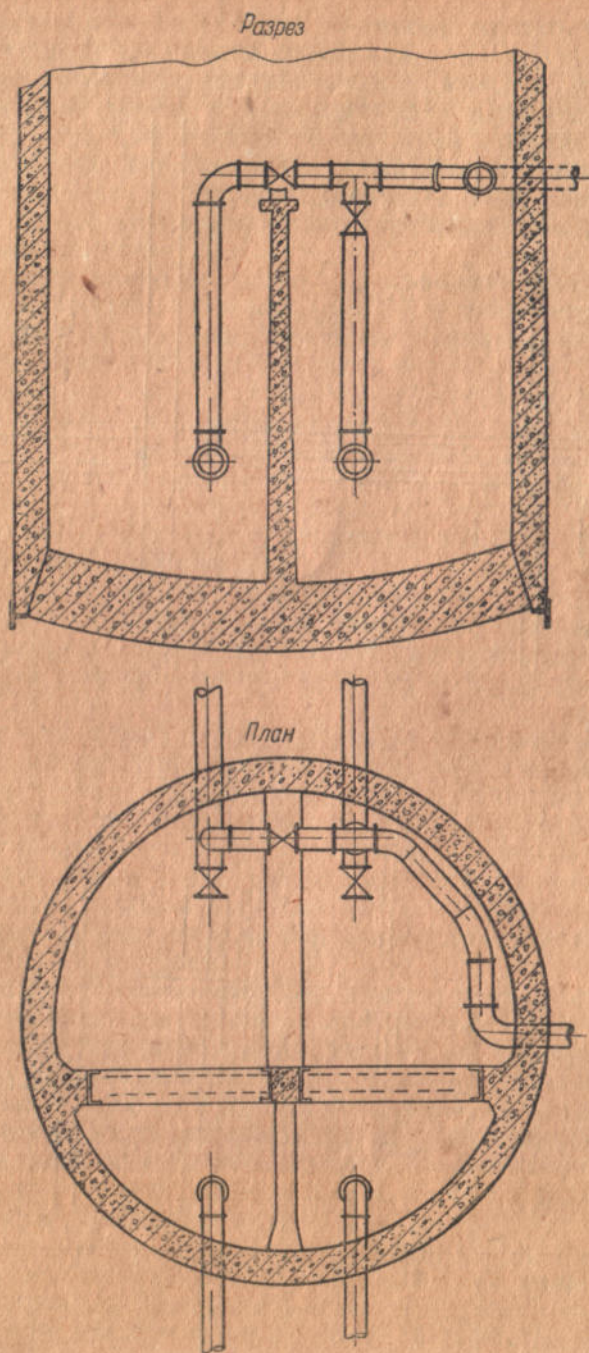


Рис. 26. Присоединение напорной трубы к самотечной

над самотечными трубами, должен быть уложен на сваях, или же труба должна быть уложена по наружной стене колодца на консолях, рис. 27, пунктир.

Напорные трубы лучше всего делать железными сварными, тем более что на поворотах они подвержены большим гидростатическим усилиям.

На рис. 23 показан смешанный вариант: соединения сделаны внутри колодца, но обводная напорная труба располагается вне колодца. Если напорную трубу повернуть на 180° , то она хорошо расположится внутри колодца на разделительной стенке и затем под прямым углом вдоль сеток выйдет из колодца.

РАБОТА КОЛОДЦА КАК ПЕСКОЛОВКИ

При входе воды в колодец, скорость ее резко падает. Так в приведенном нами (рис. 23) примере круглого колодца вода подводится по трубам $d = 350$ мм при скорости в трубах $V = 1,0$ м расход $Q = 96$ лит./сек. В колодце этот расход проходит по сечению при низком горизонте $2,0 \text{ м} \times 2,0 \text{ м} = 4,0 \text{ м}^2$, следовательно, скорость будет $V = \frac{0,096}{4} = 0,024 \text{ м}$, а вы-

падение песка происходит при скоростях $0,5 \text{ м}$.

Таким образом в нашем примере выпадение песка неизбежно. Однако, равномерного движения по всему сечению не установится на таком коротком пути, часть струи может сохранить большие скорости и вывести песок к сосунам. Во избежание этого желательно установить перед входной трубой деревянный, утяжеленный железной оковкой или железный дырчатый щиток для погашения большой скорости входа. Щиток при чистке колодца должен на цепи или веревке подниматься вверх.

Для осаждения песка колодец углублен ниже самотечной трубы на $0,7—1,5 \text{ м}$. Чтобы осадившийся песок не попадал в

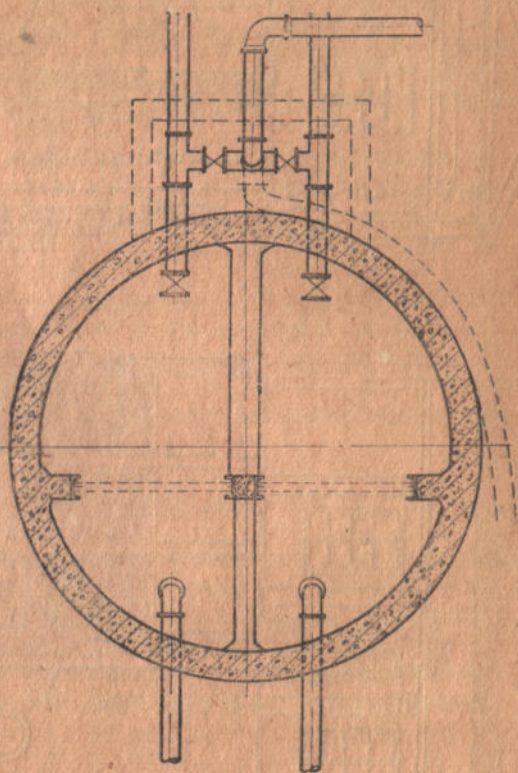


Рис. 27. Наружное расположение соединительных труб

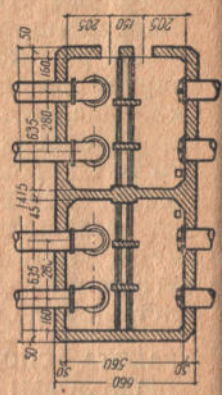
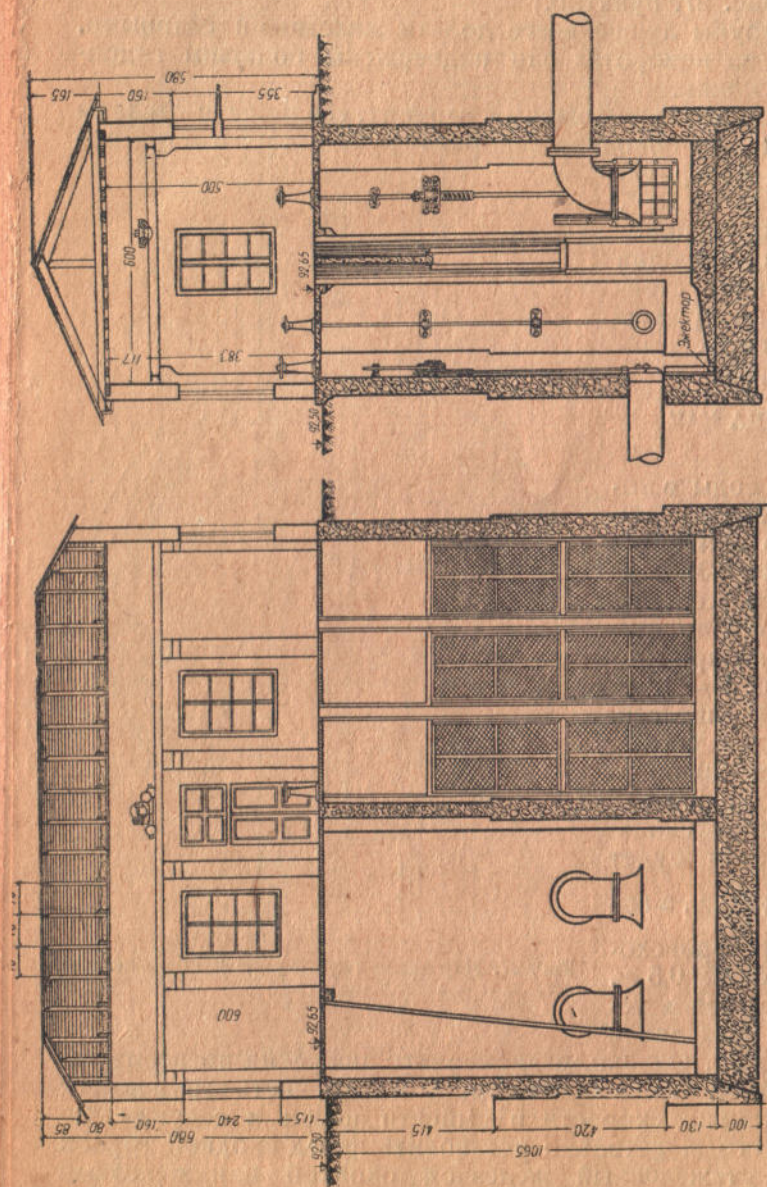


Рис. 28. Водо-
приемник круп-
ного водопро-
вода

отделение всасывающих труб, устраивают порог высотой 0,5—1,0 м. Так как в колодце происходит выпадение ила, способного иногда загнивать, необходима периодическая чистка колодца, иначе возможны даже случаи ухудшения качества воды в колодце, как это наблюдалось в Днепропетровске и на станции Баглей.

Для чистки колодец должен быть оборудован приспособлениями: эжектором, с подводом напорной воды от насосов, либо отдельным небольшим песковым насосом.

Больше всего осадков будет выпадать в колодце во время паводков; чтобы чистку производить не чаще одного раза в сутки, осадочная часть должна быть достаточной для размещения выпадающего за сутки осадка.

При больших расходах и наличии нескольких всасывающих труб, в больших насосных станциях очень часто устраивают подвод воды к каждому насосу отдельным трубопроводом, водосборный колодец устраивают по типу, приведенному на рис. 28.

Здесь для каждой пары всасывающих труб устроена своя камера, отделенная от самотечной части сетками, установленными в два ряда. Самотечная часть делится перегородкой на два отделения.

Сетки подвижные поднимаются по направляющим швеллерам специально установленным краном.

В приведенном колодце первая входная часть мала, ее следует делать несколько большей, если водоприемник речной, а не озерный.

Вместо щитов на входных трубах приходится устанавливать задвижки облегченного типа (укороченные), так как они изготовляются нашими арматурными заводами, а изготовление щитов, к сожалению, не налажено.

Устраивают также часто отдельные камеры для каждой всасывающей и самотечной трубы (при крупных водопроводах).

КОВШИ-ВОДОПРИЕМНИКИ

Научно-исследовательская гидротехническая лаборатория изучала работу ковшей в Ростове на Дону (рис. 1)—инж. Герасимов В. И., в Днепродзержинске (рис. 2 и 2а) и в Переездной—Донсода (рис. 3)—инж. Яншин Н. В. Кроме того были обследованы ковши Шахтинский (рис. 4) и Днепродзержинской ГРЭС (рис. 5), но они не представили интереса для более подробного изучения. Днепродзержинская ГРЭС не работала и ковш бездействовал, кроме того вход в него был загроможден остатками строительной перемычки. Шахтинский ковш на Дону¹ находится в таком безобразном состоянии, что не имело смысла производить на нем какие-либо наблюдения. Он мелок, весь занесен илом и вода подводится к водоприемнику вырытой в иле канавой. В конце нашей работы получены отчеты по наблюдениям за Кузнецким ковшом, благодаря любезности инж. Прокурникова Н. Н.

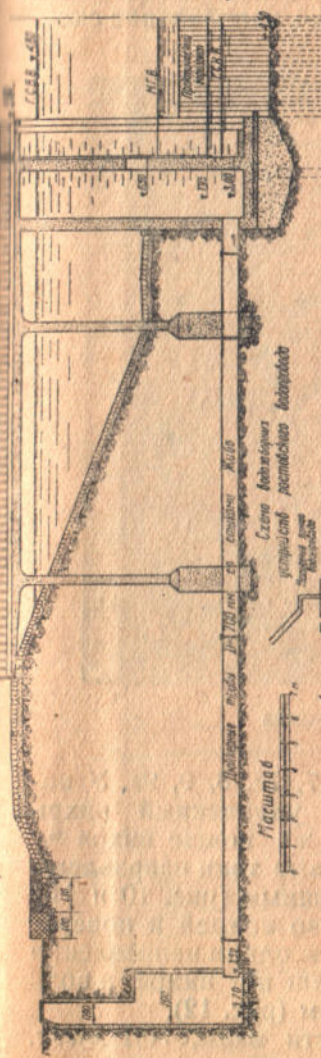
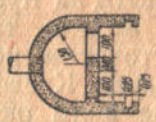
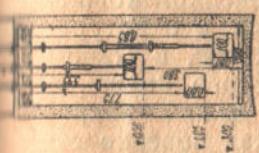
Кроме того лаборатория по заданию Киевского комхоза произвела испытание модели ковша Киевского водопровода (рис. 6). На этой же модели с соответственными изменениями ее произведены испытания ковшей в Днепродзержинске и ковшей других конструкций инж. Герасимовым В. И.

Приступая к изучению работы ковшей, мы прежде всего поставили задачу: проверить распространенную у нас гипотезу, принадлежащую проф. Миловичу, о движении воды в ковшах. По этой гипотезе поток в ковше делится на два яруса—верхний и нижний, причем оба яруса движутся в противоположных направлениях. При расположении входа в ковш по течению верхний слой движется в ковш, нижний—из ковша. При входе в ковш против течения верхний слой движется из ковша, а нижний—в ковш.

Опыт, производившиеся в МИСИ на модели, по словам их авторов, подтвердили правильность этой гипотезы.

Проверка этой гипотезы как на моделях, так и в натуре (на ковшах Ростовском, двух Днепродзержинских и ковше Донсода) дала отрицательные результаты. Ни в одном случае не

¹ Очень интересно отметить наблюдение инж. Рудченко, что во время сильных ветров берег Дона размывается и полоса глинистой мути идет вдоль берега и заходит в ковш. При таких условиях строить ковш не следовало бы.



План коша

Разрез коша по С-Д



Доккер под р. Дон

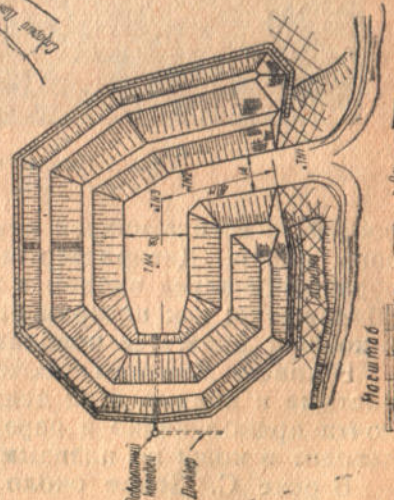


Рис. 1. Ковш-отстойник Ростовского в.Д. водопровода

удалось установить двухъярусного движения воды, т. е., чтобы донные токи шли в ковш, а поверхностные—из ковша или наоборот. То же самое подтвердили и опыты на Кузнецком ковше.

Картина движения воды как на модели, так и в натуре, оказалась совершенно иной. В Ростовском ковше, в старом ковше Днепродзержинска и на модели Киевского ковша, а также и на других моделях движение воды оказалось вихревым с вертикальными осями вихрей, при чем как поверхностные, так и донные струи имели одно и то же направление ско-

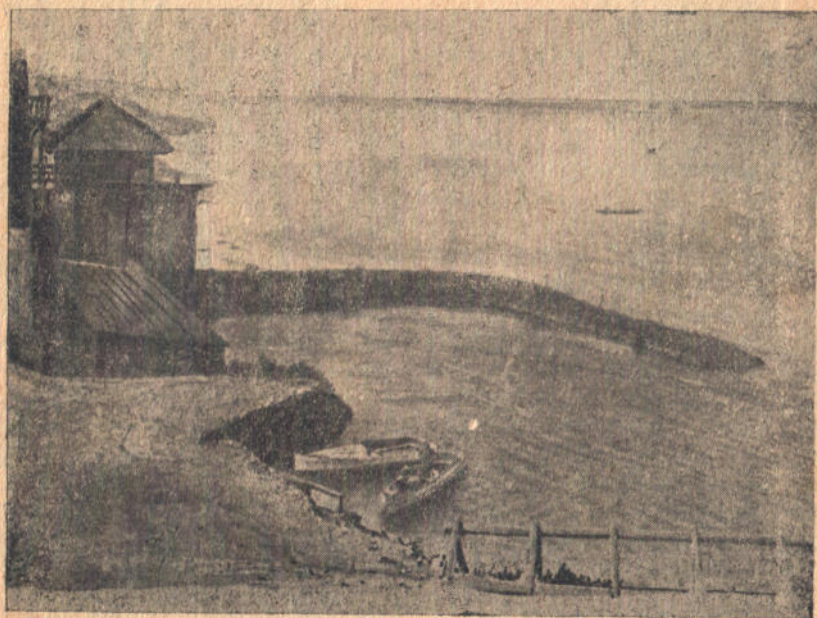


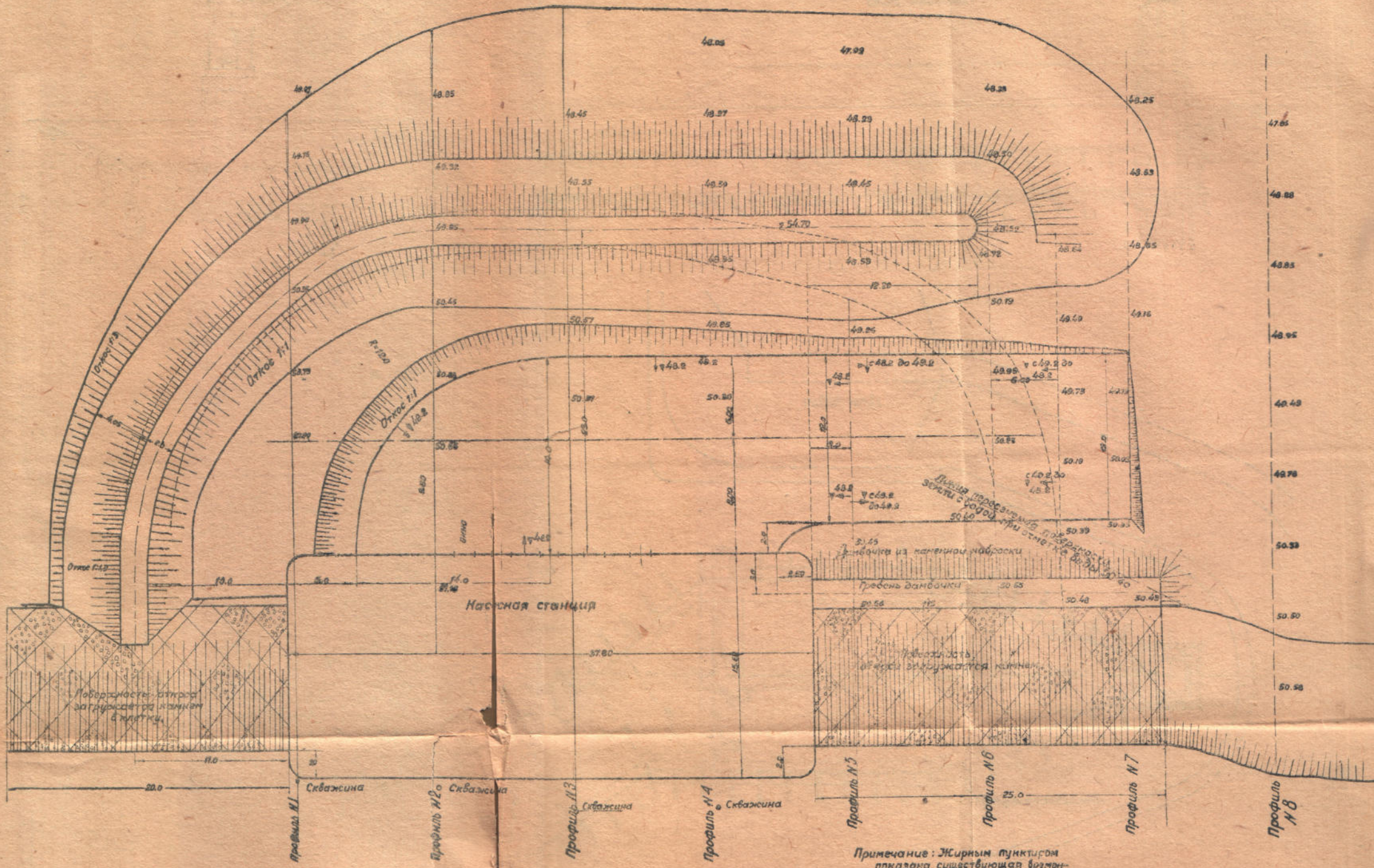
Рис. 2. Старый ковш Днепродзержинска

ростей. Картина вихрей показана на рис. 7, 7а, 8, 9, 9а. У нового ковша Днепродзержинска большой удлиненный вихрь образуется перед входом в ковш, в самом же ковше вихря не обнаружено; как поверхностные, так и донные токи направлены в ковш и движутся приблизительно по прямым (рис. 10 и 11).

В ковше Донсода также не обнаружено вихрей и поверхностные и донные токи движутся в ковш в одном направлении почти прямолинейно и перед входом в ковш нет вихря, а вода заходит в ковш по плавным кривым линиям (рис. 12).

В реке С. Донце около ковша скорости малы, $\approx 0,1$ м/сек. Этим объясняется безвихревое поступление воды в ковш.

Вихревые явления в ковшах были обнаружены проф. Гришиным, изучившим движение воды на модели Ростовского ковша еще до его постройки. Очень интересно сравнить вихри наблю-



Примечание: Жирным пунктиром показана существующая временная перемычка.

Рис. 2а, Новый ковш Днепродзержинска (план)

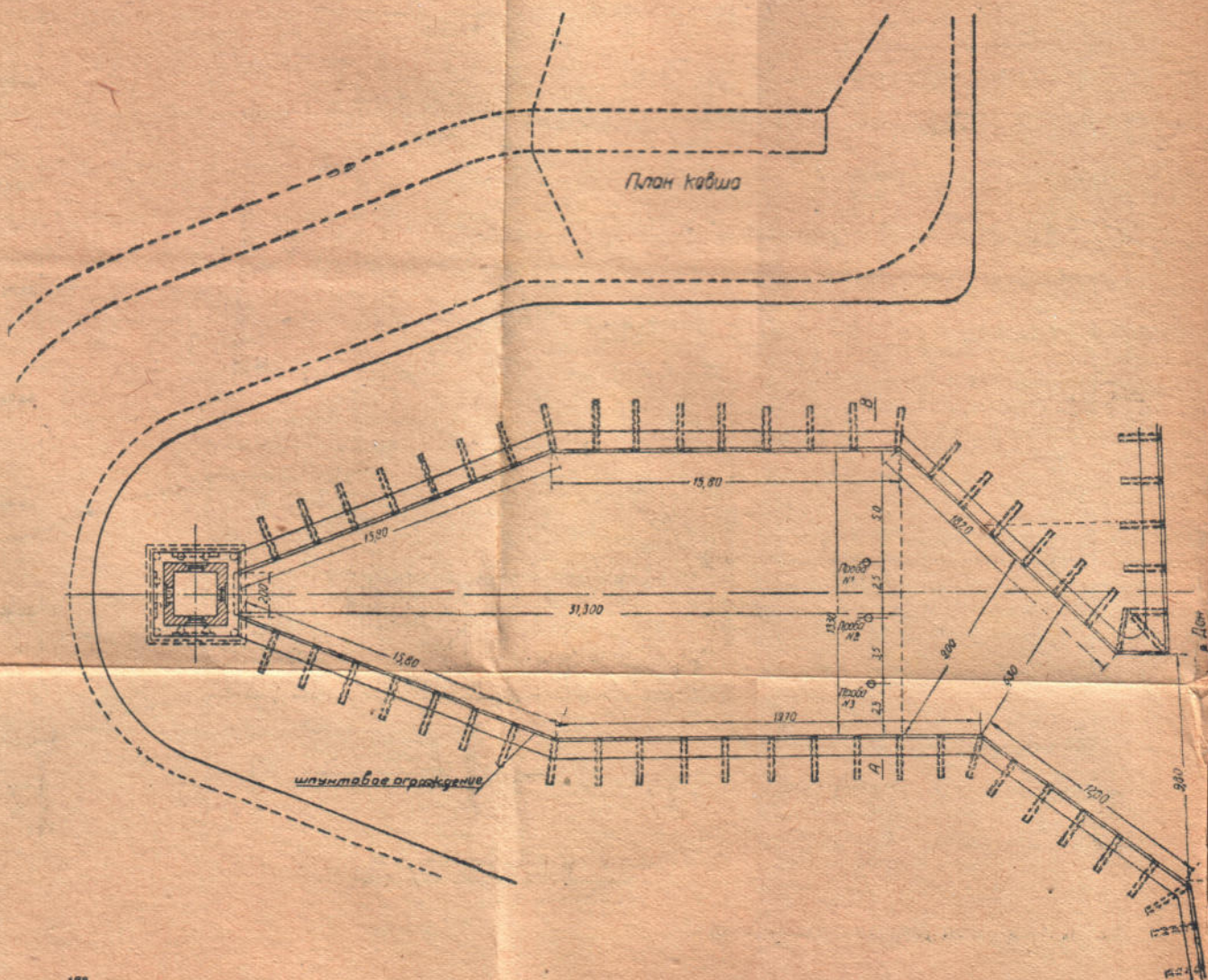
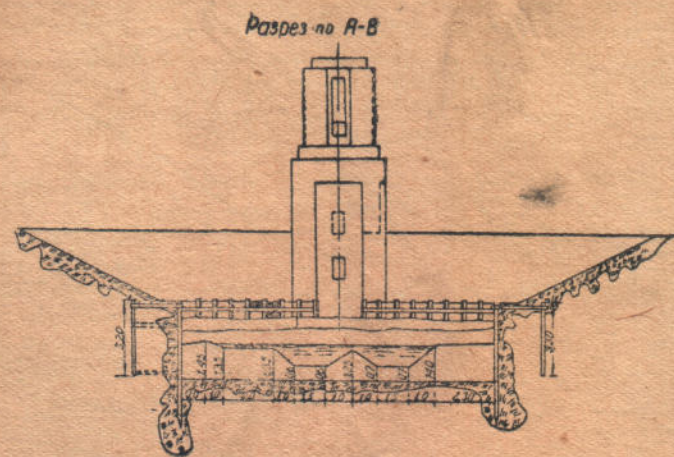
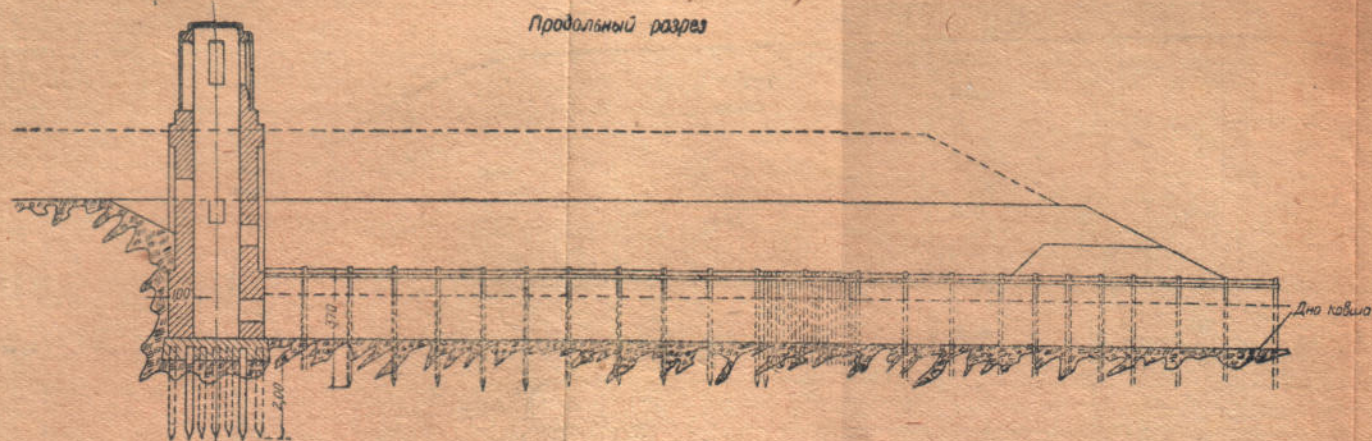


Рис. 4. Шахтинский водоприемный ковш

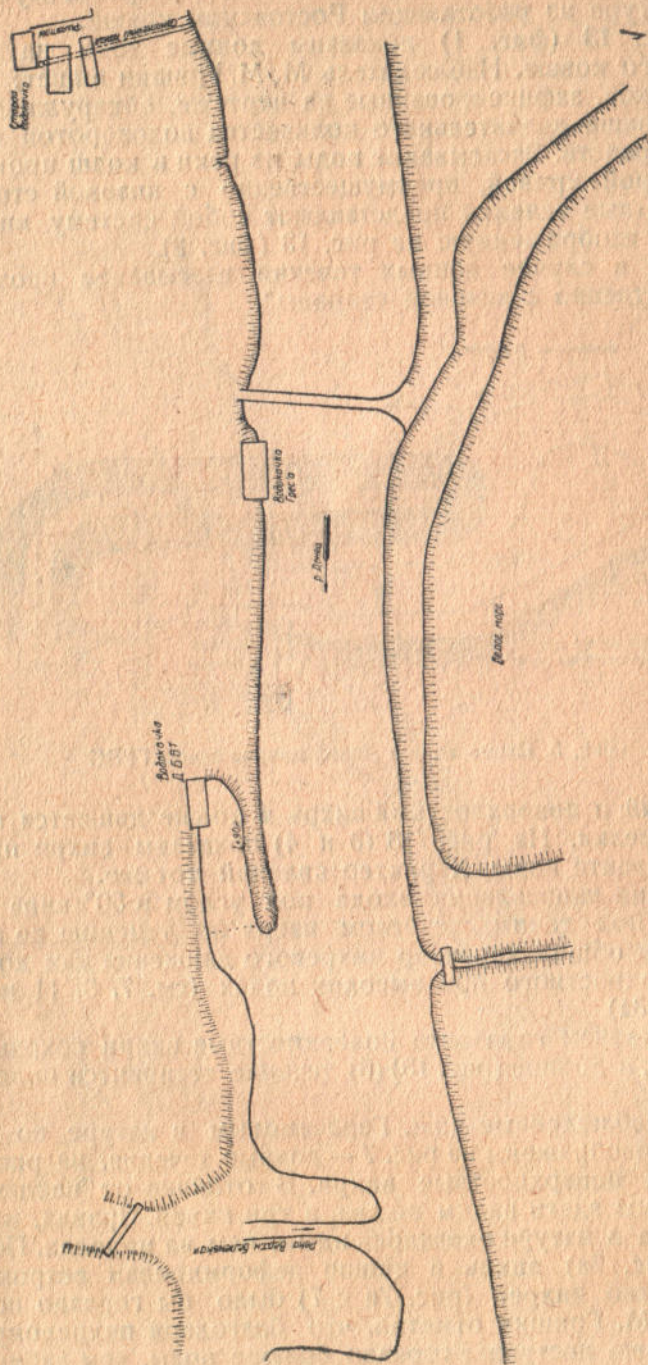


Рис. 3. Водопримник на С. Донце (Дойсода)

давшиеся на модели Ростовского ковша с вихрями, изученными нами в натуре на работающем Ростовском ковше.

На рис. 13 (фиг. 1) показаны донные токи на модели Ростовского ковша. Наблюдатель М. М. Гришин пишет: „Линии донных токов, зафиксированные на чертеже, обнаруживают наличие в ковше значительного количества водоворотов и мертвых пространств. Засасывание воды из реки в ковш происходит по некоторой кривой, преимущественно с низовой стороны“. Поверхностные течения представляют собой систему вихревых движений, изображенную на рис. 13 (фиг. 2).

„Как и в случае донных течений всасывание происходит преимущественно с низовой стороны“.

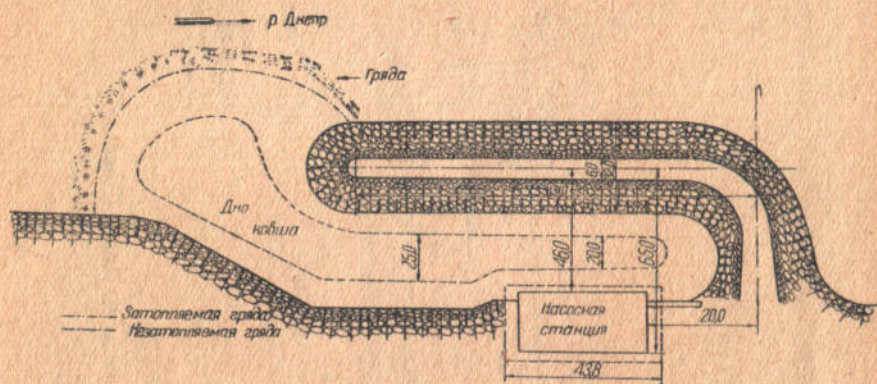


Рис. 5. Схема ковша Днепродзержинской ГРЭС

И донный и поверхностный вихрь в ковше движется против часовой стрелки. На рис. 13 (3 и 4) показаны вихри при высоком горизонте воды. Характер явлений тот же.

Изменения направления входа под углом в 50° вниз по течению или под таким же углом вверх по течению не вносит изменения в общий характер вихревого движения как донного, так и поверхностного при высоких водах (см. 7, 8, 11 и 12 на рис. 13 и 13а).

При меженном горизонте поверхностные вихри сохраняются (рис. 13) (6), а донное (рис. 13) (5) течение становится более прямолинейным.

Вихри, наблюдаемые инж. Герасимовым в натуре во время половодья, изображены на рис. 7 — донные течения, на рис. 7а — изображены поверхностные вихри. В отличие от наблюдений на модели мы здесь видим не два, а три вихря. Правда, и очертание ковша в натуре оказалось иным, чем на моделях. Поверхностный (рис. 7а) вихрь в ковше деформирован ветром. Без ветра сходство вихрей (рис. 7а с 7) было бы гораздо полнее.

Еще М. М. Гришин отметил, что благодаря вихревому движению в ковш поступает гораздо больше воды, чем забирается

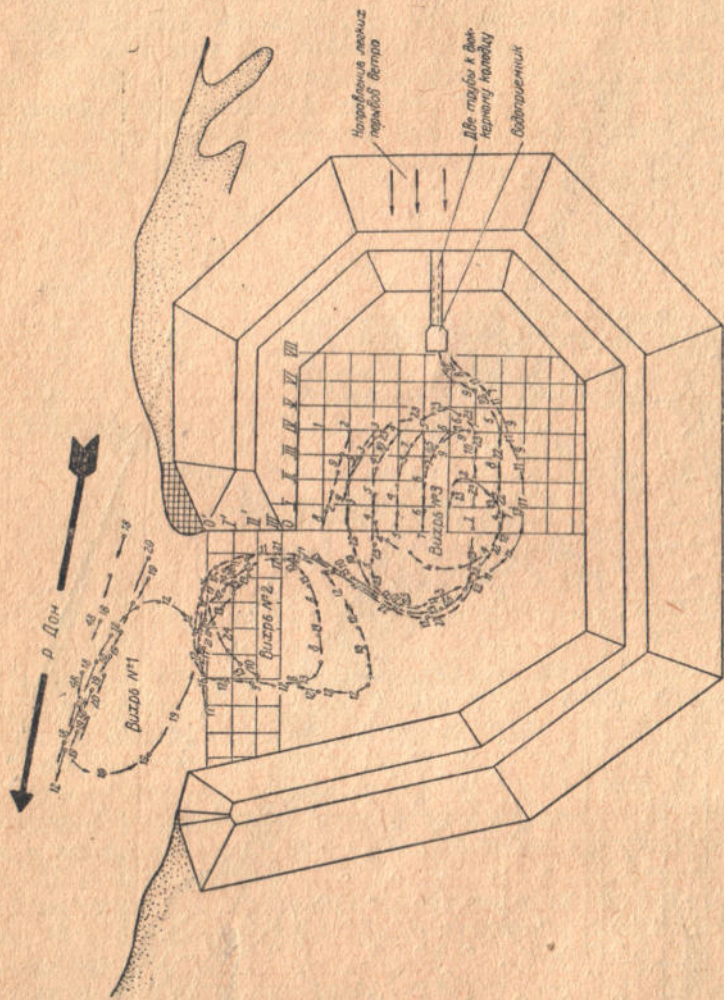


Рис. 7. Наблюдения за работой Ростовского ковша, донные вихри.

12 ← 12 — номера поплавков;

← 12 — величины скоростей в сантиметрах

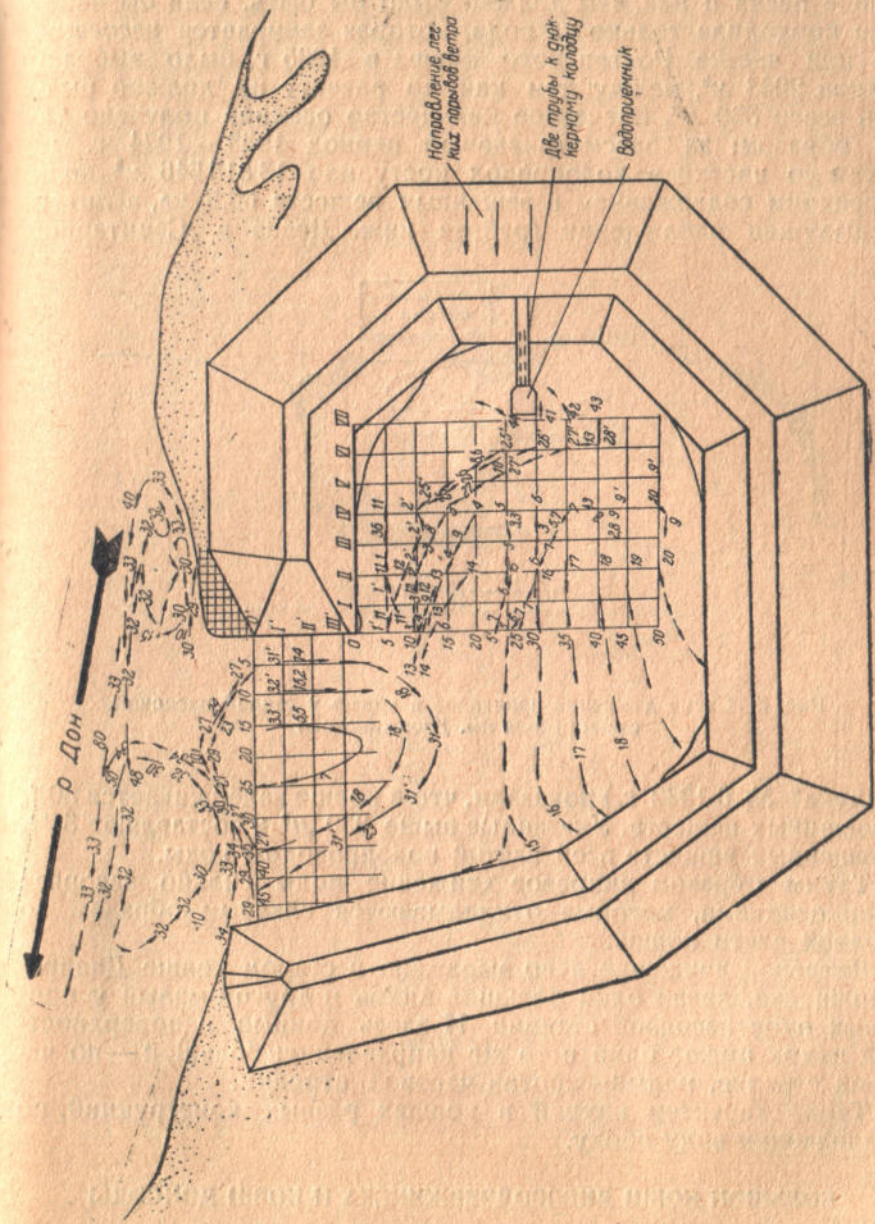


Рис. 7а. Наблюдения за работой Ростовского коша; поверхностные вихри

водопроводом. Большая часть воды, покрутившись в ковше, уходит обратно в реку. Благодаря этому отлагается гораздо больше песка и ила, чем должно было бы быть, если бы через ковш проходила только та вода, которая забирается насосами. Так при чистке Ростовского ковша в 1935 г. было выбрано осадков 2033 м^3 , между тем как по расчету их должно было быть всего 330 м^3 . Расчетное количество осадков получено таким образом: за рассматриваемый период 1933—1934 г. от чистки до чистки в водопровод поступило $13\,815\,546 \text{ м}^3$ воды со средним содержанием взвешенных веществ $66,5 \text{ мг}$, в литре. Предыдущие наблюдения (работа инж. Деева в „Санитарной

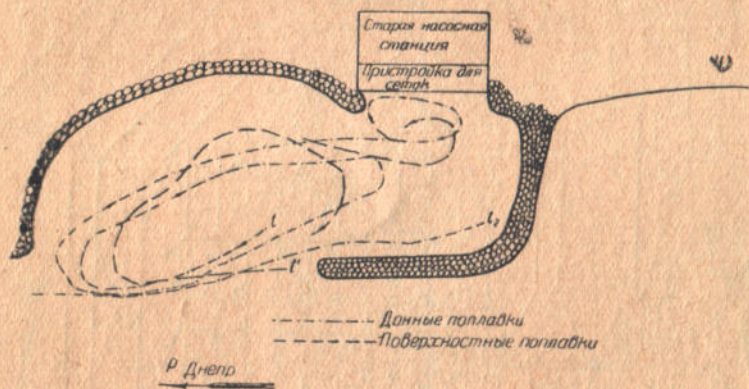


Рис. 8. Схема движения поплавков в ковше у старой насосной станции з-да им. Дзержинского

Технике" № 6 1932 г.) показали, что в ковше задерживается 30% взвешенных веществ. Указанные выше 330 м^3 и составляют 30% взвешенных веществ всей взятой водопроводом воды.

Таким образом вихревое движение воды сильно засоряет ковш осадками, которые откладываются главным образом во входной части ковша.

Вихревое движение ясно выражено в старом ковше Днепро-дзержинска, давая один большой вихрь и другой малый у приемных окон насосной станции. И здесь донный и поверхностный вихрь имеют одно и то же направление: большой — по часовой стрелке, малый — против часовой стрелки.

Таков характер вихрей в ковшах разных конструкций, но получающих воду сбоку.

БОЛЬШОЙ КОВШ ДНЕПРОДЗЕРЖИНСКА И КОВШ ДОНСОДЫ

Оба эти ковша направлены вниз по течению и вода заходит в них, сделав поворот на 180° . В ковше Донсоды этот поворот обходится без заметных вихрей, в то время как в новом

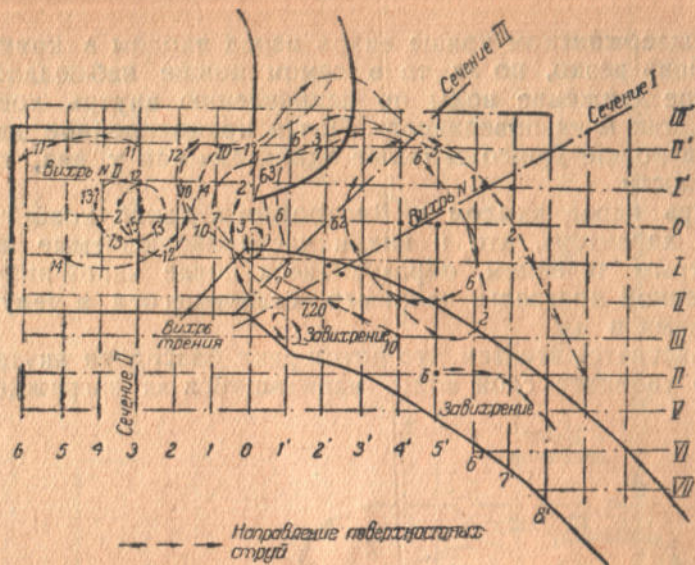


Рис. 9. Схема движения поплавков

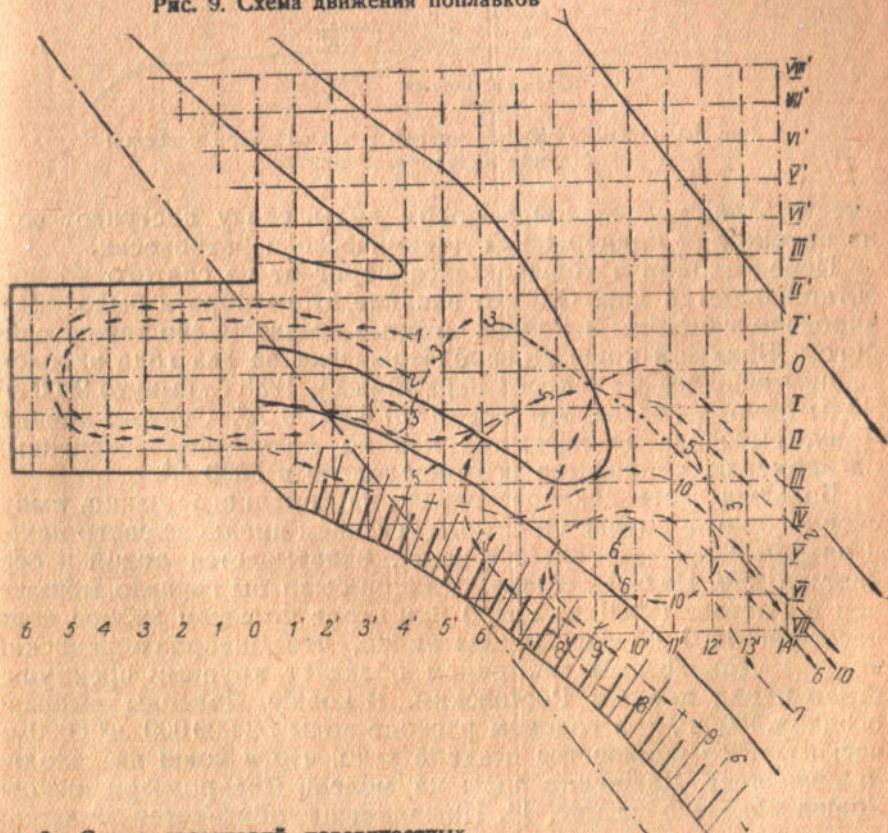


Рис. 9а. Схема траекторий поверхностных струй на модели Киевского ковша

Днепродзержинском ковше вихрь перед входом в ковш выражен очень резко, но за то в самом ковше наблюдалось безвихревое движение воды по направлению внутрь ковша как на дне, так и на поверхности. Почти прямолинейное движение струй в ковше Донсоды также одинаково как у дна, так и на поверхности.

