

*Handwritten signature*

А. А. УГИНЧУС

# ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

ИЗДАНИЕ ИЛ. В. В. КУЗЬМИЧЕВ  
КАФЕДРА  
ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ  
СООРУЖЕНИЙ

ЭГ-30-5-3

Пр. ТКК № 27 от 5/VI 1939 г.

Редактор *В. К. Перих*

Техредактор *А. Д. Чаров*

## ВВЕДЕНИЕ

Большое научное и практическое значение исследовательских работ по изучению построенных гидротехнических сооружений общеизвестно.

Практика строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений давно привела к необходимости, еще в процессе постройки, начинать организацию постоянных наблюдений за состоянием и работой гидротехнических сооружений, а также продолжать эти наблюдения в течение всего эксплуатационного периода, назначая объем и содержание наблюдений в соответствии с важностью и ответственностью исследуемых сооружений.

Иностранная практика указывает на то, что почти все ответственные гидротехнические сооружения и, главным образом, водохранилищные плотины являются объектами исследований и наблюдений, несмотря на те неизбежные затруднения, которые, естественно, возникают при организации подобных работ в условиях капиталистического хозяйства. При этом надо отметить, что необходимость указанных наблюдений была признана в результате анализа причин многочисленных катастроф с плотинами, ибо не раз устанавливалось, что многие аварии возможно было бы легко предотвратить, если бы велись надлежащие наблюдения за работой сооружений. Поэтому развивающееся небывалыми темпами гидротехническое строительство в СССР также давно привело к необходимости, а в большинстве случаев к обязательности, ведения надлежащих наблюдений за построенными сооружениями, что практически и выполняется в настоящее время на всех крупных и ответственных гидротехнических сооружениях.

Действительно, Днепровская плотина и шлюз, сооружения Волховстроя, Магнитогорская плотина на Урале, сооружения Беломорско-Балтийского водного пути (Б. Б. В. П.), Нивской ГЭС, сооружения Свирьстроя, ДзороГЭС, ЗАГЭС, КанакирГЭС, БаксанГЭС, Кадырьи, плотины Донбасса, плотины Туломской ГЭС и много других являлись и являются объектами исследований. Но особенно широкий размах и значение приобрели такие работы при строительстве грандиознейшего гидротехнического сооружения современной эпохи — канала Москва — Волга.

На указанном строительстве был организован специальный отдел исследования гидротехнических сооружений, который начал и провел эту весьма ответственную работу, продолжающую-

ся в системе Наркомвода и в настоящее время. Автор, будучи в течение четырех лет начальником этого отдела и научным руководителем всех выполненных исследований, приобрел значительный опыт, которым он и желает поделиться с широкими кругами гидротехников.

Предлагаемая вниманию читателей книга в основном и преследует указанную цель. Но прежде чем перейти к осуществлению поставленной перед собой задачи, мы считаем также нужным отметить, что исключительно большое значение вопросу исследования сооружений придает Наркомат Электростанций, в ведении которого находится основная масса капитальных гидротехнических объектов. Так, еще в мае 1934 г. Главное управление энергетического хозяйства (Главэнерго), желая внести в организацию исследований плановое начало и единую методологию, постановило, что все проектирующие и строящие организации должны<sup>1</sup>:

1. При разработке технических проектов предусматривать размещение в гидротехнических сооружениях контрольно-измерительной аппаратуры и приборов, необходимых для производства исследований и наблюдений за работой гидросооружений как во время постройки, так и в период их эксплуатации.

2. Главной целью исследования считать получение основных характеристик работы гидротехнических сооружений в действительных условиях, приурочивая эти исследования к моменту, дающему возможность комиссиям по приемке ГЭС использовать данные, полученные в результате исследования.

Итак, засвидетельствовав еще раз большое практическое и научное значение работ по исследованию построенных гидротехнических сооружений, перейдем к изложению тех вопросов и задач, которые приходится разрешать в практической деятельности при постановке вышеуказанных исследований.

## ГЛАВА ПЕРВАЯ

### КЛАССИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАБЛЮДЕНИЙ

#### § 1. ОСНОВНЫЕ ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ ПОСТРОЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Изучение построенных гидротехнических сооружений имеет следующие две основные задачи:

- а) наблюдение над состоянием сооружений;
- б) исследование работы отдельных элементов сооружений.

Первая задача, т. е. наблюдение над состоянием гидротехнических сооружений, имеет преимущественно практическое значение для строящих или эксплуатирующих изучаемое сооружение организаций. Действительно, основная цель, которую должны преследовать эти наблюдения, заключается в постоянном и систематическом наблюдении (надзоре) за состоянием

<sup>1</sup> Из приказа Главэнерго № 167 от 31/V 1934 г.

сооружения для возможности своевременного предотвращения аварий, своевременного назначения ремонтных и исправительных работ и улучшения правил эксплуатации, обеспечивающих более надежную работу и большую сохранность сооружения.

Вторая задача, т. е. исследование работы отдельных элементов гидротехнических сооружений, носит в значительной своей части научно-исследовательский характер и служит преимущественно для накопления исследовательского материала, необходимого для проверки и корректирования теоретических формул и коэффициентов, для вывода новых эмпирических зависимостей, для проверки теории моделирования и т. д. Поэтому если при производстве наблюдений представляется возможным ограничиваться регистрацией явлений, то при исследовательских работах приходится довольно часто прибегать к эксперименту. Эти два основных признака и определяют принципиальное различие между наблюдениями и исследованиями. При этом во многих случаях наличие неблагоприятных результатов наблюдений приводит к необходимости выполнения исследовательских работ с целью получения объяснений зарегистрированным неблагоприятным показателям в работе сооружений (т. е. наблюдения превращаются в исследования).

## § 2. КЛАССИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАБЛЮДЕНИЙ

Большой интерес представляет установление классификации основных видов наблюдений и исследований построенных гидротехнических сооружений.

Современное состояние данного вопроса дает возможность представить подобную классификацию в нижеследующем виде:

### 1. Изучение деформаций гидротехнических сооружений

1. Изучение общих деформаций (осадок и сдвигов) гидротехнических сооружений.

А. Наблюдения за осадками и сдвигами бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений:

- а) осадка сооружений и их оснований;
- б) перемещение сооружений в плане и перекосы.

Б. Наблюдения за осадками земляных плотин и дамб:

- а) осадка тела и основания земляных плотин и дамб;
- б) дополнительное уплотнение тела земляных плотин и дамб;
- в) общая деформация поперечного профиля.

2. Изучение частных деформаций гидротехнических сооружений.

А. Наблюдения и исследования частных (местных) деформаций бетонных и железобетонных гидротехнических сооружений:

а) трещины в отдельных блоках и элементах сооружений, возникающие от воздействия внешних нагрузок, от усадки бетона и в результате колебания температуры;

б) напряжения в отдельных точках и элементах бетонных и железобетонных конструкций;

- в) деформация арматуры;
- г) давления на грунт от бетона в различных точках подошвы основания;
- д) давления обратной засыпки на бетонные поверхности;
- е) температурные явления в бетоне и железобетоне;
- ж) явления усадки бетона и т. д.

Б. Наблюдения за частными (местными) деформациями земляных плотин и дамб:

- а) деформация отдельных элементов поперечного профиля плотины или дамбы (просадки и выпучивания в отдельных точках поперечного профиля);
- б) разрушение креплений откосов под действием льда и под действием ветровых и судовых волн;
- в) размыв откосов ливневыми и весенними водами.

## II. Изучение фильтрации в гидротехнических сооружениях

1. Наблюдения и исследования фильтрации под бетонными гидротехническими сооружениями:

- а) противодействие фильтрационного потока;
- б) фильтрационный расход;
- в) фильтрация в обход сооружения;
- г) работа разгружающих устройств (фильтры и дренажи);
- д) фильтрация через поры бетона.

2. Наблюдения и исследования фильтрации в земляных плотинах и дамбах.

А. Наблюдения за фильтрацией в земляных плотинах и дамбах:

- а) положение кривой депрессии;
- б) фильтрационный расход;
- в) очаги фильтрации и вынос грунта фильтрационным потоком из тела и основания плотины;
- г) фильтрация в обход сооружения;
- д) работа обратных фильтров и дренажа;
- е) фильтрация вдоль обтекаемых поверхностей бетонных сооружений, заложенных в тело земляных плотин и дамб (водоспуски, трубы).

Б. Исследования специальных вопросов фильтрации в земляных плотинах и дамбах:

- а) скорости фильтрации;
- б) направление фильтрационного потока;
- в) перемещение частиц грунта в теле плотины и в основании;
- г) вопросы капиллярного поднятия воды;
- д) вопросы водоотдачи из тела намывных плотин и дамб и вопросы установления фактического размещения грунтов в поперечном профиле сооружений, возведенных намывным способом;

е) исследование различных противофильтрационных мероприятий (установление эффективности различных типов анти-

фильтрационных покрытий и облицовок, искусственный кальматаж);

ж) исследование вопроса о влиянии подпора, создаваемого плотинами, на изменение естественного режима грунтовых вод на прилегающих к подпертым бьефам территориях в связи с возможным заболачиванием этих территорий.

3. Наблюдения и исследования фильтрации в каналах:

а) положение кривой депрессии в дамбах канала;

б) фильтрационный расход, потери воды на фильтрацию на различных участках канала;

в) приток грунтовых вод в канал;

г) влияние фильтрации из каналов на естественный уровень грунтовых вод в связи с возможным заболачиванием прилегающих к каналам территорий;

д) естественный кальматаж дна и откосов канала;

е) размывы выемок канала притекающими к каналу грунтовыми водами;

ж) исследование различных противофильтрационных мероприятий (установление эффективности различных типов антифильтрационных покрытий и облицовок, искусственный кальматаж).

### III. Изучение гидравлики сооружений

1. Наблюдения за состоянием и гидравлические исследования бетонных, каменных и деревянных водоподпорных, водосбросных и водопроводящих гидротехнических сооружений (водосливные плотины, водосбросы, донные водоспуски, перепады, бьефостроки, лотки с повышенной шероховатостью, дюкеры, трубы, сифоны, шлюзы-регуляторы и т. д.).

А. Наблюдения за устойчивостью отдельных элементов нижнего бьефа гидротехнических сооружений при воздействии на них водного потока:

а) состояние гасителей энергии (водобойные колодцы, стенки, пороги, зубья);

б) состояние рисберм и отводящих русел (около рисберм);

в) состояние креплений откосов в отводящих каналах и руслах;

г) состояние водосливных поверхностей и стенок падения;

д) состояние специальных устройств, служащих для создания повышенной шероховатости (зубья Даниля и т. д.);

е) состояние образовавшихся в нижнем бьефе размывов русел.

Б. Исследование пропускной способности гидротехнических сооружений:

а) коэффициенты расходов водосливных сооружений (при различных напорах на водосливе);

б) коэффициенты скорости;

в) коэффициенты затопления водосливных сооружений;

г) коэффициенты расходов незатопленных щитовых отверстий (при различных напорах и открытиях);

д) коэффициенты расходов затопленных щитовых отверстий (при различных напорах, открытиях и подтоплениях);

е) коэффициенты сжатия струи;

ж) исследования вакуумности водосливных профилей в связи с влиянием образования вакуума на устойчивость сооружений и на повышение коэффициента расхода.

В. Исследование работы гасителей энергии:

а) исследование общих условий затопления гидравлического прыжка и исследование образующегося гидравлического режима (донный режим, поверхностный режим) при пропуске различных расходов воды;

б) исследование характера распределения скоростей течения воды в пределах гасителей энергии и за их пределами при пропуске через сооружение различных расходов воды;

в) определение гидродинамических давлений и ударов, испытываемых гасителями энергии;

г) определение коэффициентов расходов и коэффициентов затопления водобойных стенок;

д) определение перепадов, образующихся при протекании воды через водобойные колодцы;

е) исследование условий работы гасителей энергии при растекании потока.

Г. Исследование вопросов неустановившегося движения, имеющего место при эксплуатации гидротехнических сооружений:

а) исследование вопроса о скорости и характере заполнения нижнего бьефа гидротехнических сооружений при пропуске через сооружение различных расходов;

б) определение скорости движения волны наполнения (потока) и определение скоростей течения при неустановившемся движении;

в) наблюдения за состоянием русла при неустановившемся движении в нижнем бьефе и наблюдения за состоянием креплений берегов при неустановившемся сбойном течении;

г) исследование условий растекания потока при работе различного числа отдельных отверстий и исследование условий образования сбойного течения.

2. Гидравлические исследования судоходных шлюзов.

А. Наблюдения за устойчивостью нижнего бьефа судоходных шлюзов:

а) состояние русла за нижними головами шлюзов;

б) состояние гасителей энергии.

Б. Специальные гидравлические исследования шлюзов:

а) коэффициенты расходов обходных галлерей и затворов прямого наполнения;

б) время наполнения и опорожнения камер (определение времени шлюзования);

в) исследование вопросов фильтрации воды из шлюзов через галереи, ворота и затворы (утечка воды как фактор, удлиняющий процесс шлюзования);

г) определение условий шлюзования посредством исследования натяжений в тросах, закрепляющих судно в камере (при расположении судна в различных расстояниях от нижних и верхних ворот);

д) исследование условий отстоя судов в верхнем и нижнем бьефах шлюзов (при расположении судна в различных расстояниях от верхних и нижних голов);

е) исследование условий образования волновых явлений в подводящих каналах шлюзов при наполнении камер и влияние этих явлений на условия отстоя судов;

ж) исследование гидродинамических давлений в обходных галереях.

### 3. Гидравлические исследования каналов.

А. Наблюдения за устойчивостью профиля канала:

а) размыв русла канала вследствие наличия значительных скоростей течения или в результате движения судов;

б) заиление канала;

в) оплывание откосов;

г) состояние креплений берегов и верхних частей откосов, находящихся под воздействием волны, создаваемой движущимися судами.

Б. Различные специальные гидравлические исследования каналов:

а) определение коэффициентов шероховатости;

б) исследование кривых подпора и спада;

в) исследование движения волны при неустановившемся режиме;

г) исследование условий движения воды на закруглениях;

д) определение расходов (пропускной способности) на различных участках канала;

е) исследование вопроса о критических незаиляющих скоростях.

## IV. Зимний режим гидротехнических сооружений

А. Исследование зимнего режима бетонных гидротехнических сооружений:

а) обмерзание бетонных поверхностей (сливные части, носки, гасители энергии);

б) давление льда на бетонные поверхности (давление, испытываемое оголовками плотин и т. д.); определение давлений, испытываемых бетонными поверхностями;

в) состояние ледового режима при колебаниях горизонтов в бьефах и действие льда на гидротехнические сооружения при колебаниях горизонтов (главным образом действие обрушающегося льда);

г) исследование результатов выполнения специальных мероприятий по борьбе со льдом (околка льда, борьба со льдом при помощи сжатого воздуха и т. д.).

**Б. Исследование зимнего режима каналов:**

а) состояние откосов канала и состояние облицовок и креплений, находящимся под действием давления льда; определение давлений, испытываемых облицовками и креплениями;

б) состояние откосов канала, облицовок и креплений, подверженных ударам льдин во время подвижек ледяного поля и ударам обрушающегося льда во время колебания горизонтов воды в канале;

в) определение коэффициентов шероховатости каналов в зимних условиях;

г) определение расходов и распределения скоростей в зимних условиях;

д) исследование условий образования донного льда, шуги и донных наносов;

е) исследование влияния скоростей течения воды на условия льдообразования (связь между толщиной льда, глубинами и скоростями течения);

ж) исследование условий таяния льда, остающегося в канале.

#### **V. Изучение работы затворов гидротехнических сооружений**

а) Определение фактических подъемных усилий в нормальных и ненормальных условиях эксплуатации (например, в условиях обмерзания и примерзания затвора).

б) Определение натяжений в цепях Галля.

в) Наблюдения за перекосами затворов.

г) Исследование давления льда на затворы.

д) Наблюдения за обмерзанием и промерзанием затворов. Исследование эффективности обогревающих приспособлений.

е) Исследование эффективности антикоррозийных покрасок и покрытий.

ж) Исследование вопроса о фильтрации через горизонтальные и вертикальные уплотнения. Исследование эффективности различных типов уплотнений.

з) Исследования вибрации затворов.

#### **VI. Изучение изменения режима грунтовых вод в районах, прилегающих к водохранилищам и каналам**

а) Изучение естественного режима грунтовых вод до постройки гидротехнических сооружений.

б) изучение динамики изменения режима грунтовых вод после постройки гидротехнических сооружений.

## ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ТРЕБУЮЩИЕ ДЛЯ СВОЕГО РАЗРЕШЕНИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОСТРОЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В предыдущей главе мы подробно изложили перечень тех наблюдений и исследований, которые обычно приходится исполнять при комплексном изучении построенных гидротехнических сооружений.

Здесь же мы остановимся более подробно на тех основных проблемах и вопросах гидротехники и гидравлики, которые могут быть разрешены только в результате весьма подробного и тщательного изучения работы гидротехнических сооружений в действительных условиях. При этом будем рассматривать проблемы, не только имеющие научно-теоретический интерес, но также и вопросы, имеющие исключительно практическое значение с точки зрения строительства, монтажа и эксплуатации гидротехнических сооружений.

Начиная наше изложение, в первую очередь обратимся к вопросам фильтрации воды через земляные плотины и их основания.

### § 1. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ И ИХ ОСНОВАНИЯ

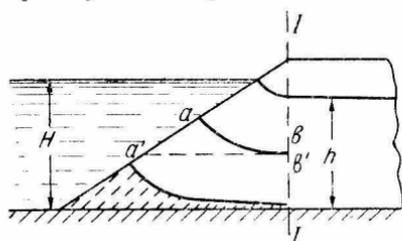
Анализируя имеющийся весьма обширный теоретический материал по вопросу о фильтрации воды через земляные плотины, можно констатировать наличие весьма разноречивых и разнообразных точек зрения по ряду положений. Так, например, в последнее время при рассмотрении явления фильтрации через однородные земляные плотины на непроницаемом основании возникла дискуссия по вопросу о роли верхового клина в фильтрационном режиме земляных плотин. В процессе этой дискуссии подвергалось критике решение акад. Н. Н. Павловского, предложенное им для расчета фильтрации через верховой клин плотины. Считая, что при современном состоянии вопроса о расчете фильтрации через земляные плотины данная проблема наиболее надежно может быть разрешена только в результате изучения работы построенных земляных плотин, мы ниже и приводим изложение существа данной дискуссии, а также сопоставление данных непосредственных наблюдений с теоретическими расчетами.

#### А. Роль верхового клина в фильтрационном режиме земляных плотин

Акад. Н. Н. Павловский, решая задачу о фильтрации воды через верховой клин плотины, заменяет криволинейные струйки (линии тока), которыми характеризуется движение фильтрационного потока через верховой клин (фиг. 1), прямолинейными (го-

ронтальными), как это, например, показано для элементарной струйки  $ab$  и  $a'b'$  на приводимом чертеже (здесь криволинейная элементарная струйка  $ab$  заменена горизонтальной элементарной стружкой  $a'b'$ )<sup>1</sup>.