Вихрь перед входом в Днепродзержинский ковш того же самого характера, что и вихри часто наблюдаемые на реках с быстрым течением, образующиеся после какой-нибудь искусственной преграды, например, свалившегося в реку дерева с листьями и пр.

Объясняется это тем, что поток реки благодаря внутреннему трению увлекает слой воды, находящийся за заграждением, а

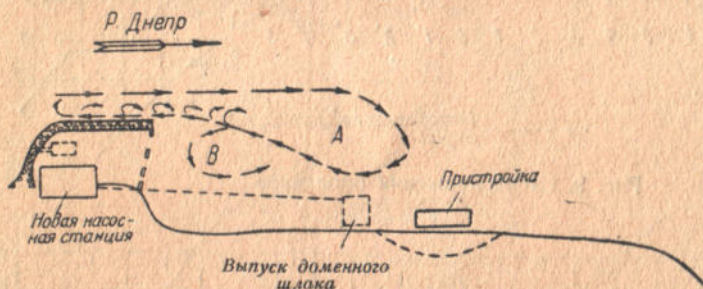


Рис. 10. Схема движения вихрей у ковша новой насосной станции в Днепродзержинске

вместо этой, увлеченной потоком воды, снизу поступает вода из потока для поддержания динамического равновесия.

Перед входом в ковш остался порог от не снятого до проектной отметки дна. Однако влияние этого порога было аннулировано наносами в ковше, которые сравняли дно ковша с порогом. Большой ковш Днепродзержинска за два года эксплуатации очищался от наносов первый раз в 1935 г., вынута 2000 м^3 . Воды пропущено за это время $87\,000\,000 \text{ м}^3$. Осадок, повидимому, вычерпан не весь, так как по подсчетам, основанным на промерах, количество его определено в 3000 м^3 .

Большая часть осадков состоит из доменного шлака, выпускаемого ниже ковша. Обратным течением предковшевого вихря и ветром шлак заносится в ковш, напитывается водой и оседает на дно. Не будь шлака, осадков было бы гораздо меньше, чем в Ростове (2000 м^3 в год) при втрое большем заборе воды насосами 4500 м^3 час. Отсюда видно, что Днепродзержинский ковш с безвихревым движением обладает крупным преимуществом перед ковшем Ростовским. В ковше Донсоды выбрано осадков 400 м^3 , при годовом расходе воды $52\,000\,000 \text{ м}^3$ 6000 м^3 час; из этого количества осадков ясно, что в ковш не заходит лишняя вода. Движение воды на модели Днепродзержинского ковша показано на рис. 14. Ниже ковша образуется большой

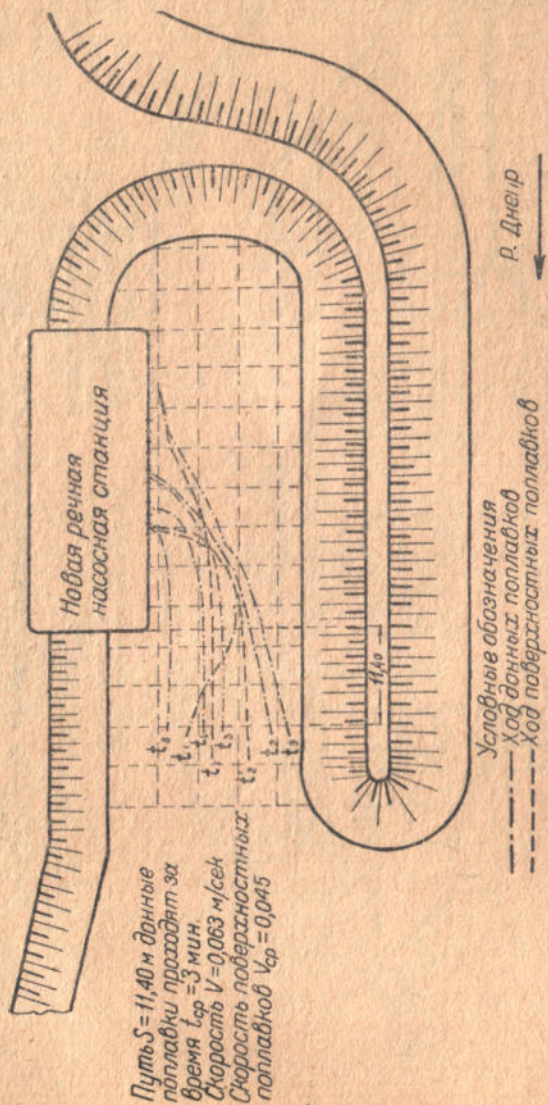


Рис. 11. Наблюдения за характером движения воды в новом ковше Днепролержинского завода

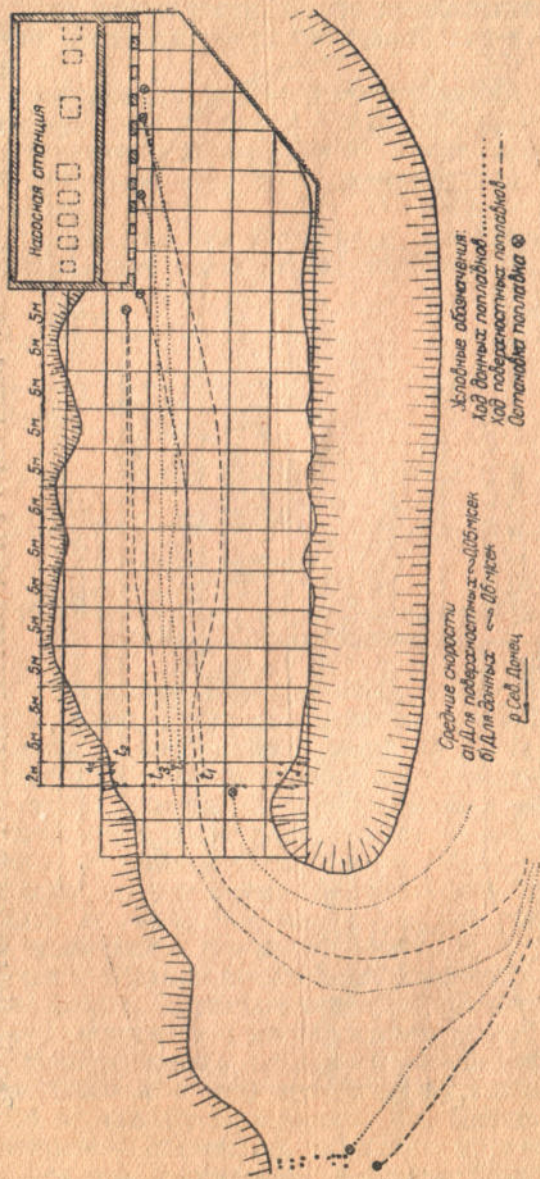


Рис. 12. Схема движения поплавок в ковше на С. Даме

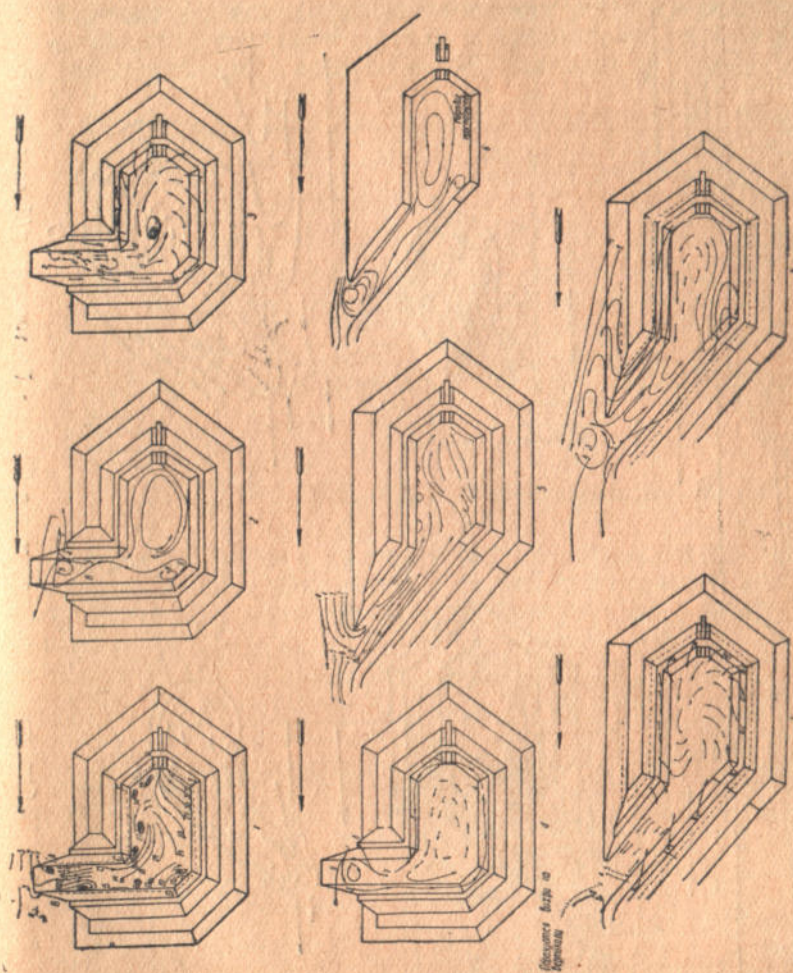
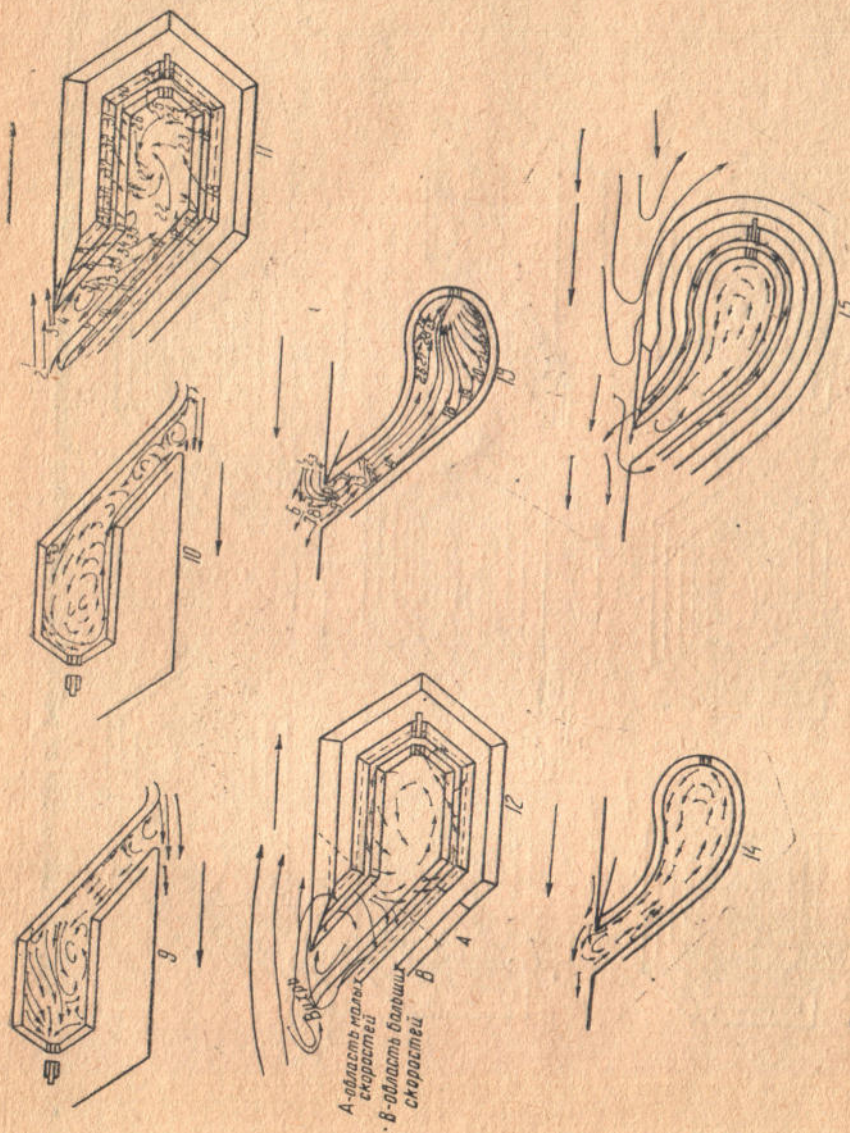


Рис. 13. Наблюдения за работой моделей ковша Ростовского в/Д водопровода



А-область малых скоростей
 В-область больших скоростей

Рис. 13а. Наблюдения за работой моделей ковша Ростовского н/Д водопровода

удлиненный вихрь, как и в натуре, но отдельные струи его заходят в ковш, чего в натуре не наблюдалось.

МОДЕЛЬ КИЕВСКОГО КОВША

Наблюдения над моделью Киевского ковша показали, что и здесь сильно развито вихревое движение; на рис. 9 показаны два поверхностных вихря—один большой у входа в ковш,

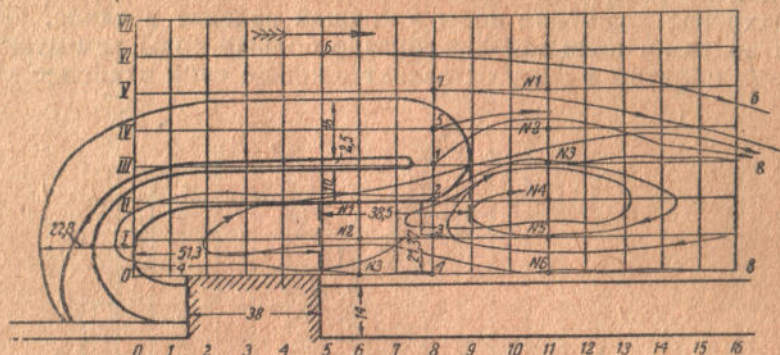


Рис. 14. Испытание модели Днепродзержинского ковша

другой—малый внутри ковша. И здесь донные вихри одного направления с поверхностными. На рис. 9а входной вихрь отогнан ниже благодаря вытянутому устройству входа в ковш.

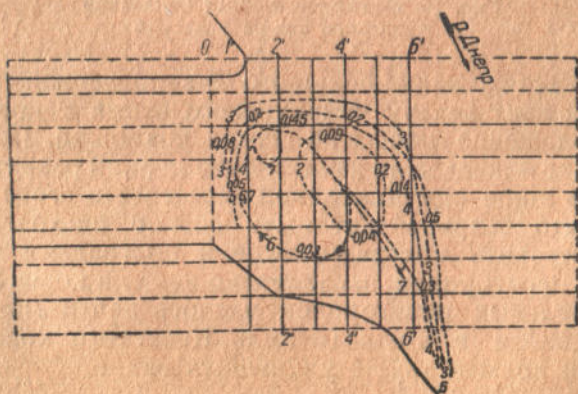


Рис. 15. Движение поверхностных струй у Киевского ковша в натуре

Поверхностные вихри хорошо демонстрируются конфетти или опилками, а донные—вываренным угольным порошком, опилками и краской.

Однако от применения угольного порошка пришлось отказаться, так как выловить его обратно из воды очень трудно. Вихревые явления на модели ковша наблюдались ясно и нигде не было заметно, чтобы поверхностные и донные скорости были направлены в противоположные стороны. Направление вращения вихрей сохранилось сверху до низу.

Киевский ковш выстроен, но еще не работает, наблюдения за движением воды у ковша в натуре произведены инж. Яншиным Н. В. в апреле 1936 г. На рис. 15 показаны поверхностные струи и на рис. 16 донные токи.

Вихревое движение воды в ковшах явление вредное, благодаря вихрям в ковш заходит гораздо больше воды, чем нужно, и выходя обратно в реку оставляет в ковше свои наиболее круп-

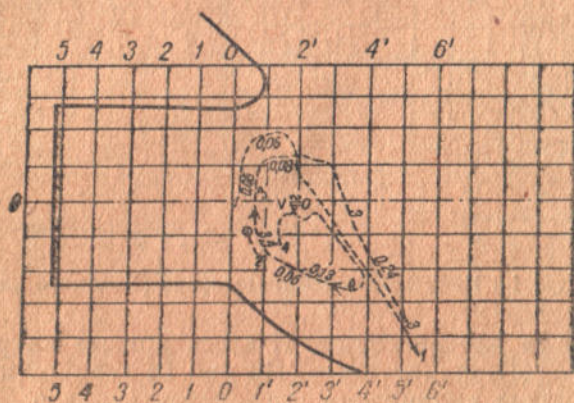


Рис. 16. Движение донных поплавков у Киевского ковша в натуре

ные взвеси. Расположение большого Днепродзержинского ковша как будто решает задачу безвихревого входа в ковш. Однако такое расположение ковша не всегда возможно. Поэтому возникает вопрос — нельзя ли какими-либо мерами разрушить вихрь при входе в ковш или по крайней мере свести его к минимуму. Очевидно, что вихрь может быть сильно ослаблен, если на его пути поставить преграды; такими преградами могут быть продольные перегородки, параллельно входу в ковш. Установкой трех параллельных перегородок удалось почти ликвидировать вихри при входе в ковш (модель Киевского ковша). Узкий вход в ковш должен также уменьшить вихрь.

КОВШ г. СТАЛИНСКА (КУЗНЕЦКА) НА р. ТОМЬ

План ковша показан на рис. 17; линии токов воды нанесены по наблюдениям 1 июня 1935 г. при отметке горизонта воды 192,47 м. На рис. 17 ясно виден большой вихрь при входе в ковш. Далее в ковше идет прямоструйное движение. На рис. 18

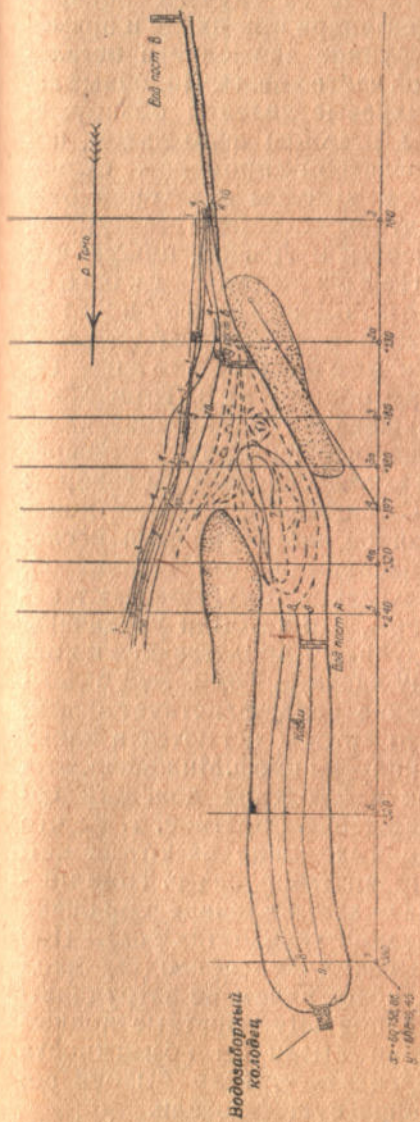


Рис. 17. Направление скоростей течения у ковша г. Сталинска

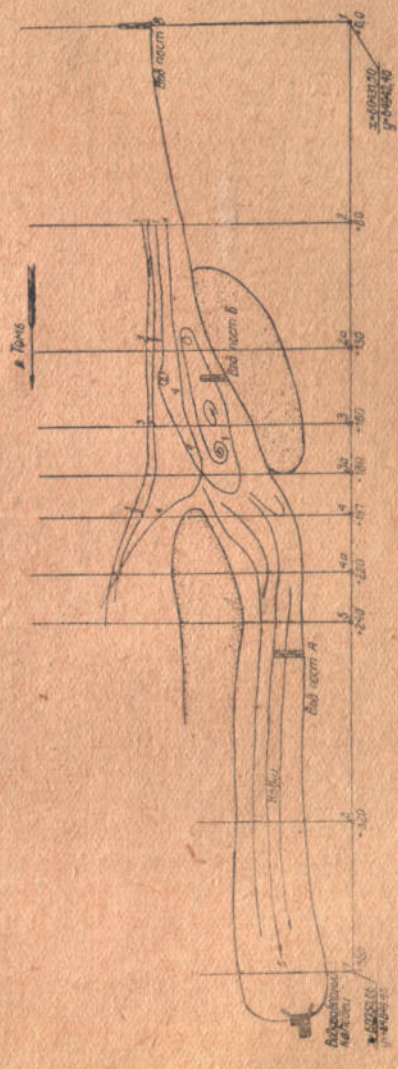


Рис. 18. Направление скоростей течения у ковша г. Сталинска, наблюдавшееся 16 июня 1935 г.

показаны вихри, наблюдавшиеся 16 июня 1935 г. при горизонте воды 191,70 м. На рис. 19 изображено движение струи воды по наблюдениям 10 июля 1935 г. при межennem горизонте воды 190,60 м.

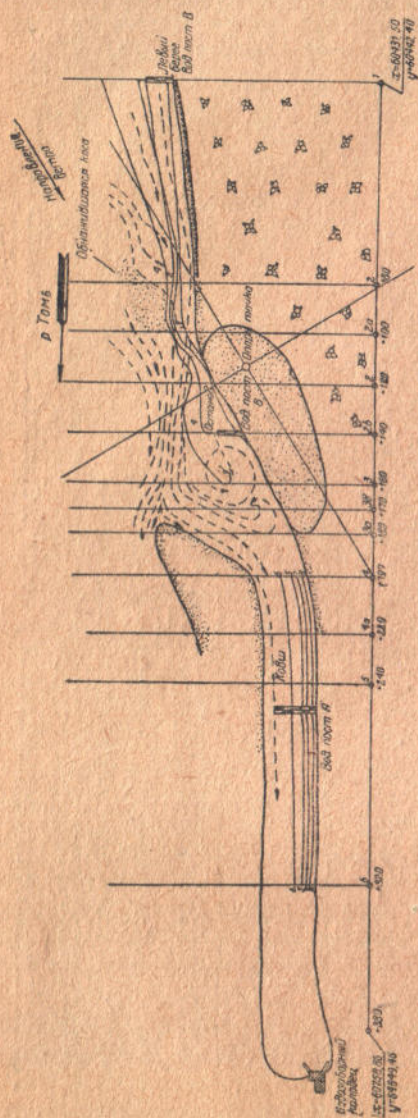


Рис. 19. Направление скоростей течения у ковша г. Сталинска, наблюдавшееся 10 июля 1935 г.

Во всех случаях обнаружен вихрь при входе и струйное движение в остальных частях ковша. Подобные же вихревые явления обнаружены и зимою подо льдом, посредством замеров скоростей в целом ряде прорубей. Авторы отчета, Проскурнин, Нечаев и Леснов, пишут, что „Направление скоростей одинаково в глубине и на поверхности по всей вертикали“. Таким образом на р. Томи обнаружена та же картина явления, что на Дону и Днепре. В заключение авторы говорят: „Самоочищение ковша, доказанное лабораторными исследованиями — отсутствовало“, благодаря тому, поясняют авторы, что не были увеличены глубины в прилегающей к ковшу части р. Томи. Это объяснение свидетельствует о том, что авторы остаются в плену гипотезы проф. Миловича, хотя их наблюдения доказали совершенно обратное, т. е., что донных токов из ковша нет. Прочистка русла р. Томи могла оказать влияние при очень низких горизонтах воды. При высоких же горизонтах вход в ковш ничем не затрудняется, поэтому обратные донные токи имели бы возможность проявиться, если бы они вообще существовали.

Предположение о возможности самоочищения ковша донными токами ошибочно. Скорости движения воды в ковше настолько малы — один - два десятка сантиметров, что ни о каком передвижении донных наносов не может быть и речи.

КОВШ С ДВОЙНЫМ ВХОДОМ

Для выяснения движения воды при входе в ковши, открытые своей входной частью вверх или вниз по течению, была устроена модель, показанная на рис. 20 и 21. Эта модель похожа на модель проф. Миловича при изучении им движения в ковше Дне

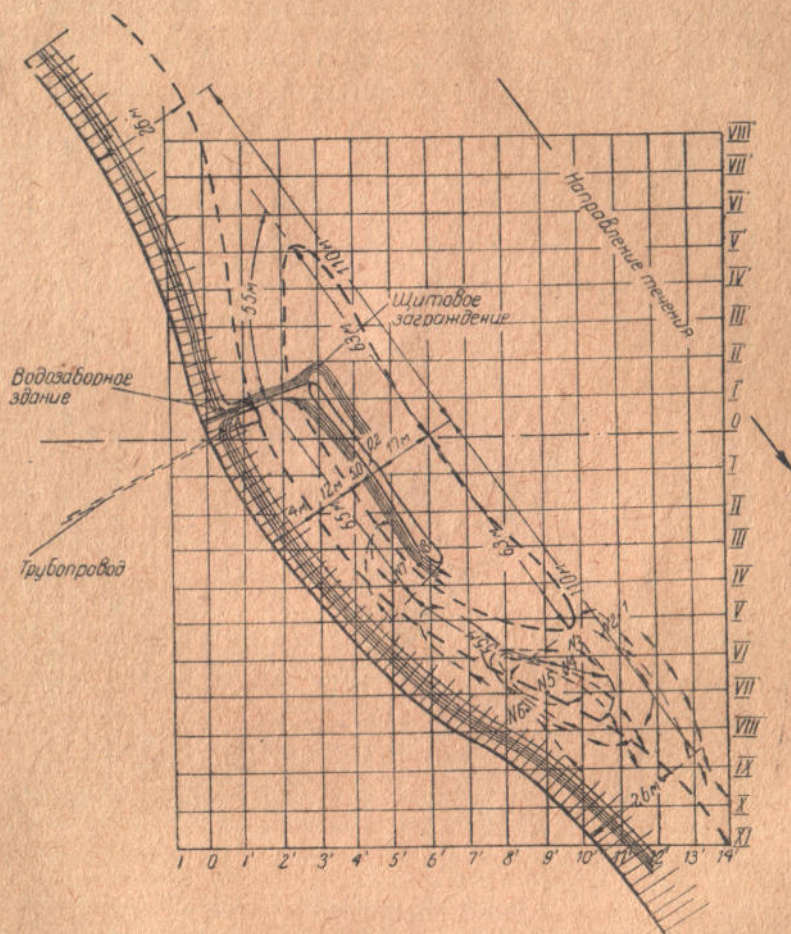


Рис. 20. Лабораторные испытания модели ковша со входом по течению

продзержинской электроцентрали. Путем постановки перегородки забор воды можно было производить по желанию с верхней или с нижней стороны. Как показывают рис. 20 и 21 в обоих случаях вода входит в ковш путем вихревого движения, причем оси вихрей вертикальны и скорости поверхностные и донные имеют одно направление.

Ковши резко отличаются от отводных (деривационных) каналов. Скорости в отводных каналах мало отличаются от скоростей в реке. Скорость же входа в ковши в 10 раз меньше скоростей в реке. Большая скорость речного потока почти целиком гасится при входе в ковш — это и выполняется вихре-

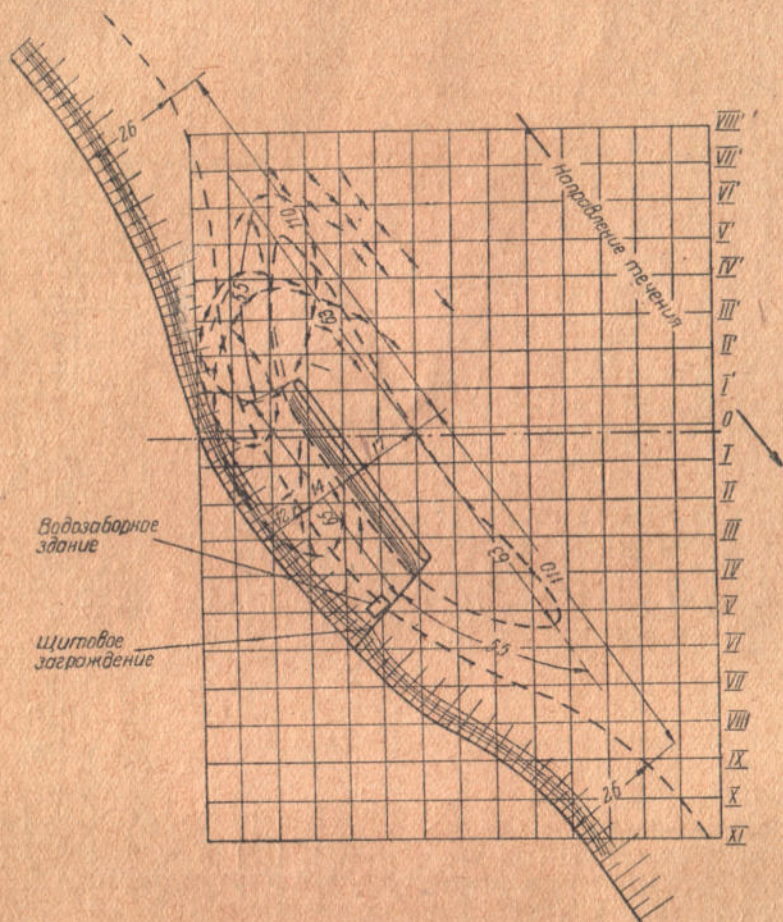


Рис. 21. Лабораторные испытания модели ковша со входом против течения

выми движениями. Вихря не обнаружено только при входе в ковш Донсоды, но это происходит потому, что здесь нечего гасить, скорость в реке такая же, как и скорость в ковше.

ШУГА И ДОННЫЕ ЛЕД

Вихревые движения в ковшах вредны не только потому, что в несколько раз увеличивают количество осадков в ковше, но

и потому также, что вводят в ковш большое количество шуги, и часть этой избыточной шуги может задержаться в ковше и попасть в водоприемник. Ростовские водоприемные трубы однажды уже были забиты шугой, несмотря на ковш. Решетки водоприемных отверстий также иногда забиваются шугой. Просветы в решетках малы, всего лишь 3—4 см. Чтобы решетки не мешали работе водопровода, их (в Ростове) перед ходом шуги вынимают и окна остаются во время шугохода без решеток. В ковше Донсоды ледовых затруднений не было. За три зимы не было также затруднений и в ковше новой станции Днепродзержинска.

Шуга и донный лед могут образоваться и в самом ковше, особенно если сильные ветры мешают образованию ледяного покрова, но главная масса шуги заходит в ковш из реки. Шуга идет в реке на разных глубинах, иногда занимая почти все живое сечение речного потока.

Наблюдения в Сталинске на р. Томи показали, что шуга, заходя в ковш, жокрытый льдом, всплывает и собирается под льдом на толщину до 1 м. Внутри ковша шуга заходила не далее 8—10 м.

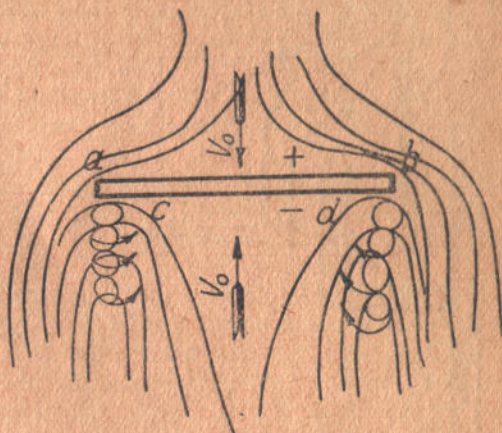


Рис. 22

ВОЗРАЖЕНИЯ проф. МИЛОВИЧА

Настоящая статья вместе с отчетами об опытах на моделях и наблюдениях в натуре была послана проф. Миловичу. Приводим выдержку из ответного письма проф. Миловича.

„Относительно же содержания присланного Вами материала могу сообщить кратко нижеследующее:

1) форма движения жидкости не зависит от абсолютной величины скоростей;

2) ввиду того, что отбор воды из ковшей весьма мал сравнительно с массой набегающей на ковш жидкости, явление движения жидкости в ковше и возле него ближе всего подобно явлению обтекания тела жидкостью;

3) при обтекании тела жидкостью (рис. 22) на передней плоскости набегающий поток жидкости потеряет всю начальную скорость и давление здесь поднимается на $+\frac{v^2}{2g}$.

С обратной стороны обтекаемое тело будет под-
сасывать жидкость с той же скоростью и давление
здесь падет на $-\frac{v^2}{2g}$.

4) При обтекании тела жидкостью от краев тела *a* и *b* от-
ходит непрерывная система вихрей, образующая далее „вихре-
вую дорогу Кармана“.

Эти вихри не уничтожают подсосывающего действия задней
поверхности тела, а сами создаются
за счет эффекта подсосывания;

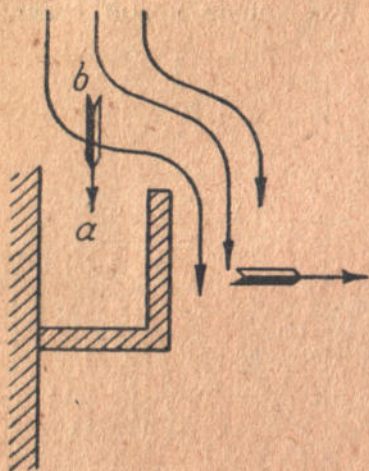


Рис. 23

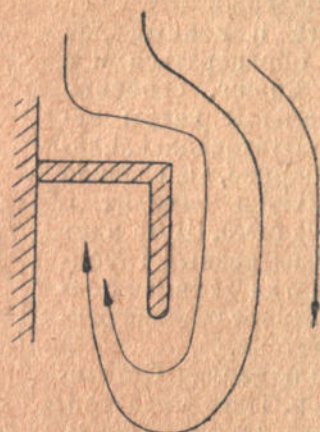


Рис. 24

5) повышенное давление на передней поверхности обтекае-
мого тела *ab* поведет к размыву и удалению грунта перед
ней и питанию этой области пространства верхними слоями
потока.

Пониженное давление на задней поверхности тела поведет к
завосу этой области грунтом и питанию нижними слоями потока.

6) На основании изложенного, а не по „гипотезе“ проф.
Милович рекомендует при устройстве ковшей водоприемников
вход в ковш, во избежание его заноса, открывать всегда только
с верховой стороны (рис. 23), заставляя тем самым речной поток
набегать на этот вход и этим подымать давление во всем ковше.

7) К сожалению, до сих пор большинство инженеров не нахо-
дится „в плену у гипотезы Миловича“ и устраивают ковш
неправильно (рис. 24), открывая вход в ковш с низовой
стороны, почему, естественно, получают эффект подсосывания,
сопровождаемый вихрями, отходящими от кромки верховой
стенки.

Ибо во всем полученном мною от Вас материале я вижу
вариации только этой неправильной конструкции ков-
шей. А по приводимым данным опыта все эти ковши заносятся

и питаются нижними слоями потока. Последнее, я полагаю, подтверждает, а не противоречит правильности взглядов проф. Миловича".

Как видно из этого письма, в основу своих взглядов на движение воды в ковше проф. Милович ставит аналогию с явлением обтекания тела жидкостью. На основании этой аналогии проф. Милович дает картину обтекания ковшей при двух противоположных направлениях входа в ковш (рис. 23 и 24). Но эта картина, основанная на предположении проф. Миловича, противоречит нашим не предположениям, а реальным опытам и наблюдениям.

На рис. 23 показано движение воды у ковша со входом по течению. Стрелка *ав* указывает прямолинейное движение воды в ковш. В действительности этого нет, здесь образуется вихрь с вертикальной осью и с одинаковым направлением струй по всей глубине. Картина вихря, наблюдавшегося на модели, дана на рис. 21.

Разница между эскизом проф. Миловича (рис. 23) и моделью (рис. 21) заключается только в том, что линия берега и уреза воды, изображенная на рис. 21, не прямая, а немного изогнута; но это, конечно, не меняет дела.

Движение воды, изображенное на рис. 24, наблюдалось на ковше Донсоды рис. 12, где скорость в реке и в ковше почти одинакова. На ковше же Дзержинского завода, где скорость в ковше в 10 раз меньше скорости в реке, перед входом в ковш образовался вихрь, изображенный на рис. 10. В моделях рис. 14 и 20 перед входом образуются также большие вихри с заходом некоторых струй в ковш. Движение же в ковше происходит не в два яруса, а одним потоком по всей глубине.

Из приведенных фактов мы имеем все основания утверждать, что гипотеза проф. Миловича опровергнута опытами и наблюдениями. Движение в ковшах совершается так, как оно изложено в настоящей статье.

В журнале „Водоснабжение и Сантехника“ № 6, за 1936 г. появилась статья проф. В. Я. Альтберга и Л. Я. Можейко, излагающая математическую обработку Ф. Н. Софроновым гипотезы проф. Миловича. Математически обработать можно любое предположение, а следовательно, и предположение Миловича, но реального значения такая работа не имеет, так как она оперирует с несуществующими явлениями. В упомянутой статье интересны только наблюдения за движением шуги на опытных участках р. Ангары.

КРЫТЫЙ КОВШ

Река Днепр часто несет много шуги перед ледоставом, бывает, что половина или даже большая часть живого сечения реки занята шугой. Это обстоятельство заставило запроектировать для Киевского водопровода ковш-водоприемник.

Чтобы избавить насосы от песка, ковш должен в то же время служить и песколовкой, а это связано с необходимостью оградить ковш валом такой высоты, чтобы он препятствовал проходу высших весенних вод и, что самое дорогое, укрепить этот вал так, чтобы в половодье его не размыло. Смета на устройство такого ковша для Киевского водопровода оказалась в 1700 000 руб. Пытаясь уменьшить стоимость ковша, я пришел к выводу перекрыть ковш на уровне существующего берега. Во время половодья вода будет выше перекрытия на 3—4 м. Подсчет стоимости такого ковша показал, что он обойдется всего лишь в 700 000 руб.

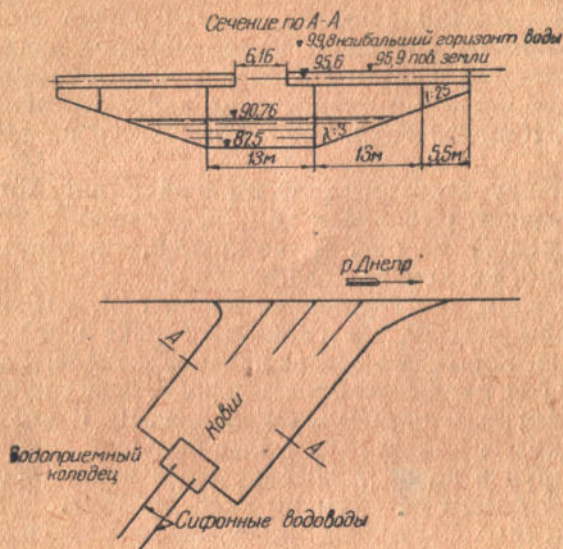


Рис. 25

Таким образом экономия оказалась в 1 000 000 руб. В настоящее время постройка ковша уже закончена. Эскиз ковша показан на рис. 25.

Преимущество крытого ковша заключается не только в его дешевизне, но и в том, что он дает лучшую защиту от донного льда и шуги, чем открытый ковш. Перекрытие защитит воду в ковше от переохлаждения, поэтому ни донный лед, ни шуга в ковше образоваться не могут. Донный лед и шуга одинаково образуются как в текучих, так и в спокойных водах до образования ледяного покрова. Только ледяной покров прекращает переохлаждение воды и образование донного льда. Такую же защитную роль выполняет и перекрытие и этим устраняет возможность образования донного льда и шуги и до образования ледяного покрова в ковше.

Занос шуги в ковш из реки будет, конечно, иметь место, шуга пойдет на образование ледяного покрова, а после этого она будет скопляться под льдом. При устранении вихрей пере-

городками занос шуги в ковш сильно уменьшится, продольные перегородки показаны на рис. 25. При узком входе в ковш вихри будут почти устранены, но проход землесоса затруднится.

КОВШИ В ЗАГРАНИЧНОЙ ПРАКТИКЕ

В заграничной практике применение ковшей для забора воды почти неизвестно. В Германии и Франции господствующую роль играют подземные источники. Речное водоснабжение развито слабо, кроме того, благодаря мягкому климату, речные водозаборы, повидимому, работают зимой исправно.

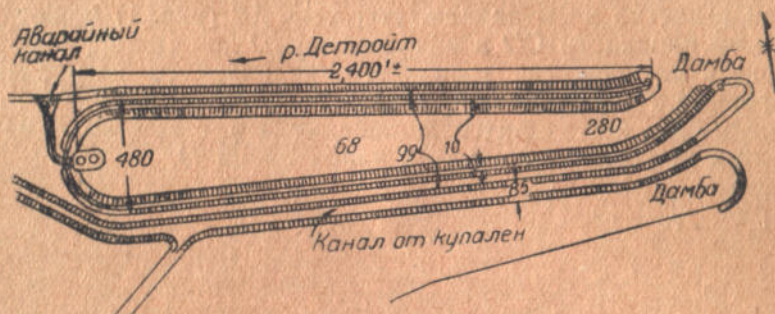


Рис. 26. План ковша на острове Бель-Иль р. Детройт

Климатические условия северных штатов США похожи на наши и большое развитие речного водоснабжения сопровождается, как и у нас, появлением время от времени значительных ледовых затруднений. Однако ковш, как средство борьбы с донным льдом и шугою, в Америке до сих пор почти не нашел себе применения.

Известен только один случай постройки ковша для забора воды в г. Детройте. На рис. 26 показан план ковша, расположенного на острове Бель-Иль р. Детройт.

ЗАЩЕМЛЕНИЕ ТРУБ В ЗЕМЛЕ

Как известно из механики, стержень AB (рис. 1) может двигаться по плоскости CD в направлении D до тех пор, пока угол наклона α меньше угла трения φ , определяемого из уравнения $f = \operatorname{tg} \varphi$, где f коэффициент трения.

Когда угол α становится больше угла φ , стержень A нельзя никакими усилиями сдвинуть в направлении D .

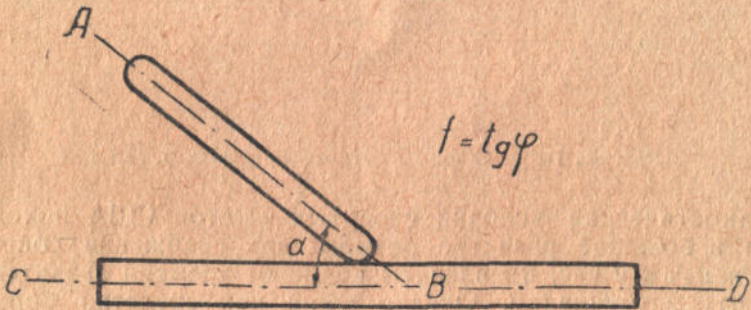


Рис. 1

То же явление получается и со стержнем KL (рис. 2). Вставленный между двумя вращающимися на шарнирах P и P_1 пластинками PQ и P_1Q_1 стержень только в том случае может двигаться вниз по стрелке, если угол α меньше угла трения φ . Если же угол α больше угла φ , то никакие усилия не могут передвинуть стержень KL вниз. Вверх он будет двигаться свободно. При очень больших усилиях все это устройство может быть сломано, но сдвинуть стержень KL вниз нельзя. Стержень KL будет защемлен между пластинками PQ и P_1Q_1 .

Такое же защемление трубы может быть произведено и грунтом. Это защемление должно препятствовать передвижению трубы от температурных изменений, причем в земле защемление будет двусторонним. При попытках движения в сторону стрелки (рис. 3) в грунте образуются напряжения по линиям ab , а при обратном движении по линиям cd .

Явление защемления легко наблюдать над трамвайными рельсами. Железнодорожные рельсы лежат открыто и потому под-

вержены передвижениям от температурных колебаний, для этой цели между рельсами оставляются зазоры, и железнодорожные рельсы нельзя поэтому сваривать в непрерывную линию. Рельсы же трамвайные заложены в мостовую и так заземлены в ней, что движение их невозможно, поэтому трамвайные рельсы свариваются в сплошные линии неопределенной длины.

Такое же заземление должно происходить и с трубами, уложенными в землю, после того как засыпанный грунт плотно сляжется вокруг трубы.

Конечно прочность грунта во много раз меньше прочности твердых тел, поэтому разрушение грунтового заземления произойдет при гораздо меньших усилиях, хотя большие размеры заземляющего грунта отчасти возмещают его малую прочность.

При раскопках старых труб обнаруживается, что трубы как бы срослись с землей, которая плотно пристаёт к ним. Это явление ясно видно на прилагаемом рис. 4, изображающем вынутую из земли трубу, пролежавшую 106 лет (в Филадельфии). Но такое же самое явление автору приходилось наблюдать при раскопках труб, пролежавших 30 лет в Харькове. Срастающиеся трубы с грунтом свидетельствует, несомненно, о том, что труба лежит в

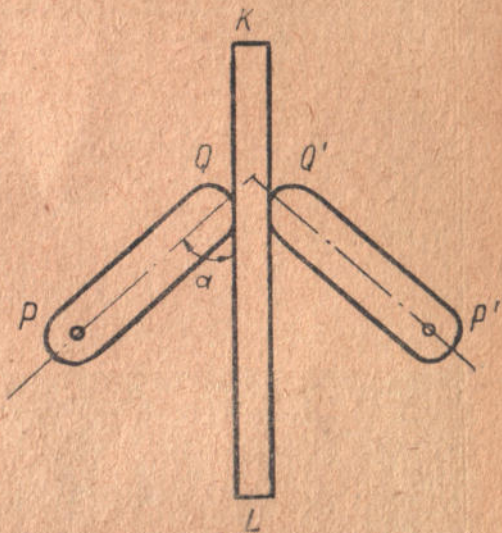


Рис. 2

земле неподвижно. Между тем при колебании t° водопроводной воды от 0 до $25^\circ 4$ м чугунная труба должна передвигаться на $0,000011 \times 25 \times 4$ на $1,1$ мм. Такое передвижение должно было бы создать ясную поверхность раздела между трубой и грунтом. Кроме того такое передвижение должно было бы расстраивать стыки, в особенности цементные.