В своих пояснениях к предлагаемой расчетной схеме автор указывает, что некоторое удлинение расчетных струек и увеличение в связи с этим гидравлических сопротивлений по сравнению с более короткими криволинейными стружками будет компенсироваться имеющейся разницей в гидравлических сопротивлениях, встречаемых фильтрационным потоком в условиях укатанных земляных плотин, на горизонтальных и криволинейных путях. Указанная разница в гидравлических сопротивлениях имеет место вследствие того, что земляные плотины обычно трамбуются горизонтальными слоями, что и дает меньший коэффициент фильтрации на вертикальных и наклонных путях по сравнению с коэффициентом фильтрации горизонтальных путей.



Фиг. 1

Нельзя не согласиться с этим замечанием, подтверждаемым, кроме того, практикой лабораторных исследований коэффициентов фильтрации в монолитах (утрамбованных горизонтальными слоями) при движении фильтрационной воды

через них последовательно в двух направлениях, т. е. нормально и параллельно трамбованию<sup>2</sup>. Кроме того, акад. Н. Н. Павловский отмечает, что удлинение расчетных струек отражает также уменьшение пропускной способности верхового клина, фактически происходящее вследствие образования некоторой, нерабочей, зоны (заштрихованной на фиг. 1), заключенной между нижней линией тока и непроницаемым основанием. Произведенные под руководством акад. Н. Н. Павловского лабораторные исследования в общем подтвердили правильность предложенной расчетной схемы для верхового клина.

В последнее время некоторые авторы, основываясь только на лабораторных экспериментах, отмечают, что акад. Н. Н. Павловский в своем решении преувеличил роль верхового клина и тем самым преуменьшил величину фильтрационного расхода. Одним из таких авторов является проф. Н. И. Анисимов, который в своей книге «Проектирование глухих плотин» на стр. 66—70 дает чрезвычайно резкую критику как рассматриваемого решения для верхового клина, так и всей работы акад. Н. Н. Павловского по земляным плотинам.

Основываясь только на лабораторных работах проф. De Vos, результаты которых опубликованы в т. IV Трудов международного конгресса по высоким плотинам (1933 г.) и лабора-

<sup>1</sup> См. Н. Н. Павловский, О фильтрации через земляные плотины.

<sup>2</sup> Из исследовательских работ грунтовой лаборатории строительства канала Москва—Волга.

торных работах Нельсон-Скорнякова (лаборатория ВНИИГ и М), доказавших с точки зрения этих авторов незначительность роли верхового клина в фильтрационном режиме земляных плотин, проф. Н. И. Анисимов отвергает полностью всю гидравлическую теорию, изложенную акад. Н. Н. Павловским и совершенно неосновательно, пытается противопоставить ей так называемый «гидромеханический метод» Нельсон-Скорнякова.<sup>1</sup>

Основной вывод из вышеуказанных лабораторных исследований проф. De Vos заключается в том, что потери напора в пределах верхового клина эквивалентны потерям в пределах некоего фиктивного прямоугольника шириной  $0,2 mH$ , где  $H$  — напор перед плотиной, а  $m$  — коэффициент верхового откоса. Подобным фиктивным прямоугольником перечисленные авторы и рекомендуют заменить верховой клин, как бы удлиняя на величину  $0,2 mH$  среднюю часть плотины и превращая последнюю в плотину с вертикальной напорной гравью. Если основываться только на результатах этих лабораторных исследований, то пришлось бы согласиться с выводом о переоценке акад. Н. Н. Павловским роли верхового клина примерно в два раза. Действительно, если привести решение акад. Н. Н. Павловского к форме, аналогичной решению De Vos, то ширина фиктивного прямоугольника примерно должна бы быть равной  $0,5 mH$ . Но мы считаем совершенно неправильным основывать подобные выводы только на данных лабораторных опытов и не учитывать результаты наблюдений над существующими земляными плотинами, хотя бы уже по одному тому, что многие факторы, существенно влияющие на фильтрационный режим земляных плотин, не моделируются в лабораторных условиях. Например, к таким факторам следует отнести явление калыматажа верхового откоса, а также процесс так называемого «фильтрационного уплотнения».

Невозможность моделирования указанных естественных процессов, сопутствующих фильтрации воды через земляные плотины, а также затруднительность моделирования разницы в коэффициентах фильтрации на криволинейных и горизонтальных путях снижают практическую ценность лабораторных опытов.

К этому выводу, естественно, можно прийти, если обратиться к данным непосредственных наблюдений над существующими земляными плотинами. Для подтверждения всего сказанного ниже мы приводим результаты обработки данных наблюдений над семью земляными плотинами, которые по характеру своих оснований и характеру грунтов приближаются к плотинам из однородного грунта, сооружаемым на непроницаемых основаниях.

В качестве таких плотин мы рассмотрели Боровенскую и Боз-Суйскую плотины, Любовскую и Шатовскую плотины Берез-

<sup>1</sup> Можно легко показать, что этот «гидромеханический метод» Нельсон-Скорнякова является обычным и к тому же весьма грубым гидравлическим решением, ничем общего не имеющим с гидромеханикой.

ТАБЛИЦА 1  
 ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ НАД ФИЛЬТРАЦИЕЙ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ОДНОРОДНЫХ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИНАХ НА НЕПРОНИЦАЕМОМ ОСНОВАНИИ

| Наименование плотины           | Литературный источник   | Характеристика основания | Основные данные рассматриваемого профиля |          |                                  |   | Наблюдаемые потери напора в верхом клине |                         | Примечания  |
|--------------------------------|---|--------------------------|--|----------|----------------------------------|---|--|-------------------------|---|
|                                |   |                          | $H_{пл}$<br>м                            | $H$<br>м | Коэффициент верхового откоса $m$ | Расстояние от верхнего клина до места выхода фильтрационного потока $L_0$ | $h$<br>м                                 | $\Delta h = H - h$<br>м |   |
| Боровенская                    | Н. М. Шапов, „Исследования Боровенской гидростанции“, 1930 г  | Песок                    | 7,83                                     | 6,10     | 3,0                              | 64,40   | 5,60                                     | 0,50                    |   |
| Любовская (Сталиногорск)       | Инж. А. А. Ничипорович, „Земляные плотины Сталиногорского химвкомбината“, „Гидротехническое строительство, № 7, 1935 г.   | Суглинок                 | 15,0                                     | 12,0     | 3,75 (средн.)                    | 22,40   | 9,07                                     | 2,93                    | Имеется присыпка на нижней части верхового откоса из нетрамбованного грунта |
| Шатовская (Сталиногорск)       | То же   | Суглинок                 | 14,0                                     | 11,50    | 3,0                              | 38,2  | 7,30                                     | 4,20                    | То же   |
| Часов-Ярская                   | Отчет Научно-исследовательского института гидротехники (НИГИ). Кроме того, Ничипорович и Истомина, „Проектирование и постройка укатанных земляных плотин“, стр. 332 | Суглинок                 | 8,70                                     | 5,79     | 2,5                              | 27,40   | 4,37                                     | 1,42                    |   |
| Боз-Суйская                    | „Проектирование и постройка укатанных земляных плотин“, стр. 332  | Плотный суглинок         | 17,97                                    | 15,15    | 3,0                              | 62,5  | 8,15                                     | 7,00                    | То же   |
| Плотина № 2 Вакуровского парка | Акад. Н. Н. Павловский, „О фильтрации воды через земляные плотинны“, стр. 250   | Глина                    | 6,30                                     | 3,60     | 4,0                              | 25,45   | 1,15                                     | 2,45                    |   |
| Пример из Bucleу               | Bucleу „Irrigation Pocket Book“, 383  | Непроницаемое основание  | 18,75                                    | 13,60    | 2,0                              | 30,0  | 10,32                                    | 3,28                    | Грунт внутри плотины менее проницаем, чем грунт верхового откоса            |

ТАБЛИЦА 2

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ДАННЫМИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ПО ФОРМУЛАМ АКАД. Н. Н. ПАВЛОВСКОГО И ПРОФ. De Vos

| Наименование плотины           | Напор<br><i>H</i><br>м | Данные непосредственных наблюдений              |   | Результаты подсчетов глубины по формулам |        | Отклонение в % от действительности |         |
|--------------------------------|------------------------|---|---|--|--------|------------------------------------|---------|
|                                |                        | Глубина в конце верхового клина<br><i>h</i> , м | Потеря напора верхового клина<br>$\Delta h = H - h$ , м | Павловского                              | De Vos | Павловский                         | De Vos  |
|                                |                        |   |   |  |        |                                    |         |
| Боровенская                    | 6,10                   | 5,60  | 0,50  | 5,56                                     | 5,75   | -0,5%                              | +2,5%   |
| Любовская                      | 12,0                   | 9,07  | 2,93  | 8,89                                     | 9,72   | -2,0%                              | +7,0%   |
| Шатовская                      | 11,50                  | 7,30  | 4,20  | 9,11                                     | 9,90   | +24,5%                             | +35,5%  |
| Часов-Ярская                   | 5,79                   | 4,37  | 1,42  | 4,68                                     | 4,95   | +7,0%                              | +13,0%  |
| Боз-Суйская                    | 15,15                  | 8,15  | 7,00  | 12,35                                    | 13,37  | +51,5%                             | +64,0%  |
| Плотина № 2 Вакуровского парка | 3,60                   | 1,15  | 2,45  | 3,06                                     | 3,26   | +166,0%                            | +183,5% |
| Wesley                         | 13,60                  | 10,32   | 3,28  | 9,85                                     | 10,70  | -5,0%                              | +3,5%   |

никовского химкомбината (Сталиногорск), Часов-Ярскую (Донбасс) и некоторые другие плотины.