Непосредственные наблюдения над движением труб в земле, насколько нам известно, были произведены в Германии. Приборы, поставленные около компенсаторов, не обнаружили никакого движения сварного газопровода при колебаниях температуры. Применявшийся при этом прибор указан на рис. 5. (Gas und Wasserfach 19).

Наши наблюдения над передвижением сварных труб показали, что передвижение труб происходит. Но все случаи наших наблюдений относятся к трубам недавно (1—3 г.) уложенным в землю. Первое время после засыпки труб землю никакого

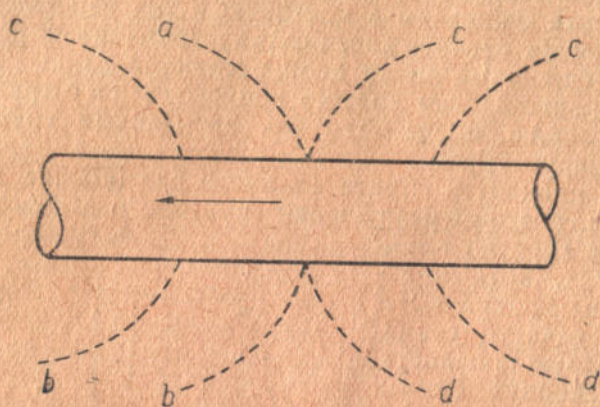


Рис. 3

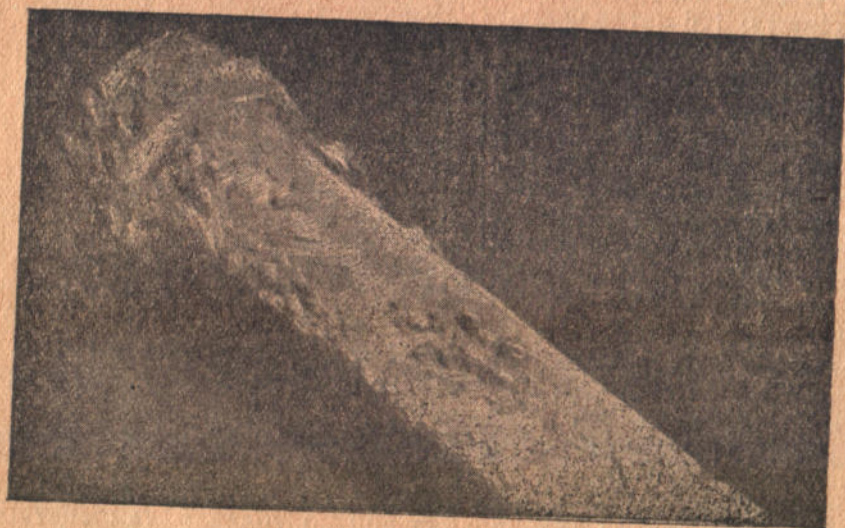


Рис. 4

защемления не наблюдается. Очевидно, что оно должно создаваться по мере уплотнения грунта вокруг трубы. Разные грунты при этом, очевидно, требуют разных сроков для уплотнения.

Изучение этого явления требует долговременных и многочисленных наблюдений или постановки длительных и дорогих опытов.

В связи с вопросом о защемлении труб, интересно отметить статью в „Le génie civil“, 1932 г., № 1, где автор указывает, что во Франции лежат многие тысячи километров чугунных труб, соединенных болтами или клиньями на резиновых или картонных прокладках. Железные болты и клинья давно проржавели, но трубы продолжают непрерывно нести свою службу и не дают течи. Автор объясняет это первоначальным сжатием при укладке труб, которое продолжает неизменно сохраняться. Однако, такое объяснение недостаточно. Можно считать, что все трубы укладывались летом и часть из них в самое жаркое время года. После уничтожения болтов ржавчиной трубы должны были бы начать передвигаться под влиянием охлаждения (зимой) и давать течь в стыках. Если тем не менее трубы продолжают работать исправно, значит они не двигаются и удерживает их от передвижения — защемление грунтом.

То же самое нужно сказать и о старых английских трубах с заточенным конически холостым концом и раструбом. Такие трубы укладывались без всякой заделки стыка. Дело ограничивалось просто вставкой холостого конца в раструб с некоторым нажатием ударами кувалды.

При изучении этого вопроса предполагалось испытать защемление трубы в земле путем выдергивания уложенной трубы. Эту пробу надо было произвести на старой трубе, пролежавшей в земле десяток лет. К сожалению, за истекший год в практике Харьковского водопровода не было случая выкапывания старых труб, поэтому и опыт не мог быть произведен.

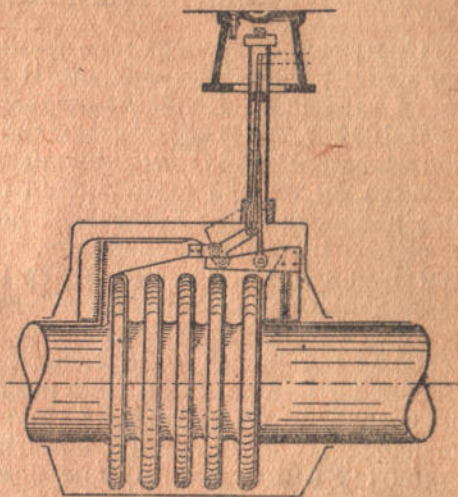


Рис. 5

АВАРИИ СВАРНЫХ ВОДОВОДОВ, ИХ ПРИЧИНЫ И СПОСОБЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ

Построенные в последнее время сварные трубопроводы терпят большое количество аварий. В качестве примера можно привести данные по Донбассводтресту за 1934 и 1935 гг.

В 1934 г. на сварных водоводах Донбассводтреста общим протяжением в 341 км имели место 122 аварии. Примерно столько же аварий было в 1935 г.¹ Недодача или полный перерыв в подаче воды заставляет потребляющие ее заводы питать свои агрегаты грязной водой, что ведет к их порче, либо к полной остановке на время перерыва в подаче воды, кроме того ликвидация самих аварий требует затраты средств.

Средняя продолжительность ликвидации одной аварии на сварных водоводах Донбассводтреста составляла в 1934 и 1935 гг. 7-8 часов. Все аварии можно разделить на 4 группы: 1) трещины по сварке, 2) выдавливание свинца из раструбов стыков, предназначенных играть роль компенсаторов, 3) разрывы чугунных задвижек и полные разрывы сварных стыков с расхождением концов водовода, 4) различные аварии, происходящие от плохого качества труб, трещины вдоль трубы, свищи и т. д.

Основное количество аварий произошло по причинам: трещин по сварке, полных разрывов стыков, выдавливания свинца и разрыва задвижек. Так, например, из 122 аварий в 1934 г. на водоводах Донбассводтреста 67% приходится на трещины по сварке и разрывы и 31% на выдавливание свинцовых стыков.

ВОДОВОД ХАРЬКОВСКОГО ТРАКТОРНОГО ЗАВОДА

Некоторые водоводы, например, водовод Харьковского тракторного завода, имели большое количество аварий, вследствие разрыва задвижек, не отделенных от водовода компенсаторами. Водовод этот имеет длину около 14 км, из них 12 км железных труб $d = 300$ мм. На всем протяжении сварного водовода установлено 15 задвижек. Постройка водовода началась осенью 1930 г. и закончилась осенью 1931 г. После укладки водовод был испытан на давление 20—30 атм. На всем протяжении водовода не было ни одного компенсатора как на линии, так и возле задвижек. Еще до начала пуска воды на водоводе было разорвано несколько задвижек, а при пробных пусках аварии

¹ На чугунных водоводах Донбассводтреста, протяжением около 460 км, в 1934 году было около 320 аварий, а за первые три квартала 1935 г. 208 аварий.

с задвижками и трубами усилились. Задвижки разрывало либо по корпусу (рис. 1), либо отрывало один из фланцев (рис. 2).

Аварии ликвидировались заменой разорванной задвижки куском железной трубы с фланцами с двух сторон, или вставлялись опять задвижки. В некоторых местах задвижки рвало по 3—4 раза.

С 1931 г. по 1934 г. на водоводе Харьковского тракторного завода было 30 аварий, из которых 20 приходится на задвижки и 10 на разрывы стыков водовода.

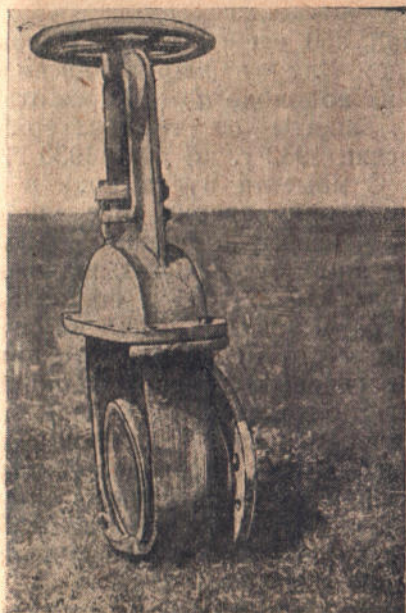


Рис. 1

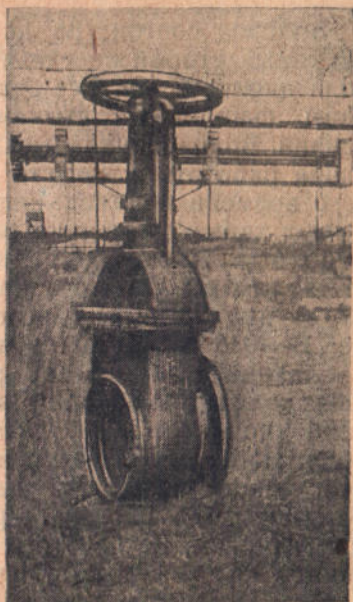


Рис. 2

С течением времени количество аварий постепенно уменьшалось, так в 1931 г. было 20 аварий, в 1932 г.—8, в 1933 г.—4, в 1934 г.—2 и в 1935 г. не было ни одной аварии. Все 20 аварий 1931 г. произошли осенью и в начале зимы.

Отсутствие аварий в 1935 г. на водоводе можно объяснить тем, что многие задвижки заменены трубами, оставшиеся же задвижки вставлялись в водовод после аварии, т. е. после того, как водовод сжался от охлаждения и поэтому последующие охлаждения водовода (зимою) не вызывают разрывающих усилий в корпусе задвижки. Летом же при повышении температуры водовода, задвижки испытывают сжимающие усилия, хорошо выдерживаемые чугуном.

Таким образом задвижки, поставленные в холодное время года, не боятся температурных напряжений. Однако этот способ

не может быть рекомендован, так как задвижку, поставленную на водовод в то время, когда он находится в сжатом состоянии, трудно будет вынуть летом (для ремонта), так как она будет зажата температурными усилиями водовода. Если же даже удастся вынуть задвижку, то концы водовода сейчас же сблизятся и для того, чтобы ее поставить на место, придется отрезать кусок трубы. Зимой же эта задвижка будет разорвана усилиями сжатия водовода.

МАКЕЕВСКИЙ ВОДОВОД

Водовод состоит из двух линий 350 мм и 600 мм. Первый чугунный, второй железный—сварной. Длина каждой линии водовода около 23 км. Все задвижки на водоводе $d = 600$ мм отделены свинцовыми стыками для защиты от температурных усилий. Водовод укладывался с осени 1932 г. по май 1933 г. и начал работать в августе 1933 г. С момента пуска воды и до сего времени водовод непрерывно терпит аварии. Все аварии имеют характер трещин или полных разрывов сварных стыков, либо выдавливания свинца из стыков, отделяющих задвижки от водовода. Общее количество аварий за 1934 г. составляло 25, из них 23 аварии вследствие разрывов и трещин на сварке. В 1935 г. на водоводе имело место 31 авария (трещины на сварке или полные разрывы сварных стыков). Наибольшее количество аварий в 1935 г. приходится на ноябрь, что ясно указывает на их связь с температурными усилиями водовода. Наблюдения над свинцовыми стыками водовода показали, что концы водовода под действием температурных усилий „играют“, что приводит к расстройству стыков, а следовательно и к авариям. Кроме того значительную роль в выдавливании свинца из этих стыков играют гидравлические удары.

Стыки расстраиваются еще по той причине, что в местах, где устроены переключения на водоводе, имеются целые узлы фасонных частей, отделенные от водовода с двух сторон свинцовыми стыками. Вследствие этого при закрытии задвижки, во время переключения, весь этот узел, гидростатическим давлением на закрытую задвижку сдвигается в сторону, что ведет к расстройству свинцового стыка. Ликвидация аварий производится сваркой образовавшихся трещин или разрывов. При большом расхождении концов водовода один из них срезают, вставляют железный патрубок и затем приваривают к водоводу. Иногда на трещину накладывают разъемную муфту, которая затем зачеканивается свинцом.

НАБЛЮДЕНИЯ НАД ПЕРЕДВИЖЕНИЕМ ТРУБ В ЗЕМЛЕ

Для выяснения вопроса, на какой длине от свободного конца происходит передвижение труб в земле под влиянием температурных усилий, а также для выяснения величины этого пере-

движения, были произведены наблюдения над передвижением труб на Донецком водопроводе, и на водоводе Харьковского тракторного завода. Наблюдения производились при помощи специально сконструированных для этого приборов, установленных на Донецком водопроводе на свинцовых стыках-компенсаторах, отделяющих задвижки от водовода, а на ХТЗ — в месте соединения железного и чугунного водовода. На ХТЗ наблюдения велись весной 1935 г., а на Донецком водопроводе в течение осени, зимы и весны 1935-1936 гг. Водовод Донецкого водопровода и настоящее время еще не работает, вследствие чего темпера-

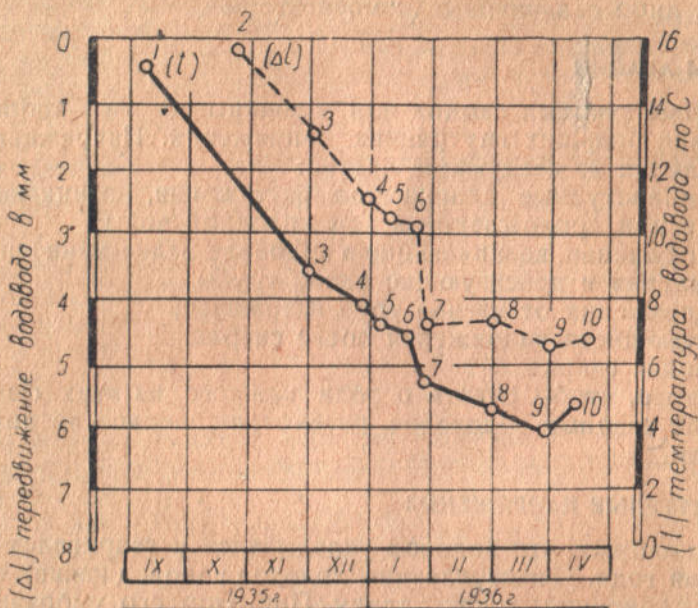


Рис. 3

тура его следует за температурой земли. Наблюдения показали, что концы как того, так и другого водовода передвигаются вслед за изменением температуры. Передвижение водовода ХТЗ составляло 0,14 мм на 1°C . Передвижение водовода Донецкого водопровода составляет в среднем 0,35 мм на 1°C , т. е. в 2,5 раза больше. Разницу передвижений этих двух водоводов можно объяснить либо увеличением коэффициента трения грунта о трубу, либо частичным защемлением водовода ХТЗ.

В результате наблюдений были построены графики, один из которых приведен на рис. 3.

На основании сказанного можно установить, что:

1) величина передвижения свободных концов водовода зависит от изменений его температуры и следует за ней, но эта величина может колебаться в зависимости от характера грунта, его влажности и прочих обстоятельств, определяющих коэффи-

циент трения, а также и от возможного защемления труб. Недостаточность наблюдений не дает возможности осветить это явление более подробно¹;

2) наблюдения над водоводом ХТЗ² показали, что движение труб не прекратилось и после четырех лет эксплуатации, хотя размеры передвижения по видимому уменьшились;

3) чугунные задвижки на водоводе должны обязательно отделяться от водовода компенсаторами, при чем свинцовые стыки для этой цели не годятся, вследствие их расстройства температурными передвижениями труб. Следует применять либо стыки „Жибо“, либо сальниковые компенсаторы³.

ПРИЧИНЫ АВАРИЙ

Разрывы сварных стыков или трещины на них происходят вследствие больших внутренних напряжений. Напряжения эти складываются из следующих частей:

1) температурные напряжения растяжения, возникающие в водоводе при прохождении в нем холодной воды;

2) напряжения, возникающие в водоводе вследствие внутреннего давления и действующие вдоль трубы;

3) напряжения от изгиба труб в траншее;

4) остающиеся напряжения после сварки;

5) плохая сварка.

Для того, чтобы судить о роли каждого из этих факторов в авариях сварных водоводов, рассмотрим каждое из них в отдельности.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Предположим, что водовод укладывался и сваривался в жаркое время года. С наступлением холодов водовод начнет охлаждаться и сокращать свою длину. При этом его укорачиванию будет сопротивляться трение о грунт, передвигаться смогут только концы водовода на той длине, на которой температурное усилие будет больше трения трубы о грунт. Точка водовода, в которой эти усилия будут равны, передвигаться не сможет, начиная с этой точки и дальше от свободного конца водовод будет лежать неподвижно.

Внутренние напряжения, действующие вдоль трубы, будут распределены, как изображено на рис. 4.

Таким образом при больших участках водовода температурные напряжения по всей длине водовода, если не считать концов могущих передвигаться, будут иметь одинаковую величину.

¹ Попытка поставить широко эти наблюдения в Донбассе к сожалению не удалась.

² Наблюдение можно было поставить только в одном пункте, так как только в одном месте имелся разрыв водовода со свинцовым стыком.

³ Для предохранения от температурных усилий можно также стягивать корпус чугунной задвижки болтами, которые и воспримут все температурное усилие.

Величина их может быть вычислена по формуле

$$\sigma_t = \pm \beta \Delta t E,$$

где: β — коэффициент температурного расширения трубы = 0,000012;

Δt — изменение температуры;

E — модуль упругости для железа = 2 100 000.

Принимая колебание температуры Δt от 0 до $+27^\circ$ получим: напряжение $\sigma_t \cong 680 \text{ кг/см}^2$, а общее усилие для водовода $d = 900 \text{ мм}$ с толщиной стенок $S = 12 \text{ мм}$ составит около 220 т.

Определим теперь длину передвигающихся концов водовода.

Очевидно, что передвигаться сможет конец водовода на той длине, на которой сила трения будет равна температурной силе. Силу трения P , приходящуюся на один пог. м трубы, примем 4400 кг¹.

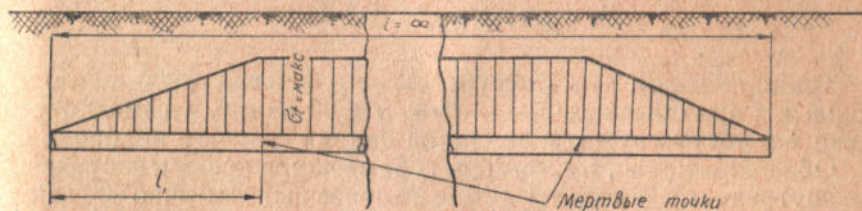


Рис. 4

Следовательно длину передвигающегося конца можно определить, разделив температурную силу P_t на силу трения на 1 пог. м трубы P :

$$l = \frac{220000}{4400} = 50 \text{ м}$$

Из сказанного следует, что температурные напряжения при обычных условиях не превышают 700 кг/см^2 и следовательно их одних недостаточно для разрушения стыков сварного трубопровода. Но все же уменьшение этих напряжений необходимо и это может быть достигнуто при помощи сварки отдельных участков труб зимой или осенью. Свободные же участки, способные передвигаться, можно сваривать в любое время. При выполнении этого условия водовод в холодное время года будет испытывать незначительные усилия растяжения. Летом же в нем возникнут усилия сжатия, которые не опасны для сварных стыков и задвижек.

НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ВНУТРЕННЕГО ДАВЛЕНИЯ

Очевидно, что вследствие наличия в водоводе внутреннего давления он стремится увеличить свое поперечное сечение и

¹ По формуле Марстона и Андерсена для глины с объемным весом 1600 кг/м^3 и ширине траншеи $b = 1,4 \text{ м}$ и при коэффициенте трения $f = 0,5$.

укоротить свою длину. Последнему препятствует трение грунта и поэтому в стенках водовода возникнут внутренние напряжения, стремящиеся разорвать его перпендикулярно оси.

Величина этих напряжений может быть определена по формуле

$$n = \frac{d \cdot P}{2 S t},$$

где: d — диаметр трубы в см;

P — внутреннее давление в кг/см²;

S — толщина стенок трубы в см;

t — обратная величина Пуассонова отношения равная 10/3.

Возьмем водовод $d = 600$ мм с давлением $P = 25$ атм и толщиной стенок $S = 12$ мм.

тогда:

$$n = \frac{60 \cdot 25}{2 \cdot 1,2 \cdot 10/3} = 187 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом эти напряжения не превышают 200 кг/см² при 25 атм, а при обычных 5 — 6 атм, $n \cong 50$ кг/см² и сами по себе тоже не могут служить причиной аварий сварных водоводов.

Оба напряжения, т. е. температурные напряжения и напряжения от внутреннего давления в сумме не превышают обычно 800 кг/см², т. е. меньше допускаемых напряжений для железа и следовательно их одних недостаточно для разрушения водовода на сварных стыках при отсутствии других факторов, способствующих разрушению. Следует отметить, что на поворотах водовода кроме напряжений от внутреннего давления, в водоводе возникнут напряжения от гидростатического давления в месте поворота. Однако эти напряжения будут действовать только недалеко от колена, так как дальше им не даст распространиться трение грунта о трубу. Величина их будет зависеть от давления в водоводе, его диаметра и может доходить до 300 кг/см² при давлении в 25 атм, диаметре трубы 600 мм и толщине стенок 12 мм.

НАПРЯЖЕНИЯ ОТ ИЗГИБА ТРУБ В ТРАНШЕЕ

Кроме рассмотренных напряжений существуют еще напряжения, которые могут влиять на прочность сварных швов, а именно напряжения от перегибов труб в траншее. Обычно дно траншеи не является прямолинейным, а имеет в некоторых местах перегибы. При укладке труб небольшие перегибы обыкновенно не учитываются, так как считают, что железная труба достаточно гибка для того, чтобы следовать за небольшими перегибами дна траншеи и что эти изгибы ей не опасны. Поэтому очень часто трубы свариваются на лежнях над траншеей очень большими участками (1 — 2 км и больше) и затем опускаются в траншею.

На таких больших участках обязательно будут перегибы дна траншеи, водовод после укладки будет изгибаться и в нем воз-

микнут напряжения. Кроме того при сварке водовода на лежнях, над траншеей (особенно при больших длинах свариваемых секций), даже при ровном дне траншеи сам водовод будет сварен с изгибами в стыках и при опускании даже на ровное дно траншеи в нем возникнут напряжения.

Между радиусом кривизны ρ и напряжением σ в трубе диаметра D см существует следующая зависимость:

$$\rho = \frac{D \cdot E}{2 \sigma},$$

где: E — модуль упругости железа = 2 100 000.

При диаметре трубы $D = 112,4$ см (Киевский водопровод) и разных радиусах кривизны напряжения σ будут иметь значения, указанные в таблице 1.

Таблица 1

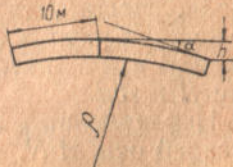
(Из отзыва акад. Патона Е. А.)

| Радиус в м | Напряжение в кг/см ² | Радиус в м | Напряжение в кг/см ² |
|------------|---------------------------------|------------|---------------------------------|
| 6150 | 200 | 1760 | 700 |
| 4100 | 300 | 1530 | 800 |
| 3080 | 400 | 1360 | 900 |
| 2450 | 500 | 1220 | 1000 |
| 2050 | 600 | 1050 | 1200 |

Таким образом напряжения достигают значительной величины, так как напряжение в 1200 кг/см², равное допускаемому напряжению для железа, получается при радиусе закругления в 1050 м, что соответствует отклонению трубопровода на 36', т. е. немного больше чем на $\frac{1}{2}^\circ$. Если мы допустим напряжение в трубе от перегиба в 300 кг/см², то получим следующие значения для углов поворота и отхождения конца 10 м трубы от первоначального положения (таблица 2).

Таблица 2

| d трубы в см | σ напряжение кг/см ² | α угол поворота в минутах | h отход конца 10 м трубы в см | ρ радиус закругления в м |
|----------------|--|----------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| 200 | 300 | 44 | 12,8 | 750 |
| 400 | 300 | 22 | 6,4 | 1500 |
| 600 | 300 | 16 | 4,65 | 2250 |
| 800 | 300 | 11 | 3,2 | 3000 |



Из этой таблицы видно, что для малых диаметров труб отклонение может быть довольно значительным без особой опасности для трубы.

При углах перегиба больших указанных в таблице следует сваривать трубы над траншеей в прямую линию только в промежутках между перегибами. В местах же перегиба необходимо при сварке труб над траншеей либо выдержать угол перегиба, либо сваривать трубы в самой траншее, при этом угол сварки легко приспособить к направлению трубопровода. Кроме того при сварке над траншеей прямых линий труб следует обязательно проверять их прямолинейность при помощи визирки и шнура. Дно траншеи должно обязательно проверяться под визирку, что при укладке железных труб зачастую не делается, так как неровности дна могут также дать значительные перегибы труб, а следовательно и напряжения.

При укладке сварных водоводов, иногда применяют железные накладки, привариваемые в нескольких местах перпендикулярно к стыку. Назначение этих накладок — воспринять части напряжений. Однако о полезности этих накладок существуют разноречивые мнения.

ОСТАЮЩИЕСЯ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСЛЕ СВАРКИ

Вопрос остающихся напряжений после сварки в настоящее время еще недостаточно разработан. Разработка его представляет большие трудности, ввиду большого количества факторов, влияющих на величину и распределение этих напряжений. (Способ сварки, порядок ее, скорость ведения, скорость и неравномерность нагрева и охлаждения, качество присадочного материала и т. д.). Имеется много экспериментальных работ в этой области, для разных случаев сварки. Эти работы требуют оборудования точными оптическими приборами для измерения деформаций. Способы измерения построены на том, что при сварке в случае наличия внутренних напряжений последние вызывают ту или иную деформацию (коробление). Измеряя эту деформацию точными приборами можно по ее величине подсчитать внутренние напряжения, оставшиеся после сварки. Поясним вкратце возникновение остающихся напряжений после сварки. На рис. 5 показан разрез листа, заделанного обоими концами в стену.

При сварке этих листов края их f , l и b , d под действием тепла, расширятся и займут положение ac и a_1c_1 , в том же положении будут и края расплавленного металла. По мере охлаждения края листов будут стремиться занять прежнее положение fl и bd .

Наплавленный же металл будет усаживаться по направлению к своей оси $M-N$, стремясь занять положение $f_1 l_1$ и $b_1 d_1$. Таким образом направления усадок основного и наплавленного металла будут противоположны, а так как края листов закреплены, то после остывания в металле возникнут остающиеся напряжения σ_n , стремящиеся разорвать сваренные листы. Напряжения эти возникнут не только по одному этому направлению, но и по двум другим, т. е. по направлению оси $M-N$ и перпендикулярно к ней.

Появление этих последних напряжений объясняется разницей коэффициентов усадки основного и наплавленного металла. В нашем случае, сварки труб, эти два последние напряжения не имеют большого значения. Необходимо отметить, что для появления остающихся напряжений необязательно наличие закрепления листов. В случае сварки незакрепленных деталей возникновение этих напряжений объясняется неравномерными, местными, нагревами.

Оба эти случая встречаются при сварке трубопроводов. Сварка незакрепленных листов соответствует сварке труб в секции перед опусканием их в траншею. Сварка же закрепленных листов соответствует сварке длинных секций в траншее, так как большая длина секций или их закрепление не позволяет им свободно передвигаться.

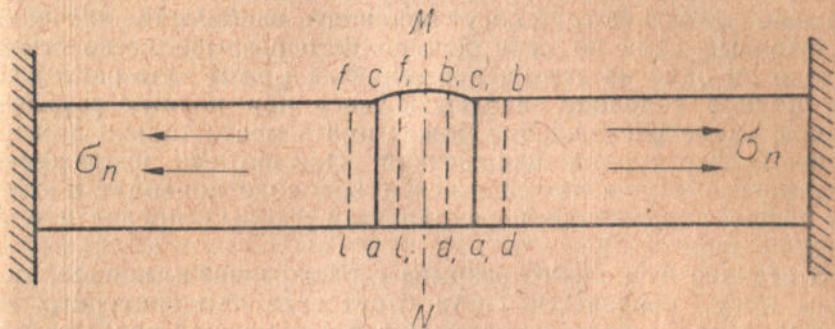


Рис. 5

Общая усадка при сварке складывается из двух усадок: 1) усадки наплавленного и 2) усадки основного металла. Поэтому желательно применение таких методов сварки, которые уменьшили бы обе усадки или хотя бы одну из них.

Уменьшение усадки основного металла может быть достигнуто применением электросварки, так как при ней кромки труб меньше нагреваются, а следовательно и меньше усаживаются после охлаждения. Применение электросварки дает большой эффект при сварке закрепленных деталей, а следовательно и при сварке трубопроводов. Величина остающихся напряжений, как показали опыты, колеблется в очень широких пределах в зависимости от различных условий и в некоторых случаях может достигать 2000 кг/см^2 и более.

Если остающиеся напряжения после сварки получат величину 2000 кг/см^2 , а температурные напряжения, напряжения от внутреннего давления и напряжения от изгиба труб будут равны в сумме 1200 кг/см^2 , то все вместе они составят 3200 кг/см^2 , что близко к временному сопротивлению железа. Если же при этом еще и качество сварки плохое (что, как показало обследование нескольких водопроводов, бывает очень часто), то авария неизбежна.

Обычно непосредственной причиной разрушения сварного стыка водовода служит добавление к остающимся напряжениям, после сварки, напряжениям от внутреннего давления и напряжениям от изгиба труб, температурных напряжений при прохождении по водоводу холодной воды (осенью). Необходимо также отметить большое значение плохого качества сварки (пережог, непровар и т. д.).

Здесь следует разграничить два вида аварий сварного стыка: 1) полный разрыв с расхождением концов и 2) трещина в том или ином месте шва. Полный разрыв с расхождением концов может произойти от суммарного действия температурных напряжений, остающихся напряжений после сварки, напряжений от внутреннего давления, напряжений от изгиба труб и плохого качества сварки. Остающиеся напряжения после сварки и напряжения от изгиба труб могут принимать наибольшие значения, достаточные сами по себе для полного разрыва всего стыка. Однако ни одно из этих напряжений не может дать расхождение концов водовода, наблюдающееся при полных разрывах стыков. Такое расхождение может иметь место только при наличии температурных напряжений. Обычно эти напряжения, складываясь с уже имеющимися в водоводе приводят к тому, что общее напряжение переходит допустимый предел и стык разрушается.

В отличие от полного разрыва с расхождением концов, трещины могут появляться и при отсутствии температурных напряжений под действием остающихся напряжений после сварки вместе с напряжениями от изгиба труб или каждого из этих напряжений в отдельности.

Одним из способов уменьшение внутренних напряжений в сварных стыках является их проковка в холодном состоянии. При этом металл шва осаживается внутрь и напряжения растяжения уменьшаются, а иногда исчезают совсем или даже меняют знак на обратный. Уменьшение усадочных напряжений достигается и отжигом шва газовой горелкой после сварки. Значение обжига бесспорно, по поводу же проковки мнения расходятся.

Если бы железный водовод неопределенной длины, уложенный в землю, не имел швов, то ни обычные температурные напряжения, ни небольшие перегибы на неровностях дна не вызвали бы никаких разрывов труб. Только благодаря жесткости или хрупкости наплавленного металла шва, появляющиеся в нем чрезмерные напряжения не снижаются пластичностью металла и поэтому вызывают аварии.

Поэтому особенно важны все меры, увеличивающие пластичность наплавленного металла и именно в этом направлении должен идти прогресс сварки.

Уменьшение внутренних напряжений после сварки может быть достигнуто следующими мерами, рекомендуемыми специалистами сварочного дела. (Давид Войдт, Дятлов А. В., Марсель-Пьетт и др.).

1) применять для сварки трубопроводов электросварку;
2) добиваться наибольшей пластичности направленного металла — применением электродов высшего качества и легкоплавких;

3) разбивать шов на участки и менять направление их сварки или применять наложение закрепок, но не делать слишком много участков, так как это уменьшает плотность шва. При наложении закрепок они должны быть взяты достаточно большими, чтобы не ломались после охлаждения заваренных промежутков;

4) металл на поверхности скоса кромок рекомендуется наплавлять в порядке, изображенном на рис. 6. Благодаря этому усадка ограничивается средними зонами соединяемых плоскостей.

Необходимо отметить, что этот способ сложен для практического выполнения;

5) не наплавлять слишком много металла, так как это только увеличивает усадку, а не усиливает шов;

6) избегать подварки швов и наваривания заплат;

7) зазоры, необходимые для сварки, должны быть минимальными. Если в процессе сборки трубопровода получились большие зазоры, то их нужно заварить по способу, указанному в пункте 4, при чем наложенным по бокам слоям нужно дать остыть, а затем уже заваривать;

8) вести процесс как можно быстрее;

9) ограничивать зону нагрева путем обкладывания места сварки сырым асбестом для того, чтобы тепло не распространялось дальше по трубе. При сварке в холодное время года предохранять шов от быстрого и неравномерного охлаждения путем закрытия концов труб для устранения сквозняка;

10) применять вставные кольца с выступом на наружной стороне для автоматического получения величины зазора;

11) желательно также механизировать сварку, что ускоряет процесс и делает его более равномерным;

12) добиваться наилучшего качества шва (хорошее плавление, полный провар, отсутствие пережога, отсутствие шлаковых включений и т. д.), применяя работу сварщиков высокой квалификации и осуществляя контроль за сваркой в процессе самой работы и после ее окончания;

13) применять либо проковку шва¹ в холодном состоянии, либо его отжиг.



Рис. 6

ПОРЯДОК СВАРКИ, РЕКОМЕНДУЕМЫЙ АКАДЕМИКОМ ПАТОНОМ Е. О.

В своем отзыве о данной работе академик Патон Е. О. рекомендует следующий порядок сварки стыков для уменьшения усадочных напряжений.

¹ Академик Патон считает проковку бесполезной.

Порядок сварки поворотного стыка

Порядок сварки стыка должен быть выбран так, чтобы не было больших неравномерных усадочных напряжений в шве, чтобы сварщик не затрачивал много времени на переходы от одной части трубы к другой и, наконец, чтобы избежать потолочной сварки. Рекомендуется следующий порядок сварки стыка, одновременно двумя сварщиками. Стык заваривается одним внутренним контрольным слоем и двумя наружными. Когда стык собран и надет стыковой хомут с постановкой прихваток, из середины трубы завариваем контрольный слой, не снимая хомута. Этот слой заваривается одним сварщиком без поворота трубы участками в порядке цифр, указанных на рис. 7а. Окружность трубы разделена на 8 равных участков. Заварив участок № 1, сварщик заваривает участок, диаметрально противоположный заваренному, и переходит к участку № III, расположенному на диаметре, перпендикулярном к диаметру уже заваренных участков и т. д.

Заварка участков в последовательности цифр на чертеже гарантирует от проявления больших усадочных напряжений, а неравномерность усадки при заварке нечетных участков погашается при заварке четных.

Заварив внутренний контрольный слой, снимаем хомуты и завариваем наружные слои. Порядок заварки 1-го и 2-го слоев показаны на рис. 7 в, с, d, e, f, g. Стык заваривают с поворотом трубы одновременно два сварщика. Окружность трубы разделена на 16 равных участков. В первоначальном положении трубы, каждый сварщик заваривает по два участка (1,2) обратноступенчатым способом, повернув трубу на угол 90° заваривают в том же порядке участки (3,4).

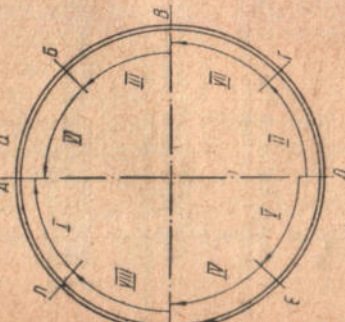
После второго поворота на угол 45° заваривают участки (5,6), а после третьего поворота на угол 90° заваривают участки (7,8), после этого доваривают участки I, II 2-го слоя. После четвертого поворота на угол 90° сваривают одновременно двумя сварщиками участки III, IV, V и VI. Для заварки оставшихся участков поворачивают трубу на 90° и заваривают участки VII, VIII. При таком порядке сварки избегаем: 1) больших односторонних усадочных напряжений, 2) потолочной сварки, 3) сварщик не затрачивает время на переходы, а все время работает на одном месте. При сварке второго слоя шов накладывается в обратном направлении шву 1-го слоя.

Порядок сварки потолочного стыка

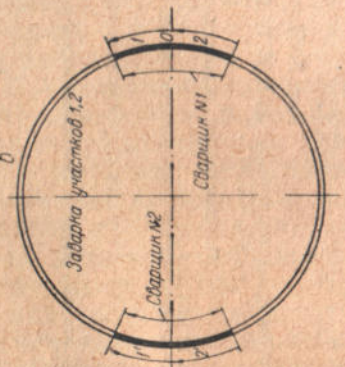
Порядок сварки стыка в траншее без поворота виден на рис. 8. Заварка стыка выполняется в три слоя, одновременно двумя сварщиками. Внутренний контрольный слой заваривается так же как в стыке 1-го типа.

Наружные слои завариваются участками, так что первый

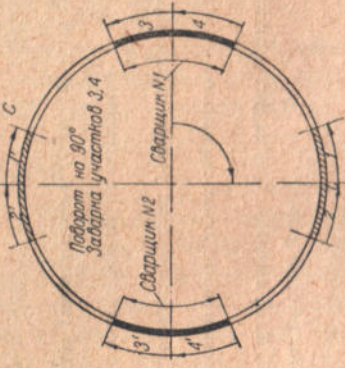
Подварка краев шва без поворота
трубы одним сварщиком



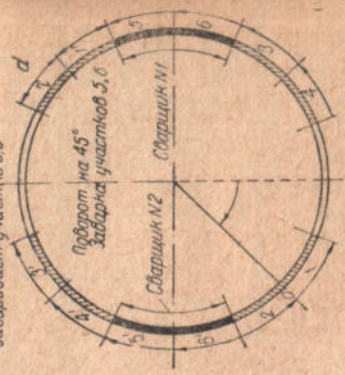
Первоначальное положение трубы
Каждый сварщик заваривает участки 1, 2



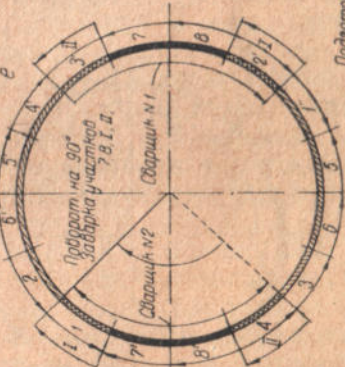
Положение трубы после 1-го поворота
Каждый сварщик заваривает участки 3, 4



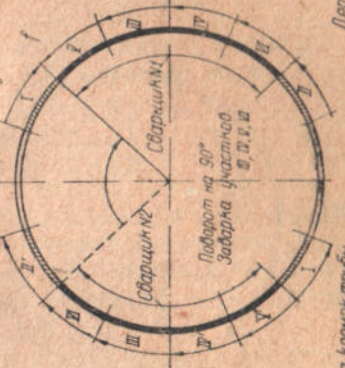
Положение трубы после 2-го поворота
на 45° Каждый сварщик заваривает участки 5, 6



Положение трубы после 3-го поворота
Каждый сварщик заваривает участки 7, 8, 11



Порядок сварки II слоя двумя сварщиками
Положение трубы после 4-го поворота
Каждый сварщик заваривает участки 9, 10, 13



Положение трубы после 5-го поворота
Каждый сварщик заваривает участки 11, 12, 15

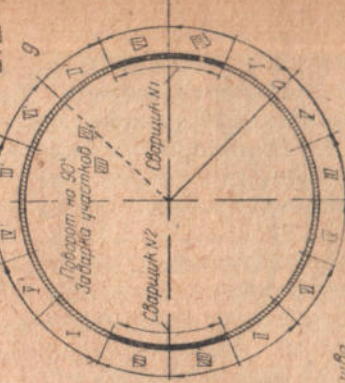
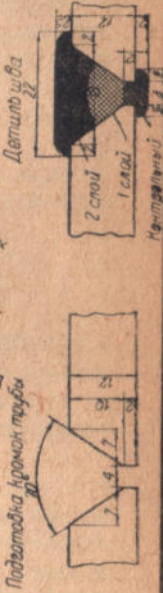


Рис. 7. Порядок сборки

1. Наложить стыковой шов. 2. Поставить прихватки в точках А, Б, В, Г, Д, Е, К, Л, в порядке букв (рис. а) длина прихватки 50 мм.
3. Подварить корень шва в порядке римских цифр I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII.
4. Подварить корень шва одновременно двумя сварщиками (рис. б, в, д и е).
5. Окружность трубы разделить на 16 участков.
6. Завариваются одновременно двумя сварщиками участки I, 2 в порядке, указанном на рис. в.
7. Поворот трубы на угол 90° и заварка с участков 3, 4 в порядке, указанном на рис. с.
8. Поворот трубы на 45° и заварка участка 5, 6 в порядке, указанном на рис. д.
9. Поворот трубы на угол 90° и заварка четырех участков в порядке римских цифр III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX.

Порядок сварки второго слоя одновременно двумя сварщиками
5. Поворот трубы на угол 90° и заварка четырех участков в порядке цифр 7 и 8, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII, XIII, XIV, XV, XVI, XVII, XVIII, XIX, XX, XXI, XXII, XXIII, XXIV, XXV, XXVI, XXVII, XXVIII, XXIX, XXX.



Подготовка концев трубы



Длина шва

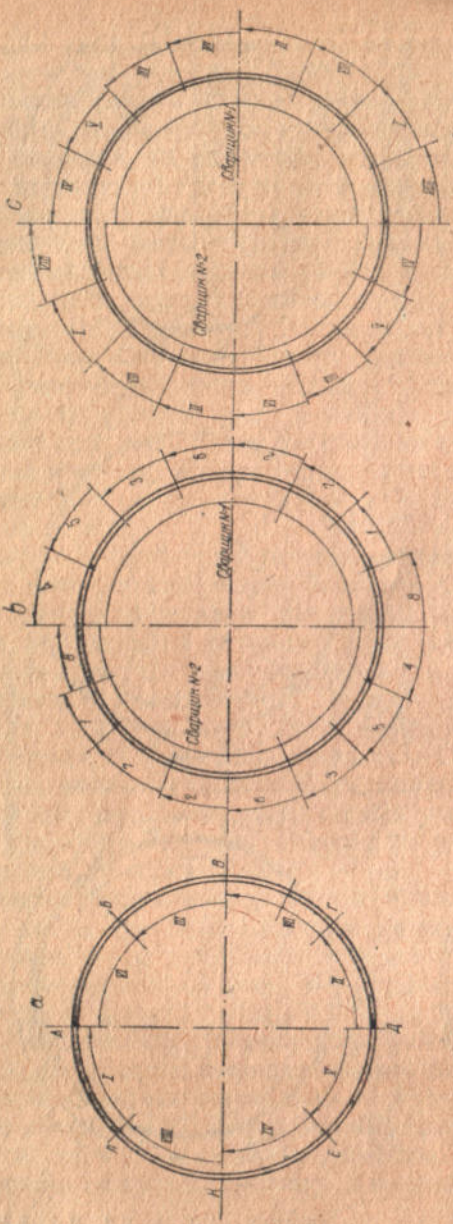
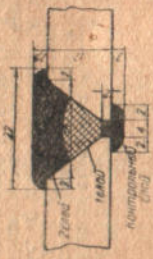


Рис. 8. Порядок сборки стыка

1. Надеть стыковой комут, 2. Поставить прихватки в точках А, Б, В, Г, Д, Е, К, Л, в порядке букв на рис. а, длина прихваток 50 мм, 3. Наложить контрольный внутренний шов в порядке цифр I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII.

Порядок сварки первого слоя одновременно двумя сварщиками.

1. Окружность трубы разделить на 16 участков
2. Первый сварщик начинает снизу—справа, второй—сверху, слева, оба одновременно заваривают участки стыка в порядке цифр I, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 в направлении, указанным стрелками на рис. б.

Порядок сварки второго слоя одновременно двумя сварщиками

1. Разметить места накладок.
2. Первый сварщик начинает снизу, второй—сверху и заваривают шов в порядке римских цифр I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII. Стрелки указывают направление движения электрода.

сварщик начинает снизу справа и заваривает участки через один, двигаясь кверху, а второй сварщик заваривает участки диаметрально противоположные участкам 1-го сварщика. Заварив 1-й слой, точно так же заваривают и наружный слой.

На чертеже 8b арабскими цифрами обозначены участки 1-го наружного слоя, а римскими — 2-го слоя; стрелки указывают направление движения электрода?

Нужно отметить, что рекомендуемые академиком Патонов Е. О. способы сварки могут быть применены только для труб большого диаметра, так как требуют внутреннего контрольного шва. Для труб же малого и среднего диаметра, не допускающих сварки изнутри, внутренний контрольный шов, по нашему мнению, может быть заменен кольцами при том же порядке сварки — снаружи.

Недостатком предлагаемого метода сварки является некоторая обезличка работы, так как каждый стык варится одновременно двумя сварщиками.

Выводы

1. При внешне хорошей сварке, без пережога, непровара и пр. пороков, сложение больших внутренних остающихся напряжений после сварки с температурными напряжениями от внутреннего давления и напряжениями от изгиба труб могут приводить к авариям сварных трубопроводов.

2. Температурные напряжения в работающих водоводах при перепаде температур до 28° не превышают 700 кг/см^2 и, следовательно, при отсутствии других факторов, а также при хорошем качестве сварки не могут привести к авариям сварных стыков.

3. Уменьшение внутренних напряжений после сварки, являющихся главной причиной аварий сварных водоводов, может быть достигнуто правильным ведением сварки, применением всех вышеупомянутых мер, а также употреблением внутренних колец и механизации процесса сварки, с последующей обработкой шва отжигом или проковкой.

4. Величина передвижения свободных концов водовода, а также длина, на которой происходит это передвижение, зависит от изменений его температуры и в общем следует за ней, но эта величина может колебаться в зависимости от местных условий: характер грунта, его влажность (вода уменьшает трение), плотность грунта и т. д. По нашим наблюдениям величина передвижения свободных концов водовода составляет от 0,14 до 0,35 мм на 1°C .

5. Уменьшение вредных растягивающих температурных напряжений может быть достигнуто только путем засыпки и соединения отдельных участков трубопроводов в холодное время года или по крайней мере дня.

6. Постановка компенсаторов на сварных трубах по всей длине при правильном ведении сварки является излишней.

Однако при неуверенности в высоком качестве сварки, установка компенсаторов через 30 м втрое уменьшит температурные напряжения в среднем шве и еще больше в остальных швах. В качестве компенсаторов очень удобны американские „Dresser coupling“ то же, что и стык Жибо. Применение этих стыков у нас наталкивается на большое различие диаметров и форм концов труб, в особенности при больших трубах.

7. Большое значение в авариях сварных трубопроводов имеет плохое качество сварки (пережог, непровар и пр.) Поэтому искусство и добросовестность сварщика имеет здесь громадное значение. Подбор сварщиков должен быть очень тщательным.

8. Чугунные задвижки на водоводе должны обязательно отделяться от водовода компенсаторами, при чем свинцовые стыки для этой цели не годятся, вследствие их расстройства температурными передвижениями труб. Следует применять либо стыки „Жибо“, либо сальниковые компенсаторы. Возможна кроме того разгрузка задвижек путем стягивания их болтами.

9. В тех местах, где задвижки отделены компенсаторами с двух сторон (камеры переключения и пр.) этот средний участок должен закрепляться хомутами, во избежание сдвига его с места гидростатическим давлением на закрытую задвижку.

10. Изгибы трубопроводов как в горизонтальном, так и чаще всего в вертикальном направлении могут вызвать значительные напряжения в металле. Для устранения этих напряжений дно траншеи должно планироваться строго под визирки. При перегибах, превосходящих допустимые пределы, сварку труб лучше производить в траншеях, чтобы хорошо приспособить трубы к перегибам дна траншеи.

11. Шнуром и визирками необходимо проверять прямолинейность свариваемых трубопроводов при сварке над траншеей или сбоку ее. Неправильно, под небольшим углом, сваренные трубы, уложенные на равное дно после засыпки, вызовут значительные напряжения в сварном стыке.

12. Сварка сильно затрудняется неправильной формой поставляемых заводами труб. Необходимо требовать, чтобы трубы имели в сечении правильную окружность с минимальными допусками на расхождение диаметров и чтобы обрезка концов труб была ровная и строго перпендикулярная к оси трубы.

13. При укладке труб по косогорам обязательно делать перемычки через каждые 50—100 м, а на очень крутых местах чаще. Перемычки защитят трубы от подмыва аварийной и ливневой водой. Были случаи, когда авария одного стыка вызывала ряд аварий, благодаря подмыву водовода.

Проф. Я. Т. Ненько

ФИЛЬТРАЦИЯ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ МАССИВЫ, СЛОЖЕННЫЕ ИЗ ПЛАСТОВ РАЗЛИЧНОЙ ВОДОПРОВОДИМОСТИ

В тематический план научно-исследовательской гидротехнической лаборатории Союзводстроя в 1936 г. включена тема об исследовании явлений фильтрации в земляных массивах, сложенных из пластов различной водопроницаемости. Само собою разумеется, что в силу огромной обширности темы, малой изученности этого вопроса как в отношении теоретическом, так и опытном (по крайней мере, опубликованные опыты встречаем только у Dachler'a и Schaffernak'a), лаборатория в состоянии освоить только весьма скромную долю из всей обширности данного вопроса.

Перед началом лабораторных работ мы посчитали необходимым дать предварительное, чисто гидравлическое решение тех задач, которые в состоянии освоить лаборатория. Мы не считаем, что нами даны законченно-исчерпывающие решения этих задач, но должны все же подчеркнуть ценность даже таких, сугубо предварительных, теоретических построений: во-первых, из соображений придания известной целеустремленности опытам и, во-вторых, чтобы иметь возможность в случаях отклонений результатов теоретических построений от данных опыта более тщательно проследить дополнительными опытами причины этих отклонений: от несовершенства ли теоретических построений или, быть может, от наличия других каких-либо действующих сил, неучтенных при теоретическом решении задач.

Рассмотрение вопроса о движении грунтового потока через сыпучие массивы, сложенные из пластов различной водопроницаемости, мы начнем с простейших форм как движения фильтрационного потока, так и очертаний самих массивов.

Такое рассмотрение вопроса удобно, во-первых, потому что весьма упрощает математический анализ, не затемняя основных черт характера явлений и, во-вторых, позволяет провести лабораторный опыт в условиях, исключающих побочные, нехарактерные явления. С этой целью будем рассматривать движение фильтрационного потока в двух основных типах массивов — переменычек: первый тип — пласты различной водопроницаемости расположены вертикально, второй тип — пласты расположены горизонтально.

Рассмотрим вначале простой случай движения фильтрационного потока через перемычку с отвесными бортами, сложенную из вертикальных пластов различной водопроницаемости (с различными величинами коэффициентов фильтрации — κ) и расположенную на горизонтальном водонепроницаемом основании. Этот случай изображен на рис. 1.

Пусть коэффициенты фильтрации пластов находятся в таком соотношении друг с другом:

$$k_1 > k_2 > k_3,$$

согласно рис. 1; подпор с низовой стороны перемычки отсутствует:

$$h_0 = 0.$$

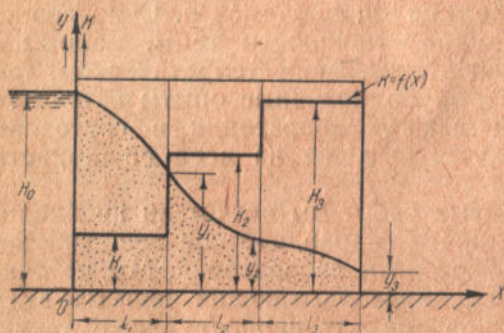


Рис. 1

Движение фильтрационного потока будем рассматривать в каждом пласте отдельно.

Дифференциальное уравнение движения грунтового потока при уклоне непроницаемого основания перемычки равном нулю $i=0$, будет иметь вид:

$$-dy = \frac{v_f}{k} dx + d\left(\frac{v_d^2}{2g}\right) \quad (1)$$

где: v_f — средняя скорость фильтрации через данное живое сечение в обычном понимании этого термина;

v_d — действительная скорость движения молекул воды в порах сыпучего массива.

Задача ставится и решается, как плоская задача. Тогда уравнение (1) может быть переписано в таком виде:

$$-dy = \frac{q}{y \cdot k} dx + d\left(\frac{\alpha q^2}{2g\beta^2 y^2}\right) \quad (2)$$

где: q — расход фильтрационного потока, приходящийся на погонную единицу длины перемычки.

Уравнение (2) легко преобразуется:

$$-y dy + \frac{q^2}{g\beta^2 y^2} dy = \frac{q}{k} dx, \quad (3)$$

где коэффициент коррективы α принят равным единице:

$$\alpha \cong 1.$$

Интегрирование уравнения (3) дает в результате:

$$\frac{q}{k} x = C - \frac{y^2}{2} - \frac{q^2}{g\beta^2 y}. \quad (4)$$

Подставляя граничные условия для каждого пласта в отдельности (для начала и конца пласта), получим столько уравнений, сколько имеется в наличии пластов: для n пластов будем иметь n уравнений, связующих неизвестные (рис. 1): $y_1, y_2 \dots y_n$ и q ; всего $n+1$ неизвестных.

Для решения задачи в случае отсутствия низового подпора: $h_0 = 0$ необходимо, очевидно, найти еще одно дополнительное условие, связующее названные выше неизвестные. Эту дополнительную зависимость между искомыми элементами фильтрационного потока получим из условия протекания через массив максимального дебита.

Подставляя граничные условия последнего пласта в уравнение (4), получим

$$F(y_n) = C_n - \frac{y_n^2}{2} - \frac{q^2}{\alpha\beta_n^2 y_n} - \frac{q}{k_n} l_n = 0.$$

Условие протекания максимального дебита через перемычку напишется в таком виде:

$$\frac{\partial F}{\partial y_n} = -y_n + \frac{q^2}{g\beta_n^2 y_n^2} = 0,$$

откуда:

$$y_n = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta_n^2}}. \quad (5)$$

Уравнение (5) и будет являться дополнительным (недостающим) условием.

Очевидно для случая наличия подпора с низовой стороны перемычки при условии

$$h_0 > y_n = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta_n^2}}$$

надобность в дополнительном условии, выражаемом уравнением (5), отпадает.

Пренебрегая в уравнении (4) членом, выражающим изменение величины живой силы вдоль фильтрационного потока и

подставляя граничные условия для каждого пласта отдельно, получим:

$$\left. \begin{aligned} H_0^2 - y_1^2 &= \frac{2q}{k_1} l_1 \\ y_1^2 - y_2^2 &= \frac{2q}{k_2} l_2 \\ y_2^2 - y_3^2 &= \frac{2q}{k_3} l_3 \\ \dots & \dots \dots \dots \\ y_{n-1}^2 - y_n^2 &= \frac{2q}{k_n} l_n \\ y_n &= \sqrt[3]{\frac{q^2}{\beta^2 \cdot g}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$(n + 1)$ уравнений по числу искоемых неизвестных.

Система уравнений (6) позволяет определить все элементы фильтрационного потока: y_1, y_2, \dots, y_n, q .

Решение системы уравнений (6) весьма просто: путем последовательного исключения неизвестных: $y_1, y_2, y_3, \dots, y_{n-1}$, получаем в результате:

$$\left. \begin{aligned} H_0^2 - y_n^2 &= 2q \sum_{i=1}^{i=n} \frac{l_i}{k_i} \\ y_n &= \sqrt[3]{\frac{q^2}{\beta^2 g}} \end{aligned} \right\} \quad (6')$$

Откуда, исключая неизвестное y_n получаем:

$$H_0^2 = \left(\frac{q^2}{\beta^2 g} \right)^{2/3} + 2q \sum_{i=1}^{i=n} \frac{l_i}{k_i} \quad (7)$$

Уравнение (7) легко решается путем подбора или, еще проще, путем графического построения.

Система уравнений (6') показывает, что для решения задачи по определению элементов фильтрационного потока в массиве, сложенном из вертикальных пластов различной проводимости, совершенно безразлично в каком порядке размещены эти пласты.

Массив, сложенный из постепенно меняющихся (вернее, закономерно меняющихся) по своей водопродимости пластов будет, очевидно, характеризоваться зависимостью:

$$k = f(x).$$

Тогда дифференциальное уравнение движения фильтрационного потока для такого случая напишется:

$$-y dy + \frac{q^2}{g\beta^2 y^2} dy = \frac{q}{f(x)} dx. \quad (8)$$

Интеграл этого уравнения будет иметь вид:

$$y^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 y} + 2q \int \frac{dx}{f(x)} = C. \quad (9)$$

Подставляя граничные условия в уравнение (9) получим:

$$H_0^2 - y_2^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2} \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{y_2} \right) + 2q \int_0^L \frac{dx}{f(x)} = 0. \quad (10)$$

Второе уравнение, связующее искомые неизвестные элементы фильтрационного потока: y_2 и q , получится из условия:

$$\frac{\partial}{\partial y_2} \left[H_0^2 - y_2^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2} \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{y_2} \right) + 2q \int_0^L \frac{dx}{f(x)} \right] = 0$$

или, после дифференцирования — уже известная зависимость (5):

$$y_2 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta^2}}.$$

Изложенное иллюстрируем примерами. Пусть закон изменения водопроницаемости отдельных сечений перемишки задан уравнением (рис. 2):

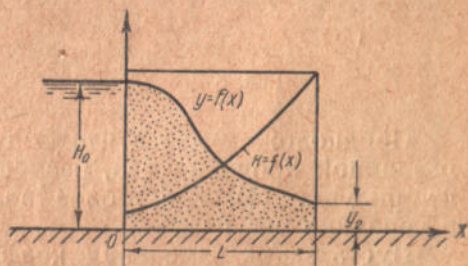


Рис. 2

$$k = a \cdot e^{bx}.$$

Тогда интеграл в уравнении (9) будет равен:

$$2q \int \frac{dx}{f(x)} = 2q \int \frac{dx}{ae^{bx}} = -\frac{2q}{a \cdot b} \cdot \frac{1}{e^{bx}}$$

и уравнение (9) переписывается в таком виде:

$$y^2 + \frac{2q^2}{gb^2 y} - \frac{2q}{abe^{bx}} = C. \quad (11)$$

Постоянное определится из условия:

$$x=0, \quad y=H_0$$

$$C = H_0^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 H_0} - \frac{2q}{ab}.$$

Если задаться законом изменения величины коэффициента фильтрации вдоль перемычки

$$k = ae^{-bx},$$

изображенном на рис. (3), то уравнение (9) примет следующий вид:

$$y^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 y} + \frac{2q}{ab} e^{bx} = C. \quad (12)$$

Постоянное будет иметь вид:

$$C = H_0^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 H_0} + \frac{2q}{ab}.$$

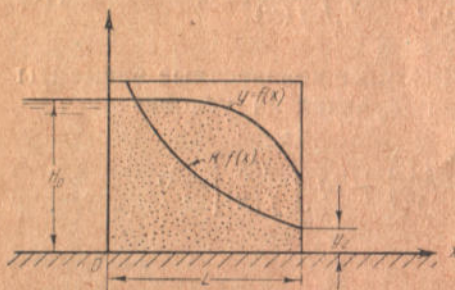


Рис. 3

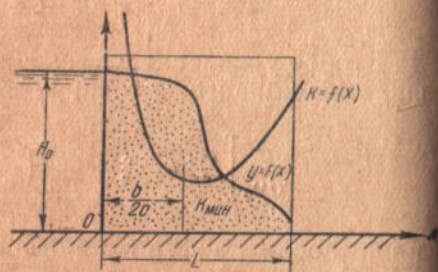


Рис. 4

Предположим далее, что сыпучий массив сложен из пластов различной проводимости, размещенных в порядке, показанном на рисунке (4), т. е. более водоупорные пласты размещены в середине массива.

Пусть закон изменения коэффициента фильтрации вдоль потока удовлетворяется согласно рисунку (4) уравнением:

$$k = a - bx + cx^2$$

кривая имеет минимум при $x = \frac{b}{2c}$.

Уравнение (9) для данного случая напишется в таком виде:

$$y^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 y} + \frac{2q}{\sqrt{4ac - b^2}} \arctg \frac{b - 2cx}{\sqrt{4ac - b^2}} = C. \quad (13)$$

Постоянное будет равно:

$$C = H_0^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 H_0} + \frac{2q}{\sqrt{4ac - b^2}} \arctg \frac{b}{\sqrt{4ac - b^2}}.$$

Следует заметить, что решение уравнения в форме (13) возможно лишь в случае, когда $4ac - b^2 > 0$.

Рассмотрим ту же задачу, но при условии размещения наиболее водоупорных пластов по бортам массива (рис. 5).

Предположим, что закон изменения величины коэффициента фильтрации вдоль потока удовлетворяется уравнением:

$$k = a + bx - cx^2.$$

Кривая имеет максимум при

$$x = \frac{b}{2c}.$$

Уравнение кривой депрессий для данного случая (уравнение 9) напишется так:

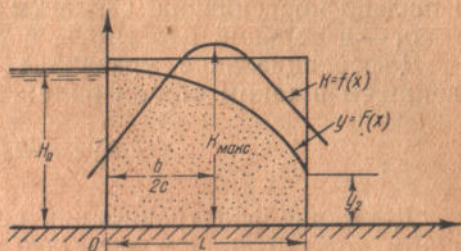


Рис. 5

$$y^2 + \frac{2q^2}{g^2 y} + q \ln \frac{\sqrt{4ac + b^2} + b + 2cx}{\sqrt{4ac + b^2} - b - 2cx} = C. \quad (14)$$

Постоянное будет определяться выражением:

$$C = H_0 + \frac{2q^2}{g^2 y} + q \ln \frac{\sqrt{4ac + b^2} + b}{\sqrt{4ac + b^2} - b}.$$

МАССИВЫ, СЛОЖЕННЫЕ ИЗ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Перейдем теперь к рассмотрению движения фильтрационного потока через земляной массив, сложенный из горизонтальных пластов различной водопроницаемости. Массив расположен на горизонтальном водоупорном основании. Для первоначального рассмотрения поставленной задачи рассмотрим движение грунтового потока в перемычке, сложенной из двух пластов (рис. 6).

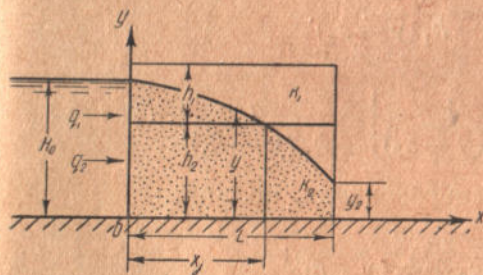


Рис. 6

Живые сечения фильтрационного потока в перемычке в целях облегчения анализа нами принимаются

в виде вертикальных плоскостей, нормальных плоскости рисунка.

Внимательное рассмотрение схемы потока в перемычке, изображенной на рисунке 6, позволяет отметить следующее: движение фильтрационного потока как в верхнем пласте, так и в нижнем — движение неравномерное, но обуславливается на протяжении x_j различными действующими факторами. В верхнем пласте, кроме обычного действующего фактора — снижения ординат кривой депрессий, проявляет себя одновременно новый

фактор — постепенная отдача расхода в нижний пласт. В нижнем пласте до сечения x_j происходит постепенное возрастание расхода от величины q_2 до $q_2 + q_1$ в сечении x_j ; q_1 и q_2 расходы начально поступившие в пласты

q_1 — в верхний пласт, q_2 — в нижний пласт.

Дифференциальное уравнение движения для данного случая напомним в таком общем виде:

$$-dy = dh_w + d\left(\frac{\alpha v_0^2}{2g}\right) \quad (15)$$

Движение фильтрационной воды в каждом пласте в отдельности должно происходить, что очевидно, с равенством потерь на гидравлические сопротивления в каждом любом живом сечении (y) фильтрационного потока в целом.

Это обстоятельство мы отметим следующим равенством:

$$dh_w = \frac{q_{2x}}{k_2 h_2} dx = \frac{q_{1x}}{k_1 (y - h_2)} dx \quad (16)$$

где: q_{1x} — расход в сечении (y) в верхнем пласте;

q_{2x} — расход в сечении (y) в нижнем пласте.

Условие установившегося движения фильтрационного потока в массиве требует, чтобы:

$$q_{1x} + q_{2x} = q = \text{const.}$$

Это условие позволяет написать равенство гидравлических потерь на погонную единицу длины потока в таком виде:

$$\frac{q_{2x}}{k_2 h_2} = \frac{q - q_{2x}}{k_1 (y - h_2)}$$

Откуда имеем:

$$q_{2x} \left[\frac{1}{k_2 h_2} + \frac{1}{k_1 (y - h_2)} \right] = \frac{q}{k_1 (y - h_2)}$$

сделав соответствующие преобразования, получим:

$$\frac{q_{2x}}{k_2 h_2} = \frac{q}{k_2 h_2 + k_1 (y - h_2)}$$

или, умножая обе части равенства на dx , перепишем, имея в виду равенство (16):

$$dh_w = \frac{q_{2x}}{k_2 h_2} dx = \frac{q}{k_2 h_2 + k_1 (y - h_2)} dx \quad (16')$$

Далее, так как величина порозности относительно мало меняется для различных грунтов, то мы без заметных погрешностей можем положить:

$$\beta_1 \cong \beta_2 \cong \beta$$

и написать последний член уравнения (15), выражающий изменение величины живой силы в потоке, в таком виде:

$$d \left(\frac{\alpha v_0^2}{2g} \right) = d \left(\frac{\alpha q^2}{2g\beta^2 y^2} \right).$$

Приведенные рассуждения позволяют дифференциальное уравнение движения фильтрационного потока в массиве написать, посчитав величину коэффициента $\alpha \cong 1$, в таком виде:

$$-dy = \frac{q}{k_2 h_2 + k_1 (y - h_2)} dx + d \left(\frac{q^2}{2g\beta^2 y^2} \right) \quad (17)$$

Любопытно отметить, что если ввести понятие о коэффициенте фильтрации, характеризующем водопроводимость всего массива в целом, назвав таковой средне-фиктивным коэффициентом фильтрации— $k_{с. ф.}$ или средне-приведенным, то значение последнего можно определить из уравнения (17). В самом деле, из выражения гидравлических потерь имеем:

$$\frac{q dx}{k_2 h_2 + k_1 (y - h_2)} = \frac{v_f}{k_{с. ф.}} dx = \frac{q}{k_{с. ф.} y} dx$$

но выражение:

$$\frac{q}{k_2 h_2 + k_1 (y - h_2)}$$

может быть переписано:

$$\frac{1}{k_2 \frac{h_2}{y} + k_1 \left(1 - \frac{h_2}{y} \right)} \cdot \frac{q}{y}$$

откуда:

$$k_{с. ф.} = \frac{(k_2 - k_1) h_2 + k_1 y}{y} \quad (18)$$

Уравнение (17) легко интегрируется; с этой целью перепишем это уравнение после незначительных преобразований в таком виде:

$$-[(k_2 - k_1) h_2 + k_1 y] dy + \frac{q^2}{g\beta^2} \left[\frac{(k_2 - k_1) h_2 + k_1 y}{y^3} \right] dy = q dx$$

и, интегрируя, получим:

$$C - (k_2 - k_1) h_2 y - \frac{k_1 y^2}{2} - \frac{q^2}{g\beta^2} \left[\frac{(k_2 - k_1) h_2}{2y^2} + \frac{k_1}{y} \right] = qx \quad (19)$$

Постоянное в этом уравнении определяется выражением:

$$C = (k_2 - k_1) h_2 H_0 + \frac{k_1 H_0^3}{2} + \frac{q^2}{g\beta^2} \left[\frac{(k_2 - k_1) h_2}{2H_0} + \frac{k_1}{H_0} \right].$$

При пользовании уравнением (19) необходимо помнить то обстоятельство, что оно применимо только в пределах длины фильтрационного потока от 0 до x_j (рис. 6). На остальной длине массива от $-x_j$ до L , фильтрационный поток будет характеризоваться уравнением (4):

$$\frac{q}{k_2} (x - x_j) = C - \frac{y^2}{2} - \frac{q^2}{g\beta^2 y}, \quad (20)$$

в котором постоянное определяется выражением:

$$C = \frac{h_2}{2} + \frac{q^2}{g\beta^2 h_2}.$$

Для определения элементов фильтрационного потока воспользуемся уравнениями (19) и (20), подставив в таковые вместо переменных величин соответствующие пограничные данные. Однако, пользование уравнениями (19) и (20) в их неизменном виде неудобно из-за сложности вычислительных манипуляций, поэтому допускаем некоторое упрощение названных уравнений путем опускания членов, выражающие изменение живой силы в потоке, не вызывая тем самым ощутимых погрешностей.

На основании сказанного перепишем уравнения (19) и (20) в таком виде:

$$\left. \begin{aligned} (H_0^3 - h_2^3) k_1 + 2 (H_0 - h_2) (k_2 - k_1) h_2 &= 2q x_j; \\ h_2 - y_2^2 &= 2 \frac{q}{k_2} (L - x_j) \end{aligned} \right\}$$

Добавляя необходимое третье условие

$$y_2 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta^2}}$$

получим систему трех уравнений, связующих неизвестные q , x_j , y_2 .

$$\left. \begin{aligned} (H_0^3 - h_2^3) k_1 + 2h_2 H_0 (k_2 - k_1) - 2k_2 h_2^2 &= 2q x_j \\ h_2 - y_2^2 &= 2 \frac{q}{k_2} (L - x_j) \\ y_2 &= \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta^2}} \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Исключая последовательно неизвестные x_j и v_2 , получим уравнение, зависящее только от одного неизвестного q :

$$2Lq + k_2 \left(\frac{q^2}{g\beta^2} \right)^{2/3} = (H_0^3 + h_2^3) k_1 + 2h_2 H_0 (k_2 - k_1) - k_2 h_2^3 \quad (22)$$

Уравнение (22) легко решается путем графического построения, и так как правая часть уравнения не зависит от q , то следовательно это уравнение можно представить для построений в таком виде:

$$2Lq + k_2 \left(\frac{q^2}{g\beta^2} \right)^{2/3} = \text{const.}$$

Решение задачи при большом числе пластов, очевидно, будет основываться на тех же самых рассуждениях, какие позволили нам решать задачу о фильтрации через массив, сложенный из двух пластов различной водопроницаемости.

Ход решения такой задачи ясен из изложенного выше.

Мы будем рассматривать задачу в несколько иной постановке: пусть массив сложен из бесконечно тонких пластов различной водопроницаемости, при чем изменение водопроницаемости пластов по высоте массива следует некоторому закону, выражаемому зависимостью:

$$k_y = f(y).$$

Дифференциальное уравнение кривой депрессии:

$$-dy = dh_w + d \left(\frac{\alpha v_0^2}{2g} \right)$$

переписывается для случая, изображенного на рис. (7), в таком виде:

$$-dy = \frac{q}{\int_0^y k dy} dx - \frac{q^2}{g\beta^2 y^3} dy \quad (23)$$

в силу того соображения, что:

$$dh_w = \frac{v_f}{k_{\text{ср}}} dx$$

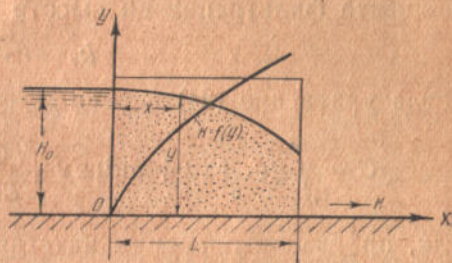


Рис. 7

Но

$$k_{cp} = \frac{\int_0^y k dy}{y}$$

и следовательно

$$dh_w = \frac{qy}{y \int_0^y k dy} dx = \frac{q}{\int_0^y k dy} dx$$

Интеграл уравнения (23) напишется в таком виде:

$$C - \int dy \cdot \int_0^y f(y) dy + \frac{q^2}{g\beta^2} \int \frac{dy}{y^3} \cdot \int_0^y f(y) dy = qx \quad (23')$$

Рассмотрим частный случай движения фильтрационного потока в массиве, характеризующемся изменением величины коэффициента фильтрации по высоте следующим законом:

$$k_y = a + by^2$$

тогда уравнение (24) переписется в таком виде:

$$C - \int dy \cdot \int_0^y (a + by^2) dy + \frac{q^2}{g\beta^2} \int \frac{dy}{y^3} \cdot \int_0^y (a + by^2) dy = qx$$

или, произведя операции интегрирования, получим:

$$C - \frac{ay^2}{2} - \frac{by^4}{12} + \frac{q^2}{g\beta^2} \left(\frac{b}{3}y - \frac{a}{y} \right) = qx.$$

Постоянное C будет равно:

$$C = \frac{aH_0^2}{2} + \frac{bH_0^4}{12} - \frac{q^2}{g\beta^2} \left(\frac{b}{3}H_0 - \frac{a}{H_0} \right).$$

Рассмотренная частная задача позволяет отметить, что задача сравнительно просто решается и в более общей постановке, а именно, когда изменение коэффициента фильтрации по высоте массива следует закону:

$$k_y = a \pm by^m$$

возрастания или убывания.

Задача не представляет трудности также и в том случае, когда более водоупорные пласты размещены в середине массива; поэтому мы считаем возможным на этом закончить наше рассмотрение фильтрации воды через простейшие земляные массивы, сложенные из пластов различной водопроницаемости.

В заключение считаем необходимым отметить то обстоятельство, что при решении приведенных выше задач не были учтены

совершенно действующие на фильтрационный поток капиллярные силы. В обстановке же лабораторных опытов (малые геометрические размеры массивов) искажающее действие капиллярных сил на фильтрационный поток будет особенно велико.

Поясним сказанное примером: окрашенные струйки в массиве, благодаря подсосывающему действию капиллярных сил, должны будут подтягиваться кверху и пересекать кривую депрессий, отмечаемую дырчатыми колодцами, согласно рис. 8.

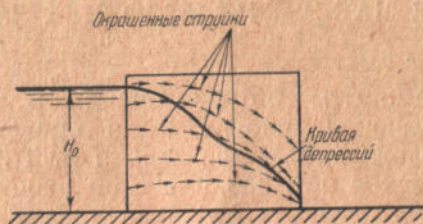


Рис. 8

Следовательно лабораторные наблюдения движения окрашенных струек в модели массива должны давать результирующую картину действия двух сил: силы тяжести и капиллярных сил. Это действие капиллярных сил должно особенно себя проявить в отношении увеличения расходов воды через массив.

Действие капиллярных сил, искажающих явление фильтрации с точки зрения нашего анализа, мы пока бессильны отобразить в математическом анализе, поэтому лабораторные опыты должны дать лишь условно-качественную поверку теоретических построений. Количественная сторона опытов (результаты измерений) не сможет быть перенесенной на массивы увеличенных (практических) размеров.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ФИЛЬТРАЦИИ ЧЕРЕЗ ОДНОРОДНЫЕ ЗЕМЛЯНЫЕ МАССИВЫ В УСЛОВИЯХ ЛАБОРАТОРНОГО ОПЫТА

Лабораторные опыты по фильтрации в теле однородных земляных перемычек и плотин были произведены в начале 1935 г. под руководством проф. Ненько Я. Т., давшего в конце 1934 г. теоретическое обоснование этой работы¹.

Основные модели

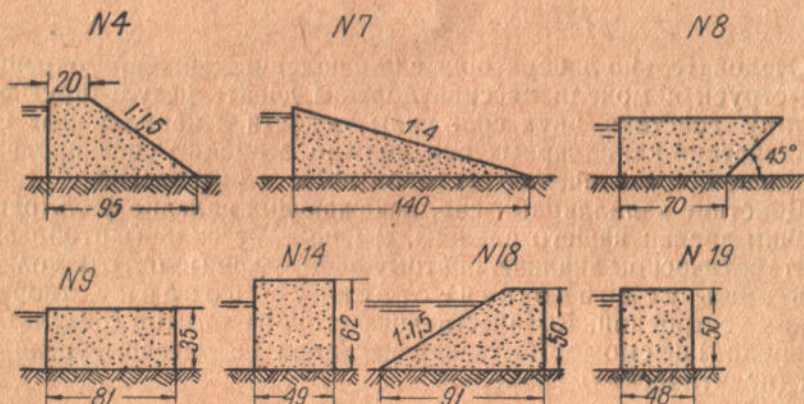


Рис. 1

Исследованию были подвергнуты модели перемычек, прямоугольного, трапециoidalного и треугольного сечений.

На рис. 1 приведены очертания основных испытанных моделей.

Очертания перемычек обусловлены были желанием подвергнуть изучению явления, происходящие в отдельных изолированных элементах поперечного сечения плотины с тем, чтобы иметь возможность в дальнейшем перейти к изучению явлений фильтрации в теле плотины в целом, на основе взаимодействия отдельных элементов сооружения.

¹ Проф. Ненько Я. Т. — «Фильтрация воды через земляные перемычки и плотины на непроницаемом основании». ГНТИУ, Харьков. 1936 г.

Кроме того, изучение явлений, происходящих при движении фильтрационного потока в телах простой геометрической формы позволяет уточнить существующие весьма несовершенные методы расчета перемычек.

ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Опыты производились в деревянном лотке длиной 1,9 м, шириной 0,705 м и высотой 1,05 м. Одна сторона лотка застеклена. Торцевые стенки образованы съемными щитами, высота которых меняется в соответствии с высотой модели, для облегчения доступа к последней. С этой же целью третье стекло, в пределах которого размещался обычно нижний бьеф модели, имело высоту 0,5 м.

Вода в лоток подавалась непосредственно из городской водопроводной сети и отводилась в общий резервуар. Регулирование горизонтов воды в лотке осуществлялось с помощью двух дифференциальных водосливов и одной передвижной воронки.

Конструкция лотка и схема коммуникации видны из прилагаемого рис. 2.

МОДЕЛИ

В качестве материала для моделей использован был речной песок средней крупности, подвергавшийся перед производством опытов промывке и просеиванию.

Физические свойства песка видны из таблицы 1.

Таблица 1

| №№ образцов | Описание образцов | Механический состав в процентах | | | | | | | Удельный вес | Объемный вес | Пористость в процентах |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------|----------|-----------|-----------|------------|-------|--------------|--------------|------------------------|
| | | 1 мм | 1 — 0,5 | 0,5—0,25 | 0,25—0,05 | 0,05—0,01 | 0,01—0,005 | 0,005 | | | |
| 1 | Из карьера . . . | 1,49 | 3,82 | 82,22 | 8,79 | следы | 2,25 | 1,02 | 2,67 | 1,79 | 34 |
| 2 | Просеянный и промытый | 0,39 | 2,17 | 84,40 | 11,49 | — | 1,02 | 0,25 | 2,66 | 1,79 | 33 |
| 3 | Разница между образцами 1 и 2 . | 1,10 | 1,65 | 2,18 | 2,70 | — | 1,23 | 0,77 | 0,01 | 0,00 | 1,0 |

Просеивание, как видно из таблицы, сказалось на уменьшении процента крупных фракций, промывка же привела к уменьшению процента мелких фракций.

Коэффициент фильтрации песка, определенный на приборе Тима - Каменского, составил 0,0207 см/сек и Тима — 0,018 см/сек.

Для теоретических подсчетов нами принят коэффициент фильтрации $0,018 \text{ см/сек}$, проверенный другими приборами, в частности прибором Форхгеймера, в корректировке НИГЛ (снятие капиллярного слоя).

Большинство опытов производилось над моделями перемычек, при откосах, которые не держались без крепления (а в отдельных случаях при вертикальных бортах).

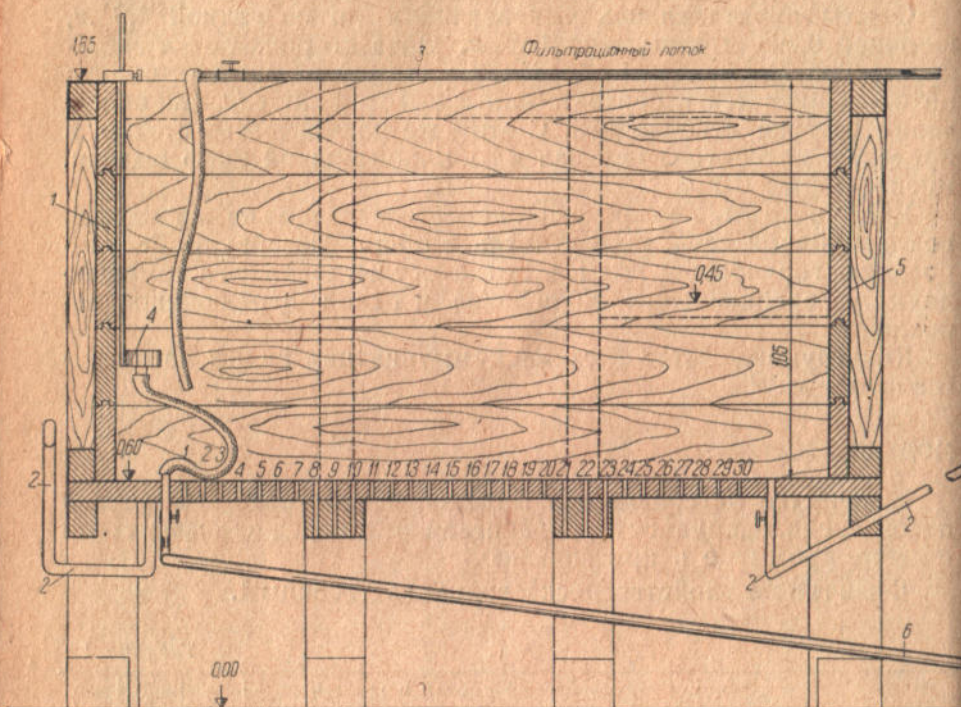


Рис. 2

1 — съемный щит; 2 — дифференциальный водослив; 3 — подающая труба; 4 — воронка для регулирования уровня; 5 — съемный щит; 6 — отводящая труба

Для сохранения в этих условиях неизменных, в процессе опыта, очертаний модели необходимо было применить крепление. Последнее должно было препятствовать выносу материала модели и в то же время оказывать возможно меньшее гидравлическое сопротивление фильтрационному потоку.

В результате испытаний (табл. 2) был принят следующий тип креплений: железная сетка с ячейкой 4 мм , натянутая на железную раму. Между откосом модели и сеткой прокладывался слой мраморной крошки общей толщиной $3—5 \text{ см}$.

В ряде опытов, имевших своей целью определение парциальных по высоте расходов на низовом откосе, были применены плоские металлические желобки, уложенные горизонтально, с засыпкой мраморной крошкой.

В процессе опытов было выявлено, что показания пьезометров на всей ширине перемычки уменьшались со временем. Это явление может быть объяснено микробиологическими процессами, происходящими как на поверхности крепления напорной грани, так и в теле модели.

Влияние времени и типа крепления на изменение фильтрационных свойств модели может быть охарактеризовано разницей между горизонтом воды в верхнем бьефе модели и первого донного пьезометра, расположенного непосредственно за креплением.

Таблица 2

| №.№ модели | Тип крепления | Горизонт верхнего бьефа | Отстояние донного пьезометра от напорной грани в см | Показания донного пьезометра в начале опытов в см | Показания донного пьезометра в конце опытов | Промежуток времени между двумя отсчетами (в сутках) |
|------------|---|-------------------------|---|---|---|---|
| 4 16 | Фильтровая рипсовая сетка. | 45,0 | 3,0 | 43,2 | 37,3 | 7 |
| | Проволочная сетка ячейкой 4 мм, со слоем мраморной крошки | 47,0 | 3,0 | 46,2 | 44,9 | 7 |

Для уменьшения влияния на точность опытов, отмеченных таблицей явлений, продолжительность периода испытаний основных моделей не превышала 2—3 дней.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТОВ И МЕТОДОВ НАБЛЮДЕНИЯ

Целью опытов являлось изучение фильтрационного потока в перемычках различной формы при разных напорах поддерживаемыми перемычками и разных уровнях нижнего бьефа.

Факторы, характеризующие фильтрационный поток, фиксировались такие: а) кривые депрессии (дырчатых колодцев); б) кривые депрессии донных пьезометров; в) расходы; г) линии тока и распределение скоростей в пределах фильтрационного потока.

Определение фильтрационного расхода производилось с помощью тарированного мерного сосуда и секундомера. Кроме того, делались попытки определения парциальных расходов на различных горизонтах низового откоса.

Изучение линий тока и скоростей в различных участках фильтрационного потока производилось посредством одновременного запуска красящих веществ в ряде точек верхнего откоса и фиксирования траектории окрашенных струй. При этом применялась периодическая зарисовка и фотографирование, давшие возможность вычисления скоростей в отдельных точках потока.

Интервал между двумя зарисовками или фотосъемками при-

нимался порядка 2—3 минут. Ниже приводится фотография (рис. 9), показывающая один из кадров периодической фотографии.

Целью опытов по исследованию фильтрационного потока являлось: 1) исследование положения кривой депрессии, 2) динамика потока в показаниях донных пьезометров и дырчатых колодцев, 3) величины расхода при различных горизонтах верхнего бьефа, 4) определение высоты выхода фильтрационного потока на низовой грани, 5) определение влияния капиллярного слоя на расход фильтрационного потока.

ПЕРЕМЫЧКИ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ГРАНЯМИ

Очертание кривой депрессии перемычки, как это отмечено в упомянутом выше труде проф. Ненько Я. Т., находится в теснейшей зависимости от: а) размеров массива, б) величины подпора с нижнего бьефа.

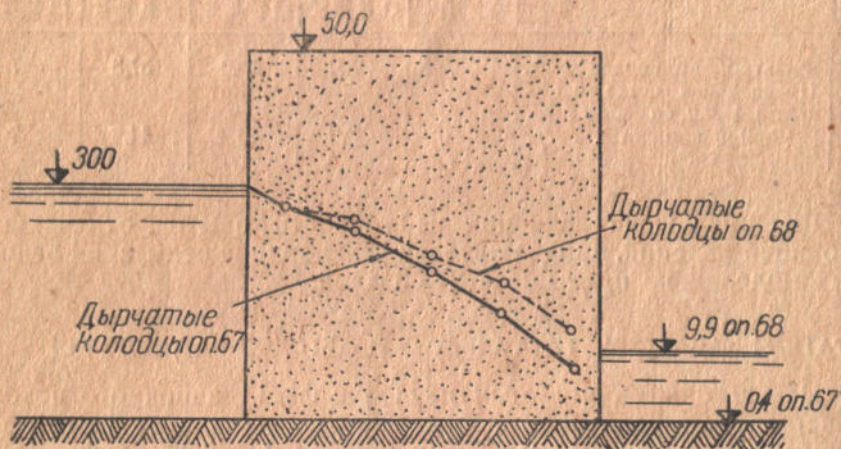


Рис. 3

Произведенные опыты показали, что при разной длине модели и одинаковых соотношениях между бьефами наблюдается с уменьшением длины перемычки увеличение крутизны депрессивной кривой.

Одновременно удалось установить влияние величины подпора со стороны нижнего бьефа на положение кривой депрессии (рис. 3) и величину дебета фильтрации.

Последнее видно из таблицы 3.

Любопытно сравнить результаты фильтрационных расходов, полученные из опыта с результатами подсчетов по формуле Дюпюи (табл. 4).

$$q = \frac{\kappa(H_0^2 - h_0^2)}{2S}$$

Таблица 3

| №№ модели | № опыта | Ширина модели S см | Горизонт верхнего бьефа H_0 см | Горизонт нижнего бьефа h_0 см | Дебит суммарный Q см ³ /сек | Дебит единственный q см ² /сек | Примечание |
|-----------|---------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|---|-------------------------------------|
| 10 | 67 | 48,0 | 30,0 | 0,4 | 23,53 | 0,33 | Длина модели во всех опытах 71,0 см |
| 10 | 68 | 48,0 | 30,0 | 9,9 | 14,99 | 0,21 | |
| 10 | 71 | 48,0 | 48,0 | 0,4 | 47,16 | 0,66 | |
| 10 | 72 | 48,0 | 48,0 | 24,8 | 29,5 | 0,41 | |

Таблица 4

| № модели | № опыта | Ширина модели S см | Горизонт верхнего бьефа H_0 см | Горизонт нижнего бьефа h_0 см | Коэффициент фильтрации k см/сек | Подсчет дебита по Дюпюи | Дебит из опыта см ² /сек | Расхождение в процентах |
|----------|---------|----------------------|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| 10 | 67 | 48,0 | 30,0 | 0,4 | 0,018 | 0,16 | 0,33 | 200 |
| 10 | 68 | 48,0 | 30,0 | 9,9 | 0,018 | 0,15 | 0,21 | 140 |
| 10 | 71 | 48,0 | 48,0 | 0,4 | 0,018 | 0,43 | 0,66 | 150 |
| 10 | 72 | 48,0 | 48,0 | 24,8 | 0,018 | 0,32 | 0,41 | 130 |

Результаты наблюдений показаний пьезометров сведены в таблице 5.

Таблица 5

| | № створов | | | | | | | | | |
|-----------------------|-----------|------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|------|------------------------------|
| | 11 | Расстояние от напорной грани | 13 | Расстояние от напорной грани | 15 | Расстояние от напорной грани | 17 | Расстояние от напорной грани | 19 | Расстояние от напорной грани |
| Дырчатые колодцы . . | 43,2 | 5 | 37,7 | 15 | 30,7 | 25 | 22,0 | 35 | 10,1 | 45 |
| Донные пьезометры . . | 40,6 | 6 | 34,5 | 15 | 27,1 | 25 | 13,4 | 35 | 5,2 | 45 |

В процессе опытов было обращено особое внимание на явления, происходящие в капиллярном слое модели.

Явления эти, до сих пор мало изученные, имеют большое значение в деле лабораторного моделирования фильтрующих сооружений.

Как следовало ожидать, искажения, вносимые наличием капиллярного слоя, для моделей более ощутимы, чем в натуре, так как зона капиллярного подвятия при относительно неболь-

ших размерах модели занимает довольно значительную часть модели.

Произведенные исследования имели своей целью установить степень влияния капиллярной зоны на расход и скорости фильтрационного потока.

Модель N19

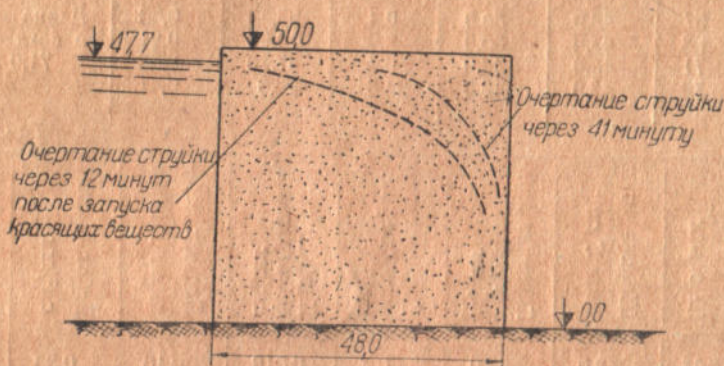


Рис. 4

Модель N19

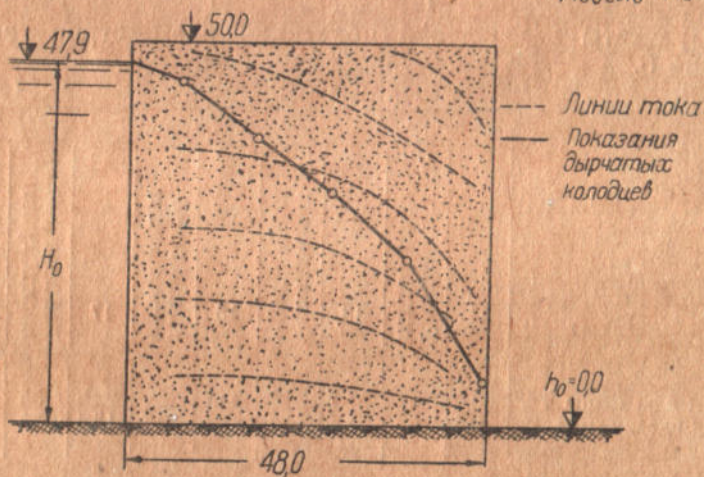


Рис. 5

Первые же наблюдения, заключавшиеся в запуске красящих веществ в пределах части модели, расположенных выше кривой депрессии, показали наличие движения в этом слое. При этом (что установлено периодической фотосъемкой) скорость движения окрашенного вещества в капиллярном слое не сильно разнится от скоростей в остальной части модели.