В приводимых табл. 1 и 2 помещены основные данные, характеризующие рассматриваемые сооружения, а также данные о величинах потерь напора в пределах верхового клина, подсчитанные по формуле акад. Н. Н. Павловского ( $b = 0,5 mH$ ), а также в соответствии с предложением De Vos и др. ( $b = 0,2 mH$ ).

Как нетрудно усмотреть, формула акад. Н. Н. Павловского дает результаты более близкие к данным непосредственных наблюдений, чем формула De Vos. Лишь в одном случае (пример плотины из книги Wesley) формула De Vos дала результат, как будто, лучший по сравнению с формулой акад. Н. Н. Павловского (+3,5% и -5,0%). Но здесь этот факт легко объясняется тем, что грунт в теле плотины менее проницаем, чем грунт верхового откоса. Если учесть это обстоятельство, то формула Павловского и в данном случае даст результат, наиболее близкий к действительности.

Мы легко также находим объяснение наличию значительного расхождения между данными, получаемыми по Павловскому, и данными непосредственных наблюдений для плотин Боз-Суйской (+51,5%) и Шатовской (+24,5%). Действительно, причина расхождения здесь объясняется наличием присыпки кавальерного грунта на нижней части верхового откоса, увеличивающей потери напора в пределах верхового клина. При учете влияния этой присыпки формула акад. Н. Н. Павловского дает результаты, более приближающиеся к наблюдаемым данным при весьма значительных расхождениях этих данных с формулой De Vos, учитывающей роль верхового клина, а следовательно, и при-

сыпки в весьма незначительной степени (такие подсчеты нами исполнялись).

Таким образом мы устанавливаем, что данные непосредственных наблюдений дают значительные расхождения с данными лабораторных исследований, а также в ряде случаев и с данными теоретических расчетов по формуле акад. Н. Н. Павловского.

При этом, как показали данные непосредственных наблюдений за построенными земляными плотинами, потери напора в пределах верхового клина почти во всех случаях оказываются выше потерь напора, подсчитанных по теоретическим формулам или по лабораторным данным. Поэтому совершенно своевременной является постановка вопроса о необходимости корректирования существующих формул и методов расчета фильтрации воды через верховой клин плотины. Очевидно, целесообразнее всего такое корректирование осуществить, используя наиболее правильную с нашей точки зрения формулу акад. Н. Н. Павловского и данные наблюдений над фильтрацией в существующих земляных плотинах рассматриваемого типа. Можно предполагать, что такой корректив в общем случае будет представляться нижеследующей зависимостью:

$$h'_w = \alpha h_w,$$

где  $h_w$  — потеря напора, подсчитанная по теоретической формуле;  $h'_w$  — действительная потеря напора;  $\alpha = f(T)$  — поправочный коэффициент, являющийся в основном функцией времени  $T$ , а также зависящий от грунта, из которого сложен верховой клин плотины, и от мутности воды водохранилища, кальматирующей верховой откос.

Таким образом большое практическое значение исследовательских работ по изучению фильтрации в существующих земляных плотинах на непроницаемых основаниях совершенно очевидно. Но не менее важен также вопрос о изучении роли верхового клина в фильтрационном режиме земляных плотин, сооружаемых на проницаемом основании. Здесь эта проблема является особенно актуальной, так как до сего времени нет удовлетворительного теоретического метода расчета рассматриваемой схемы.

В этом случае, очевидно, большую пользу принесет изучение фильтрации в земляных плотинах, сооружаемых на проницаемых основаниях, характеризующихся различной толщиной, различными коэффициентами фильтрации и различными величинами соотношений между коэффициентами фильтрации тела плотины и проницаемого основания.

Следующей весьма важной задачей, подлежащей исследованию в действительных условиях, является изучение работы обратных фильтров, устраиваемых для дренирования низовых откосов земляных плотин.

## Б. Изучение работы обратных фильтров в земляных плотинах

В последнее время почти во всех без исключения земляных плотинах стали устраиваться так называемые обратные фильтры. Обратные фильтры, обычно исполняемые из последовательно располагаемых слоев песка, гравия и камня, устраиваются в пределах низового откоса и служат для понижения кривой депрессии и для предотвращения вымыва мелких фракций грунта из тела плотины.

Толщина отдельных слоев и крупность фракций песка и гравия, образующих отдельные слои обратного фильтра, обычно назначаются по данным опыта, так как теоретический расчет всех этих элементов при современной изученности рассматриваемого вопроса не является сколько-нибудь удовлетворительным. Следовательно, накопление опытных данных по работе обратных фильтров имеет большое практическое значение, и на исследования подобного рода должно быть обращено сугубое внимание. Поэтому одной из первых задач, подлежащих рассмотрению при изучении работы обратных фильтров, является установление наиболее рациональных соотношений между крупностью фракций отдельных слоев, а также установление наиболее рационального числа и толщины этих слоев.

Очевидно, что подобные выводы можно будет сделать лишь в результате всестороннего анализа значительного количества наблюдений над работой фильтров различных конструкций. Поэтому нужно стремиться к максимальному накоплению этого, крайне важного для практики, материала. При изучении работы обратных фильтров может возникнуть необходимость в установлении критерия, могущего правильно характеризовать эффективность действия обратных фильтров различной конструкции.

Мы полагаем, что таким критерием должны являться следующие показатели:

1. Максимальное снижение кривой депрессии (характеризующееся в пределе нулевой выходной ординаты кривой депрессии у начала обратного фильтра).

2. Стабильность положения кривой депрессии (характеризующейся отсутствием повышения кривой депрессии с течением времени, что будет свидетельствовать о незаиляемости обратного фильтра).

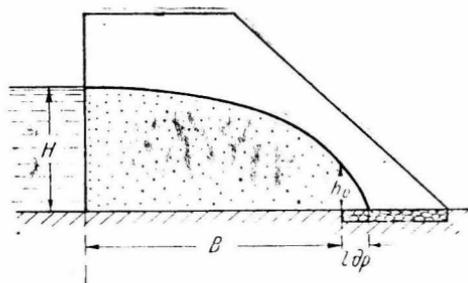
3. Отсутствие выноса из фильтра мелких фракций грунта (характеризующееся чистой фильтрационной водой, вытекающей из обратного фильтра).

Имеющийся опытный материал свидетельствует, что хорошо работающие обратные фильтры практически снижают до нуля выходную ординату кривой депрессии в месте сопряжения кривой депрессии с обратным фильтром, что на первый взгляд находится как бы в некотором противоречии с данными теоретических расчетов, например, с общеизвестным решением Козени для плотины с горизонтальным дренажом.

Покажем, что настоящий вывод, основанный на данных

практики, не только не находится в противоречии с теоретическими формулами, но, наоборот, этими же формулами весьма хорошо подтверждается. Для этого рассмотрим и проанализируем вышеуказанное решение Козени.

Козени в своей работе «Grundwasserbewegung bei freiem Spiegel, Fluss-und Kanalversickerung»<sup>1</sup> на основании произведенного им гидромеханического исследования схемы однородной земляной плотины на непроницаемом основании с горизонтальным дренажем показал, что в точке касания фильтрационного потока



Фиг. 2

с горизонтальным дренажем глубина фильтрационного потока не равна нулю, а составляет значение

$$h_0 = \sqrt{H^2 + B^2} - B,$$

а длина, на которой фильтрационный поток выклинивается в дренаж, равна (фиг. 2)

$$l_{dp} = \sqrt{\frac{H^2}{4} + \frac{B^2}{4}} - \frac{B}{2}.$$

Здесь  $H$  — напор перед плотиной, а  $B$  — ширина плотины по основанию.

Нетрудно усмотреть, что  $l_{dp} = \frac{h_0}{2}$ . Это прямо следует из приведенных формул Козени.

Исследуем вопрос об изменении значений  $l_{dp}$  и  $h_0$  в зависимости от размеров плотины, характеризующихся, например, отношением  $\frac{B}{H}$ . Разделим для этого оба приведенных выше уравнения на значение напора  $H$ . Тогда получим, что

ТАБЛИЦА 3

| $\frac{B}{H}$ | $\frac{l_{dp}}{H}$ | $\frac{h_0}{H}$ | $\frac{B}{H}$ | $\frac{l_{dp}}{H}$ | $\frac{h_0}{H}$ |
|---------------|--------------------|-----------------|---------------|--------------------|-----------------|
| 3             | 0,081              | 0,162           | 7             | 0,035              | 0,070           |
| 4             | 0,062              | 0,124           | 8             | 0,031              | 0,061           |
| 5             | 0,050              | 0,100           | 9             | 0,028              | 0,056           |
| 6             | 0,041              | 0,082           | 10            | 0,025              | 0,050           |

$$\frac{l_{dp}}{H} = \sqrt{\frac{B^2}{4H^2} + \frac{1}{4}} - \frac{B}{2H}$$

и

$$\frac{h_0}{H} = \sqrt{\frac{B^2}{H^2} + 1} - \frac{B}{H}.$$

Задаваясь различными величинами отношений  $\frac{B}{H}$  в пределах от 3 до 10, произведем соответствующие вычисления, а результаты их поместим в табл. 3.

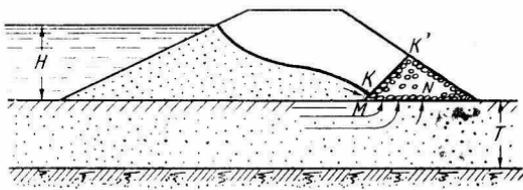
Из рассмотрения табл. 3 можно установить, что при малых отношениях  $\frac{B}{H}$  глубина фильтрационного потока  $h_0$  в месте сопряжения с началом дренажа может иметь достаточно большие значения, заметно отличающиеся от нулевых.