В модели № 19 отчетливо было видно искривление линий тока вследствие влияния капиллярной зоны (рис. 4).

Опытом отмечено следующее обстоятельство — окрашенные струйки почти по всей высоте массива пересекают кривую депрессий (рис. 5).

Это влияние может быть объяснено лишь воздействием капиллярных сил на фильтрационный поток.

Во время производства опытов была сделана попытка выявить не только качественную, но и количественную сторону явления в части влияния капиллярной зоны на фильтрационные расходы.

Для этого была использована модель прямоугольного очертания. Сперва было определено на основе показаний дырчатых колодцев очертание кривой депрессий и соответствующий ему расход. Затем была удалена часть перемычки, расположенная выше кривой депрессии.

Сравнение фильтрационных расходов для обоих случаев дает возможность судить о степени влияния капиллярной зоны на расходы.

Результаты сравнения видны из следующей таблицы:

Таблица 6

| №№ модели | Ширина перемычки | №№ опытов | Высота перемычки см | Горизонт верхнего бьефа H_0 см | Превышение верха перемычки над кривой депрессии см | Горизонт нижнего бьефа h_0 см | Расход см ³ /сек | Процент | Величина коэффициента фильтрации см/сек | Формы перемычек |
|-----------|------------------|-----------|---------------------|----------------------------------|--|---------------------------------|-----------------------------|---------|---|---|
| 14 | 49,0 | 90 | 62,0 | 40,3 | Нормальная перемычка | 0,6 | 22,57 | 100 | 0,0196 | Основная форма перемычек — прямоугольная. В опытах № 94 и 95 удалена часть капиллярного слоя. Толщина оставленного капиллярного слоя над кривой депрессии равна соответственно 5 и 15 см. |
| 15 | 49,0 | 94 | — | 40,0 | 5 см | 0,6 | 20,92 | 92,6 | 0,0182 | |
| 14 | 49,0 | 91 | 62,0 | 30,0 | Нормальная перемычка | 0,5 | 15,50 | 100 | 0,0238 | |
| 15 | 49,0 | 95 | — | 30,0 | 15 см | 0,5 | 12,78 | 82,4 | 0,0197 | |

Результаты, приведенные выше, заставили подойти критически к методу определения коэффициента фильтрации, предложенному проф. Форхгеймером.

Действительно, в приборе последнего, представляющем собой прямоугольную перемычку, аналогичную нашей модели, несомненно, должны иметь место отмеченные выше капиллярные искажения фильтрационного потока.

Вследствие этого является естественным предположение, что величина коэффициента фильтрации, определенная по способу Форхгеймера, будет иметь преувеличенное значение.

В процессе опытов было произведено определение коэффициента фильтрации песка методом Форхгеймера и на приборе Тима и Тима-Каменского.

Образец для загрузки приборов Тима и Тима-Каменского взят непосредственно из модели перемычки и опыты производились одновременно.

Коэффициент фильтрации, определенный методом Форхгеймера, составил для модели № 19 — 0,032 см/сек. Коэффициент фильтрации для образца, вынутого из этой же модели, определенный на приборе Тима, составил 0,018 см/сек и Тима-Каменского — 0,0207 см/сек.

Как видно из приведенных выше данных, метод Форхгеймера дает преувеличение до 200% против значений коэффициента фильтрации, полученных на приборах Тима и Тима-Каменского.

Совершенно четко выявляется картина воздействия на явления фильтрации капиллярных сил при подсчете величины коэффициента фильтрации по формуле:

$$k = \frac{2qS}{H_0^2 - h_0^2},$$

на основании данных таблицы 6.

Результаты таких подсчетов для опытов с прямоугольной перемычкой приведены в той же таблице.

Одной из наиболее трудных с теоретической и экспериментальной стороны задач при описываемых опытах являлось определение ординаты выхода кривой депрессии на низовой откос.

В процессе производства опытов был сделан ряд попыток для определения значения этой величины: по показаниям дырчатых колодцев и окрашивания сетки низового откоса легко размывающимися составами.

Прием косвенного определения точки выхода кривой депрессии на низовой откос также не дал надежных результатов.

Эти приемы заключались в определении параметров кривой депрессии по данным показаний пьезометров и нахождения математической точки пересечения, путем совместного решения уравнения кривой депрессии и низового откоса.

Мы склонны думать, что капиллярные явления вносят искажения в показания пьезометров. Но четко установить это на опыте не удалось.

МОДЕЛЬ ТРЕУГОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ;

Упомянувшимся выше теоретическим обоснованием работы (стр. 40) было выдвинуто предположение, что для случая треугольной перемычки с вертикальной гранью, поддерживающей

напор воды на уровне гребня будут иметь место следующие явления: а) кривая депрессии будет совпадать с низовым откосом; б) элементарные струйки будут стремиться при выходе на низовой откос занять положение не касательное, а нормальное к откосу; в) фильтрационный расход через эту перемычку определяется по формуле $q \cong \frac{kH_0}{\ln \operatorname{ctg} \frac{\theta_2}{2}}$, где q — удельный расход,

k — коэффициент фильтрации материала, H_0 — напор, поддерживаемый перемычкой, θ_2 — угол наклона низовой грани к горизонту.

Определенные таким образом значения расхода должны быть большими, чем по формуле, предложенной акад. Н. Н. Павловским:

$$q = \frac{kH_0}{\operatorname{ctg} \theta_2}.$$

Произведенные опыты дали возможность проверить приведенные выше предпосылки.

Очертания кривой депрессии, определяющиеся показаниями дырчатых колодцев, дали следующие результаты:

Таблица 7

| Модель № 7, опыт № 51. Высота модели 35 см, напор H_0 — 34,3 см | №№ дырчатых колодцев | | | | |
|---|----------------------|------|------|------|------|
| | 11 | 13 | 15 | 17 | 19 |
| Отметка поверхности низового откоса в см | 23,3 | 20,8 | 18,3 | 15,8 | 13,3 |
| Показания дырчатых колодцев в см | 22,6 | 20,0 | 17,5 | 15,3 | 12,7 |
| Разница | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,5 | 0,6 |
| Показания донных пьезометров | 22,5 | 20,0 | 17,4 | 15,0 | 12,4 |

Расхождение в пределах точности наблюдений.

Направление линии токов, насколько удалось установить в результате опытов, стремится при выходе принять направление, близкое к нормали к низовому откосу.

Результаты сравнения величин фильтрационных расходов, подсчитанных по вышеприведенным формулам и полученным в результате опытов, приведены в следующем примере.

Пример.

Модель № 7, опыт № 51. (Модель треугольного профиля).

Высота модели 35 см, ширина по дну 140 см, $\operatorname{ctg} \theta_2 = 4$;

где θ_2 — угол наклона низовой грани.

Горизонт воды: в верхнем бьефе $H_0 = 34,3$ см,

” ” в нижнем бьефе $h_0 \cong 0$.

(Такой напор в верхнем бьефе возможен был как максимальный для сохранения низового откоса в условиях опыта). Коэффициент фильтрации $k = 0,018 \text{ см/сек}$.

Расход на 1 пог. см перемычки, определенный из опыта $q_{оп} = 0,253 \text{ см}^2/\text{сек}$. Формула, предложенная акад. Павловским Н. Н.

$$q = \frac{k \cdot H_0}{\text{ctg } \theta_2} \text{ дает значение } q = \frac{0,018 \cdot 34,3}{4} = 0,154 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Отклонение этой величины от полученной опытным путем составляет: $\Delta q = -0,099 \text{ см}^2/\text{сек}$, или в процентах: $\frac{\Delta q}{q_{оп}} \cdot 100 = -39,1\%$. Величина расхода для рассматриваемого случая, определенная по формуле проф. Ненько Я. Т.

$$q = \frac{k \cdot H_0}{\ln \text{ctg } \frac{\theta_2}{2}}$$

$$\text{дает значение } q = \frac{0,018 \cdot 34,3}{2,08} = 0,297 \text{ см}^2/\text{сек}.$$

Отклонение этой величины от полученной опытным путем составляет: $\Delta q = +0,044 \text{ см}^2/\text{сек}$, или в процентах $\frac{\Delta q}{q_{оп}} \cdot 100 = +17,3\%$.

ТРАПЕЦИОДАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ ОТКОСОМ

Очертание описываемой модели имеет место на практике в случаях: а) сопряжения низового откоса плотины с дренажной призмой, б) перемычка типа ниж. Юргевича.

Модель N 8

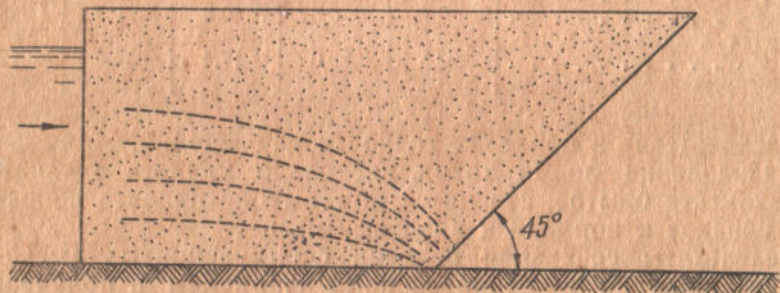


Рис. 6

Опытом установлена значительная концентрация фильтрационных струй в нижней части низового откоса и вымыва частиц. Последнее обстоятельство свидетельствует о наличии внизу перемычки значительных выходных скоростей.

На рис. 6 видны очертания линий тока, резко искривляющиеся по мере приближения к фокусу размыва.

ПЕРЕМЫЧКА С НАКЛОННОЙ ВЕРХОВОЙ И ОТВЕСНОЙ НИЗОВОЙ ГРАНЬЮ

Произведенные испытания дали возможность сравнить величину фильтрационных расходов, подсчитанных по формуле проф. Ненько Я. Т. и акад. Павловского с данными, полученными из опытов.

Как известно, формула Ненько имеет вид:

$$q^2 = \beta^2 g y_2^3,$$

где: q — величина дебита на 1 пог. см длины перемычки,
 β — коэффициент порозности,
 g — ускорение силы тяжести,
 y_2 — величина ординаты выхода кривой депрессий на низовой откос.

Формула Павловского имеет вид:

$$q = \frac{kh^2}{2b_0},$$

где q — величина дебита на 1 пог. см длины перемычки, k — коэффициент фильтрации, h — глубина фильтрационного потока в начале „средней части“ профиля плотины, b_0 — ширина плотины на уровне верхнего бьефа.

Результаты сравнений видны из таблицы 8.

Таблица 8

| № модели | № опыта | Горизонт верхнего бьефа H_0 см | Горизонт нижнего бьефа H_0 см | Коэффициент порозности β | y_2 по Ненько | Расход по Ненько см ³ /сек q | Коэффициент фильтрации k см/сек | Глубина h см | Ширина b_0 см | Расход по Павловскому см ³ /сек | Расход из опыта см ³ /сек |
|----------|---------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|-----------------|---|-----------------------------------|----------------|-----------------|--|--------------------------------------|
| 18 | 104 | 24,9 | 0 | 0,33 | 0,035 | 0,068 | 0,018 | 21,987 | 57,65 | 0,0034 | 0,222 |

Направление фильтрационных струек и сравнительное значение скоростей видны из прилагаемого при сем фото, произведенного через 7 минут после запуска красящих веществ.

Как видно из приведенной фотографии, наибольших значений скорость фильтрационного потока достигает в верхней зоне модели. Отсюда же можно сделать вывод, что в нижней части откоса — движение фильтрационного потока незначительно.

Скорости движения фильтрационных струек, подсчитанные на основании этих фотографий, составляют в см/сек.

| | Наименование точки запуска кривой | | | |
|---------------------------|-----------------------------------|----------|----------|----------|
| | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> |
| Скорость см/сек | 0,007 | 0,034 | 0,05 | 0,107 |



Рис. 7

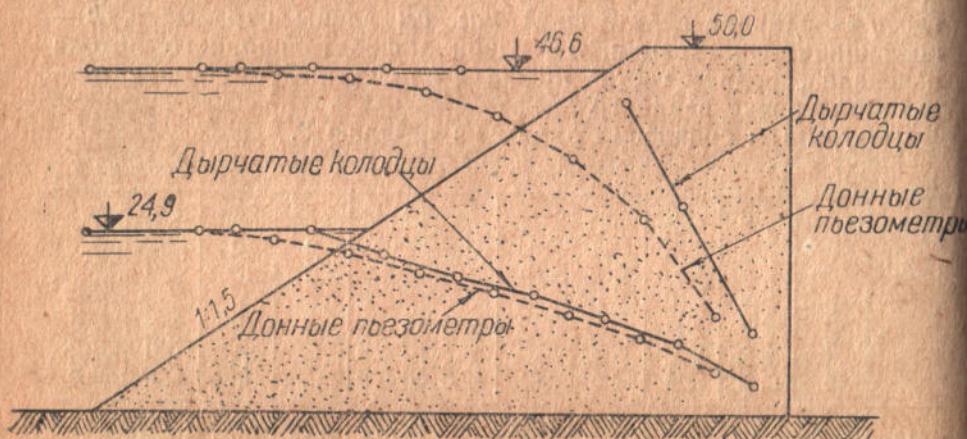


Рис. 8

Согласно теоретическим предположениям, высказанным проф. Невько Я. Т., опыт должен четко показать две кривых:

а) дырчатые колодцы должны отметить действительную кривую депрессии (поверхность грунтового потока в рассматриваемой перемычке);

б) донные пьезометры должны отметить кривую, расположенную значительно ниже действительной кривой депрессии.

Точка выхода на низовую грань перемычки должна быть одна и та же для обеих кривых (рис. 26 работы Я. Т. Невько).

Опыты за № 103, 104 модели № 18 подтвердили эти предположения (см. график, рис. 8).

ПЕРЕМЫЧКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМ НАПОРНЫМ И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫМ НИЗОВЫМ ОТКОСОМ

Положение кривой депрессии определялось, как и в предыдущих случаях, показаниями дырчатых колодцев. Ординаты выхода кривой депрессии, определенные из опытов, дают значения, близкие к значениям, вычисленным по формулам, предложенным проф. Ненько и Шоклич-Павловским.

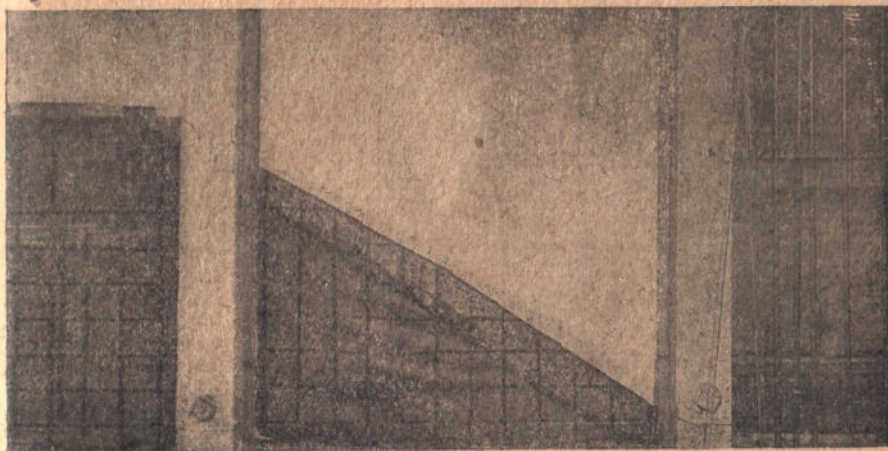


Рис. 9

Величина ординаты u_2 точки выхода кривой депрессии на низовом откосе в см видна из таблицы 10.

Таблица 10

| № модели | № опыта | Горизонт верхнего бьефа | Горизонт нижнего бьефа | По проф. Ненько u_2 | По Шоклич-Павловскому u_2 | Опыт (от—до) u_2 |
|----------|---------|-------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------|
| № 6 | 236 | 47,3 | 0,0 | 21.2167 | 21.2170 | 19,00 |

Ордината точки выхода кривой депрессии на низовой откос определялась в опытах показаниями дырчатых колодцев.

Направление струек при выходе на низовой откос приближалось к нормали к откосу, что видно из прилагаемых фотографий.

Отмеченное в разделе, посвященном исследованию фильтрационного потока в перемычках с отвесными бортами влияние капиллярной зоны на величину расхода, имеет место и в перемычках трапециoidalного профиля.

Ниже (рис. 11) приводится схема, построенная на основании периодической фотосъемки, характеризующая движение марганцево-кислого калия, запущенного в виде раствора в тело перемычки вблизи напорной грани. Запуск был произведен одновременно, затем через определенные промежутки времени производилась фотосъемка модели (рис. 9, 10).

Очертания окрашенных пятен, характеризующие положение фильтрационных струек, дают возможность судить о распределении скоростей фильтрационного потока в пределах перемычки и о направлении отдельных струек. Как видно из чертежа, верхнее пятно, находящееся в пределах капиллярной зоны, движется со скоростью того же порядка, что и остальная часть потока.



Рис. 10

ПАРЦИАЛЬНЫЕ РАСХОДЫ НА НИЗОВОМ ОТКОСЕ

Вопросы о распределении фильтрационного расхода по высоте низового клина, насколько нам известно, не изучались опытным путем.

Теоретический вывод, произведенный акад. Н. Н. Павловским, дает следующее значение для элементарного расхода струйки в пределах низового клина.

$$dq = \frac{k}{m_1} dz,$$

где: q — расход, k — коэффициент фильтрации, m_1 — коэффициент низового откоса и z — превышение точки выхода кривой депрессии над стружкой.

Как видно из приведенной зависимости, расход элементарной струйки не зависит от ее высотного положения.

Нами была произведена попытка определить значения парциальных расходов на низовом откосе перемычки, трапециодального и прямоугольного профиля.

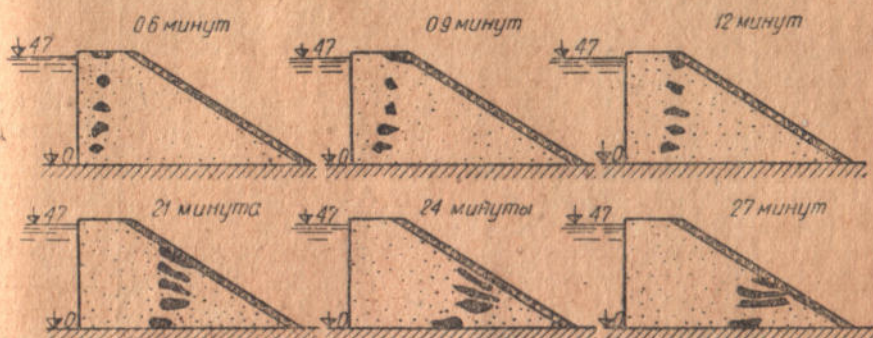


Рис. 11

С этой целью была нами сконструирована предложенная инж. Кранцфельдом Л. Я. установка, схема которой видна из рис. 12 (для случая трапециодальной перемычки).

Прибор состоит из ряда желобков, изготовленных из жести и расположенных на низовом откосе. Края желобков врезаются

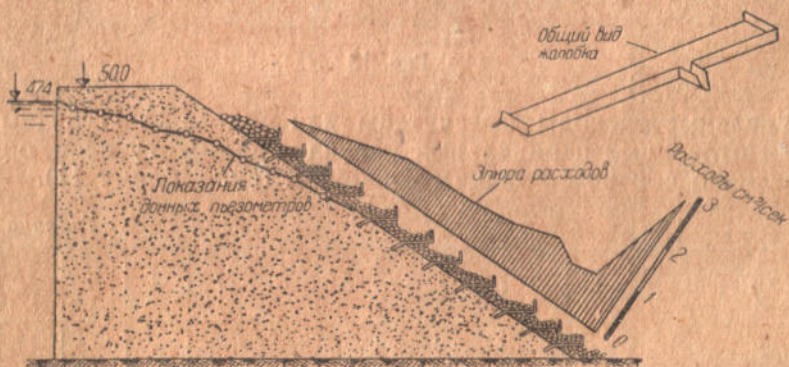


Рис. 12. Схема расположения желобков при определении парциальных расходов на низовом откосе

в тело модели на 1 см, промежуток между желобками заполняется мраморной крошкой, которая предохраняет откос от оползания. Вода, собирающаяся в каждом из желобков, отводилась в отдельные мерные сосуды и измерялась объемным способом (рис. 13).

В результате ряда опытов установлено, что удельные расходы неизменно увеличиваются по направлению к подошве

перемычки, т. е. эпюра парциальных расходов получается не прямоугольной, а приближается, как видно из приведенного выше чертежа, к треугольной.

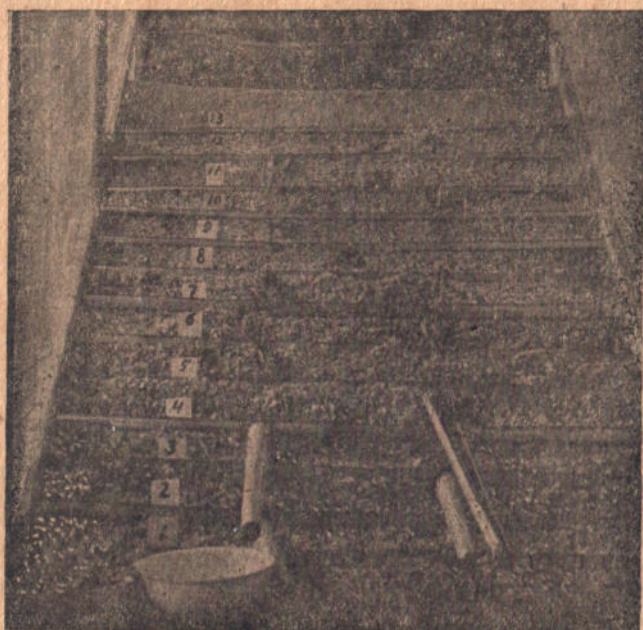


Рис. 13

Удельные расходы подсчитаны для модели № 11 путем деления отдельных парциальных расходов на высоту слоя, обслуживаемого соответствующим желобком (см. таблицу 11).

Таблица 11

| № желобка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Парциальный расход $см^3/сек$. . . | 3,55 | 2,31 | 3,00 | 3,69 | 3,03 | 2,35 | 2,50 | 2,33 | 1,15 | 0,47 | 0,22 |
| Высота слоя $см$. . . | 1,3 | 2,7 | 3,7 | 3,6 | 4,0 | 3,4 | 4,0 | 4,1 | 3,2 | 4,2 | 3,7 |
| Удельный расход $см^2/сек$ | 2,73 | 0,86 | 0,81 | 1,03 | 0,76 | 0,69 | 0,63 | 0,57 | 0,36 | 0,11 | 0,06 |

Для того, чтобы выявить искажение, которое может вноситься желобками в фильтрационный поток, было произведено сравнение показаний донных пьезометров для случаев: трапециoidalной перемычки без желобков и такой же модели с желобками. Разница показаний одноименных пьезометров не превышала 5 мм при высоте пьезометрического столба порядка 250—500 мм.

Выводы

1. В перемычке треугольного профиля с вертикальной верхней гранью и горизонте верхнего бьефа равном или близком к отметке гребня перемычки линии тока ниже кривой депрессий (ниже точки выхода ее на низовой откос) стремятся при выходе повернуться к низовому откосу под углом $\alpha > \theta$ (рис. 14).

В пределах капиллярного слоя струйки стремятся выйти по касательной к откосу.

Такое явление соответствует теоретическим выводам, сделанным проф. Ненько Я. Т. в его работе.

В результате определения фильтрационных расходов в ряде опытов по моделям трехгранных перемычек установлено, что ве-

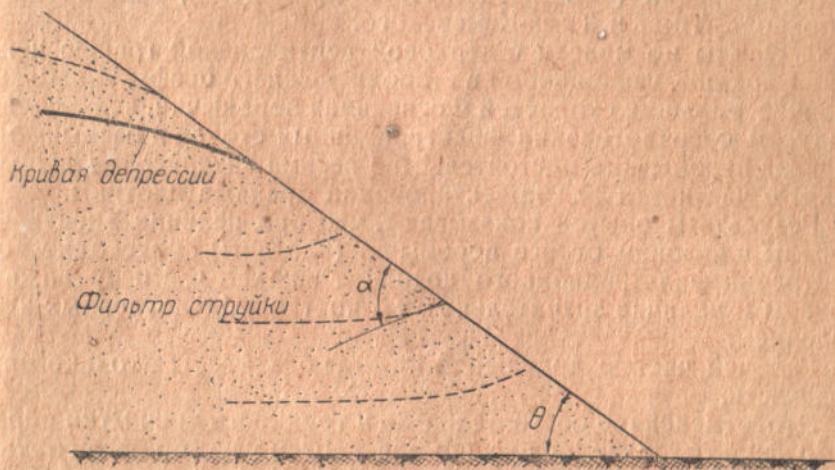


Рис. 14

личины фильтрационных расходов через указанные перемычки, вычисленные по формулам, предложенным акад. Павловским и проф. Ненько, имеют значение достаточно близкое к полученным экспериментально.

2. В перемычках трапециoidalного профиля с наклонной низовой гранью также имеет место стремление фильтрационных струек принять нормальное положение к низовому откосу. В данном случае часть низового клина, расположенная ниже выхода кривой депрессии, представляет собой пример, включающий, как частный случай, треугольную перемычку, рассмотренную в п. 1.

3. Изучение в лабораторных условиях, особенно в малых масштабах, явлений фильтрации через перемычки с вертикальными гранями возможно только в направлении получения форм очертания кривых депрессий с помощью дырчатых колодцев.

Изучение же законов распределения элементарных фильтрационных струек затруднено искажением, вносимым капилляр-

ными явлениями, а особенно при небольшой высоте моделей и мелкозернистом песке.

В условиях масштабов моделей, принятых при опытах в лаборатории, фильтрационные расходы искажены теми же капиллярными явлениями.

4. Искажение величин фильтрационных расходов в моделях прямоугольного сечения, отмеченное выше, дает возможность критически подойти к методу определения коэффициента фильтрации, предложенному Форхгеймером. Прибор последнего представляет собой прямоугольную перемычку, аналогичную данным моделям. Поэтому явилась возможность проверить коэффициент фильтрации, подсчитанный по методу Форхгеймера, с коэффициентом фильтрации (образца, вынутого из модели), определенным в приборе Тима и Тима-Каменского.

5. Опыты по модели с верхней вертикальной гранью и нижней гранью, наклоненной в сторону нижнего бьефа, указывают наличие больших скоростей у основания перемычки, являющейся фокусом сосредоточения фильтрационных струек и размыва материала перемычки—обстоятельство весьма интересное для практики, в частности для проектирования дренажа плотины.

Результаты опытов показывают, что при наличии дренажной призмы в низовом откосе перемычки (плотины) происходит концентрация фильтрационного потока в нижней части дренажной призмы и наличие значительных скоростей, обусловленных этим явлением.

Рабочей частью дренажной призмы оказывается только нижняя часть.

Это отмеченное обстоятельство и трудность прочистки обратного фильтра дает основание для пересмотра принятого типа дренажной призмы и замены последних простой укладкой щебеночного фильтра по низовому откосу¹.

6. При исследовании модели перемычек с наклонной верхней и отвесной нижней гранями опыты четко показали наличие двух кривых:

а) с помощью дырчатых колодцев отмечается действительная кривая депрессий (поверхность грунтового потока в модели перемычки) и

б) донные пьезометры отмечают кривую, расположенную значительно ниже действительной кривой депрессии.

Точки выхода на низовую грань перемычки обеих кривых в пределах точности опытов совпадают.

¹ Эти соображения нашли себе подтверждение в статье инж. А. А. Угичуса, помещенной в журнале „Москвалогострой“ № 2, 1935 г., с которой мы ознакомились после проведения опытов.

О СУЩНОСТИ КОНСТРУКЦИИ И О СПОСОБЕ ВОЗВЕДЕНИЯ НАМЫВНОЙ ПЛОТИНЫ

Намывные плотины насчитывают почти полстолетия со времени своего возникновения, но принципы их конструирования и приемы возведения остались неизменными за все это время, несмотря на значительное число исполненных в натуре сооружений. Эти принципы сформулированы еще в начале текущего столетия Американским инженером, крупным специалистом по вопросу о намывных плотинах James D. Schuyler'ом.

В основном эти принципы заключаются в следующих трех положениях¹:

первое — *внутренняя треть плотины должна быть составлена из материала, непроницаемого для воды;*

второе — *наружная часть каждой из двух других третей плотины должна состоять из грубо-пористого материала, свободно пропускающего воду;*

третье — *внутренние половины наружных третей тела плотины должны составлять из такой смеси частиц материала, которая может работать, как фильтр, способный удерживать мелкие частицы грунта, слагающего внутреннюю треть плотины.*

Эти, в сущности, весьма скромные положения Schuyler'a названы Wegmann'ом „теорией“ намывных плотин.

Вся литература, касающаяся вопроса о намывных плотинах, сводится в основном к описанию конструкций сооружений, исполненных в натуре, и приемов их возведения. Существующие труды по данному вопросу на русском языке являются в большей или меньшей степени добросовестным переложением иностранной литературы и — только.

Следует отметить, что образцов намывных плотин, исполненных у нас в СССР, не имеется — мы только приступаем к постройке подобного рода сооружений.

Из всего сказанного следует, что для научно-исследовательской работы в области конструирования намывных плотин и в приемах их возведения имеются самые широкие возможности и обширное поле деятельности.

¹ Цитировано по E. Wegmann'y: „The Design and Construction of Dams“, New-York 1911, стр. 248.

Настоящая статья является, в сущности, скромной попыткой внести некоторые теоретические обоснования в конструкцию намывных плотин и в приемы возведения последних.

Рациональной конструкцией в инженерных сооружениях должна считаться такая конструкция, которая отвечает следующим требованиям:

первое — наиболее полное соответствие данной конструкции назначению сооружения в отношениях: эксплуатации, прочности и экономичности;

второе — наиболее полного учета игры всех основных действующих на сооружение сил;

третье — учета действительного влияния физических факторов и явлений;

четвертое — наиболее полного использования строительных свойств материала, из которого возводится сооружение;

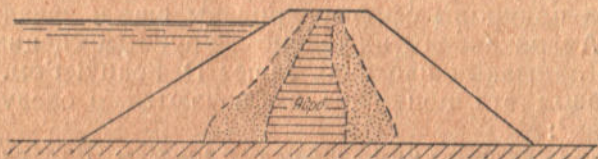


Рис. 1. Схема профиля намывной плотины

пятое — быть удобной и относительно других конструкций, более легкой в постройке;

шестое — рационального и по возможности более полного использования запасов прочности данного типа сооружений.

Последнее требование, хотя и выглядит несколько парадоксальным, но для многих типов сооружений имеет место. Смысл этого последнего требования мы поясним ниже на примере конструкции намывной плотины.

Посмотрим, отвечает ли общепринятая конструкция намывной плотины поставленным выше требованиям. Под конструкцией мы будем подразумевать пока только размещение строительного материала (грунта) в поперечном профиле тела намывной плотины, в известной последовательности изменения крупности частиц для отдельных частей профиля.

Типичный профиль намывной плотины схематически изображен на рис. 1.

Наиболее водоупорная часть профиля должна располагаться, по замыслу строителей, в средней трети профиля. Так как гидравлическая подача строительного материала (грунта в виде пульпы) при обычных приемах возведения намывных плотин производится от откосов к середине профиля, т. е. по представлению строителей, тем самым должно достигаться последовательное изменение водонепроницаемости уложенного в тело плотины материала — от откосов к оси профиля.

Из гидравлики грунтового потока известно, что водопроницаемость грунтовой массы характеризуется величиной коэффициента фильтрации k .

В силу этого картину размещения материала в поперечном профиле тела намывной плотины, воображаемую строителями, можно представить в виде некоторой математической зависимости:

$$k = f(x),$$

где: x — отстояние какого-либо сечения плоскостью, параллельной оси плотины от принятого начала координат. Зависимость: $k = f(x)$, такая, какой себе ее представляют строители намывных плотин, изображена на рис. 2.

Отвечает ли эта картина действительному положению вещей — мы увидим это ниже.

Упрощая поперечный профиль намывной плотины до схемы перемычки с отвесными бортами (такой прием позволяет нам более отчетливо изобразить явление фильтрации в теле плотины),

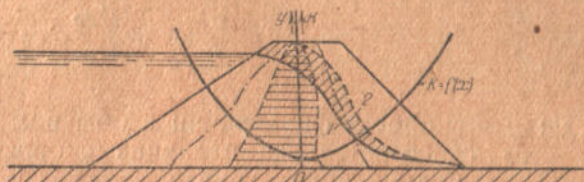


Рис. 2

1 — кривая депрессий, 2 — линия насыщения (капиллярного подъема воды)

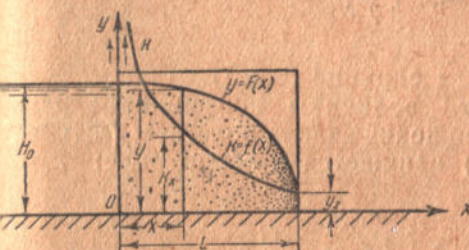


Рис. 3

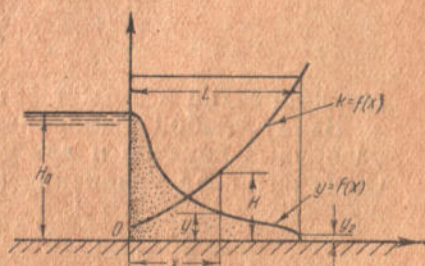


Рис. 4

тины), легко показать, что размещение материала в поперечном профиле намывной плотины обычного типа не может быть названо рациональным в отношении: а) фильтрационных явлений и б) общей устойчивости тела плотины.

Для этой цели рассмотрим движение грунтового потока через массив с вертикальными бортами, сложенный из материалов, постепенно изменяющихся вдоль пути фильтрации. Это будет характеризоваться изменением величины коэффициента фильтрации k вдоль грунтового потока.

Задачу будем рассматривать для двух случаев:

первый случай — величина коэффициента фильтрации вдоль потока убывает (рис. 3);

второй случай — величина коэффициента фильтрации вдоль потока возрастает (рис. 4).

Дифференциальное уравнение движения грунтового потока через такие массивы напишется в таком виде для случая горизонтальности водонепроницаемого основания ($i_0 = 0$):

$$-dy = \frac{v_f}{k} dx + \frac{dv_0}{g} dv_0 \quad (1)$$

где: v_f — скорость фильтрации в обычном понимании;
 v_0 — действительная величина скорости движения молекул воды в порах грунта.

Рассматривая грунтовый поток через массив, как поток плоский, и приняв во внимание зависимость: $k = f(x)$ перепишем уравнение (1) в таком виде:

$$-dy = \frac{q}{yf(x)} dx + d\left(\frac{\alpha q^2}{2g\beta^2 y^2}\right) \quad (2)$$

где: β — коэффициент плоскостной порозности материала массива в данном сечении.

Произведя соответствующие преобразования, получим:

$$y dy - \frac{q^2}{g\beta^2 y^2} dy + \frac{q}{f(x)} dx = 0 \quad (2')$$

где корректив α принят равным единице ($\alpha \cong 1$)

Ввиду слабой изменчивости величины коэффициента β для различных грунтов и для упрощения задачи полагаем $\beta \cong \text{const}$; тогда интеграл уравнения (2') напишется в таком виде:

$$y^2 + \frac{q^2}{g\beta^2} \cdot \frac{2}{y} + 2q \int \frac{dx}{f(x)} = C \quad (3)$$

Постоянная C определится из условия:

$$x = 0, \quad y = H_0$$

$$C = H_0^2 + \frac{q^2}{g\beta^2} \cdot \frac{2}{H_0}$$

и следовательно, уравнение кривой депрессий напишется в таком виде:

$$H_0^2 - y^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2} \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{y} \right) - 2q \int_0^x \frac{dx}{f(x)} = 0 \quad (4)$$

Для определения величины основных элементов кривой депрессий y_2 и q , мы располагаем только одним уравнением:

$$H_0^2 - y_2^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2} \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{y_2} \right) - 2q \int_0^x \frac{dx}{f(x)} = 0 \quad (5)$$

Второе необходимое нам уравнение мы получим, применив постулат максимального дебита грунтового потока через массив:

$$\frac{\partial}{\partial y_2} \left[H_0^2 - y_2^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2} \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{y_2} \right) - 2q \int_0^x \frac{dx}{f(x)} \right] = 0,$$

или после дифференцирования:

$$-2y_2 + \frac{2q^2}{g\beta^2 y_2^2} = 0$$

Откуда получаем недостающее второе условие, связующее неизвестные y_2 и q :

$$y_2 = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta^2}} \quad (6)$$

Уравнения (5) и (6) в том случае, когда нам известен закон изменения величины коэффициента фильтрации — k вдоль грунтового потока, позволяют найти числовые значения величин y_2 и q и построить кривую депрессий в массиве по уравнению (4).

Числовая величина интеграла:

$$2q \int_0^L \frac{dx}{f(x)}$$

остаётся неизменной для случаев пропуска грунтового потока через массив с отвесными бортами и переменной величиной коэффициента фильтрации k вдоль грунтового потока слева направо (рис. 3) и наоборот — справа налево (рис. 4). В этом легко убедиться, задавшись линейным законом изменения величины коэффициента k :

$$k = a + bx.$$

Для первого случая имеем:

$$k = m - \frac{m-n}{L} x,$$

где: m — начальное числовое значение коэффициента фильтрации.

$$k_0 = m, \text{ при } x = 0;$$

n — конечное числовое значение k : $x = L$, $k_2 = n$ (рис. 5).
Числовое значение интеграла:

$$2q \int_0^L \frac{dx}{f(x)}$$

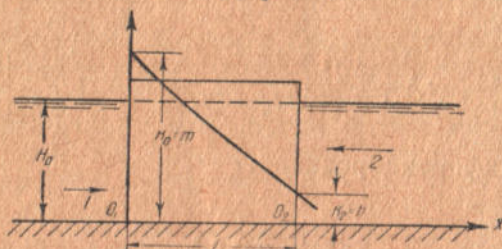


Рис. 5

получается для этого случая равным:

$$\begin{aligned} A_1 &= 2q \int_0^L \frac{dx}{f(x)} = 2q \int_0^L \frac{dx}{m - \frac{m-n}{L}x} = \\ &= -2q \left[\frac{L}{m-n} \ln \left(m - \frac{m-n}{L} \cdot x \right) \right]_0^L = 2q \frac{L}{m-n} \ln \frac{m}{n}; \end{aligned}$$

для второго случая

$$k = n + \frac{m-n}{L}x$$

и интеграл получается равным:

$$A_2 = 2q \int_0^L \frac{dx}{n + \frac{m-n}{L}x} = 2q \frac{x}{m-n} \ln \frac{m}{n}$$

Следовательно, $A_1 = A_2 = 2qB$.

Тогда уравнения, определяющие основные элементы кривой депрессий переписутся так:

$$\left. \begin{aligned} H_0^2 - y_2^2 + \frac{2q^2}{g\beta^2} \left(\frac{1}{H_0} - \frac{1}{y_2} \right) - 2q \cdot B &= 0 \\ y_2 &= \sqrt[3]{\frac{q^2}{g\beta^2}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

и будут совершенно одинаковы для обоих случаев движения через массив.

Так как величина коэффициента порозности меняется мало, то, очевидно, мы будем иметь:

$$q_1 = q_2$$

$$y_2' \cong y_2''$$

Отсюда следует весьма важный вывод: порядок размещения материала в массиве не влияет на величину основных элементов кривой депрессий — изменяется только вид кривой.

Следует отметить, чтобы подчеркнуть сделанный вывод, что величины q и y_2 не изменяются, если мы примем размещение материала, показанное на рис. 6.

Это нетрудно показать, пользуясь выше полученными зависимостями.

Обращаясь к намывной плотине, следует на основании сказанного выше отметить, что в отношении размещения материала в поперечном профиле плотины (сортировки материала) последняя остается нейтральной в смысле изменения своих водоупорных свойств; но характер кривой депрессий будет в значительной мере зависеть от порядка размещения материала в теле плотины, и поскольку очертание кривой депрессий в значительной мере характеризует степень общей устойчивости сооружения (использование запасов прочности сооружения), то отсюда следует, что к вопросу о размещении материала в поперечном сечении тела намывной плотины ни проектировщик, ни строитель не могут оставаться нейтральными.

Если сохранить ту точку зрения, что наиболее водонепроницаемой частью профиля намывной плотины является ядро плотины, сложенное из глинистых частиц, то кривая депрессий в теле плотины будет иметь вид, показанный на рисунке 2. Характер этой кривой указывает на следующие обстоятельства: а) падение кривой до ядра плотины будет настолько слабое, что величина этого падения может быть совершенно не принята в расчет; б) наибольшая потеря напора фильтрационного потока произойдет в ядре. Следовательно, до ядра мы имеем почти неослабленное или весьма мало ослабленное действие напора воды на сооружение; отсюда рабочая часть поперечного профиля намывной плотины обычной конструкции в отношении сопротивления сдвигающему усилию, действующему на сооружение в целом, тем самым зна-

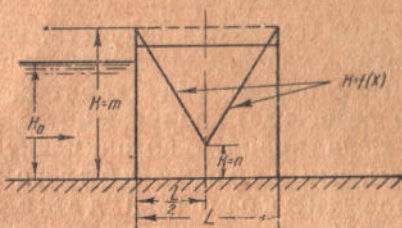


Рис. 6

чительно уменьшается. Эта рабочая часть профиля намывной плотины показана на рис. 7 вертикальной штриховкой.

Таким образом, обычно принятое распределение материала в теле намывной плотины не отвечает шестому нашему требованию, предъявляемому к рациональной конструкции.

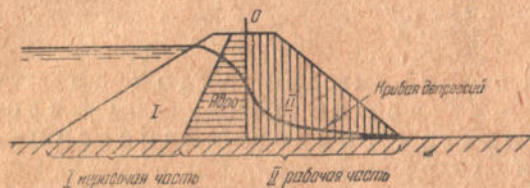


Рис. 7

сальные запасы прочности, какими обладает всякая земляная плотина, уже в силу своей конструкции, единственно допускаемой особенностями строительного материала, застраховывает (но не всегда) сооружение от аварии.

Если принять во внимание ту особенность намывной плотины, что ядро на долгие годы сохраняет свойства полужидкого или даже жидкого тела, то используемая величина наличных запасов устойчивости сооружения становится еще меньшей.

Такое распределение материала внутри тела плотины позволяет в лучшем случае использовать только половину имеющегося запаса устойчивости сооружения против сдвигающего усилия. Только те колос-

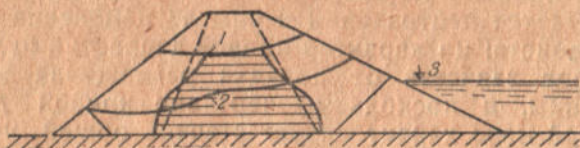


Рис. 8

1 — высота возведения плотины в момент аварии; 2 — линия скольжения; 3 — уровень воды в водохранилище

Примеры разрушения намывных плотин со всей выразительностью подчеркивают это наше замечание. Убедительным примером может послужить разрушение плотины „Dam Alexander“ на острове Александер (Гавайские острова) в 1930 году¹. Эта плотина сползла в низовой бьеф при горизонте воды в водохранилище, ею образуемом, значительно ниже начала линии скольжения (рис. 8). Такой характер обрушения намывной плотины указывает на то обстоятельство, что единственной причиной обрушения плотины явилось гидростатическое давление со стороны ядра на низовую часть профиля плотины.

Не только жидкое ядро намывной плотины может явиться причиной разрушения последней, но даже простая глиняная на-

¹ „Engineering News Record“ 1930, V. 104.

бивка из жирной (пластичной) глины в ядре профиля плотины может служить причиной аварии, а иногда и разрушения всей плотины.

Примером может послужить обвал плотины из каменной наброски „Эйльдон“ в провинции Виктории (Австралия)¹, в которой глиняная набивка у железобетонной диафрагмы послужила причиной разрушения верхней половины профиля плотины.

Ядро намывной плотины обычной конструкции состоит из суспензии тончайших глинистых частиц и воды. Это ядро, ограниченное с обоих бортов мало проницаемым для воды материалом, способно долгие годы сохранять свойства полужидкого или даже жидкого тела в силу слабой отдачи воды из массы ядра в борта и основание плотины (основное противоречие принципам Schuyler'a). Следовательно, уже в самой себе намывная плотина обычного типа носит угрозу опасности для прочности всего сооружения: примеры разрушения намывных плотин красноречиво свидетельствуют в пользу этого замечания. Особенно следует отметить, что ближайшие к полужидкому ядру части тела намывной плотины должны быть более водоупорными, чем самое ядро.

Последнее обстоятельство легко уясняется в результате таких рассуждений: перед поступлением суспензии в ядро тела плотины должны будут выпасть фракции пульпы, состоящие из песчинок; последние, выпадая, должны будут увлекать вместе с собой и обволакивающие их глиняные частицы. Таким путем в результате откладывается масса зерен песка с заполненными глинистыми частицами промежутками (порами) между песчинками. Эта смесь будет обладать большими водоупорными свойствами, чем ядро, сложенное из тончайших глинистых частиц.

В самом деле, рассмотрим вертикальную фильтрацию через два массива: один — сложенный из чистой глины; другой — из смеси глины с песком. Предположим далее, что толщина каждого массива в вертикальном направлении одинакова, одинаковы также площади сечения массивов горизонтальными плоскостями ($l_1 = l_2, \omega_1 = \omega_2$).