<sup>1</sup> Wasserkraft und Wasserwirtschaft, Heft 3, 1931.

Но если обратиться к практическим профилям плотин, где отношение  $\frac{B}{H}$  будет почти всегда более 6—7 (особенно в экранованных плотинах, где в результате приведения всего профиля плотины к одному коэффициенту фильтрации получаются весьма большие величины  $B$  и, следовательно, большие величины  $\frac{B}{H}$ ), то можно констатировать наличие весьма малых значений глубин  $h_0$ , практически приближающихся к нулевым. В соответствии с этим в практических случаях и получается, что кривая депрессии сопрягается с дренажом при практически нулевой ординате (этому способствует также и наличие проницаемого основания).

Поэтому в общем случае хорошо работающий обратный фильтр должен практически снижать до нуля выходную ординату кривой депрессии.

Следующим чрезвычайно важным вопросом в деле изучения работы обратных фильтров являются наблюдения над возможным заилением



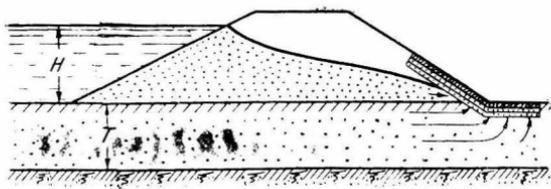
Фиг. 3

обратных фильтров с течением времени. Ввиду большого практического значения этой проблемы для целей эксплуатации мы остановимся на ней подробнее. Если рассматривать наиболее часто употребляемую в последнее время конструкцию обратного фильтра в виде призмы (фиг. 3), то можно констатировать, что вынос частиц грунта из тела и основания плотины может происходить по двум поверхностям  $MK$  и  $MN$  (фиг. 3). По поверхности  $MN$  вынос грунта может происходить под действием фильтрационных сил, имеющих направление, примерно параллельное направлению кривой депрессии, а по линии  $MN$  — под действием вертикальных фильтрационных сил восходящего фильтрационного потока (фиг. 3). Следовательно, наиболее опасными местами обратных фильтров в смысле их заиления являются части их, ограниченные поверхностями  $MK$  и  $MN$ , т. е. части, наиболее удаленные от внешней поверхности низового откоса. Поэтому в случае возможного заиления обратного фильтра в указанных местах последний может представить собой значительно большее препятствие движению фильтрационного потока в пределах низового клина, чем обычный не дренированный грунт. При этом в результате заиления обратного фильтра может произойти повышение кривой депрессии в теле плотины, значительно большее, чем в плотине с отсутствующим вовсе обратным фильтром. Поэтому организация наблюдений над возможным заилением обратных фильтров является совершенно необходимым эксплуатационным мероприятием. Как уже указывалось, показателем незаиляемости обратного фильтра служит

стабильность положения кривой депрессии около фильтра. Следовательно, устройство пьезометров в непосредственной близости к обратному фильтру является обязательным. Необходимо также обратить внимание и на следующее обстоятельство: указанные нами наиболее опасные в смысле заилиения места обратного фильтра практически не могут быть подвергнуты очистке (так как для этого пришлось бы разрывать всю фильтрационную призму).

Поэтому в ряде случаев может быть чрезвычайно целесообразным применение так называемых «наклонных фильтров» (фиг. 4), укладываемых непосредственно на низовом откосе. Эти обратные фильтры обладают рядом преимуществ по сравнению с обратными фильтрами в виде призмы:

- 1) наклонные фильтры легко доступны для наблюдения и осмотра, а также для очистки и ремонта, так как для всего этого нет надобности разрывать тело плотины;



Фиг. 4

- 2) наклонные фильтры допускают производство работ по очередям и, в частности,

допускают сооружение их даже в процессе эксплуатации плотины (например, после выявления надобности в устройстве фильтра на полную длину и т. д.);

- 3) наклонные фильтры чрезвычайно просты для производства работ.

Для более широкого внедрения в строительную практику этой весьма рациональной конструкции обратных фильтров требуется накопление опытных данных по эксплуатации их в действительных условиях, учитывая и ряд недостатков, присущих рассматриваемой конструкции (возможность промерзания, возможность сползания, худшие условия отвода фильтрационных вод и т. д.).

### В. Вопрос о фильтрации воды через плотины, имеющие воду в нижнем бьефе

Настоящая проблема является весьма актуальной для исследования ее на существующих земляных плотинах, так как для этого случая нет удовлетворительного теоретического решения.

Действительно, во-первых, мы должны отметить несостоятельность тех решений (главным образом гидромеханических), которые приводят к бесконечно большим скоростям фильтрации в точке низового откоса, расположенной на отметке горизонта воды нижнего бьефа (например графо-аналитическое решение Форхгеймера и др.). Совершенно бесспорно, что этот вывод противоречит всякому физическому смыслу и, конечно, не подтверж-

дается практикой, так как в соответствии с этим заключением всякая земляная плотина, будучи подтоплена со стороны нижнего бьефа, должна быть неизбежно разрушена под действием бесконечно больших фильтрационных скоростей. Между тем, можно привести многочисленные примеры построенных земляных плотин, имеющих воду в нижнем бьефе, которые прекрасно работают, вопреки подобным теоретическим предположениям.

Поэтому хотя настоящее положение о невозможности появления бесконечно больших скоростей в рассматриваемой части земляной плотины и является почти очевидным, но тем не менее измерение фактических фильтрационных скоростей в пределах подтопленной части низового клина представляет большой научный интерес. Поэтому там, где это представляется возможным, следует организовывать соответствующие экспериментальные исследования по изучению фактических фильтрационных скоростей в пределах низового клина плотины, подтопленной со стороны нижнего бьефа.

Обратимся теперь к общеизвестному гидравлическому решению акад. Н. Н. Павловского, которое дает следующие формулы для фильтрационного расхода, проходящего через низовой клин плотины:

$$q_1 = \frac{ka_0}{m_1}, \quad q_2 = \frac{ka_0}{m_1} \ln \frac{a_0 + t}{a_0}$$

и

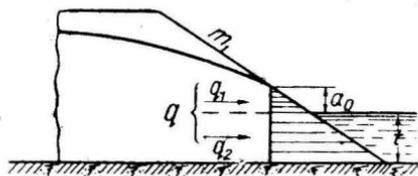
$$q = q_1 + q_2 = \frac{ka_0}{m_1} \left( 1 + \ln \frac{a_0 + t}{a_0} \right),$$

где  $q_1$  — фильтрационный расход, проходящий через верхнюю неподтопленную зону (фиг. 5);  $q_2$  — фильтрационный расход, проходящий через нижнюю подтопленную зону;  $q$  — суммарный фильтрационный расход, проходящий через низовой клин плотины;  $t$  — глубина воды в нижнем бьефе;  $a_0$  — величина выходной ординаты кривой депрессии, считая от горизонта воды нижнего бьефа,  $m_1$  — коэффициент низового откоса.

Анализируя приведенные формулы, мы должны констатировать, что и это решение не является достаточно удовлетворительным.

К этому заключению мы неизбежно придем, если попробуем применить эти формулы к плотине с достаточно крутым низовым откосом, одновременно помня, что акад. Н. Н. Павловский формулу для расхода  $q_2$  получил в предположении, что фильтрация в подтопленной зоне происходит под напором, равным  $a_0$  (фиг. 5).

Действительно, в том случае, когда значение коэффициента низового откоса  $m$  будет стремиться к нулю, т. е. когда  $m \rightarrow 0$ , то и значение величины  $a_0$  также будет стремиться к нулю т. е.  $a_0 \rightarrow 0$ .



Фиг. 5

Следовательно, и фильтрационный расход подтопленной зоны  $q_2$  также будет стремиться к нулю в силу того, что действующий напор  $a_0 \rightarrow 0$ . Неправильность такого вывода совершенно очевидна, так как уменьшение гидравлических сопротивлений в пределах низового клина (вследствие уменьшения коэффициента низового откоса  $m$ ) никак не может привести к уменьшению фильтрационного расхода, проходящего через низовой клин плотины. Поэтому и данное гидравлическое решение для рассматриваемой схемы не может считаться удовлетворительным.

Резюмируя все сказанное по данному вопросу, мы должны констатировать, что проблема о фильтрации воды через земляную плотину, подпертую со стороны нижнего бьефа, требует дальнейшего экспериментального изучения. Большую пользу в этом деле могут оказать данные наблюдений над фильтрацией в существующих земляных плотинах. Поэтому мы и сочли нужным уделить здесь данному вопросу достаточное внимание.