Станем пропускать через каждый из массивов в вертикальном направлении один и тот же расход — Q ; тогда будем иметь следующие величины скоростей фильтрации через массивы: в первом случае (глина)

$$v_1 = \frac{Q}{\omega},$$

во втором случае (глина с песком)

$$v_2 = \frac{Q}{\omega \cdot \beta_n}$$

¹ „Bauingenieur“ № 7, 14/II, 1930.

где β_n — коэффициент плоскостной порозности второго массива при условии удаления из него глинистых частиц, т. е. коэффициент порозности песка.

Взяв отношение скоростей, будем иметь:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{1}{\beta_n} > 1.$$

Следовательно, во втором случае для пропуска такого же расхода, как и в первом случае, потребуется больший градиент изменения напора, чем в первом случае. Наши, приведенные

выше, рассуждения позволяют рассматривать явление фильтрации только в одном грунте — глине для обоих случаев массива, так как, благодаря введению в рассмотрение коэффициента порозности для песка (β_n),

движение фильтрационного потока может быть рассматриваемо только через глину и во втором случае. Сказанное легко уясняется из рис. 9.

Из сказанного следует, что для пропуска в вертикальном направлении одного и того же расхода Q через массивы одинаковых размеров, но разных материалов: песка (1), глины (2) и смеси песка с глиной (3), потребуются различные напоры, увеличивающиеся от первого к последнему (рис. 10).

Этими простыми соображениями легко объясняются большие водоупорные свойства глинобетона, чем чистой глины. Эти же соображения позволяют нам высказать уверенность, что на границах полужидкого ядра намывной плотины располагаются части профиля плотины, отличающиеся большими водоупорными свойствами, чем само ядро.

Эта краткая заметка позволяет нам сделать следующий вывод: ядро плотины сохраняет на весьма долгие годы полужидкую консистенцию только потому, что оно облечено с обеих сторон в водонепроницаемую одежду и что отдача воды из ядра возможна лишь за счет капиллярности и испарения с верхней части и низового борта ядра, но весьма слабо за счет фильтрации.

Наконец, на основании сказанного мы позволяем себе высказать сомнение относительно возможности удовлетворения на практике намывных плотин третьему положению Schuyler'a.

Наконец, на основании сказанного мы позволяем себе высказать сомнение относительно возможности удовлетворения на практике намывных плотин третьему положению Schuyler'a.

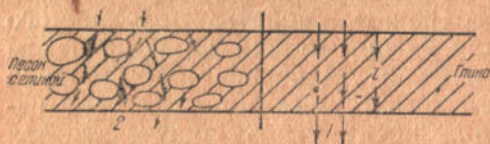


Рис. 9

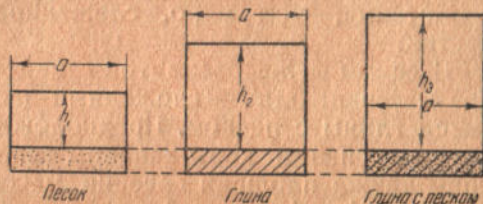


Рис. 10

Изложенный краткий анализ сущности конструкции общепринятого типа намывной плотины позволяет нам все же достаточно категорически утверждать, что этот тип намывной плотины не отвечает ни одному из предъявленных нами шести требований к рациональной конструкции сооружения.

Какую же конструкцию намывной плотины, следует считать рациональной?

Наши соображения, высказанные ранее, позволяют без труда наметить основные контуры такой конструкции.

Рациональная конструкция намывной плотины в разумении размещения строительного материала внутри поперечного сечения тела плотины, изображена на рис. 11.

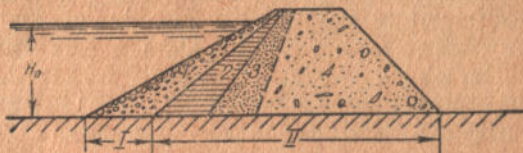


Рис. 11

1 — фильтр, 2 — ядро, 3 — водоупорная часть, 4 — часть, сложенная из грубого материала;
I — насыпная часть плотины; II — намывная часть плотины

В отличие от общепринятой конструкции намывной плотины в предлагаемой конструкции часть поперечного профиля, сложенная из тонких глинистых частиц, располагается у напорной грани плотины. Эта часть со стороны водоема перекрывается уже насыпкой пористым материалом по принципу грубого обратного фильтра с окончательной отмосткой вручную мокрого откоса по слою щебня.

Легкая водопроницаемость насыпной части профиля плотины (то, чего недостает в обычном типе намывных плотин) весьма ускорит процесс уплотнения (верней, обезвоживания) ядра-экрана.

Эта особенность предлагаемой конструкции должна особенно прийтись по вкусу строителям, так как она позволяет значительно ускорить процесс возведения плотины.

Следует думать, что согласно высказанных нами соображений, наиболее водоупорная часть профиля новой конструкции расположится сразу же за экраном-ядром (рис. 11).

Конструкция намывной плотины, показанная на рис. 11, отвечает нацело всем требованиям, какие нами предъявляются к рациональной конструкции: а) размещение материала в поперечном сечении произведено с таким расчетом, что достигается та же водонепроницаемость профиля, но зато кривая депрессий сразу же круто падает у напорной грани плотины (рис. 12), чем достигается более полное использование запасов

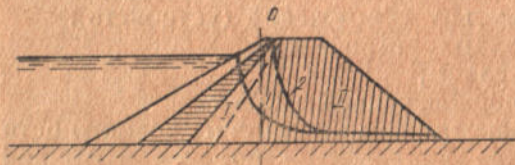


Рис. 12

1 — кривая депрессий, 2 — линия насыщения;
I — нерабочая часть профиля, II — рабочая часть профиля

устойчивости сооружения; чтобы убедиться в этом, следует сравнить рис. 7 и 12.

Размещение материала внутри профиля принято таким, что позволяет применять одноблочную подачу материала и простые водоотводные сооружения вместо сложной системы дренажа плотины во время постройки.

Дренажные устройства в намывных плотинах обычного типа иногда служат причиной аварий плотин во время постройки и лишней потери строительного материала. В доказательство этого соображения мы можем сослаться на пример постройки плотины—The Crane Volley Dam в Калифорнии¹.

Насыпная часть профиля будет являться действительным фильтром и, следовательно, обезвоживание ядра-экрана будет протекать под влиянием фильтрации в сторону напорного от-

коса, т. е. того явления, какое стремился создавать Schuyler, выдвигая свои положения.

Отсюда прямое следствие, что предлагаемая конструкция

Рис. 13. 1 — отсыпка, 2 — прудок, 3 — намытая часть профиля

намывной плотины может быть безаварийно возведена при более ускоренных темпах постройки сооружения.

Предлагаемая конструкция намывной плотины должна, очевидно, внести значительные коррективы в приемы постройки этого рода сооружений. Эти коррективы должны будут коснуться:

- а) способа подачи строительного материала в тело плотины и конструкции подающих пульпу сооружений (устройств);
- б) конструкции водоотводных устройств;
- в) состава подаваемой пульпы;
- г) характера и объема первоначальных работ.

В настоящей краткой заметке мы не имеем возможности останавливаться детально на вопросах возведения намывной плотины; однако, некоторые основные указания мы посчитали необходимым сделать.

Подача материала в теле плотины, очевидно, должна быть односторонняя — от сухого откоса к мокрому. Отсюда, прудок должен расположиться у самого напорного откоса и поддерживаться с верхней стороны отсыпкой грубого фильтра, со стороны подачи материала — намывной частью профиля плотины (рис. 13).

Отвод воды с прудка может осуществляться с помощью деревянных лотков, входящих один в другой на подобие дымовых железных труб.

Верхнее звено лотка, очевидно, должно быть устанавливаемо

¹ E. Wegmann — „The Design and Construction of Dams“.

таким образом, чтобы вода из прудка отводилась из верхнего уже несколько осветленного горизонта (рис. 14).

Подача пульпы производится обычным порядком по желобу, расположенному на козлах по борту сухого откоса плотины (рис. 13). Отверстия в дне желоба располагаются на расстояниях,

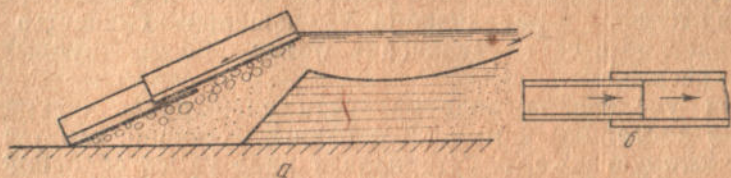


Рис. 14

обеспечивающих более или менее однообразный прирост тела плотины, по высоте, по всей длине последней. Маневрирование щитами, закрывающими отверстия, следует привести к строгой цикличности: в первой половине цикла отверстия в желобе закрываются по ходу подачи пульпы (по течению); во второй половине цикла отверстия открываются против движения пульпы в желобе (рис. 15).

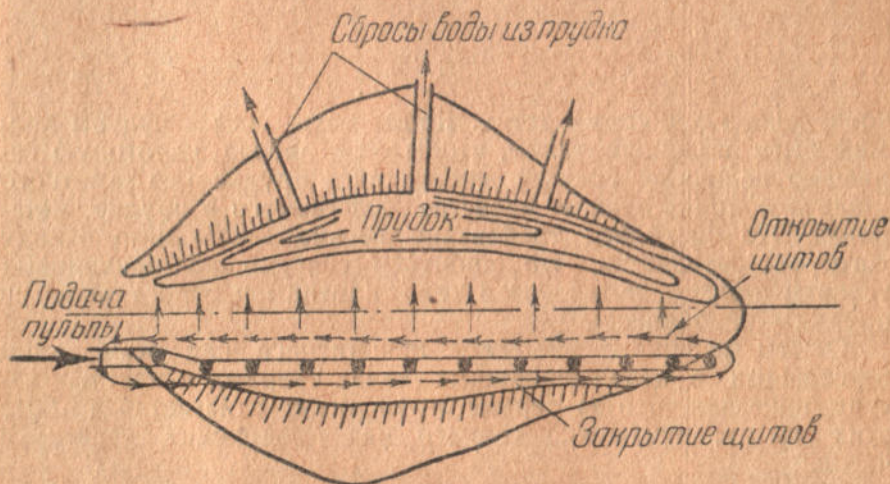


Рис. 15

Водосбросные лотки (сброс воды из прудка) должны быть, очевидно, размещены с таким расчетом, чтобы время добегаания жидкости от желоба до спуска оставалось более или менее стабильным.

Согласно сделанных выше замечаний нет надобности ядро-экран намывной плотины кольматировать из тончайших глинистых частиц: во-первых, потому, что этот путь не создает со-

оружения большей водонепроницаемости, но зато значительно удлинит время возведения плотины, так как отстой суспензии — весьма длителен во времени, во-вторых, потребует насыпки с верховой стороны призмы-фильтра весьма значительной по объему.

Отсюда — как следствием является необходимость пересмотра состава пульпы в направлении уменьшения количества глинистых частиц за счет увеличения объема более крупных фракций — песка.

Для увеличения водоупорности ядра-экрана и укорочения сроков постройки намывной плотины, очевидно, следует пойти на некоторую потерю материала в виде уноса сбросной водой

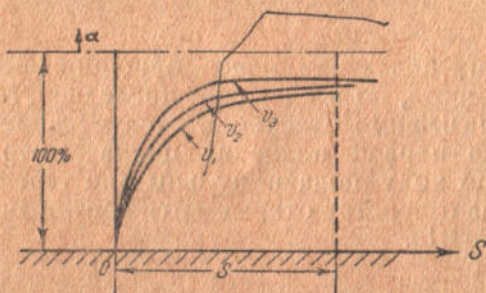


Рис. 16

тончайших глинистых частиц. Кроме того, состав пульпы должен быть подобран таким, чтобы он позволял некоторую вариацию величины средних скоростей в прудке без заметного ущерба в количестве и качестве отлагаемого в прудке материала. Это последнее требование весьма необходимо в виду того обстоятельства, что добиться совершенно одинаковых условий подачи материала в тело плотины и сброса воды из прудка — невозможно.

Опыты немецкого инженера Steuernagel'я над осаждением взвешенных в канализационных водах твердых и илистых частиц показали, что за первые 5—10 минут отлагается до 80% этих частиц; отложение тонкого ила происходит десятками часов.

Отсюда следует, что состав пульпы должен быть подобран с таким расчетом, чтобы получились кривые осаждения материала при допустимых изменениях скоростей в прудке близкой сходимости по истечении расчетного интервала времени.

Так как количество выпавших частиц материала за время прохождения жидкости через прудок до сброса будет зависеть от времени и величины скорости прохождения, то, очевидно, мы сможем написать:

$d = f(t, v)$ в процентах от всего количества твердого материала в пульпе.

Кривые выпадения материала при различных скоростях прохождения данного участка пути (S) показаны на рисунке 16.

Очевидно, следует ограничиться наперед заданным процентом выпадения твердого материала пульпы, экономически целесообразным для данной обстановки производства работ.

Заканчивая настоящую заметку, автор надеется, что она побудит и проектировщиков, и строителей намывных плотин в СССР разработать более основательно и более полно, чем это сделал автор, как конструкцию намывной плотины, так и приемы возведения последней.

БОКОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ВОКРУГ ШПУНТОВ

(Материалы к нормативам по деревянным плотинам)

ФИЛЬТРАЦИЯ ПОД ПЛОТИНОЙ

Исследование фильтрационного потока под плотиной направлено к разрешению таких основных двух задач:

- а) уменьшению взвешивающего давления под плотиной,
- б) безопасному выходу фильтрационных вод из под флютбета.

Решением этих задач занималось много выдающихся ученых гидравликов и инженеров гидротехников: Bligh, Wolff, Hofman, Narza, Terzagie, Forheimer, Lane, Жуковский, Павловский и др.

Первое определение падения фильтрационного напора под плотиной дано было Bligh'em по закону прямой. Впоследствии Wolff своими опытами опроверг это решение и доказал криволинейность распределения напора.

В 1922 г. проф. Павловский в своем труде „Теория движения грунтовых вод под гидротехническими сооружениями“ дал решение для ряда гидротехнических схем и одновременно предложил метод электро-гидродинамических аналогий (ЭГДА) для построения эквивалентных линий. Этот метод нашел широкое применение для определений элементов фильтрационного потока под плотинами. Этим методом, при условии однородности грунта под плотиной и наличия примерно одинаковых отметок дна выше и ниже плотины (инж. Велле „Устойчивость плотин на нескальных основаниях“) можно получить достаточно точное решение.

Исследования фильтрационного потока методом ЭГДА, проведенные в лаборатории по схеме плотины с двумя шпунтами на реке С. Донец у ЭСХАР'а, подтвердили выводы, ранее сделанные рядом исследователей, а именно:

1. Увеличение глубины забивки королевого шпунта влечет за собой уменьшение взвешивающего давления на флютбет.
2. Заглубление низового шпунта увеличивает взвешивающее давление на флютбет и уменьшает выходной градиент.

Таким образом, при проектировании плотин на проницаемом основании следует применять такие меры защиты против фильтрационного потока:

- а) необходимо устраивать верховой шпунт под флютбетом с забивкой его до непроницаемого слоя или на практически возможную глубину в проницаемом основании;

б) необходимо устраивать нижней дырчатый шпунт с обратным фильтром перед ним для погашения остаточного выходного градиента.

Преимущественное значение вертикального пути для погашения фильтрационного напора подтверждается наблюдениями и анализом работы более чем 200 исправно работающих плотин, произведенными в последнее время Бюро Reclamation Service США.

Используя эти данные, инж. Lane для расчетов потерь фильтрационного напора предложил считать 3 пог. м горизонтального пути эквивалентным одному погонному метру вертикального.

Теоретические исследования Wolff'a и Павловского показали, что нет такого постоянства в отношении градиента вертикального и горизонтального пути и что это отношение — m прежде всего зависит от удельного значения длины вертикального пути (глубины забивки шпунта) ко всей длине подземного контура флютбета.

Чем меньше отношение $\frac{b}{d}$, где b — длина горизонтального контура флютбета, а d — глубина забивки шпунта, тем больше отношение $\frac{i_{верт}}{i_{гориз}} = m'$, где i — градиент падения напора. Так,

при $\frac{b}{d} = 3$, $m' = 3$, при $\frac{b}{d} = 1,5$, $m = 9$.

Однако, не только это обстоятельство влияет на величину m . Здесь играют роль грунтовые условия и угол наклона пути фильтрации. Так, проф. Калинович в своей работе „Судоходный шлюз и его расчет“ рекомендует применять такие коэффициенты: для песка $m'' = 1,25$; для песчано-глинистых грунтов $m'' = 1,25 - 1,50$; для глины $m'' = 1,50 - 2,00$.

Невыясненным остается вопрос об изменении m в зависимости от угла наклона пути фильтрации — φ . Упрощенно принято считать, что пологие уклоны подземного контура ($\varphi < 45^\circ$) следует принимать как горизонтальные участки, крутые уклоны ($\varphi \geq 45^\circ$) — как вертикальные.

Эти данные о числе m подтверждают, что исследования его только начаты и требуют дальнейшей углубленной проработки. Одно ясно, что число m зависит от нескольких величин:

$$m = f \left(\frac{b}{d}, \text{ грунт, } \varphi \right).$$

На настоящей стадии приходится пользоваться грубыми отношениями с большим запасом прочности.

В современных плотинах $\frac{b}{d}$ обычно колеблется от 2,5 до 1,5. Таким образом, m' всегда должно быть больше 3. Приняв

во внимание данные Калиновича о различии m'' для песка и глины, следует признать, что число m теоретически может колебаться в пределах от 4 до 18.

Однако эти значения требуют ряда дополнительных исследований как в условиях лаборатории, так и в полевой обстановке. Учитывая коэффициент незнания в определении числа m , можно было бы его значение применять в зависимости от $\frac{b}{a}$

для песка в пределах 1,5—3, для песчано-глинистых 2—4 и для глинистых 3—6. При этом чем менее исследованы условия работы подземного потока, тем более осторожно следует применять это число.

ОПЫТЫ ПО БОКОВОЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Одним из мало освещенных вопросов гидротехники в настоящее время следует считать вопрос о движении грунтового потока в обход сооружения. Основная трудность его разрешения заключается в необходимости при этом рассматривать движение грунтового потока как пространственную задачу.

Рассматривать этот фильтрационный поток в разрезе плоской задачи неприменимо по нижеследующим соображениям:

При боковой фильтрации направление движения грунтового потока не совпадает с направлением движения речного потока, в силу чего любое выделенное сечение будет иметь падение напора грунтового потока в двух взаимноперпендикулярных плоскостях.

Два любых выделенных плоских сечения даже при их бесконечно близком отстоянии друг от друга в силу сказанного выше будут давать отличную картину падения грунтового потока. Поэтому решение для плоской задачи в данном случае не даст действительной картины происходящего явления.

Способ конформных отображений — положенный в основу решения акад. Павловского о движении фильтрационного потока, применим только для плоской задачи. Нами выше было показано, что в данном случае мы должны иметь дело с пространственной задачей. Поэтому даже этот весьма сложный математический путь (способ конформных отображений) для решения поставленной задачи не мог быть применен.

В настоящее время ряд организаций: НИГИ, Москва-Волгострой и другие для решения пространственной задачи начали применять пространственный прибор ЭГДА. Такой прибор сконструирован и в НИГИ с отнесением опытов на нем ко второму циклу работ.

В первом этапе опытных работ для освещения вопроса о движении фильтрационных вод в обход сооружения, мы прибегли исключительно к эксперименту в гидравлическом лотке.

ПОСТАНОВКА И ПРОГРАММА ОПЫТОВ

Намеченные опыты по боковой фильтрации были поставлены в специально сконструированном и выстроенном гидравлическом лотке. Общее представление об использованном лотке дает рис. 1.

Программа опытов по боковой фильтрации предусматривала освещение вопроса о работе одного шпунта и двух шпунтов с продольной соединяющей их стенкой в песчаном грунте при

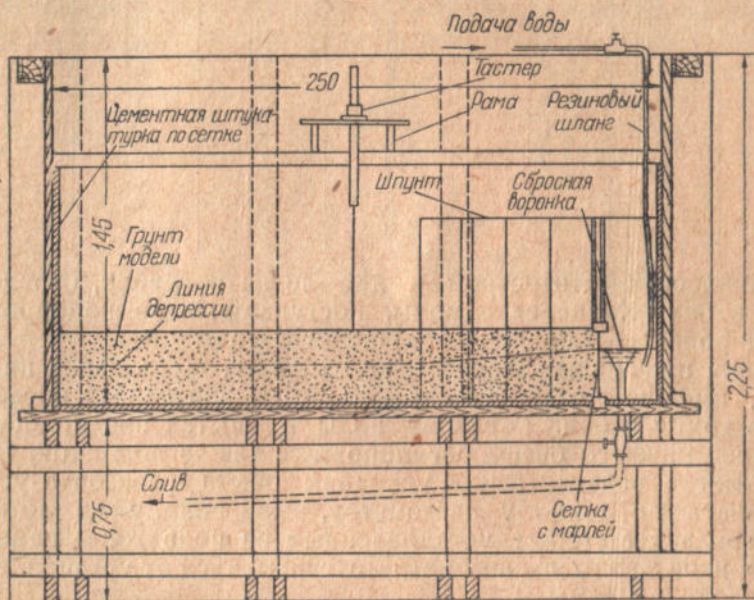


Рис. 1. Гидравлический лоток для производства опытов по боковой фильтрации

различных напорах. Всего на 16 моделях было проведено 86 опытов.

В качестве примеров приводим параметры трех моделей (в табл. на 148 стр.).

Для выяснения роли отдельных элементов, т. е. роли первого и второго и продольного шпунта, размеры последних в процессе опытов изменялись. Размеры лотка $2,50 \times 2,50 \times 1,45$ м. были приняты из желания поставить опыты при больших масштабах моделей с одной стороны и с другой из желания провести опыты таким образом, чтобы пограничные условия (близость стенок) не сказывались бы на них.

Подвод и отвод воды был осуществлен так. Вода из водопровода подводилась по трубе, оканчивающейся резиновой шлангой к верхнему бьефу модели, откуда поступала в модель. Регулирование горизонта воды осуществлялось воронкой, устанавливаемой на требуемой высоте по условиям опыта. Воронка

| №№ опытов | №№ моделей | Горизонт воды | | Размеры шпунтов | | |
|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|--------|------------|
| | | Верхний бьеф | Нижний бьеф | Первый | Второй | Продольный |
| 1 | I | 20 | 0 | 72 | — | — |
| 2 | | 25 | 0 | 72 | — | — |
| 3 | | 25 | 5 | 72 | — | — |
| 4 | | 10 | 0 | 72 | — | — |
| 5 | | 20 | 10 | 72 | — | — |
| 16 | IV | 20 | 0 | 72 | 64 | 67 |
| 17 | | 20 | 10 | 72 | 64 | 67 |
| 18 | | 25 | 0 | 72 | 64 | 67 |
| 19 | | 25 | 5 | 72 | 64 | 67 |
| 20 | | 10 | 0 | 72 | 64 | 67 |
| 82 | XVI | 20 | 0 | 72 | — | 78 |
| 83 | | 20 | 10 | 72 | — | 78 |
| 84 | | 25 | 0 | 72 | — | 78 |
| 85 | | 25 | 5 | 72 | — | 78 |
| 86 | | 10 | 0 | 72 | — | 78 |

соединялась с отверстием в дне лотка и трубой, отводящей воду в бак. Количество воды, поступавшей из водопровода, регулировалось запорным краном на трубе.

Вода, прошедшая через грунт модели, выходила в нижний бьеф, имевший отверстие в дне лотка для сброса последней через трубу в бак. Горизонт воды в опытах при подпоре со стороны нижнего бьефа регулировался также воронкой.

Отметка заданного по условиям опыта горизонта устанавливалась по донному пьезометру, выведенному из лотка, и проверялась тахометром, установленным на подвижной раме.

Горизонт воды в пьезометре отсчитывался от установленной по нивеллиру рамы.

Грунт модели во всех опытах был песчаный (из мелкого речного песка), перед укладкой в модель песок промывался и очищался от всех посторонних включений.

Механический состав песка и его фильтрационные свойства видны из прилагаемых ниже механического анализа песка и определения коэффициента фильтрации в приборе Тима-Каменского, выполненных гидрогеологической лабораторией НИГЛ'а.

Механический анализ песка

| № образца | Место взятия образца | Крупность фракций в мм | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------|------------------------|-----|-----|-----|-------|----------|-----------|-----------|------|
| | | >7 | 7—4 | 4—2 | 2—1 | 1—0,5 | 0,5—0,25 | 0,25—0,05 | 0,05—0,01 | 0,01 |
| 66 | Песок из модели № 15 | — | — | — | — | 0,39 | 25,73 | 72,12 | 0,15 | 0,61 |
| 67 | То же . . | — | — | — | — | 0,42 | 25,75 | 72,50 | 0,09 | 1,24 |

В среднем коэффициент фильтрации был определен 0,0174 см/сек.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Каждая испытуемая модель состояла из постоянно уложенного на дно лотка слоя песка толщиной в 30,0 см и шпунтовых рядов, изменяемых при установке каждой новой модели.

Песок модели отделялся от воды верхнего и нижнего бьефа металлической сеткой с ячейками размером 2×2 мм, покрытой марлей. Сетка натягивалась на вертикально установленную деревянную раму. Низ рамы был утоплен в покрывающую дно лотка штукатурку, чтобы не вызывать подпора воды.

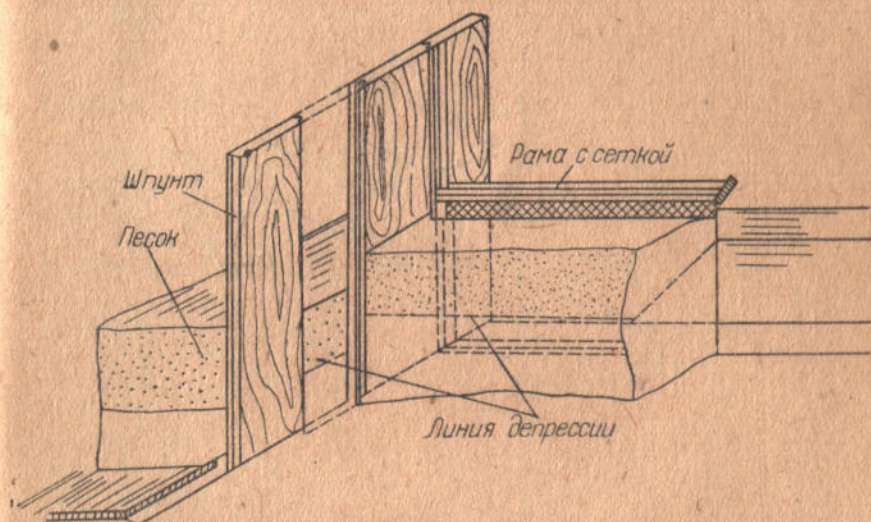


Рис. 2. Соединение шпунтов с полом и между собой

Установка рамы и соединение ее с дном и стенкой лотка показано на рис. 2.

Шпунтовые ряды были сделаны: первый из 50 мм досок, продольный и второй — из 25 мм досок. Отдельные шпунтины соединялись между собой в шпунт с дном лотка посредством устроенного в нем паза, в который они входили.

Для уничтожения фильтрации через шпунт даже самые маленькие щели между шпунтинами замазывались специальной замазкой из воска, тавота и канифоли. Для предотвращения фильтрации под шпунтами между дном лотка и низом шпунта, последний ставился в паз, частично заполненный полужидкой жирной глиной.

Положение линии депрессии определялось по пьезометрам и дырчатым колодцам.

ОПИСАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ И СПОСОБОВ ЗАМЕРОВ

Порядок проведения опыта был принят такой:

- 1) установление постоянного режима потока верхней и ниж-

ней воронкой; по наблюдениям таковое наступало примерно через 2 часа; 2) определение расхода фильтрационной воды; 3) замеры воды в пьезометрах.

Результаты наблюдения заносились в журнал.

Методика замеров имеет весьма большое влияние на данные опыты. Поэтому считаем необходимым на вопросе методики остановиться более подробно.

Отметки уреза расставленных пьезометров (дырчатых колодцев) определялись с помощью подвижной рамы с установлен-

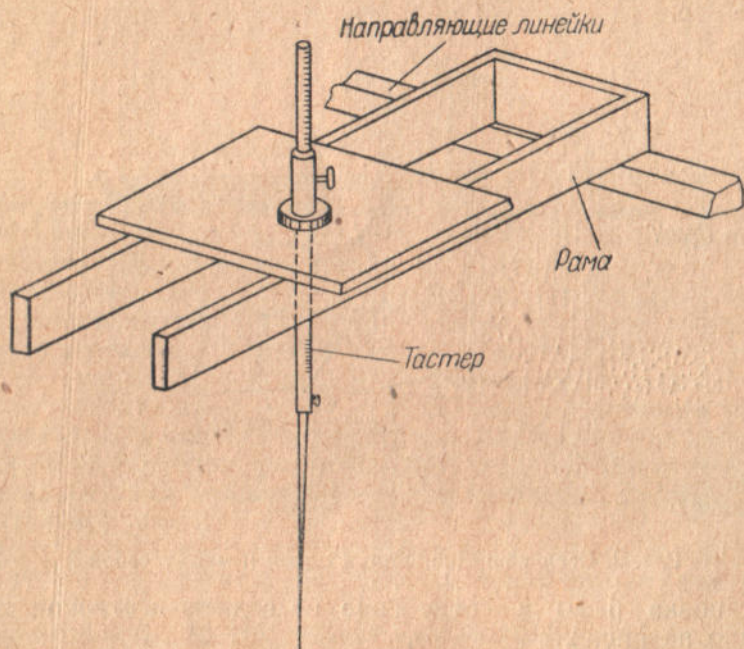


Рис. 3. Рама с тастером для замера модели

ным на ней тастером. Рама и тастер в свою очередь ходили по укрепленным на стенках лотка двум гладко выструганным под уровень рейками. Подобная конструкция (рис. 3) давала нам возможность охватить замером всю площадь модели.

В результате проведенного замера мы получали связанные между собой отметки уреза всех установленных пьезометров.

Определение отстояния воды в пьезометрах от занивеллированного уреза производилось с помощью стеклянной трубки по принципу пипетки. Способ замера понятен из рис. 4.

После того, как был сделан первый отсчет по всем пьезометрам, делался второй отсчет, к этому времени должен был уже восстановиться нарушенный первым замером горизонт воды.

Таким образом два одновременно производимых отсчета контролировали друг друга. Замер фильтрационного расхода производился ведром, устанавливаемым у сливной трубки нижнего бьефа. Время поступления воды в ведро определялось секундомером с точностью до 0,2 секунды. Количество притекшей воды в ведро определялось по градуированному литровому цилиндру. В дальнейшем перешли к определению количества притекающей воды за постоянное время, равное 10 минутам. При замере расхода воды фиксировалась ее температура обычным термометром.

ОБРАБОТКА ОПЫТОВ

В результате произведенных лабораторных испытаний был получен следующий материал:

- 1) данные показаний пьезометров;
- 2) данные о расходе фильтрационной воды и ее температуре;
- 3) планы расположения пьезометров для всех опытов (рис. 5);
- 4) графики падения кривой депрессии вдоль шпунтов по огибающей их кривой (рис. 6).

Обработка материалов велась под углом зрения установления роли шпунтов, их величины и взаимного расположения на характер движения фильтрационного потока и величину его расхода.

В процессе обработки весь полученный опытный материал был подвергнут критической оценке и был изъят сомнительный. Предварительно для его оценки пришлось, помимо вычерчивания графиков падения напора вдоль шпунтов, составить по всем опытам планы движения грунтового потока в горизонталях (рис. 7).

Для возможности сравнения движения фильтрационного потока, выраженного горизонталями при различных напорах, все планы в горизонталях были построены нами для процентных отношений, а не для абсолютных цифр.

Каждая горизонталь на плане может быть переведена в абсолютные отметки путем умножения ее относительной отметки на действующий напор плюс горизонт нижнего бьефа. Принятый способ дал нам возможность сравнивать картину

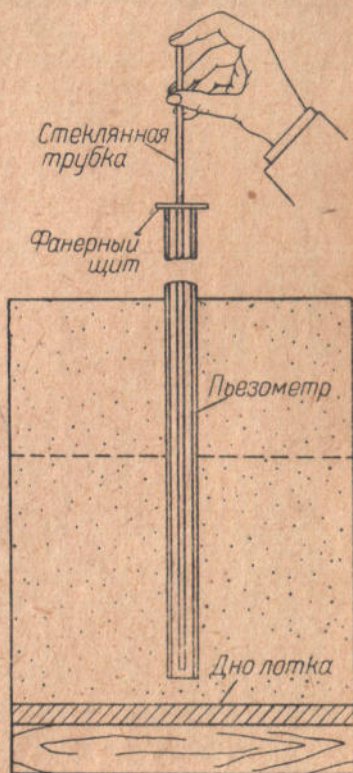


Рис. 4. Стекло́нная трубка для определения отстояния воды в пьезометрах

движения грунтового потока при различных напорах и горизонтах.

Для выяснения влияния типа пьезометра с целью (стеклянный пьезометр — дырчатый колодец) дальнейшего перехода от стеклянного пьезометра к дырчатому колодцу нами произведена с одной и той же моделью параллельная серия опытов.

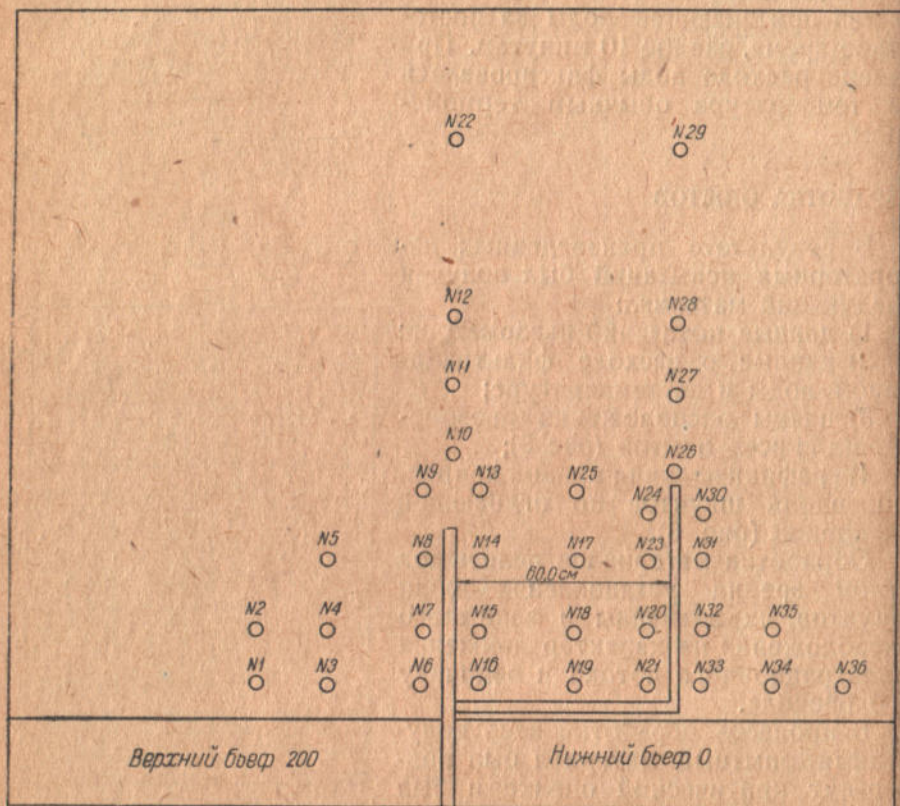


Рис. 5. План расположения пьезометров

Общая средняя отметка для дырчатых колодцев выше чем для стеклянных пьезометров. При чем это происходит главным образом за счет резкой разницы отметок у нижнего бьефа. У верхнего бьефа полученные отметки по пьезометрам имеют тенденцию к некоторому незначительному повышению против соответствующих отметок дырчатых колодцев.

Указанное явление было детально исследовано при опытах с движением воды через земляные плотины в НИГИ в 1935 г. и отмечено в работе акад. Павловского Н. Н. Причина его достаточно ясно видна из чертежа (рис. 8).

Поставленные исследования носили предварительный характер и имели своей целью дать качественную, а не количественную оценку явления. Поэтому мы считали возможным не делать пересчетов для перехода от пьезометров к колодцам, так как резкие расхождения могли быть только у крайних, со стороны нижнего бьефа, пьезометров, а участок кривой депрессии между ними и нижним бьефом нас в данном случае не интересовал.

ПОЛОЖЕНИЕ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ

Для выяснения влияния величины напора и разности горизонтов на распределение потерь напора на шпунтах для одной и той же модели были построены графики по кратчайшему пути от верхнего к нижнему бьефу.

В этих графиках масштаб ординат был принят в процентах от напора, масштаб абсцисс в абсолютных величинах.

Такие графики были построены для всех 16-ти моделей, при чем они во всех случаях, за исключением только нескольких точек в отдельных моделях, давали сходную картину (рис. 9), кривая для H верхнего бьефа 20,0 см и нижнего 10 см лежала ниже остальных линий, кривая для H верхнего бьефа 10,0 см и нижнего 0 см располагалась выше всех остальных кривых. От верхней и нижней порядок расположения кривых был такой — кривая (10—0), (20—0), (25—0), (25—5), (20—10).

Таким образом кривые, изображающие падение напора при 10,0 см (10—0) и (20—10) оказались на разных полюсах исключительно из-за подпора во втором случае. Для сравнения на указанных графиках были нанесены также прямые падения напора по Бляю, построенные для того же пути.

Нанесенные прямые заняли во всех графиках положение ниже наблюдаемых кривых, при чем наибольшее расхождение было у низового шпунта.

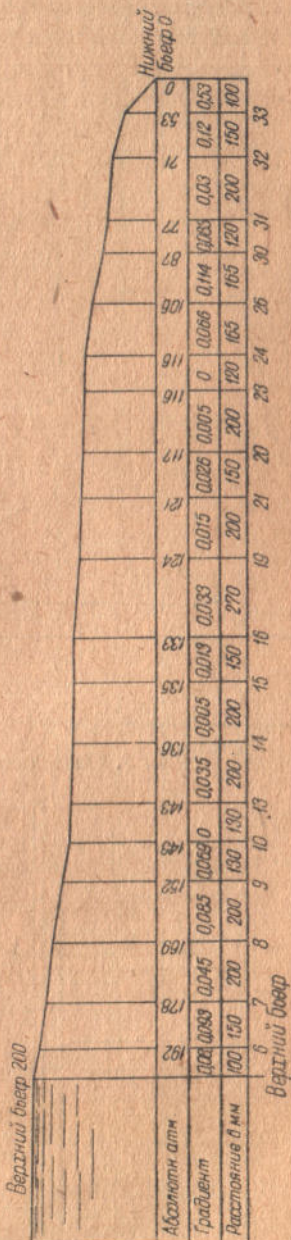


Рис. 6. График падения кривой депрессии

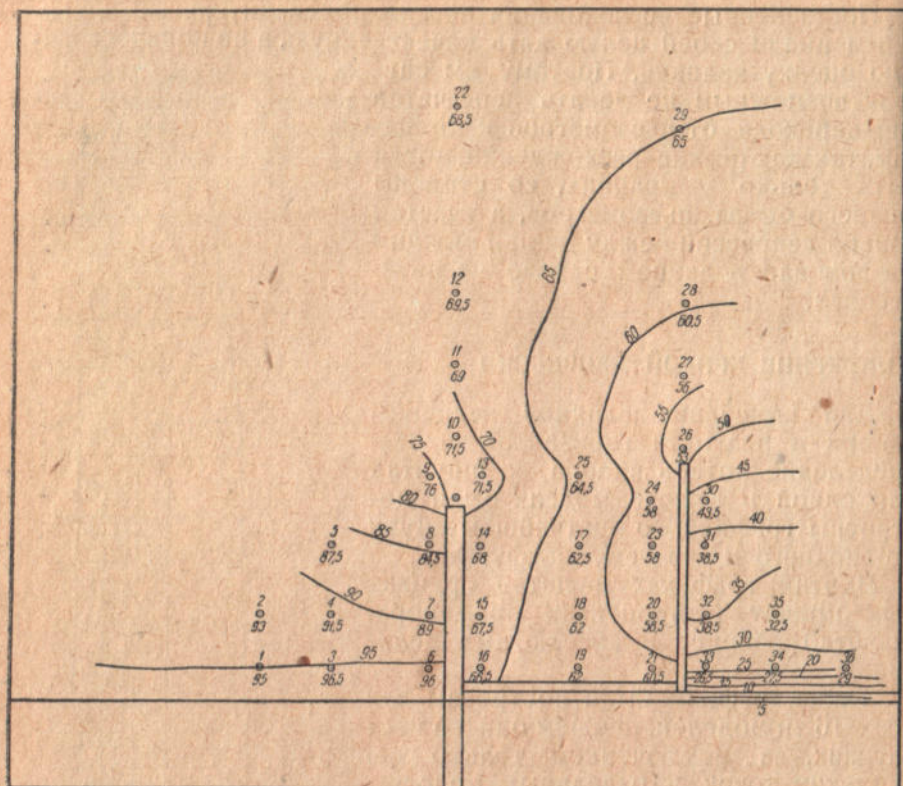


Рис. 7. План движения грунтового потока в горизонталях

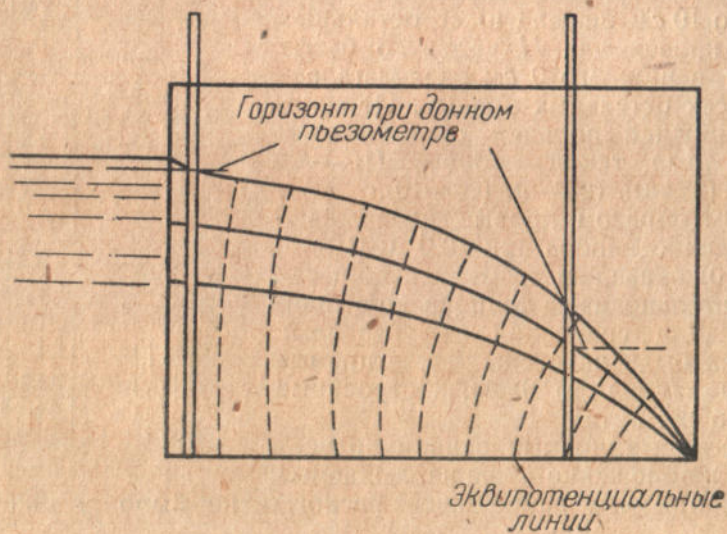
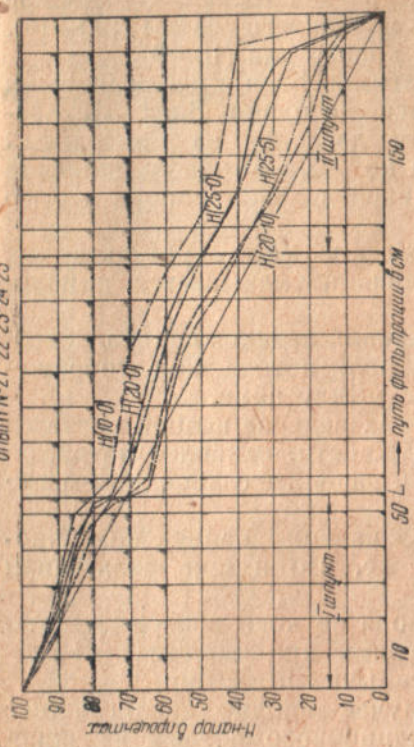
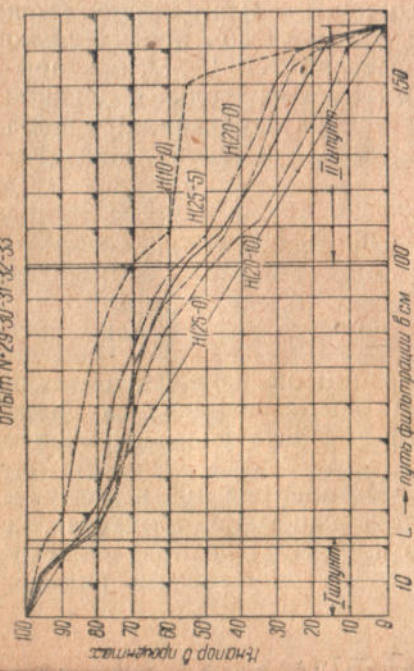


Рис. 8

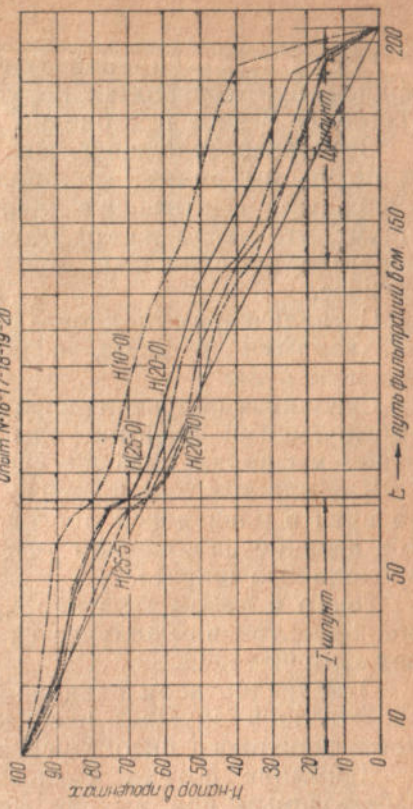
Модель 5
Опыт N-21-22-23-24-25



Модель 7
Опыт N-29-30-31-32-33



Модель 4
Опыт N-16-17-18-19-20



Модель 6
Опыт N-25-27-28-29-30

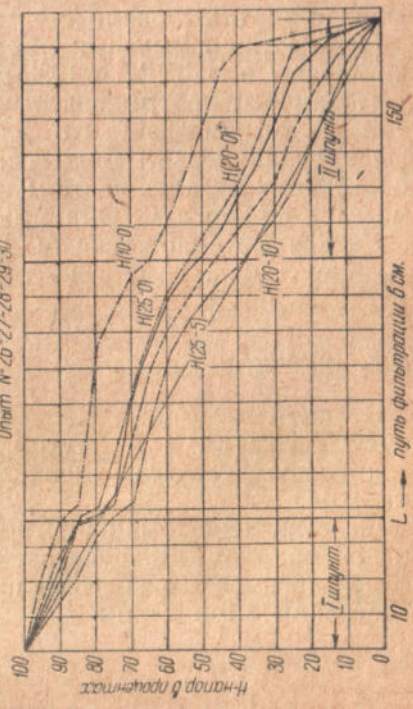


Рис. 9. Графики для выяснения влияния величины напора и разности горизонтов на распределение потерь напора в шпунтах

Ближе всех к прямой Бляя во всех графиках подходила кривая при горизонтах верхнего и нижнего бьефа (20—10). Наиболее резкое отклонение дала кривая для (10—0).

Сравнивая положение занятое прямой Бляя и наблюдаемыми кривыми, мы видим, что, пользуясь методами Бляя мы уменьшаем фактическую величину давления на продольный шпунт, что видно из графиков, на которых величина давления определяется площадью между кривой падения напора и осью абсцисс.

С увеличением подпора расхождение между результатами, полученными по Бляю, и наблюдениями уменьшается, приближаясь к нулю.

Сравнивая полученную форму кривой падения напора с соответствующими кривыми при движении потока под сооружениями мы видим большое сходство между ними.

Как для тех, так и других кривых падение напора меняется по пути в одинаковой последовательности: наиболее интенсивное падение на конечном участке, и наиболее слабое на участке продольного шпунта.

Таким образом характер кривой падения напора при боковой фильтрации получается тот же, что и при фильтрации под сооружением.

Отмеченное нами влияние подпора не ново и неоднократно наблюдалось другими исследователями при опытах с движением грунтового потока через перемычки и плотины.

Движение потока в нашем случае вполне аналогично с наблюдаемым при выходе фильтрационного потока из перемычки с вертикальными стенками.

Опыты с перемычками, имеющими вертикальные стенки, были поставлены в НИГЛРе в 1935 г. под руководством проф. Ненько Я. Т. научным сотрудником Кранцфельдом Л. Я. Этими опытами было показано, что влияние глубины воды в нижнем бьефе сравнительно мало сказывается на положении кривой депрессии в отдалении от места ее выхода и значительно сказывается вблизи от места выхода.

Указанное положение было доказано также и теоретически в работах акад. Павловского Н. Н., проф. Ненько Я. Т. и ряда других авторов.

РОЛЬ ШПУНТОВ

В одной части поставленных нами опытов изменялась длина первого шпунта, а в другой части опытов изменялась длина второго шпунта. Это позволило нам выяснить роль отдельных шпунтов.

Для выяснения были построены графики (рис. 10), в которых по оси ординат откладывалась потеря напора в процентах, а по оси абсцисс длина всего пути в процентах по кратчайшему расстоянию. При серии опытов с тремя шпунтовыми рядами,

двумя вертикальными и одним горизонтальным были построены на графике четыре точки, первая в начале координат и последняя на пересечении ординаты и абсциссы (100%). Между ними располагались две промежуточные точки, соответствующие концам вертикальных шпунтов.

Уклон линии между точками характеризует интенсивность падения напора на участки. Ордината между двумя точками дает величину падения напора на данном участке в процентах.

Для примера приведем рисунок 10, для $H(20-10)$, $H(20-0)$.

На основании графиков и таблиц, в которые сведены все подсчеты, мы можем сделать некоторые предварительные выводы.

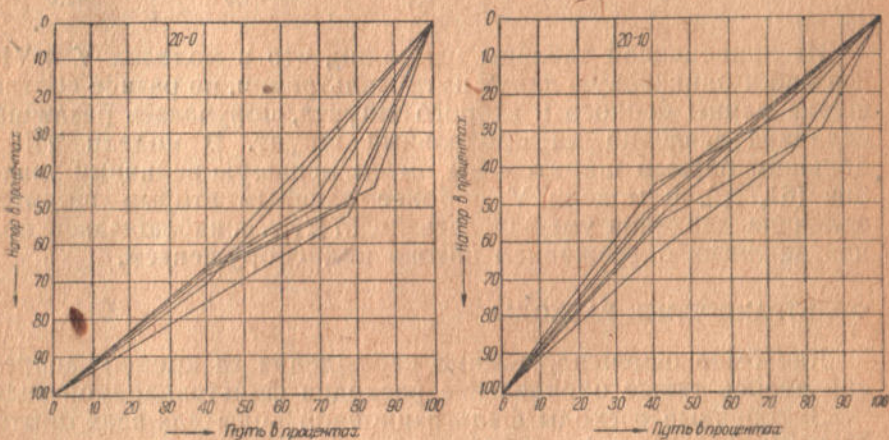


Рис. 10. Средние уклоны депрессионной кривой между характерными точками шпунтов

Наибольшая интенсивность падения напора приходится на второй поперечный шпунт, наименьшая интенсивность падения на продольный участок шпунта.

Промежуточное значение занимает интенсивность падения на первом поперечном шпунте.

Часть опытов была сделана при длинном первом поперечном шпунте, часть при длинном втором поперечном шпунте.

Из сравнения результатов по этим опытам мы можем отметить, — чем короче шпунт, тем более интенсивно падение на нем.

Отсюда с удлинением низового шпунта средняя величина градиента на нем падает, т. е. наблюдается то же явление, что и при движении грунтового потока под сооружением, когда удлинение низового шпунта вызывает уменьшение градиента.

Для верхового шпунта мы имели ту же картину, с удлинением его относительное падение увеличивалось, а следовательно увеличивался градиент падения напора. Для выяснения

роли удлинения первого и второго шпунта на величину давления, приходящуюся на продольный шпунт, приведем средние данные его в процентах по опытам.

| №№ п/п | №№ модели | Первый шпунт в см | Второй шпунт в см | Общая длина пути фильтрации в см | Средняя величина давления на продольный шпунт в % | |
|--------|-----------|-------------------|-------------------|----------------------------------|---|-----------------------|
| | | | | | Из опыта | При падении по прямой |
| 1 | IV | 72 | 64 | 204 | 57,0 | 49,0 |
| 2 | V | 55 | 64 | 189 | 61,7 | 52,5 |
| 3 | VI | 38 | 64 | 177 | 68,5 | 57,0 |
| 4 | VII | 21 | 64 | 166 | 75,0 | 63,4 |
| 5 | VIII | 72 | 54 | 194 | 57,0 | 47,0 |
| 6 | IX | 72 | 40 | 185 | 54,0 | 42,0 |

Из приведенной таблицы мы видим, что в моделях V и VIII, имеющих одинаковую длину пути фильтрации, но разное соотношение длины первого и второго шпунта, получалась различная величина давления на продольный шпунт. В модели VIII с большим первым шпунтом мы имеем меньшую величину давления (61,7%), в модели V с более длинным вторым шпунтом величина давления уменьшалась до 57%, т. е. наблюдалась полная аналогия с движением потока под сооружением.

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ РАСХОДЫ

Как было отмечено, помимо наблюдения за кривой депрессии велось также определение расходов фильтрационной воды.

Замеренные расходы фильтрационной воды для всех опытов были приведены к $t = 10^\circ \text{C}$ по формуле:

$$q_{10} = q_H (0,7 + 0,3 t_H),$$

где q_{10} — расход при 10°C ,

q_H — наблюдаемый расход,

t_H — температура воды при замере.

Вычисленные расходы были нанесены на графики с целью выяснить влияние вида модели на расход. Указанные графики были построены следующим образом:

По оси ординат откладывалась величина расхода, по оси абсцисс путь по кратчайшему расстоянию между верхним и нижним бьефом (рис. 11).

Наложенные точки расположились весьма разбросанно, поэтому в результате анализа часть сомнительных точек пришлось отбросить.

Остальные точки с достаточной достоверностью позволяют нам считать, что форма модели при проведенных ее изменениях не оказывала существенного влияния на расход фильтрационной воды.

Установив, что изменение модели не отражалось значительно на расходе, мы считали возможным осереднить расходы для

одной и той же величины напора и выяснить насколько величина напора и подпора отражалась на фильтрационном расходе.

Для этого данные отдельных опытов мы осреднили и свели в следующую таблицу:

| №№ п/п | Единица измерения | Величина напора | | | |
|--------|---|-----------------|-------|-------|-------|
| | | 20—0 | 20—10 | 25—0 | 25—5 |
| 1 | Расход в $\text{см}^3/\text{сек}$ | 3,26 | 2,18 | 4,22 | 3,69 |
| 2 | Расход в процентах, принимая за 100 расход для (20—0) | 100,0 | 67,0 | 129,0 | 113,0 |

Из этой таблицы мы видим, что наличие подпора снижает расход.

Суммируя весь полученный материал по опытам с боковой фильтрацией, мы можем сделать следующие выводы:

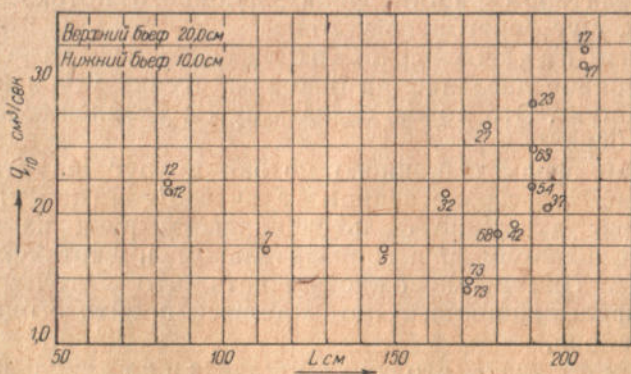
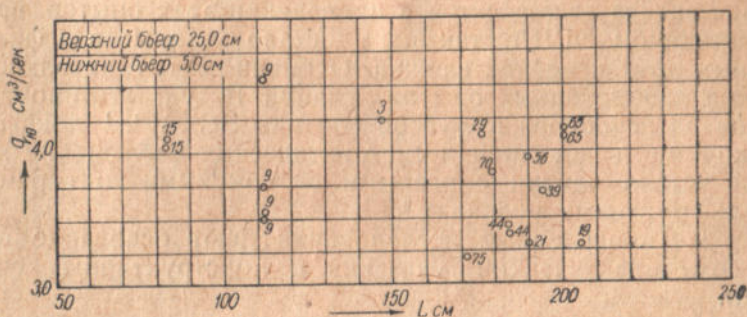


Рис. 11. Зависимость фильтрационного расхода от пути

Выводы

1. Характер движения фильтрационного потока в обход сооружения аналогичен его движению под сооружением.

2. Удлинение верхового (первого) шпунта уменьшает давление на продольный шпунт (стенку).

3. Удлинение низового шпунта (второго) увеличивает давление на продольный шпунт (стенку).

4. Удлинение низового шпунта уменьшает конечный градиент при выходе.

5. Удлинение шпунтов, т. е. большее заглубление в берег почти не сказывается на величине фильтрационного расхода.

6. Метод Бляя, предполагающий падение фильтрационного напора по прямой, неприменим при точном расчете боковой фильтрации и связанного с ней давления на продольный шпунт, но может быть оставлен при предварительных расчетах.

Нормативные и конструктивные соображения

Произведенные лабораторные исследования не претендуют на полноту и лишь открывают первую страницу в области изучения фильтрационного потока вокруг берегового устоя. Дальнейшая задача заключается в проведении этих опытов на пространственном ЭГДА, так как постановка опытов в фильтрационных лотках весьма сложна. Особенно затруднительно проведение лабораторных опытов с глиной. Результаты проведения опытов на левобережном устое плотины ЭСХАР'а¹ доказывают необходимость постановки систематических наблюдений за работой устоев плотин с разными их боковыми контурами и в разных грунтовых условиях².

Все же проведенные исследования дают основание высказать ряд практических указаний и конструктивных соображений.

В основном следует отметить, что есть некоторая аналогия между характером работы фильтрационного потока под плотинной и вокруг берегового устоя.

Первая задача при забивке шпунта — понизить фильтрационное давление на боковую стенку устоя и на продольный шпунт. Это можно сделать путем удлинения переднего шпунта в берег.

Движение фильтрационного потока вокруг шпунтов является сложной пространственной задачей. Ее можно упростить, рассматривая движение фильтрационных струек из точки D (рис. 12) с напором H в горизонтальном и вертикальном направлениях. При этом можно принять, что в точку K сзади шпунтов фильтрационный поток должен прийти с одинаковой потерей напора.

При этом получаем, что горизонтальная и вертикальная длины пути фильтрационного потока вокруг шпунтов должны иметь такое соотношение $L_{гор} = 1/m L_{верт}$.

¹ См. работу НИГЛ 1935 г. „Исследования левобережного устоя плотины ГЭС № 2 на р. С. Донец“.

² Наравне с этим необходимо разрешить теоретическую задачу пространственного фильтрационного потока и условий устойчивости грунтов.

ОПЕЧАТКА*

| Стр. | Строка | Напечатано | Должно быть |
|------|--------|--------------------|-----------------------|
| 161 | 10 св. | зависимости общего | зависимости от общего |

* По вине автора

№ 173/1205

Если продольный шпунт в плотине отсутствует, что возможно при напорах до 1 м, то весь фильтрационный напор должен быть погашен на береговых шпунтах. В таком случае

$$L_{кор} = \frac{HC}{2}, \text{ где } C \text{ — коэффициент Bligh'я, и } L_{берт} = \frac{HC}{2m}.$$

Обычно, как доказано на опытах, фильтрационный напор теряется на трех участках: переднем береговом шпунте, продольном шпунте и низовом шпунте. Таким образом передний береговой шпунт составляет только часть бокового контура плотины, по которому происходит движение фильтрационного потока. Определение его размеров вне зависимости общего контура берегового сопряжения плотины может быть сделано весьма неточно и только путем условных предположений.

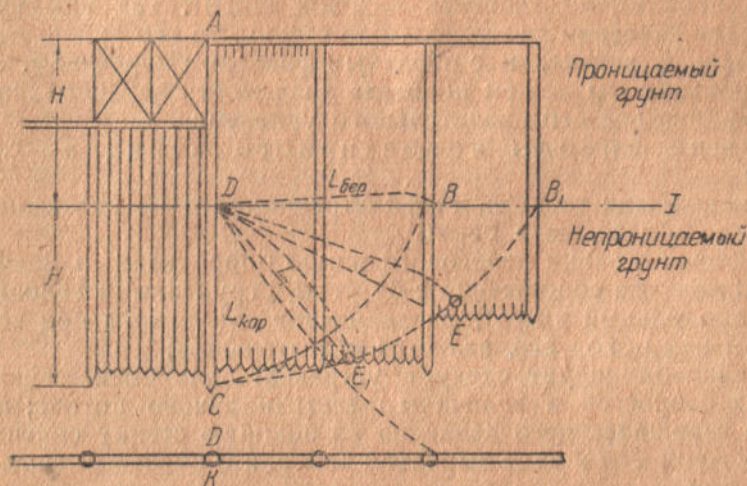


Рис. 12

Можно сделать такое предположение, что на переднем береговом шпунте должна быть такая же потеря фильтрационного напора, как и на королевом шпунте, отсюда $L_{бер} = L_{кор} m$.

Если принять $L_{кор}$ равным H , то $L_{бер} = Hm$.

При указанных выше минимальных значениях m для разных грунтов, будем иметь $L_{бер} = (1,5-3) H$, т. е. углубление устоев в берег следует делать на длину 1,5 H и больше в зависимости от грунта. Так для глины $L_{бер} = 3H$.

Таково упрощенное решение. Вводить его в нормативы без оговорок никак нельзя. Между тем в изданных ВОДГЭО «Технические условия и нормы проектирования деревянных плотин» даются четкие нормативы по поводу расчетов на боковую фильтрацию:

«Для расчетов на боковую фильтрацию через грунт засыпки

коэффициент Бляя следует принимать равным 75% от коэффициента фильтрации, приведенных для подземного контура“.

И далее:

„Для уменьшения боковой фильтрации необходимо делать углубление устоев в берег на длину, равную или большую удвоенной глубине забивки шпунтового ряда и производить забивку шпунтовых рядов во всю ширину флютбета и устоев“.

Оба эти норматива, как видно из предыдущих рассуждений, весьма условны и взаимно противоречивы.

Так, если уменьшить длину фильтрационной линии на коэффициент 0,75, то нет никакого основания увеличивать длину шпунта до двойного размера.

Вторая задача при забивке шпунтов в берег — обеспечить безопасный выход воды в нижний бьеф.

Для этого, подобно мероприятиям, применяемым под флютбетом, необходимо забивать низовой шпунт. Так как шпунт повышает давление на продольную стенку, то его нужно делать дырчатым, а, значит, и с обратным фильтром перед ним. Этим мероприятием мы можем понизить значимость верхнего шпунта и не добиваться его значительного удлинения.

Общие выводы нормативного порядка — следующие:

а) основными гасителями фильтрационного потока являются шпунты, забиваемые в берег;

б) длина забивки берегового шпунта определяется конфигурацией контура сопряжения с берегом и грунтовыми условиями;

в) продольный шпунт, разделяющих два потока под сооружением и в обход его, является обязательным;

г) низовой шпунт следует устраивать для уменьшения выходных скоростей и величины фильтрационного потока; повышение взвешивающего давления на боковую стенку смягчается устройством его в виде дырчатой заборки с обратным фильтром перед ним.

Инж. И. С. Лившиц

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНСПОРТА ПУЛЬПЫ В ЛОТКАХ

При проектировании намывной плотины у г. Ашхабада, в связи с топографическими условиями стройплощадки, возник вопрос о минимальных уклонах лотков, транспортирующих пульпу.

Литературные данные по затронутому вопросу весьма незначительны и противоречивы. Поэтому научно-исследовательской гидротехнической лаборатории было поручено провести в течение короткого времени полевые опыты для получения данных, могущих быть использованными в практической работе.

Основной целью постановки опытов было: а) определение минимально необходимых уклонов лотков для различных грунтовых смесей; б) характер осаждения крупных фракций и заторов в лотках.

Точного или хотя бы удовлетворительного решения вопроса о гидравлике потока пульпы до настоящего времени не имеется, а полного разрешения вопроса в течение ближайшего времени ожидать едва ли возможно, так как для этого требуется накопление громадного количества опытов.

Гораздо более длительные опыты и исследования проведены в области речных наносов. Однако попытки механического перенесения результатов этих исследований на явление движения потока пульпы обречены на неудачу вследствие существенной разницы между обоими явлениями. Как показали новейшие исследования, движение пульпы коренным образом отличается от известных в гидравлике форм движения.

ПОСТАНОВКА ОПЫТОВ

Опытная площадка

Для получения данных, наиболее близких к натурным условиям, полевые опыты были проведены на площадке самого строительства. Общий вид площадки и расположение отдельных частей опытной установки представлены на рис. 1 и 2.

Вода для опытов по транспорту пульпы поступает из вблизи проходящего бетонированного канала „Кешинка“ и подается через самотечную трубу диаметром 200 мм на грунтовую пло-

щадку, для чего к концу трубы присоединен прорезиненный гофрированный шланг диаметром 200 мм, нижний конец которого уложен в короткий деревянный лоток, через который вода поступает на площадку. Последняя представляет собой урамбо-

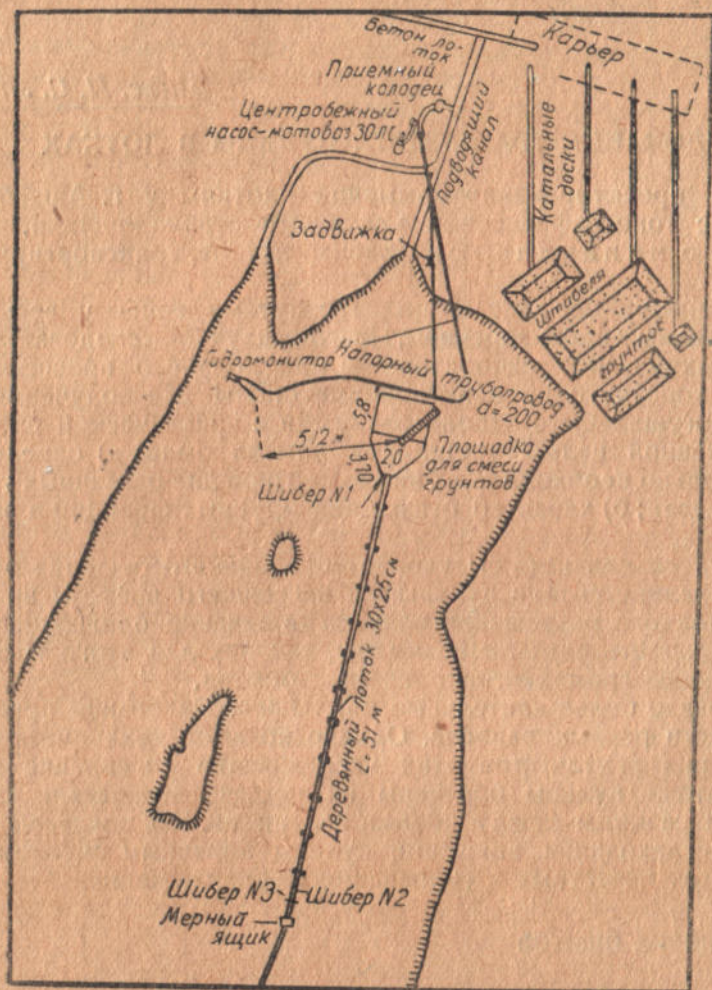


Рис. 1. План опытной площадки по исследованию транспорта пульпы для Ашхабадской плотины

ванную площадку, огражденную досчатыми стенками, в виде воронки.

От нижней части воронки начинается деревянный лоток длиной 51 м. Под нижним концом лотка помещен мерный ящик емкостью 1 м³, установленный на сотенных весах грузоподъемностью 1,5 т.

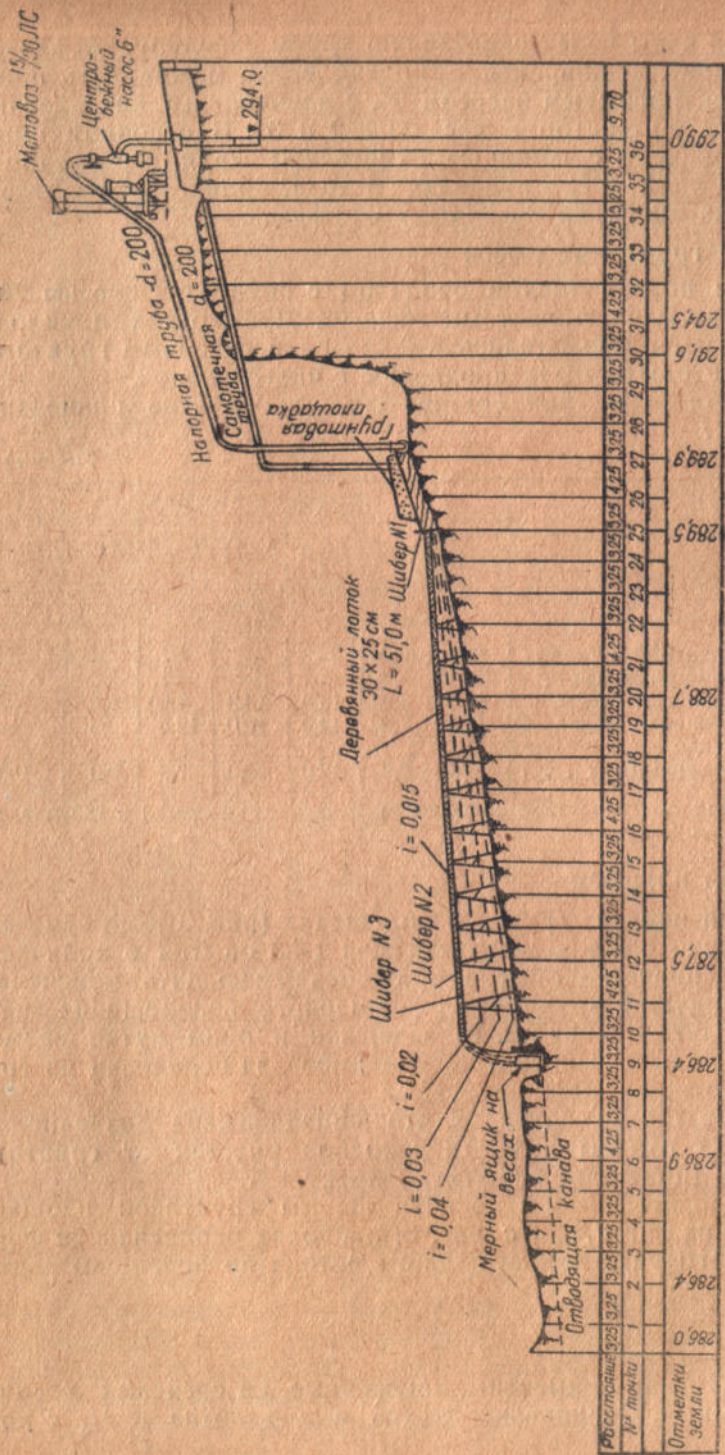


Рис. 2. Продольный профиль площадки по исследованию транспорта пульпы для Ашхабдской намывной плотины

Подача воды через самотечную трубу регулируется задвижкой „Лудло“. Одновременно подача воды может быть произведена центробежным насосом 6", с дальнейшим направлением воды в гидромонитор с насадкой 2 и 3". В основном опыты были проведены с помощью самотечной струи, с расходом от 50 до 100 л/сек, т. е. в пределах расхода, принятого для отдельного лотка проектом по намыву плотины.

Грунты и грунтовые смеси

Опыты проводились в основном с грунтовой смесью № 3, соответствующей проектным данным. Для лотков с уклоном в 1,5% опыты проводились только с лессовидным грунтом, а некоторые опыты были проведены с чистой водой.

Гранулометрический состав опытных грунтов приведен в таблице 1.

Таблица 1

| №№ грунтов | | Фракции (диаметр в мм) | | | | | | |
|---------------|--------------------------------------|------------------------|-------|------|------|-------|-------|--------|
| | | меньше 1,0 | 1—2 | 2—5 | 5—10 | 10—20 | 20—50 | 50—100 |
| | | в процентах | | | | | | |
| 0 | Лессовидный суглинок | 98 | следы | — | — | — | — | — |
| 1 | Песчаноглинистый | — | — | — | — | — | — | — |
| 2 | „Проектный“ состав | 53,5 | 4,0 | 16,6 | 10,3 | 9,60 | 6,0 | — |
| 3 | Гравелистолессовидный | 54,0 | 7,0 | 14,0 | 10,0 | 12,5 | 2,5 | — |
| 4 | Гравелистолессовидный (карьерный) | 52,0 | 6,0 | 12,0 | 5,0 | 7,0 | 9,0 | 9,0 |

Примечание. Процентное содержание отдельных фракций в таблице указано по объему.

Грунтовая площадка

Первый вариант грунтовой площадки (рис. 3) был намечен в соответствии с объемом грунта для 1—3 опытов в количестве 25 м³. В процессе опытов пришлось уменьшить намеченный объем ввиду: а) трудности равномерного перемещения значительного объема грунта, б) задержки в промежутке времени между опытами на время, необходимое для переноски на грунтовую площадку 40 т грунта.

Первые опыты показали, что немаловажное значение для транспорта пульпы имеет переходной участок от грунтовой площадки (приемной воронки) к лотку.

Последовательные изменения формы грунтовой площадки показаны на фиг. а, б, и с рис. 3; наиболее рациональная форма переходного участка для водного потока по новейшим данным показана на фиг. д.

Лотки

Лотки были применены деревянные из сосновых досок 2" нестроганных. Соединение стенок и дна лотка в $\frac{1}{4}$ с коно-

паткой. Соединение отдельных лотков длиной по 6,2 м между собой было произведено с помощью боковых планок, шириной до 10 см снаружи и заливкой смесью асфальта со смолой изнутри, против фильтрации, вследствие чего на стыках имело место повышение дна до 10 мм, а в вертикальных стыках дополнительная шероховатость. Сечение лотков постоянное; ширина 30 см, высота 25 см (рис. 3). Несколько последних опытов были проведены с добавлением 2-х „колен“ в конце лотка, длиной до 6 м, под углом 25° от оси для выявления характера отложений на поворотах.

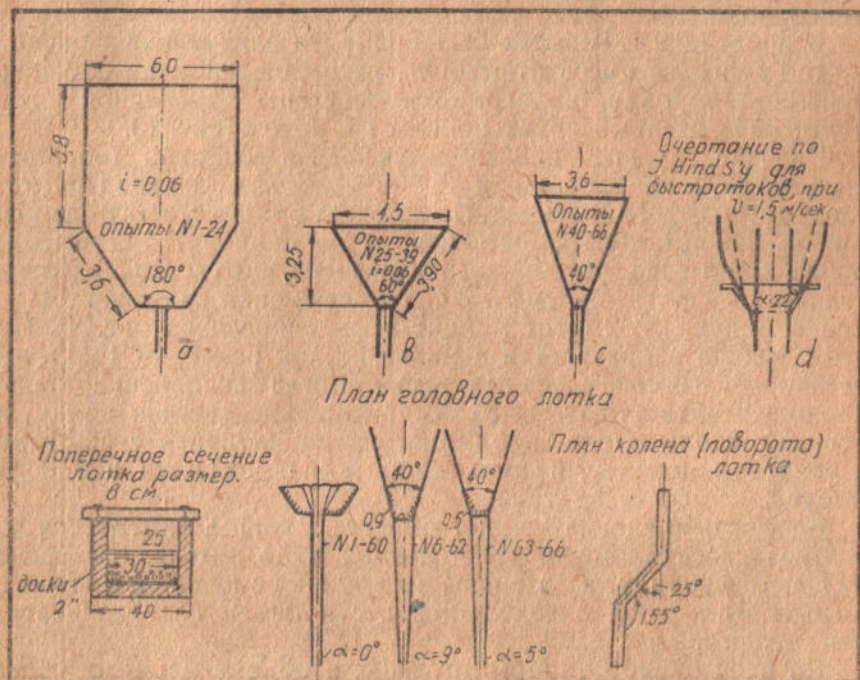


Рис. 3. Очертания переходного участка от приемной воронки (вверху) к лотку

Для уменьшения шероховатостей лотков часть опытов была проведена с облицовкой дна кровельным железом. Результаты оказались положительными. Это резко выявилось, когда часть лотка была оставлена без облицовки дна (при $i=3\text{‰}$), тогда заторы образовались именно на этом участке.

Уклон дна лотков устанавливался с помощью нивелира. Изменение уклона лотков производилось при участии 4—6 рабочих, переходивших от нижней части лотка постепенно вверх и поднимавших лотки ручным способом, без каких-либо приспособлений. Во избежание возможного расстройтва стыков, требуется заблаговременная заготовка козел, подкладок и клиньев размерами и в количестве—по расчету.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСИСТЕНЦИИ ПУЛЬПЫ

При обычных скоростях потока пульпы в пределах от 1 до 3 м/сек движение потока получается неравномерным, а вследствие неизбежных колебаний расходов воды и поступления грунта в поток (в опытных условиях, а также и производственных) — последний становится „неустойчивым“, т. е. сопровождается непрерывными изменениями состояния потока — во времени. Поэтому взятие пробы, вполне характеризующей консистенцию пульпы — затруднительно. Обычные способы взятия проб донных наносов в речном потоке для наших целей не пригодны.

В проведенных опытах был применен следующий способ.

1. Грунтовая смесь в штабеле, расположенном на площадке приемной воронки, подвергается действию самотечной струи воды; разжиженный грунт попадает в лоток (рис. 3).

Вначале пульпа сбрасывается через боковой (холостой) выпуск № 2 на расстоянии 46,5 м от начала лотка. При этом главный шибер № 3 закрыт. По прошествии некоторого времени (около одной минуты), достаточного для приобретения потоком более или менее устойчивого характера, по сигналу наблюдателя открывається шибер № 3 и одновременно закрывается боковой выпуск № 2 (этот момент зафиксирован на рис. 4). При этом пульпа направляется в мерный ящик размером 1×1×1 м, установленный на сотенных весах. Когда наполнение ящика, продолжительностью 20—30 секунд приближается к концу, по сигналу наблюдателя производится манипуляция с шиберами в обратном порядке, и пульпа опять направляется в боковой выпуск.

Время наполнения мерного ящика пульпы, определенное с помощью секундомера, дает возможность вычислить расход пульпы в секунду, а взвешиванием ящика с пульпой и отсчетом высоты наполнения определяется вес и объем содержащейся в нем пульпы.

По весу данной „пробы“ пульпы, в объеме мерного ящика, т. е. около 1 м³, можно определить как номинальный (K_0), так и „приведенный“ K_1 коэффициент разжижения пульпы по формулам¹:

$$K_0 = \frac{\gamma - d}{d - 1}, \quad (1)$$

$$K_1 = \frac{\gamma - d}{\Delta(d - 1)}, \quad (2)$$

где: K_0 — отношение объема воды — данной пробы пульпы к объему содержащегося в ней грунта;

¹ Первоначально были использованы [формулы и график, опубликованные в журнале „Rock Products“ № 14 за 1930 г. В процессе подсчетов была обнаружена неправильность этих формул и выведены формулы 1 и 2. В целях краткости выводы не приводятся.

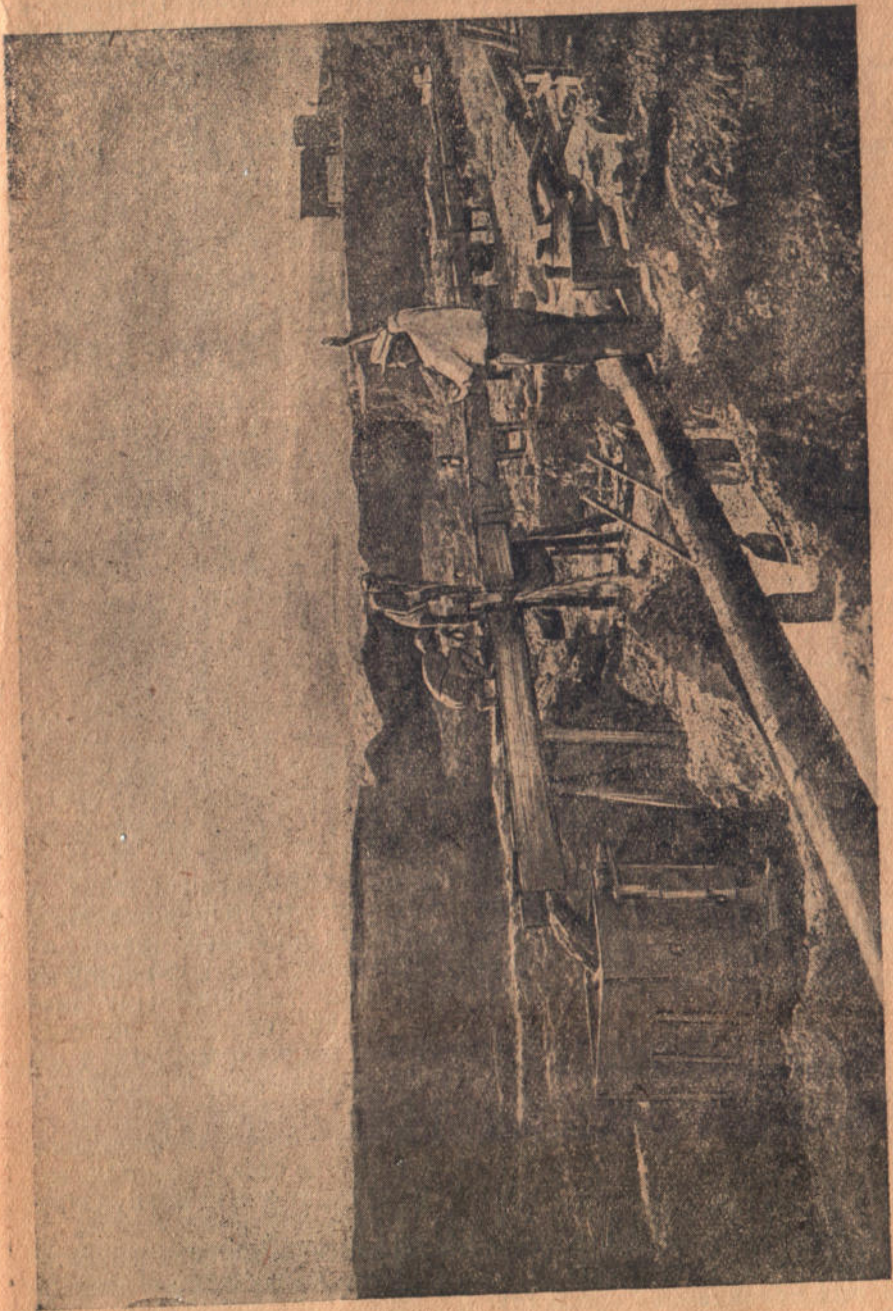


Рис. 4, Момент закрытия бокового выпуска пульпы

K_1 — то же отношение, что и для K_0 , но объем грунта приведен к объему в ненарушенном состоянии в карьерах;
 γ — истинный удельный вес грунта, принятый 2,65;
 d — удельный вес пульпы;
 Δ — объемный вес грунта.

Для упрощения подсчетов при определении K_0 и K_1 нами составлен график, приведенный на рис. 5.

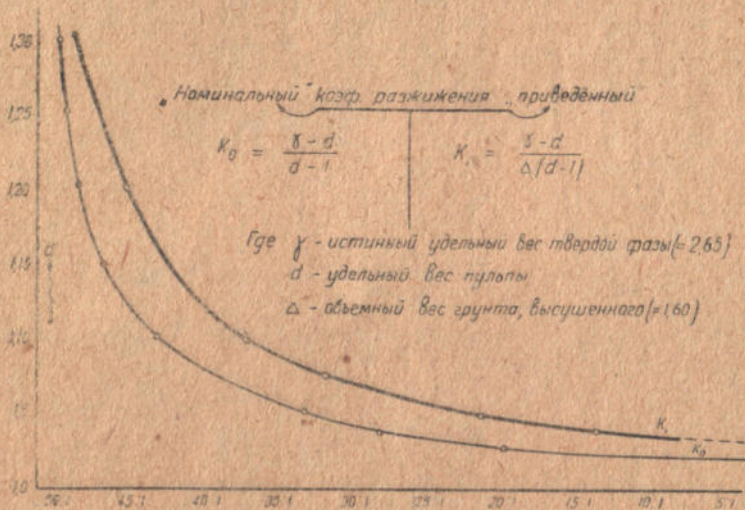


Рис. 5. Кривые коэффициента разжижения пульпы

ЭЛЕМЕНТЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Для определения зависимости между элементами потока и транспортирующей способностью его опыты сопровождались измерениями: 1) высоты от кромки стенок до поверхности потока пульпы в начале и конце лотка; 2) поверхностной скорости течения пульпы поверхностными поплавками, деревянными, диаметром 10 см, высотой 2 см; 3) „средней“ скорости потока, путем деления объема заполнения мерного ящика пульпой — 1 м³, на продолжительность его заполнения; 4) размеров и характера отложений.

Что касается измерения придонных скоростей течения, или же скорости движения донных „наносов“, то такие не производились, за отсутствием до настоящего времени соответствующих методов или приборов.

В результате измерения скоростей выяснилось, что закономерного перехода от $V_{ср}$ к $V_{пов}$ потока пульпы при данных опытных условиях не существует.

Осредненные значения $V_{пов} \approx 2,60$ м/сек; $V_{ср} \approx 1,70$ м/сек.

Для проверки коэффициента шероховатости нестроганных

досок, или вернее, скоростного коэффициента C , в формуле Шези произведено несколько опытов с пропуском чистой воды.

При данном уклоне лотка влияние шероховатости стенок и дна его, а также гидравлических элементов потока имеет решающее значение в вопросе максимальной транспортирующей способности для потока пульпы в лотках. Ограниченное время для проведения опытов не позволило нам достаточно полно осветить эту сторону вопроса.

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ О МЕТОДИКЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

Несмотря на одинаковое по всей длине сечение, уклон дна и шероховатость лотка движение пульпы является неустановившимся. Это можно объяснить значительными скоростями потока, неравномерностью притока воды и поступления грунта.

В связи с этим стоит вопрос о продолжительности отдельного опыта, разрешение которого упирается в значительные затруднения с приготовлением и доставкой больших объемов подопытного грунта. Опыты соответствующей продолжительности, с грунтами в состоянии *in situ*, в намечаемых к разработке карьерах возможны в производственных условиях, когда имеется все необходимое оборудование.

В наших опытах, при весьма ограниченном сроке работ, объем грунта для одного опыта колебался от 3 до 7 м³, а продолжительность такового от 5 до 10 минут.

Значительным недостатком является отсутствие методов и приборов для измерения донных скоростей в потоке пульпы, что не дает возможности управлять ими. То же самое относится к измерению формы и характера частиц грунта. Влияние формы частиц, даже для мелких песчаных фракций, по данным Шоклича значительно: сила влечения наносов увеличивается почти в два раза при переходе от плоских (глинистых) частиц к зернистым.

Учитывая несовершенство отдельных измерений, отчасти неизбежное при существующей технике измерений, а также необходимость гораздо большего количества опытов, настоящее исследование следует считать первым приближением решения вопроса о гидравлическом транспорте разнородных гравелисто-лессовых грунтов.

Выводы

Полевые опыты по транспорту пульпы в деревянных лотках (1935 г.) приводят к следующим выводам:

1. Транспортирующая способность лотков в зависимости от уклона дна.

2. Переход от приемной воронки к „головному лотку“ должен быть осуществлен с возможно большей плавностью. Угол вершины „конуса“ воронки должен быть в пределах от 20 до 40°, по возможности ближе к нижнему пределу. Уклон дна приемной воронки или подводящей от забоя канавы должен быть в пределах 4—8°.

| Уклон дна лотка | №№ п/п | Обстановка потока пульпы | № грунта | Характеристика уклона лотка |
|-----------------------|-----------|--|---------------|--------------------------------|
| 0,04 | 1 | Дно и стенки лотка из нестроган- ных досок, наличие отдельных поворотов с углом α не более 25° | 0, 1, 2, 3, 4 | Надежный |
| 0,035 | 2 | То же, что № 1, но дно железное . | 1, 2, 3, 4, 0 | " |
| | 3 | То же, что № 1 | 0,1 | " |
| | 4 | То же, что № 1 | 2, 3, 4 | Неустойчиво- надежный |
| 0,03 | 5 | То же, что № 1, но дно железное . | 3 | " |
| | 6 | " " " | 2,4 | Ненадежный |
| 0,025 | 7 | " " " | 0,1 | Надежный |
| | 8 | " " " | 2, 3, 4 | Надежный |
| 0,015 | 9 | " " " | 0,1 | Надежный |
| | 10 | То же, что № 1 | 0 | " |
| | 11 | То же, что № 1, | 1, 2, 3, 4 | Ненадежный |
| | 12 | То же, что № 1, но дно железное . | 1 | " |

Примечания: а) Механический состав грунтов см. табл. 1.

б) Выводы № 1—12 относятся к потоку пульпы в лотках прямоугольного сечения, шириной 25—35 см, с расходом пульпы от 50 до 100 л/сек, при отношении объема воды потока пульпы к объему транспортируемого им грунта, приведенного к ненарушенному состоянию в теле карьеров от 7:1 до 10:1 (пористость грунтов в теле карьеров принята условно — 40%).

Для предотвращения головного участка лотка от заторов, целесообразно применять увеличение уклона дна этого участка на 0,5—1%, по длине 10—15 м.

3. В производственных условиях независимо от уклона дна лотков на переходных участках (от приемной воронки к лотку, на поворотах) надлежит расставить по 1—2 рабочих для шурования потока пульпы во избежание заторов, а для прямых участков лотка по 1 рабочему на каждые 100—150 пог. м; для лотков с уклонами, охарактеризованными как „неустойчивонадежные“ — по 1 рабочему на каждые 50—100 пог. м.

4. Установка лотков в отношении уклона дна должна производиться строго по нивеллиру. Стыки железной облицовки дна не должны иметь „порогов“.

5. Замена железной облицовки дна строганными досками не рекомендуется, так как в процессе работы гладкая поверхность дерева изнашивается и становится шероховатой.

6. При значительной неравномерности консистенции пульпы (пестрота карьеров и т. п.) целесообразно применять бустер, оптимальный расход и напор струи которого должен быть предварительно определен опытными исследованиями.

7. Конструкция лотков для расхода пульпы до 100 л/сек рекомендуется простейшая, из 2" досок шириной — 30 см (одна на дно, две — на стенки), скрепление стенок лотка планками по верху через 2—4 м, а в стыках лотков боковыми наружными планками. Опоры лотков через 3—4 м.

Инж. Д. С. Лившиц

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШЛАКО-ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В ГИДРОСТРОИТЕЛЬСТВЕ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Гидротехнической лаборатории было поручено исследовать вопрос применения харьковского шлако-портландцемента в строительстве набережных.

Задавшись целью дать строительству (в 1936 году) указания в этом направлении, мы должны были пойти по пути исключительно практического разрешения вопроса. Сообразно с этой установкой и выполнена настоящая работа.

Конструкции набережных характеризуются массивными размерами, незначительным напором или полным отсутствием такового и работой собственным весом.

В небольшой части сооружений (водосток, подпорные стенки) толщина конструкций — незначительна, и напор воды они испытывают сравнительно небольшой. Таким образом, массивность сооружений и незначительный напор являются факторами положительными для службы сооружений.

Все же названные сооружения и конструкции подвергаются действию других факторов большой разрушающей силы. Эти факторы: мороз и тепло, агрессивность среды — водной и почвенной, проточность воды.

Воздействие этих факторов, даже каждого порознь, достаточно эффективно. В сумме же они представляют реальную угрозу сооружениям.

МЕТОДОЛОГИЯ

Методология исследований складывается из следующих разделов:

1. Исследования цемента разных партий для определения: а) химического состава, б) прочности на сжатие в сроки 4,7 и 28 дней, в) прочности на разрыв, г) сравнение результатов одновременно взятых партий цемента одной заводской марки для выявления коэффициента постоянства марки.

2. Исследования бетона в целях установления взаимной зависимости прочности, водопроницаемости, морозостойкости от: а) водоцементного фактора, б) возраста, в) состава смеси инертных, г) определения рационального состава смеси при наличных качествах цемента и инертных.