### **Г. Вопрос о фильтрации в обход плотины и вопрос о насыщении тела плотины грунтовыми водами, поступающими с берегов**

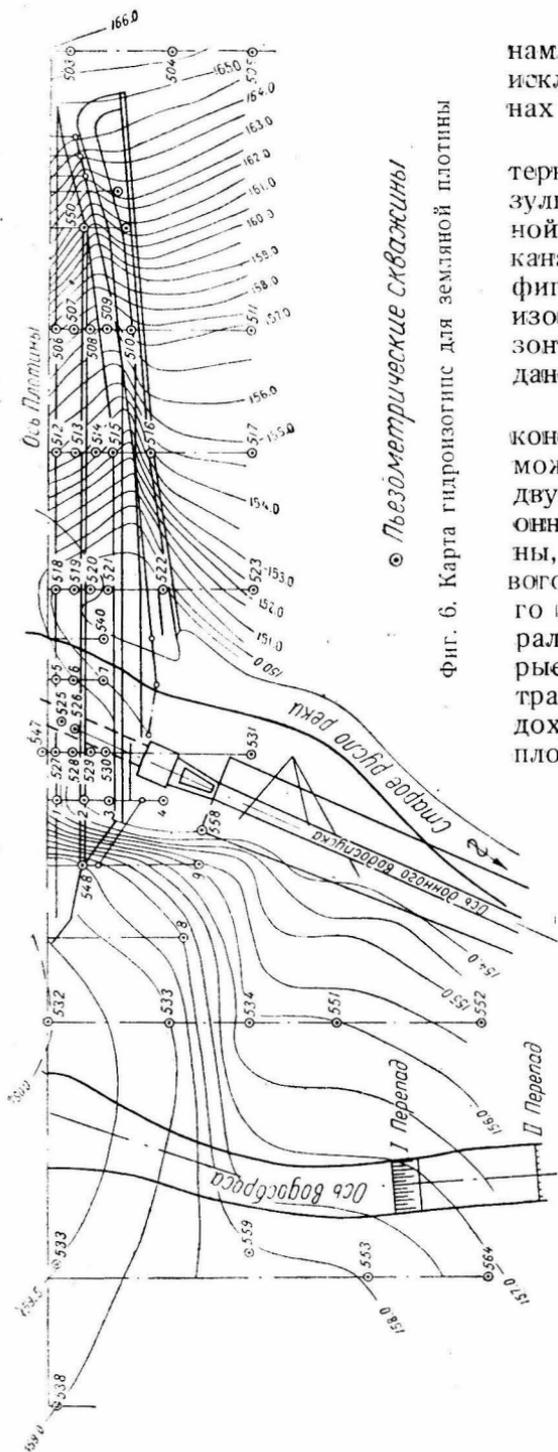
В тех случаях, когда берега водохранилищ сложены из водопроницаемых пород, то тогда необходимо учитывать возможность возникновения фильтрации в обход плотины. С точки зрения устойчивости сооружения интенсивная фильтрация в обход плотины не должна быть допускаема. Если подобное фильтрационное явление даже и не сможет привести к разрушению самого сооружения, то фильтрация в обход плотины обычно становится причиной оползневых процессов в районе узла сооружений, что также не должно быть допускаемо. Поэтому все те места, где возможно появление фильтрации в обход плотины, должны быть поставлены под особо тщательное наблюдение и изучение. Такими опасными пунктами обычно являются следующие места:

1. Сопряжение насыпного тела плотины с естественными берегами.

2. Седловины на берегах водохранилищ, переходящие в логи с уклонами в сторону нижнего бьефа.

3. Каналы водосбросов, выемки которых располагаются в незначительных расстояниях от берегов долины реки.

Большой интерес представляет также следующее явление, характерное для экранированных земляных плотин, сопрягающихся с берегами, сложенными из водопроницаемых пород: плотины, особенно песчаные, защищенные со стороны верхнего бьефа экранами, являются хорошими приемниками для фильтрационных вод, движущихся с прилегающих возвышенностей в направлении к водохранилищу, а также приемниками для фильтрационных вод, движущихся из верхнего бьефа в нижний через водопроницаемые берега водохранилища. Действительно, в этих случаях экранированная песчаная плотина является как бы дренажом, воспринимающим фильтрационные воды.



© Пьезометрические скважины

Фиг. 6. Карта гидроизогипс для земляной плотины

Указанные явления были нами наблюдаемы на всех без исключения земляных плотинах канала Москва—Волга

В качестве весьма характерного примера приведем результаты наблюдений по одной из земляных плотин канала Москва—Волга. На фиг. 6 показана карта гидроизогипс (линий равных горизонтов грунтовых вод) для данной плотины.

Из рассмотрения общей конфигурации гидроизогипс можно усатновить наличие двух продольных фильтрационных потоков в теле плотины, идущих с правого и левого берега в сторону донного водоспуска, в общем — параллельно оси плотины, которые создаются за счет фильтрации воды из берегов водохранилища в направлении плотины. Правобережный поток, встречая на своем пути бетонный водоспуск, представляющий собой как бы подпорное для фильтрующихся вод сооружение, довольно круто поворачивает в сторону нижнего бьефа и, соединяясь с фильтрационными водами, идущими со стороны верхнего бьефа, имеет более высокое стояние уровня около водоспуска по сравнению с уровнем воды по левую его сторону. Левобережный же поток, имея для себя значительно больший путь, успевает свернуть в сторону нижнего бьефа, не доходя до данного водоспуска.

В тех случаях (на-

пример в условиях рассматриваемой нами плотины), когда питание плотины фальтрационными водами происходит за счет притока грунтовой воды из берегов водохранилища, насыщенных водой до постройки плотины, то подобное явление будет представлять собой совершенно закономерный и вполне допустимый процесс, никоим образом не отражающийся на работе плотины.

Действительно, поставленные специальные исследования (для вышеуказанной плотины) по определению фальтрационных скоростей указали настолько малые их значения, что движения окрашивающего вещества не удавалось уловить вовсе, а суммарный фальтрационный расход оказался также настолько малым, что все это по совокупности только свидетельствовало о малом практическом значении данного фальтрационного явления. Но в тех случаях, когда насыщение плотины через берега будет происходить за счет фальтрационных вод, поступающих в берега из верхнего бьефа водохранилища, то это явление нельзя уже будет считать процессом, вполне допускаемым и закономерным. Здесь, по существу, будет иметь место фальтрация в обход экрана, т. е. что в теле плотины будет образовываться фальтрационный поток вне зависимости от выполнения, часто довольно сложных, противофальтрационных мероприятий со стороны верхнего бьефа. Подобное явление будет свидетельствовать, что произведено недостаточно хорошее сопряжение экрана плотины с берегами. Поэтому необходимо во всех таких случаях устанавливать природу продольного фальтрационного потока, образующегося в теле плотины, так как только после этого можно будет наметить правильные эксплуатационные мероприятия по локализации или ликвидации нежелательных фальтрационных процессов.

#### **Д. О наблюдениях за фальтрацией вдоль бетонных водопусков, закладываемых в теле земляных плотин**

Из гидротехнической практики известно, что значительное число катастроф, происшедших с земляными плотинами, было вызвано фальтрацией воды вдоль бетонных поверхностей донных водопусков. Действительно, место сопряжения донного водопуска с земляным телом плотины является наиболее уязвимым в смысле фальтрации, так как при плохом сопряжении бетона с землей возможно движение воды вдоль бетонной поверхности и, следовательно, размыв и вынос грунта из плотины, с последующим прорывом всей насыпи. Проектировщики и строители уделяют в силу этого самое серьезное внимание вопросам сопряжения бетонных водопусков с земляной насыпью. Но не меньшее внимание данному вопросу должно быть уделено также и со стороны эксплуатационного и исследовательского персонала.

Во всяком случае место сопряжения бетонного водопуска

с земляной насыпью должно быть оконтурено пьезометрическими устройствами, чтобы в любой момент можно было установить характер фильтрации в этой весьма ответственной части земляной плотины. Ограничиваясь исполненным нами перечнем вопросов и проблем, наиболее актуальных с точки зрения проектной и эксплуатационной практики, требующих для своего разрешения изучения построенных земляных плотин, мы, конечно, не считаем, что этот перечень является исчерпывающим. Но во всяком случае этот перечень составляет основную сумму тех вопросов, которые представляют наибольший интерес и требуют своего скорейшего и, по возможности, наиболее полного разрешения.

Перейдем теперь к аналогичному изложению основных вопросов, относящихся к фильтрации воды под бетонными гидротехническими сооружениями и также требующих для своего разрешения постановки наблюдений над существующими бетонными сооружениями.

## **§ 2. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДЫ ПОД БЕТОННЫМИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИМИ СООРУЖЕНИЯМИ**

Движение грунтовых (фильтрационных) вод под бетонными гидротехническими сооружениями, возводимыми на проницаемых грунтах, вызывает появление двух следующих, сопутствующих фильтрации, явлений:

1. Возникновение фильтрационного давления на подошву основания гидротехнического сооружения.

2. Появление сосредоточенной фильтрации в месте выхода фильтрационного потока в нижний бьеф, т. е. там, где кончается бетонное основание (водобой) и начинается водопроницаемая часть сооружения (рисберма).

Фильтрационное давление стремится взвесить сооружение, а поэтому является силой, уменьшающей его устойчивость. Сосредоточенная фильтрация, характеризующаяся повышенными фильтрационными скоростями и градиентами, может вызвать явление суффозии грунта или явление выпора грунта в зоне сопряжения водобоя с рисбермой и в конечном итоге привести к разрушению сооружения. Совершенно очевидно, что эти два важных, сопутствующих фильтрации, фактора имеют большое практическое значение как с точки зрения рационального проектирования гидротехнических сооружений, так и их эксплуатации.

Некоторые вопросы, возникающие при рассмотрении этих двух весьма важных проблем, имеют точные теоретические решения. Но в основном и здесь приходится прибегать к данным опыта и в первую очередь к данным наблюдений над фильтрацией в построенных гидротехнических сооружениях. Это можно будет видеть хотя бы из следующего рассмотрения, касающегося вопроса об определении фильтрационного давления.

## А. Определение фильтрационного давления (противодавления) на подошву основания бетонного гидротехнического сооружения

Для ряда наиболее простых схем подземного контура бетонных гидротехнических сооружений имеются точные теоретические решения, служащие для определения фильтрационных давлений (гидромеханическое решение акад. Н. Н. Павловского и др.). Но все эти решения соответствуют однородному грунту основания, характеризующемуся одинаковым по всей его длине и толще коэффициентам фильтрации. Совершенно очевидно, что в действительности не существует таких условий, а потому является совершенно необходимым введение в теоретические формулы соответствующих коррективов, учитывающих неоднородность грунта, а также ряд других не учитываемых факторов (как, например, проницаемость бетона и т. д.).

Акад. Н. Н. Павловский в свое время подверг весьма основательной критике способ Бляя, служащий для определения фильтрационных давлений, и дал свои точные, но вместе с тем крайне сложные формулы. Правда способ Бляя не точен, но он крайне прост и во многих случаях не дает значительных отклонений от результатов точных теоретических решений, например, для схем с преобладанием горизонтальных путей фильтрации (под способом Бляя мы здесь подразумеваем его предположение о линейном падении напора по длине подземного контура). Поэтому если принять основное положение Бляя о линейном падении напора и учесть большую эффективность в погашении напора вертикальных путей фильтрации по сравнению с горизонтальными, то можно получить очень хорошее и вполне достаточное для практических целей решение. На такой совершенно правильный путь встало Бюро мелиораций США, произведя обследование и изучение свыше 200 существующих бетонных плотин, в результате чего руководитель этих работ инж. Лен оценил эффективность вертикальных путей по сравнению с горизонтальными отношением 3:1.

Таким образом Лен на основании изучения построенных сооружений уточнил решение Бляя, устранив имеющиеся в нем значительные погрешности, и дал весьма практичное решение. Нам представляется, что эту работу следует неуклонно продолжать, стремясь получить как можно больше опытных данных, имея в виду, что в некоторых случаях способ Лена все же дает значительные отклонения от точных теоретических решений. Тогда сопоставляя данные опыта с имеющимся теоретическими решениями, можно будет уточнить еще ряд вопросов и в результате дать предельно простое решение для определения фильтрационных давлений по подошве основания.

Этот путь с нашей точки зрения является путем наиболее правильным, так как пользование сложными теоретическими формулами едва ли всегда может быть оправдано, если, кроме того, вспомнить, что эти формулы выведены для однородного, не существующего в природе, грунта.

Из всего сказанного хорошо видно, какое широкое поле деятельности открывается перед исследователями, ведущими наблюдения за построенными сооружениями.

Для уменьшения величин фильтрационных давлений, передающихся на подошвы бетонных оснований, обычно выполняется ряд конструктивных мероприятий, к которым относятся непроницаемые понуры, шпунты, зубья и разгружающие фильтрационные отверстия. Поэтому при проведении исследовательских работ необходимо измерительную аппаратуру (пьезометры) располагать таким образом, чтобы можно было оценить в каждом отдельном случае ту роль, которую играет понур, шпунт или зуб в погашении фильтрационного напора.

Большой интерес и большое практическое значение могут иметь результаты изучения работы разгружающих фильтрационных устройств. Действительно, в настоящее время нет удовлетворительных методов расчета разгружающих устройств, а потому рациональное их проектирование может быть осуществлено только в результате использования соответствующего опыта, который, кстати говоря, в настоящее время является весьма скромным. Отсутствие же удовлетворительных методов расчета и достаточного количества опытных данных о работе разгружающих устройств в действительных условиях в настоящее время приводит к тому, что обычно в проектах разгружающий эффект не принимается во внимание и идет только в запас прочности. Поэтому недостаточная осведомленность о работе этого весьма важного элемента в конструкции гидротехнических сооружений не позволяет проектировать более дешевые бетонные флюеты. Отсюда очевидна неотложность в организации подробного изучения работы разгружающих устройств различных конструкций (здесь имеется в виду, главным образом, наблюдение за засорением и заилением разгружающих скважин и оценка возможных эксплуатационных и заиления скважин и по их очистке и ремонту). В заключение необходимо остановиться на бетонных сооружениях, возводимых на скальных основаниях. В этом случае вопрос о величине противодействия, испытываемого сооружением, может быть решен только на основании данных наблюдений над существующими сооружениями. Действительно, коэффициент  $\alpha$ , входящий в общеизвестную формулу для величины противодействия

$$P = \alpha \frac{H_1 + H_2}{2} l$$

[где  $P$  — полная величина противодействия на 1 пог. м,  $H_1$  — глубина воды (напор) в верхнем бьефе,  $H_2$  — глубина воды в нижнем бьефе,  $l$  — ширина основания сооружения], может быть определен только опытом. На самом деле, нет другого способа, который позволил бы определить коэффициент  $\alpha$ , учитывающий трещиноватость скалы, наличие цементации основания и ряд других факторов.

## Б. Вопросы суффозии и выпора грунта в месте выхода фильтрационного потока в нижний бьеф

Если вопрос о противодавлении, создаваемом фильтрационным потоком, имеет в ряде случаев весьма хорошее теоретическое освещение, то проблема суффозии и выпора грунта в месте выхода фильтрационного потока в нижний бьеф почти не имеет удовлетворительного теоретического решения. Особенно слабо, теоретически и экспериментально, освещен вопрос о суффозии грунта. Правда, существуют данные Джастина и формула Зихардта, дающие возможность устанавливать величины опасных вымывающих скоростей. Имеются также результаты исследований инж. Н. М. Бочкова, характеризующие возможное начало суффозии грунта отношением диаметра вымывающихся частиц к диаметру частиц невымываемого скелета грунта

$$\frac{d_0}{d} \leq \frac{1}{20}.$$

Но если даже все эти данные и формулы совершенно справедливы, то все же крайне затруднительно воспользоваться ими для практических целей, так как для возможности применения этих формул и данных необходимо знать величины фактических фильтрационных скоростей, определение которых и таит в себе значительные трудности. Во-первых, эти трудности возникают из наличия такого противоречивого положения: суффозия грунта может возникать там, где мы имеем грунт, разнородный по крупности, т. е. грунт, характеризующийся в общем случае различными коэффициентами фильтрации (так как трудно мыслить совершенно однородное распределение мелких и крупных частиц по всей толще). Теоретические же решения, дающие возможность определять величины фильтрационных скоростей, имеются только для грунтов однородных с постоянным коэффициентом фильтрации. Поэтому использование сетки движения (строящейся на основании вышеуказанных теоретических решений) для определения величин фильтрационных скоростей уже может вызвать некоторые возражения. Во-вторых, при построении сетки движения для участков, прилегающих к нижнему бьефу, вносится большая доля условности, при выборе величины клеток сетки движения, т. е. с большей условностью определяются и сами величины фильтрационных скоростей. По существу мы можем получить здесь почти любую скорость, подобрав соответствующие размеры клеток в пределах выходного участка. В третьих, при определении фильтрационных скоростей участвует также весьма неопределенная по своему фактическому числовому значению величина коэффициента фильтрации (например, для одного и того же грунта на разных приборах можно получить различные численные значения коэффициента фильтрации).

Все это, по совокупности, свидетельствует о крайне слабой разработанности вопроса о суффозии грунта в применении к ре-

альным условиям проектирования гидротехнических сооружений. Поэтому наблюдения за действием фильтрационного потока на участках возможной суффозии на построенных сооружениях должны иметь большое практическое и научное значение. В соответствии с этим все сооружения, подлежащие исследованию, должны быть снабжены соответствующей измерительной аппаратурой (пьезометрами), позволяющей определять гидравлические градиенты в наиболее опасных по суффозии местах. Кроме того, необходимо предусмотреть также возможность измерения и фактических фильтрационных скоростей (например, химическим способом и т. д.).

Несколько лучше в теоретическом отношении освещен вопрос о выпоре грунта. Имеется общеизвестная формула Терцаги для так называемого «критического градиента», т. е. для градиента, при котором начинается выпор грунта.

$$I_{кр} = (1 - n)(\gamma - 1),$$

где  $n$  — объем пор;  $\gamma$  — удельный вес материала зерен.

Но так как все сказанное выше относительно затруднений, возникающих при определении расчетных гидравлических градиентов, остается в силе и для рассматриваемого случая, то и здесь требуются весьма длительные и всесторонние наблюдения как над лабораторными моделями, так и над выстроенными и работающими гидротехническими сооружениями.

В заключении здесь уместно указать, что решение Терцаги обладает большим преимуществом перед всеми другими решениями, так как в нем не участвует довольно неопределенная по своему численному выражению величина коэффициента фильтрации.

## **В. Вопрос о фильтрации в обход сооружений**

Вопрос о фильтрации в обход бетонных сооружений имеет не меньше значение, чем фильтрация в обход земляных плотин. Здесь фильтрация может иметь место в следующих наиболее уязвимых частях бетонных сооружений:

- 1) фильтрация в обход бетонных устоев;
- 2) фильтрация в местах сопряжения бетонных частей сооружения с земляной насыпью (преимущественно в бетонных плотинах, где обычно пойменная часть реки перекрывается земляными дамбами).

Эти места и должны быть взяты под надлежащее наблюдение.

## **Г. Фильтрация через бетон**

Как показывает опыт эксплуатации бетонных сооружений, бетонные массивы, находящиеся под напором, очень часто дают интенсивную фильтрацию. Если бетон, кроме того, исполнен из обычного портланд-цемента, то в результате фильтрации воды через бетон будет происходить выщелачивание свободной из-

вести [гидрат окиси кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ], что в конечном итоге может привести к понижению прочности сооружения. Наиболее действенной мерой по ликвидации самой фильтрации и ее последствий является цементация фильтрующих бетонных массивов. В результате выполнения цементации удается обычно не только восстановить прежнее качество бетона, но даже значительно его улучшить. Поэтому наблюдения за фильтрацией через бетон должны быть организованы еще в периоде опробывания гидротехнического сооружения, чтобы иметь возможность, где это потребуется, произвести цементацию средствами наличного строительного штата. Крайне интересно при этом установить общие законы фильтрации воды через бетон.