Исследование проведено на материалах, употребляемых на строительстве набережных.

а) Песок

Харьковский карьерный песок. Песок кварцевый. Гранулометрический состав см. кривую просеивания (рис. 1). Модуль крупности $M_k = 1,01$. Глинистость меньше 2% допустима. Загрязненность органическими примесями — в допустимых пределах. Объемный вес—1,42. Удельный вес—2,63. Переходный коэффициент при влажности 4% $K = 1,27$.

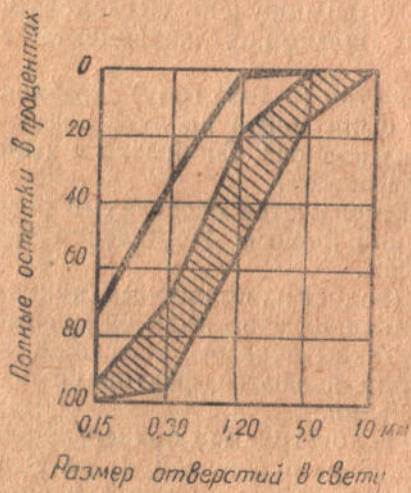


Рис. 1. Кривая просеивания песка

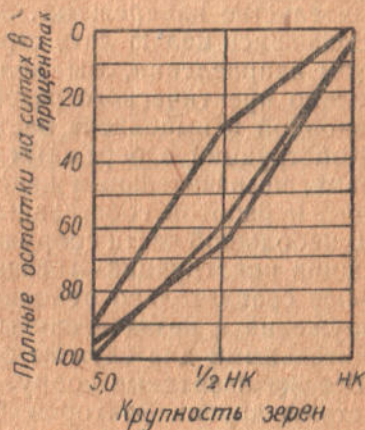


Рис. 2. Кривая просеивания щебня

Низкий модуль ¹ крупности и положение кривой просеивания на графике с совершенной очевидностью указывает на неудовлетворительность песка с точки зрения „идеальных кривых Абрамса“.

б) Щебень

Щебень гранитный. Гранулометрический состав см. график (рис. 2). Модуль крупности = 8,6. Загрязненность в норме. Объемный вес—1,45. Удельный вес—2,70. Переходной коэффициент—1. Объем пустот—46,3%.

¹ Учитывая несовершенство понятия модуля крупности как показателя гранулометрии инертных, мы все же приводим значение его, поскольку в существующих Т. У. и Н на бетонные и железобетонные сооружения рекомендуется низкий предел для песка $M_k = 1,5$ и для щебня $M_k = 6,5$.

в) Гравий

По происхождению — эваторийский, по форме — окатанный. Гранулометрия — см. график (рис. 3).

Модуль крупности $M_k = 4,7$. Объемный вес — 1,59. Удельный вес — 2,63. Загрязненность в норме.

г) Смесь песка и гравия

Анализ гранулометрической кривой песка указывает, что песок почти полностью (99%) проходит через сито 0,6 мм. Таким образом в свете обычных гранулометрических представ-

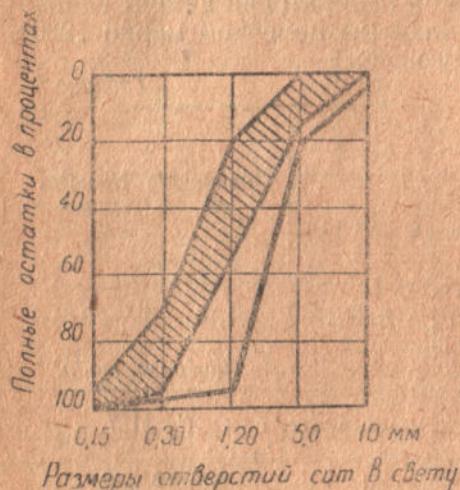


Рис. 3. Кривая просеивания гравия

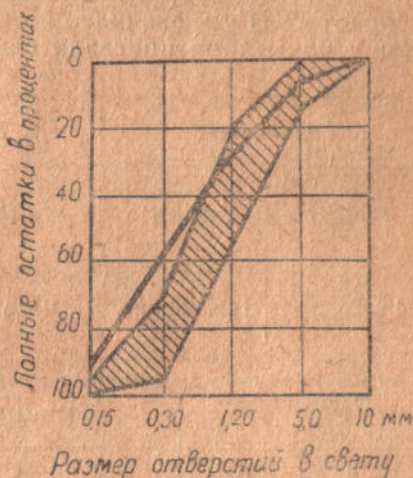


Рис. 4. Кривая просеивания смеси. Гравий : песок = 1 : 3

лений песок явно неудовлетворителен. Объемный вес песка в стандартном состоянии = 1,42, удельный вес = 2,63.

Пористость равна 46,0%. Такая повышенная пористость является следствием плохого гранулометрического состава. Подобные пески требуют улучшения состава тем или иным путем; в противном случае приходится повышать расход цемента на кубометр бетона. Решение часто лежит в экономике вопроса.

Для исправления песка нами был проработан ряд составов из смеси песка и гравия. В результате целого ряда попыток, о которых мы судили по осадке конуса и удобообработываемости смеси, мы остановились на смеси, в которой отношение $\frac{\text{гравий}}{\text{песок}} = 1 : 3$.

Модуль крупности получился равным $M_k = 2,3$ и кривая просеивания значительно ближе подходит к оптимальным кривым Абрамса.

Гранулометрический состав смеси — см. график (рис. 4).

Модуль крупности = 2,3. Объемный вес — 1,46. Удельный вес — 2,68. Объем пустот — 41,7%.

д) Цемент

Как уже указывалось, для исследования употреблялся шлако-портландцемент Н. Баварского завода, над которым был произведен механический и химический анализ партий, взятых из трех разных закромов. Подробного паспорта на эти цементы не было получено.

По данным завода, накладным и ознакомлению с материалами механических испытаний заводской лаборатории цемент удовлетворяет ОСТ'у и значился по накладным цементом марки „200“. Наши испытания показали следующее:

Таблица 1

| Схватывание | | Тонкость помола— остатки на ситах | | Объемный вес | Удельный вес |
|--------------|---------------|--------------------------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Начало | Конец | с 900 отв. | с 4900 отв. | | |
| 4 ч. 20 мин. | 11 ч. 20 мин. | 0,9% | 84,5% | 1,18 | 2,85 |

Продолж. табл. 1

| Постоянство объема | | | Испытание на прочность по ОСТ'у 5157 | | | | | |
|-----------------------|--------|-----------------------|--------------------------------------|--------|--------|------------|--------|--------|
| В воде | В паре | При кипя- чении | Сжатие | | | Растяжение | | |
| | | | 7 дн. | 14 дн. | 28 дн. | 7 дн. | 14 дн. | 28 дн. |
| | | | выдержал | 70 | 118 | 162 | 8,1 | 11,1 |

Результаты химических анализов шлако-портландцемента

Таблица 2

| | Потеря при про- каливании | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | MnO | CaO | SO ₃ | MgO | Всего |
|-------------|---------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-----------------|------|-------|
| Цемент № 15 | 1,32 | 30,64 | 1,88 | 3,45 | 1,03 | 51,2 | 1,33 | 1,39 | 97,24 |

1) Весовое отношение $\frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$ больше 1, что соответ-
ствует ОСТ'у.

2) SO₃ + MgO = от 2,72 до 3,12, т. е. не превышает 5%, что
удовлетворяет ОСТ'у.

3) SO_2 колеблется в пределах $0,58\%$ — $1,68\%$, т. е. менее 2% .

Таким образом, цемент по прочности и химическому составу удовлетворяет предписанным нормами и стандартами требованиям на шлако-портландцемент марки „160“, а потому не вызывает возражений к применению его в бетоне.

Незначительное количество серы позволяет употреблять указанный цемент и в железобетоне.

БЕТОН

а) Подбор составов

Как уже упомянуто, мы стремились в нашей работе выяснить качество бетона на Харьковском шлако-портландцементе и местных составляющих бетон компонентов.

Известно, что качество бетона зависит не только от свойств составляющих бетон материалов, но и от соотношения их в бетоне.

При данных качествах инертных прочность бетона предопределяется, в основном, весовым соотношением между водой и цементом ($W:C$), при достаточном для заполнения пустот количестве цемента.

Консистенция же массы зависит главным образом от соотношения между объемами цементного теста и отощателями. Чтобы достигнуть минимума расхода цементного теста, следует подобрать оптимальное соотношение между инертными. Поэтому на первый взгляд кажется, что наилучшей будет смесь с наименьшим количеством пустот. Однако, как показали опыты, минимум расхода цемента не всегда совпадает с минимумом пустот сухой смеси.

Кажущаяся простота и логичность пустотной схемы все время привлекает исследователей, давших много теорий проектирования бетонных смесей, основанных на пустотной концепции.

Однако, пустотная схема, даже при благоприятном соотношении крупностей гальки и песка, не отражает физическую сторону бетонного явления (Хоциалов), ибо она игнорирует то обстоятельство, что между инертными пространства в бетоне неилентичны пустотам смеси инертных, подсчитанных на основе пустот в условном (стандартном) состоянии.

В своей работе „О методе подбора состава бетона“ проф. Беляев Н. Н., касаясь вопроса крупности и гранулометрического состава инертных материалов, говорит: „Прежние нормы стояли на точке зрения подбора смеси инертных, составляющих по наименьшему количеству пустот в ней. Однако, как известно, цемент, даже будучи в достаточном количестве, не заполняет пустот между песчинками, в свою очередь, раствор „не желает“ укладываться в бетоне так, чтобы заполнить точно пустоты между щебенками, многое зависит тут от формы зерен, консистенции, способа приготовления бетона“.

Таким образом, метод предварительного подбора пропорций, исходя из количества пустот, является мало надежным. Распределение зерен инертных материалов в готовом бетоне оказывается другим, чем в сухой смеси инертных добавок.

В начале нашей работы мы попытались аналитически подобрать плотные смеси, чтобы с числами в руках выбрать бетон требуемого качества и одновременно проверить имеющиеся теории подбора плотных бетонов. Мы воспользовались методами: Закавказского института сооружений, Москва-Волгостроя новым способом Скрамтаева, ознакомились со способом проверки „жирности“ составов бетона, принятых на Свирьстрое, и получили настолько пестрые составы, что были совершенно дезориентированы в смысле преимущества одного метода перед другим. Поэтому выбор смеси был произведен исключительно на экспериментальной основе по методу попыток и мы считаем, что на сегодня, пока не обладаем достаточно простыми и точными способами нахождения плотных составов для гидротехнических бетонов, такой подход к подбору состава целесообразен.

В связи с изложенным, после детальных изысканий, путем затворения и анализа ряда пробных змесов мы изготовили 6 серий опытных образцов с разным соотношением отощателей и различными водоцементными факторами.

Осадка конуса принята на основе опыта нашей предыдущей работы на строительстве Гончаровской плотины и набережных равной 5 см, что отвечает необходимой консистенции бетона.

Водоцементный фактор 0,5—0,7 охватывает практически целесообразные составы на испытуемом цементе.

б) Испытания на прочность

Для исследования были заготовлены образцы размером 20×20×20 из бетона указанных ниже составов.

Таблица 3

| № серии | Род добавки | W/C | Расход материала на 1 м ³ | | | Номинальный состав | Выход бетона | Песок / щебень |
|---------|--------------------------------|------|--------------------------------------|---------|----------|--------------------|--------------|----------------|
| | | | цемент кг | песок л | щебень л | | | |
| 1 | Песок № 37, щебень № 23 | 0,7 | 295 | 455 | 910 | 1:2:4 | 0,63 | 1:2 |
| 2 | То же . . | 0,61 | 340 | 427 | 920 | 1:1,64:3,54 | 0,62 | 1:2 |
| 3 | То же . . | 0,51 | 435 | 418 | 838 | 1:1,25:2,50 | 0,63 | 1:2 |
| 4 | То же . . | 0,6 | 359 | 497 | 860 | 1:1,8:3,12 | 0,63 | 1:1,75 |
| 5 | То же . . | 0,6 | 328 | 431 | 950 | 1:1,72:3,77 | 0,63 | 1:2,20 |
| 6 | Смесь гравия, песка со щебнем. | 0,6 | 301 | 463 | 926 | 1:2:4 | 0,64 | 1:2 |

Хранение образцов нормальное.

Результаты испытаний обработаны статистическим методом

по 75%-ной обеспеченности показаний, а не по средне-арифметическим расчетам, и сведены в таблицу 4 и график (рис. 5). График дает зависимость прочности бетона от водоцементного фактора в приведенные выше сроки.

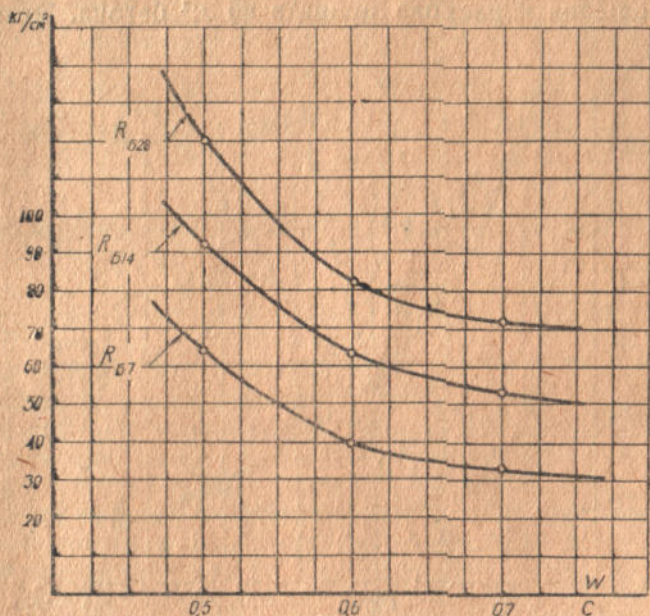


Рис. 5. График зависимости R_B от W/C в сроки 7, 14 и 28 дней

Результаты испытаний на сжатие

Таблица 4

| № серии | Возраст в днях | Напряже-ние кг/см ² | Возраст в днях | Напряже-ние кг/см ² | Возраст в днях | Напря-жение кг/см ² | Возраст в днях | Напря-жение кг/см ² |
|---------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|--------------------------------|
| 1 | 7 | 33 | 14 | 55 | 28 | 74 | 67 | 109 |
| 2 | 7 | 41 | 14 | 70 | 28 | 79 | 63 | 130 |
| 3 | 7 | 64 | 14 | 95 | 28 | 121 | 63 | 174 |
| 4 | 7 | 49,3 | 14 | 62 | 28 | 84 | 63 | 122,5 |
| 5 | 7 | 39 | 14 | 65 | 28 | 94 | 63 | 108 |
| 6 | 7 | 42 | 14 | 71 | 28 | 95 | 63 | 122 |

Приведенные материалы с совершенной очевидностью подтверждают положение о зависимости прочности бетона в каждом возрасте от водоцементного фактора и позволяют установить значение W/C фактора для получения бетона заданной прочности в необходимый срок, что дает ключ к решению основной задачи проектирования состава бетона. Эти же таблицы

показывают нам и пределы наших возможностей в отношении получения бетона заданной марки при данном водоцементном отношении.

Из приведенных выше данных нами составлен график (рис. 6), увязывающий зависимость прочности от водоцементного отношения и расхода цемента на м³ бетона. Этот график

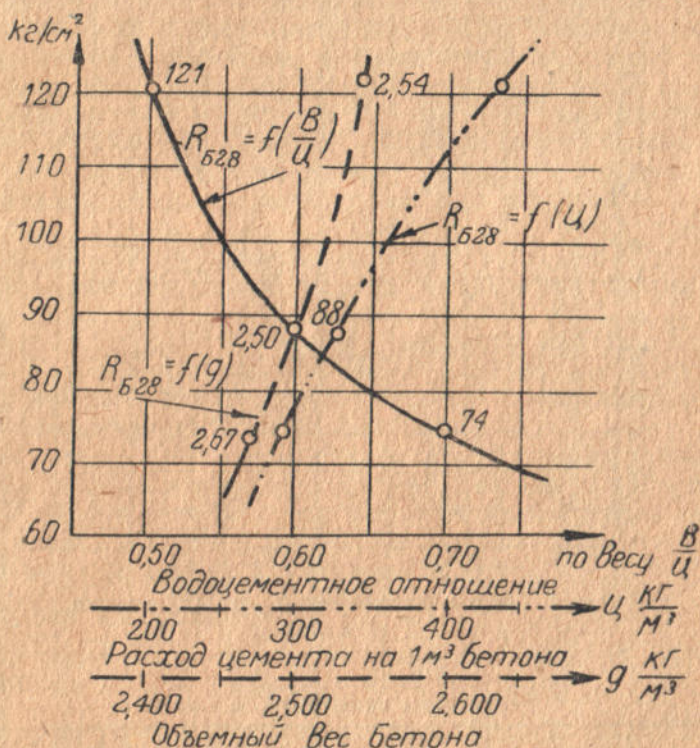


Рис. 6. График зависимости прочности цемента от водоцементного отношения

может служить для подбора состава бетона на данных инертных и Харьковском шлако-портландцементе марки $R_{28} = 160$ кг/см² и осадки конуса 5 см.

Мы попытались проделать экономический анализ, сравнив составы № V и VI, близких по прочности и одинаковых по водоцементному отношению. По данным строительства стоимость:

| | |
|--|-----------------|
| 1 т цемента франко-склад строительства | 61 руб. 93 коп. |
| 1 т песка | 11 " 60 " |
| 1 т щебня | 32 " 25 " |
| 1 т гравия | 26 " 13 " |

что составляет на 1 м³ бетона

Таблица 5

| № состава | W/C фактор | Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг | | | | S ₁ | R ₇ | R ₁₄ | R ₂₈ | Стоимость |
|-----------|------------|---|-------|--------|--------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | | цемент | песок | щебень | гравий | | | | | |
| V | 0,6 | 328 | 300 | 650 | — | 5 | 39 | 65 | 94 | 44 руб. 77 коп. |
| VI | 0,6 | 301 | 320 | 475 | 149 | 5 | 42 | 71 | 95 | 41 руб. 40 коп. |

Таким образом приведенный в таблице 5 анализ стоимости показал, что, несмотря на дороговизну гравия (25 руб. 13 коп.) по сравнению с песком (11 руб. 60 коп.) получаем — бетон с добавкой гравия дешевле (41 руб. 40 коп.) бетона на песке (44 руб. 77 коп.).

В практике работы наших полевых лабораторий имеется богатый материал, подтверждающий целесообразность (в известных условиях) облагораживания инертной смеси. Хотя в отдельных случаях при добыче песка непосредственно на месте работ (отдельные участки Сопрыкинского водостока), по условиям производства работ, экономически целесообразнее было пускать смеси с повышенным содержанием местного песка и с некоторым перерасходом цемента. Особенно это относится к тощим бетонам. Во всяком случае опыт подтверждает, что, наряду с другими факторами, экономика решает выбор рациональной смеси необходимой прочности.

Морозоустойчивость

Для испытания мы заготовили образцы размером 20 × 20 × 20 — близнецы с кубиками, испытанными на прочность.

На рис. 7 показаны бетонные образцы, находившиеся в условиях нормального хранения до помещения в холодильную камеру.

Условия хранения образцов до испытания — нормальные. Режим испытания: после 28-дневного хранения в опилках образцы были погружены в воду для насыщения, затем они были взвешены, описаны и погружены в холодильную камеру.

Замораживание продолжалось 6 часов при температуре — 17°. Эта температура поддерживалась автоматически в течение не менее 4 часов из 6-ти с колебаниями в 1,5°, но за все время не падала ниже 12° С.

Такой режим можно считать достаточным для промерзания образцов.

Шестичасовые периоды охлаждения чередовались с шестичасовыми периодами оттаивания в воде с температурой рав-

ной 20°. После 25 циклов испытание считалось законченным, образцы оттаивались, взвешивались, описывались все изменения, происшедшие за период замораживания и оттаивания, и были переданы для испытания на прочность.

Данные испытаний на морозоустойчивость сведены в таблицу 6 и нанесены на график (рис. 8).

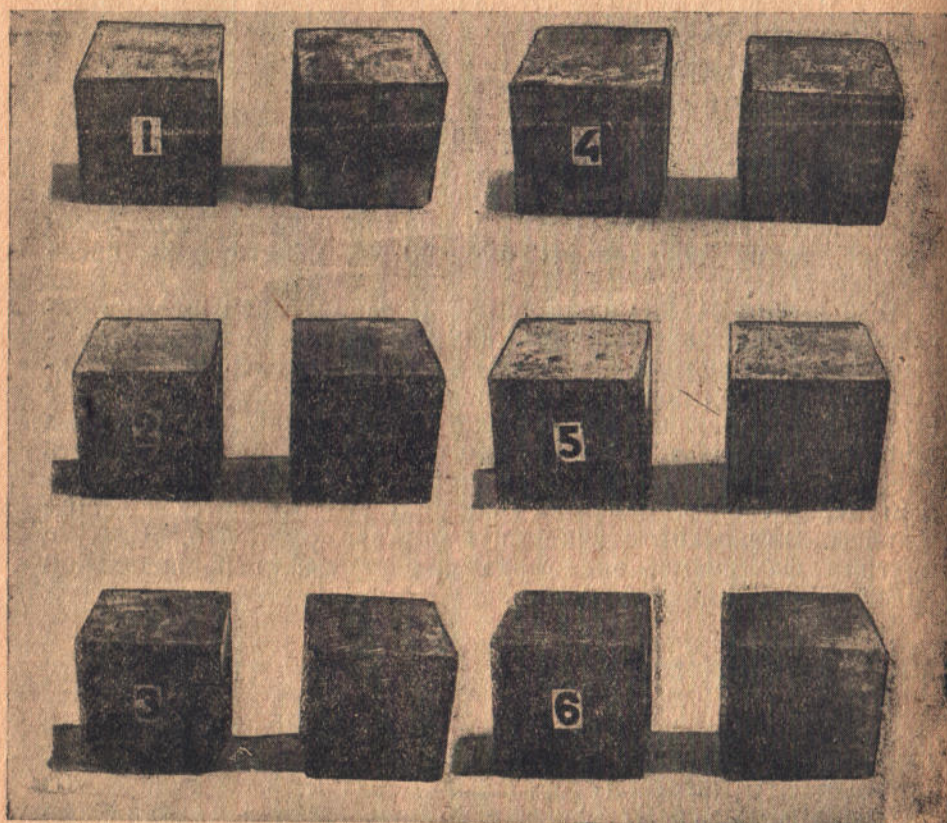


Рис. 7. Бетонные образцы, находящиеся в условиях нормального хранения до помещения в холодильную камеру

Таблица испытаний бетона на морозоустойчивость не дает ясной картины, позволяющей выявить какие-либо закономерности и тенденции морозоустойчивости, так как результаты испытаний прочности после мороза лежат в пределах точности нашей работы.

Однако, так как качество испытаний не вызывает сомнений, то надо признать, что нарастание прочности в этот период было замедлено, но не прекратилось.

Испытание бетона на морозоустойчивость

| №№ серий | W/C фактор | % водо-поглоща-емости | Возраст к началу замораживания в днях | Временное сопротивление образцов нормального хранения к началу испытания на морозоустойчивость кг/см ² | Временное сопротивление после 25-ти кратного замораживания кг/см ² | % изменения прочности к концу испытания |
|---------------|------------|-----------------------|---------------------------------------|---|---|---|
| I | 0,7 | 0,23 | 38 | 83 | 89 | + 7,2 |
| II, IV, V, VI | 0,6 | 0,11 | 32 | 86 | 91 | + 5,9 |
| III | 0,5 | 0,1 | 35 | 130 | 138 | + 6,1 |

Влияние морозов может быть в достаточной мере отражено изменениями, зафиксированными на основе внешнего осмотра.

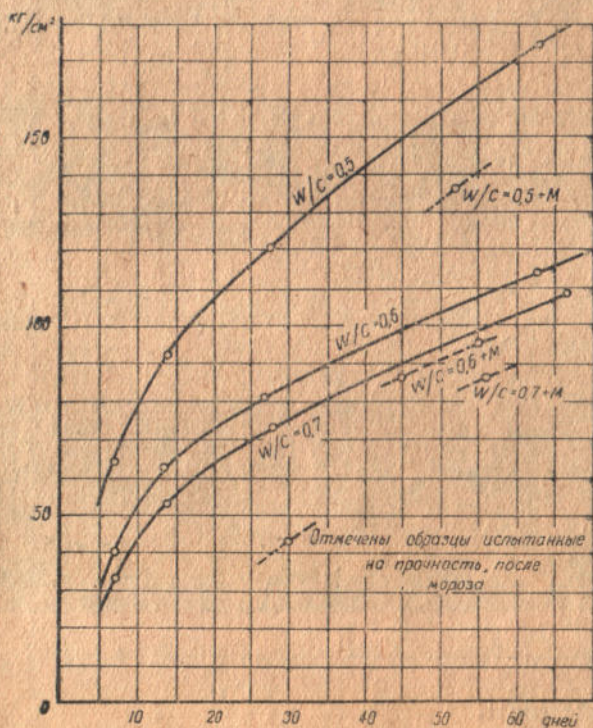


Рис. 8. График зависимости прочности бетона от времени и W/C фактора

Из этих наблюдений можно установить, что: серия № 1 показала наихудшие показатели морозоустойчивости; серия № 3 — показала наилучшие показатели, серия № 2, 4, 5 — хорошие по-

казатели морозостойчивости; серия № 6 — удовлетворительные показатели.

В общем все серии, кроме серии № 1, испытания на морозостойчивость выдержали и в этом отношении могут считаться надежными.

Ниже, на рис. 9, даны фотографии образцов после испытания на морозостойчивость.



Рис. 9. Образцы бетона после испытания на морозе

Водопроницаемость

Режим испытания: образцы $20 \times 20 \times 10$ на 28-й день в условиях нормального хранения были испытаны на приборе типа Бурхгартца на водопроницаемость. Испытание начиналось при давлении $0,5 \text{ атм}$, которое держалось в течение одного часа. Затем через каждый час оно увеличивалось на $0,5 \text{ атм}$ с доведением до максимального давления в 6 атм .

| № серий | W/C | Песок | Расход цемента на 1 м ³ | Число осмотров образцов | Из них | | | 0/о плюсов | Давление, при котором появилась сырость | R ₂₈ |
|---------|-----|--------|------------------------------------|-------------------------|--------|----|---|------------|---|-----------------|
| | | Щебень | | | + | - | K | | | |
| I | 0,7 | 1:2 | 295 | 90 | 75 | 10 | 5 | 83 | 1 кубик — 2,5 атм 1 кубик — 4 атм 1 кубик — без сырости | 74 |
| II | 0,6 | 1:2 | 340 | 109 | 91 | 12 | 6 | 90 | 1 кубик — 3 атм 1 кубик — 2 атм 1 кубик — без сырости | 79 |
| III | 0,5 | 1:2 | 435 | 108 | 108 | — | — | 100 | 2 кубика — без сырости | 121 |
| IV | 0,6 | 1:1,75 | 359 | 98 | 82 | 15 | 1 | 81 | 1 кубик — 3,5 атм 2 кубика — без сырости | 84 |
| V | 0,6 | 1:2,25 | 328 | 116 | 88 | 28 | — | 76 | 1 кубик — 1 атм 1 кубик — 2 атм 1 кубик — без сырости | 94 |
| VI | 0,6 | 1:2 | 301 | 108 | 91 | 17 | — | 84 | 1 кубик — 2,5 атм 1 кубик — 4,5 атм 1 кубик — без сырости | 95 |

Условные обозначения: + кубик сухой, сырость не появилась, — появилась сырость, K — появление капель.

Таблица 7 показывает, что наилучшие результаты дала третья серия, т. е. состав с минимальным водоцементным фактором, как и следовало ожидать. При таком составе бетон получился наиболее плотным и, следовательно, число капиллярных внутренних ходов сведено до минимума. Не плохие результаты дала партия № 2 с водоцементным отношением 0,6 и количества цемента 340 кг/м³.

Надо отметить, что при оценке качества водопроницаемости кубики подверглись давлению в 5 атм. С таким высоким давлением на Харьковских реках встречаться не придется. Кроме того, в большей части опытных образцов, за исключением серии № 1 и № 5, сырость появилась на одной стороне образца, что можно отчасти приписать случайным явлениям при их изготовлении.

Все образцы без исключения не пропустили воду насквозь, через толщу в 10 см. Верхняя часть образцов при всех опытах оказалась сухой. Это подтверждает, что бетон при водоцементном факторе 0,5 является вполне надежным в отношении водопроницаемости; при водоцементном отношении, не превышающем 0,6 и количестве цемента 300—340 кг/м³ бетон показывает прак-

тически удовлетворительную водопроницаемость. Бетон с водоцементным фактором 0,7 является ненадежным.

Изложенное подтверждается проверкой сравнительной плотности бетона по сумме абсолютных объемов составляющих бетон материалов.

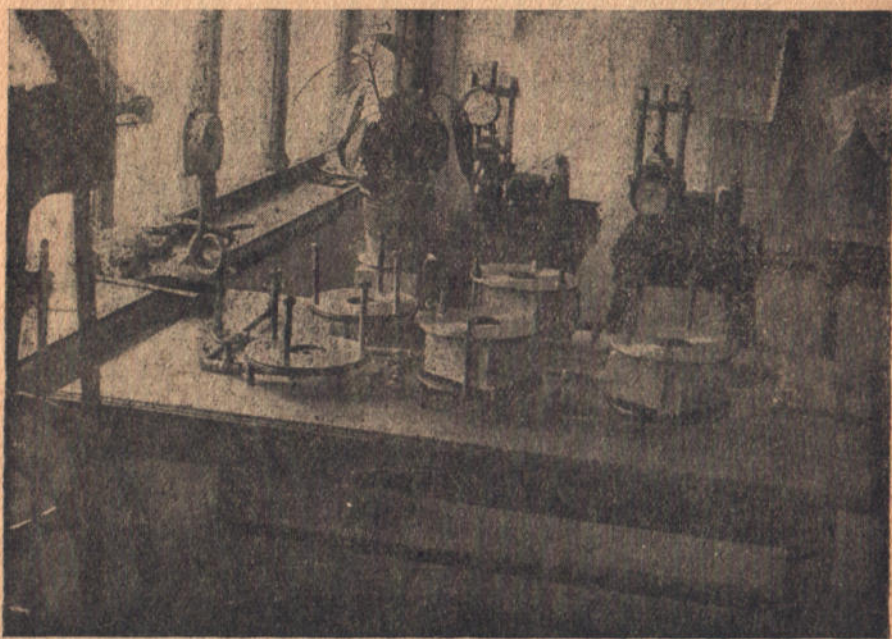


Рис. 10. Прибор для испытания водопроницаемости

Для сравнения берем составы: III с $B/C = 0,51$; VI с $B/C = 0,6$; и расходом цемента 301 кг/м^3 ; и состав I с $B/C = 0,7$ и расходом цемента 295 кг/м^3 .

По формуле

$$\Delta = \left(\frac{C}{\gamma_c} + \frac{P}{\gamma_p} + \frac{Ш}{\gamma_{ш}} + 0,2 C \right) : 1000,$$

где: C , P и $Ш$ — расход цемента, песка и крупной инертной по весу на 1 м^3 бетона,

γ_c , γ_p , $\gamma_{ш}$ — удельные веса этих материалов.

Получаем: для III серии $\Delta = 0,915$

” VI ” $\Delta = 0,910$

” I ” $\Delta = 0,89$

Полученные результаты согласуются с результатами испытаний на прочность и показателями водопроницаемости и морозостойкости опытных образцов указанных серий.

Примечание. Коэффициент плотности Δ по Т. У. Метростроя для гидротехсооружений должен быть не меньше 0,90.

Выводы

На основе проведенной работы и анализа полученных данных констатируем:

1. Цемент Харьковского цементного завода должен быть квалифицирован как шлако-портландцемент марки „160“ (а не „200“, как указывает завод) и как таковой он допустим для бетона гидротехнических сооружений.

2. Исследование подтвердило, что уменьшение водоцементного фактора повышает качество бетона по всем показателям: прочности, морозоустойчивости, водонепроницаемости; при чем можно считать, что бетоны на данных материалах с водоцементным отношением 0,6 удовлетворяют требованиям качества сооружений.

Надо отметить, что снижение показателей механической прочности, в определенных пределах, для гидротехнических сооружений не имеет практического значения, так как главнейшую роль играет водонепроницаемость и морозоустойчивость бетона.

3. Применение мелкого песка ($M_k = 1,01$) вызывает повышенный расход цемента, около 15%.

4. Загрязненность заполнителей, стоящая на границе допустимой, понижает прочность бетона на 15—20%, что также необходимо учесть при выборе водоцементного фактора.

5. Улучшение песка путем промывки, из-за его мелкозернистости — не имеет смысла.

6. Промывка щебня целесообразна.

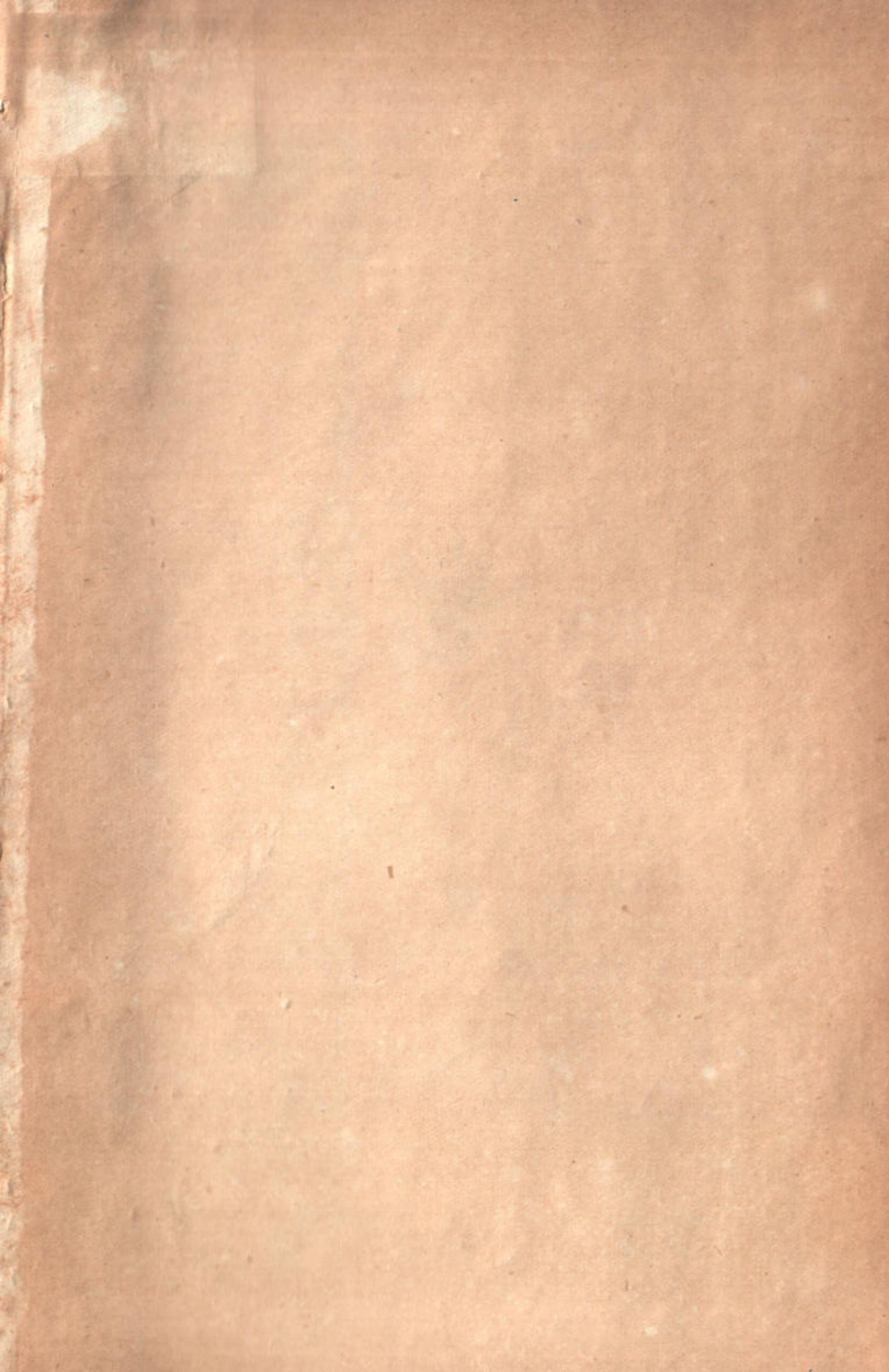
7. Исправление песка добавлением мелкого гравия дает бетон с сравнительно невысоким расходом цемента, удовлетворительным в отношении морозоустойчивости, водонепроницаемости и прочности.

8. Из анализа данных, полученных в результате нашего исследования и опыта работы в полевых лабораториях, мы считаем, что решение вопроса состава смеси инертных решает экономика, ибо в основном водоцементный фактор определяет качество бетона, состав же компонентов должен быть выбран, на основе экономического анализа.

9. Наконец, надо отметить, что даже идеально подобранный состав бетонной смеси обеспечивает водонепроницаемость, морозоустойчивость и прочность бетона только при условии правильного изготовления, хорошей укладки и надлежащего ухода за уложенным в конструкцию бетоном.

СОДЕРЖАНИЕ

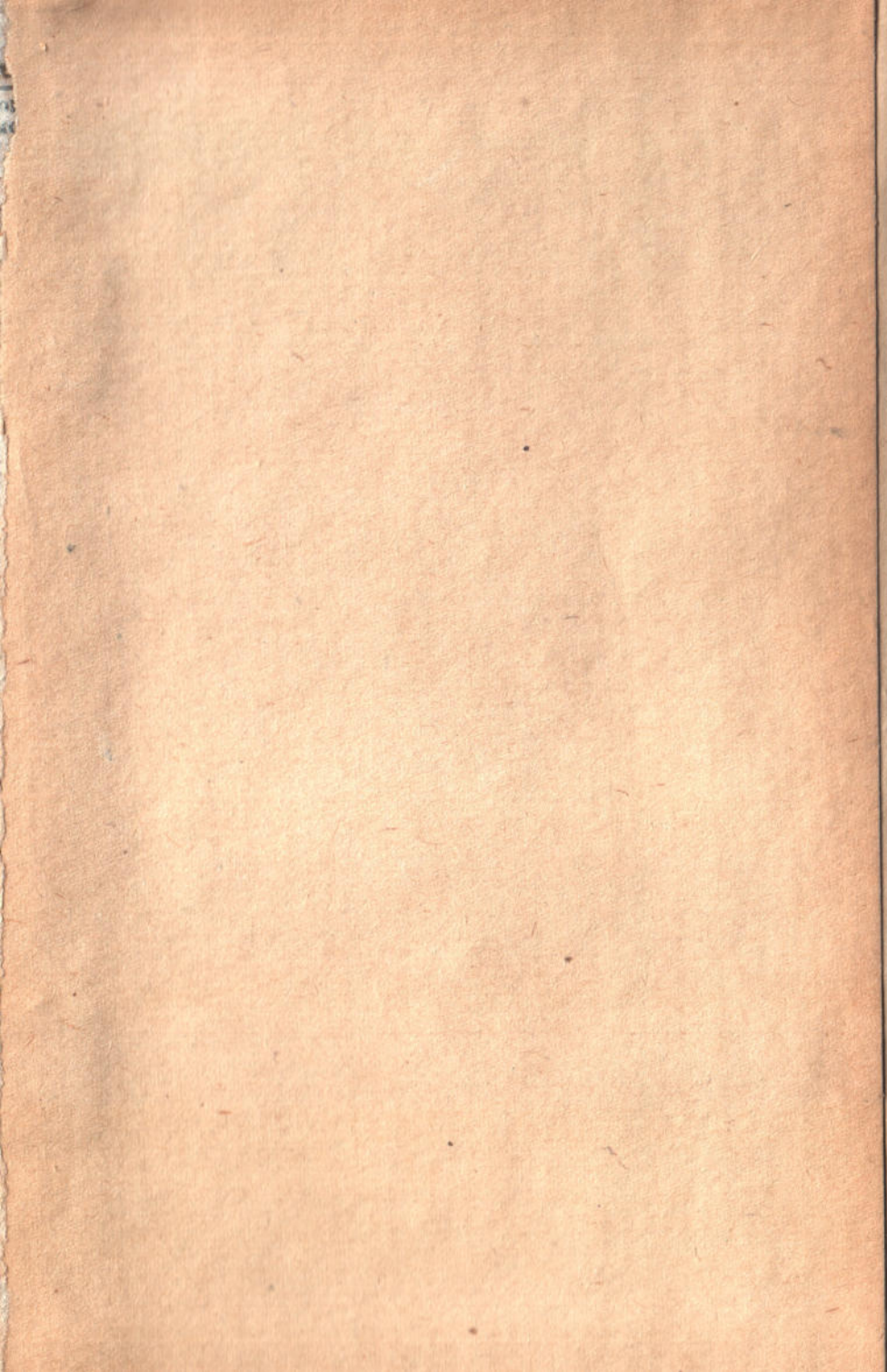
| | Стр. |
|--|------|
| Инж. М. Н. Грацианский — Научно-исследовательская гидротехническая лаборатория „Союзводстроя“ | 3 |
| I. Водоснабжение | |
| Проф. Н. Г. Малишевский — Рационализация водоприемников из открытых водсемов | 16 |
| Проф. Н. Г. Малишевский — Ковши водоприемники | 50 |
| Проф. Н. Г. Малишевский — Защемление труб в земле | 76 |
| Инж. В. М. Папин — Аварии сварных водоводов, их причины и способы предупреждения | 80 |
| II. Гидротехника | |
| Проф. Я. Т. Ненько — Фильтрация воды через земляные массивы, сложенные из пластов различной водопроницаемости | 97 |
| Инж. Л. Я. Кранцфельд и инж. Г. Н. Чайковский — Исследование явления фильтрации через однородные земляные массивы в условиях лабораторного опыта | 110 |
| Проф. Я. Т. Ненько — О сущности конструкции и о способе возведения намывной плотины | 129 |
| Инж. М. Н. Грацианский и инж. И. Н. Тихоцкий — Боковая фильтрация вокруг шпунтов | 144 |
| III. Полевые исследования | |
| Инж. И. С. Лившиц — Исследование транспорта пульпы в лотках | 163 |
| Инж. Д. С. Лившиц — Использование шлако-портландцемента в гидростроительстве | 173 |



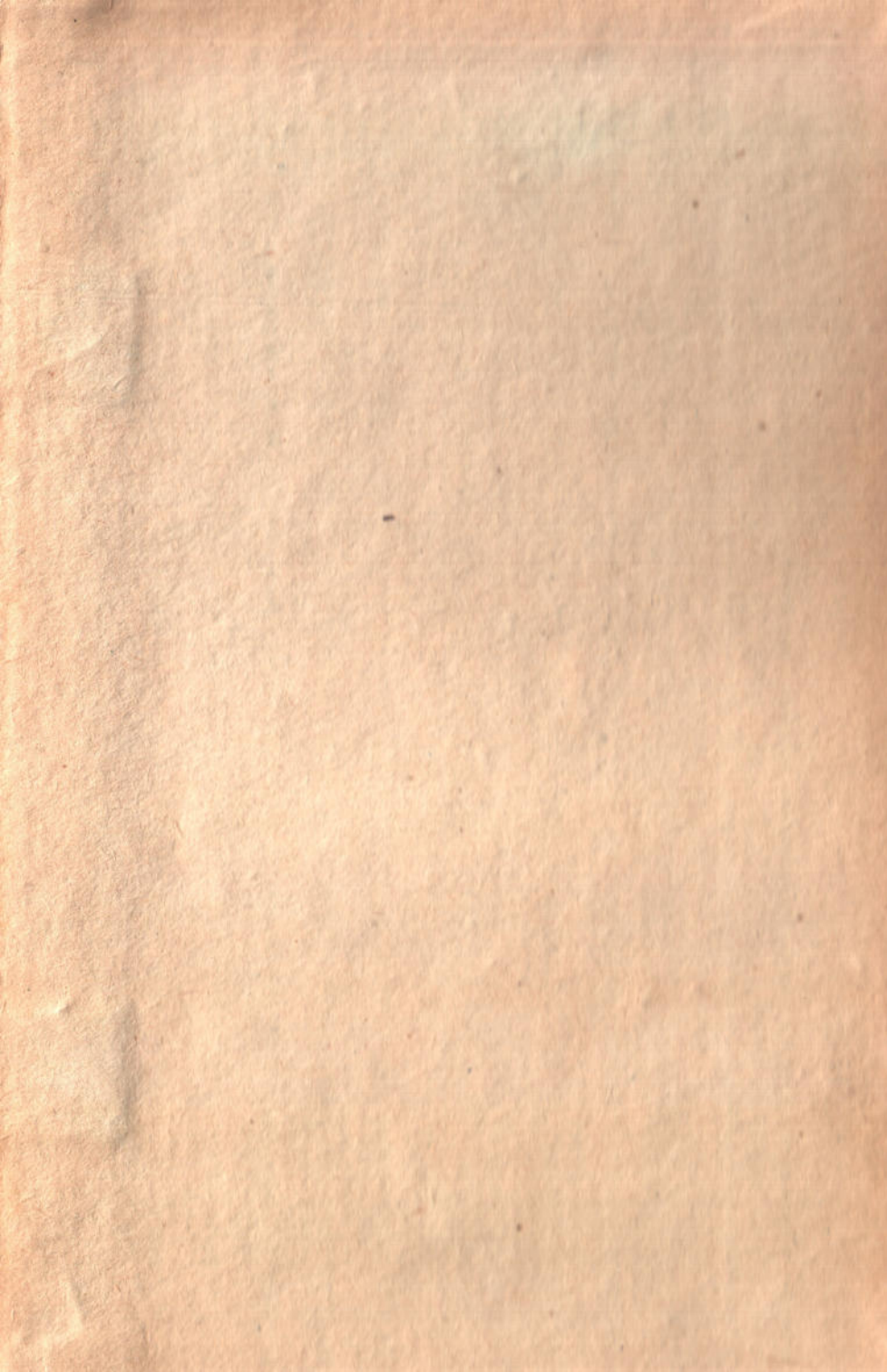
ЦЕНА 7 РУ

Согласован
с заказчиком









80