По нашим наблюдениям (на одном из шлюзов канала Москва—Волга) фильтрация через бетон в общем подчиняется закону Дарси и здесь, как будто, даже можно говорить о «коэффициенте фильтрации бетона».

### § 3. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ОБЩИХ И ЧАСТНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ, ТРЕБУЮЩИЕ СВОЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ В ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

#### А. Осадки гидротехнических сооружений

Чрезвычайно важная проблема об осадках гидротехнических сооружений, возводимых на так называемых «мягких грунтах», имеет довольно хорошее теоретическое освещение. Так, например, проф. Н. М. Герсевановым предложены следующие формулы для расчета осадок сооружений, возводимых на связных грунтах<sup>1</sup>:

1. Формула для конечной осадки сооружения  $s_0$ :

$$s_0 = \frac{ah(p_1 - p_0)}{1 + \varepsilon_0 + ap_0},$$

где  $h$  — толщина сжимаемого слоя глинистого или суглинистого основания;  $p_1$  — удельная нагрузка, передающаяся от сооружения на основание;  $p_0$  — удельная нагрузка на основание до постройки сооружения (например, нагрузка вышерасположенных слоев основания, снимаемых при сооружении котлованов);  $\varepsilon_1$  — коэффициент порозности грунта, соответствующий удельной нагрузке  $p_1$ ;  $\varepsilon_0$  — коэффициент порозности грунта основания, соответствующий удельной нагрузке  $p_0$ ;  $a$  — коэффициент уплотнения грунта, равный

$$a = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{p_1 - p_0}.$$

Коэффициент уплотнения  $a$  должен определяться лабораторным путем по компрессионной кривой  $\varepsilon = f(p)$ .

<sup>1</sup> При выводе этих формул предположено, что сооружение имеет неограниченные размеры в плане и имеет, кроме того, дренирующий слой по подошве основания.

2. Формула для осадки сооружения  $s$  через  $T$  лет постройки:

$$s = \frac{ah(p_1 + p_0)}{1 + \varepsilon_0 + ap_0} \left( 1 - \frac{\gamma}{\pi^2} \frac{1}{c\zeta T} \right),$$

где помимо приведенных выше обозначений  $\gamma$  — вес  $1 \text{ см}^3$  воды в кг;  $\zeta$  — коэффициент, зависящий от упругих и фильтрационных свойств грунта:

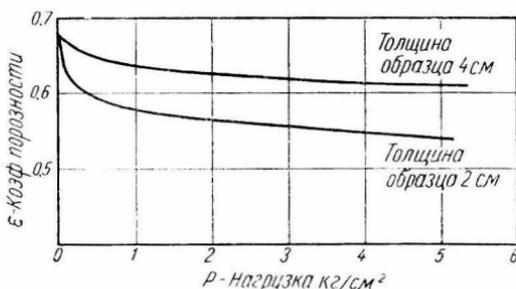
$$\zeta = \frac{75 \cdot 10^6 k (1 + \varepsilon_0 + ap_0)}{\gamma \gamma_1 h^2},$$

где  $k$  — коэффициент фильтрации;  $\gamma_1$  — вес  $1 \text{ см}^3$  грунта в кг.

Все измерения в приводимых двух формулах проф. Н. М. Герсеванова должны браться в сантиметрах, килограммах и секундах, а время  $T$  — в годах.

Обращаясь к анализу формул проф. Н. М. Герсеванова, мы должны отметить наличие в них большого количества констант, требующих лабораторного определения. При этом такая величина, как коэффициент фильтрации  $k$ , является чрезвычайно неточной. Но помимо коэффициента

фильтрации  $k$  в формулы проф. Н. М. Герсеванова входят значения  $\varepsilon_0$  и  $\varepsilon_1$ , получающиеся из компрессионных кривых. По поводу этих



Фиг. 7

коэффициентов мы и выскажем ряд замечаний, основанных на нашем опыте использования компрессионных кривых для подсчета осадок. Нами еще в 1934—1935 гг. были исполнены следующие опыты<sup>1</sup>: в прибор, служащий для определения коэффициента порозности в зависимости от давления, закладывались образцы одного и того же грунта, но разной толщины. В результате ряда опытов с различными грунтами было установлено, что на вид компрессионной кривой сильно влияет толщина образца, закладываемого в прибор. В качестве весьма характерного примера на фиг. 7 нами приводятся две компрессионные кривые для разнозернистой, очень жирной, супеси при толщине образца в 2,0 и 4,0 см. Нетрудно убедиться, что коэффициент уплотнения грунта  $a = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{p_1 - p_0}$ , входящий в формулу проф. Н. М. Герсеванова, будет иметь различные значения в зависимости от толщины испытанного образца.

Действительно, если мы обратимся к фиг. 7 и зададимся величинами  $p_1 = 5 \text{ кг/см}^2$  и  $p_0 = 1,0 \text{ кг/см}^2$ , то соответственно получим для образца толщиной 2,0 см

$$\varepsilon_0 = 0,580 \text{ и } \varepsilon_1 = 0,540$$

<sup>1</sup> Опыты исполнялись под моим руководством в грунтовой лаборатории строительства канала Москва—Волга инж. В. Н. Ждан.

идля образца толщиной 4,0 см

$$\varepsilon_0 = 0,637 \quad \text{и} \quad \varepsilon_1 = 0,610.$$

Тогда коэффициент уплотнения  $a_2$ , соответствующий образцу толщиной 2,0 см, будет равен

$$a_2 = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{p_1 - p_0} = \frac{0,580 - 0,540}{5,0 - 1,0} = \frac{0,040}{4,0} = 0,010,$$

а соответствующий образцу толщиной 4,0 см

$$a_4 = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{p_1 - p_2} = \frac{0,637 - 0,610}{5,0 - 1,0} = \frac{0,027}{4,0} = 0,00675,$$

г. е. получается разница около 50%. Примерно такая же разница получится и при определении величины конечной осадки. На самом деле для образца толщиной 2,0 см имеем при  $a_2 = 0,01$ ,  $p_0 = 1,0$  кг/см<sup>2</sup> и  $\varepsilon_0 = 0,580$

$$s_2 = \frac{ah(p_1 - p_0)}{1 + \varepsilon_0 + ap_0} = \frac{0,01 \cdot 4,0h}{1 + 0,580 + 0,01 \cdot 1} = \frac{0,04h}{1,59} = 0,0252h,$$

а для образца толщиной 4,0 см при  $a_4 = 0,00675$ ,  $p_0 = 1,0$  кг/см<sup>2</sup> и  $\varepsilon_0 = 0,637$

$$s_4 = \frac{ah(p_1 - p_0)}{1 + \varepsilon_0 + ap_0} = \frac{0,00675 \cdot 4,0h}{1 + 0,637 + 0,00675 \cdot 1} = \frac{0,027h}{1,644} = 0,0164h.$$

Следовательно, разница в величине осадки, подсчитанной для образца толщиной в 2,0 и 4,0 см, будет составлять около 50%<sup>1</sup>. Отсюда видно, насколько неопределенен будет результат теоретического расчета осадки сооружения, если пользоваться данными компрессионных кривых без надлежащего их корректирования.

Мы не думаем, что можно добиться удовлетворительных результатов путем улучшения или уточнения методики лабораторных испытаний, ибо помимо толщины испытуемого образца на характер компрессионной кривой влияет еще и темп нагрузки. На фиг. 8 приведены две компрессионные кривые для разнотемпературной сулеси, где верхняя кривая соответствует нагрузке данной сразу, а нижняя кривая соответствует постепенной нагрузке. Короче говоря, образец, будучи сразу нагружен 5,3 кг/см<sup>2</sup>, дал порозность  $\varepsilon = 0,655$ , а такой же образец, будучи нагружаем постепенно, для той же нагрузки в 5,3 кг/см<sup>2</sup> показал порозность  $\varepsilon = 0,595$ . Покажем снова непосредственными расчетами, какую разницу в осадках можно получить, если пользоваться компрессионными кривыми, полученными при различных темпах загрузки образца в приборе.

Для этого вычислим сначала коэффициенты уплотнения  $a_m$  и  $a_n$ , где  $a_m$  — коэффициент уплотнения, соответствующий мгновенной нагрузке, а  $a_n$  — коэффициент уплотнения, соответствующий постепенной нагрузке.

Тогда, например, для  $p_0 = 1$  и  $p_1 = 5$  для случая мгновенной нагрузки имеем

$$\varepsilon_0 = 0,755 \quad \text{и} \quad \varepsilon_1 = 0,655$$

(фиг. 8), что определяет

$$a_m = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_1}{p_1 - p_0} = \frac{0,755 - 0,655}{5,0 - 1,0} = \frac{0,100}{4,0} = 0,025.$$

<sup>1</sup> Вообще же чем толще будет образец, тем величина осадки, подсчитанная по формуле, будет меньше.

Для случая же постепенной нагрузки образца при  $p_0 = 1,0$  и  $p_1 = 5,0$  получаем

$$\epsilon_0 = 0,665 \text{ и } \epsilon_1 = 0,595$$

или

$$a_n = \frac{\epsilon_0 - \epsilon_1}{p_1 - p_0} = \frac{0,665 - 0,595}{5,0 - 1,0} = \frac{0,070}{4} = 0,0175,$$

что дает разницу в коэффициентах уплотнения около 40%.

Переходя к определению осадок, получаем

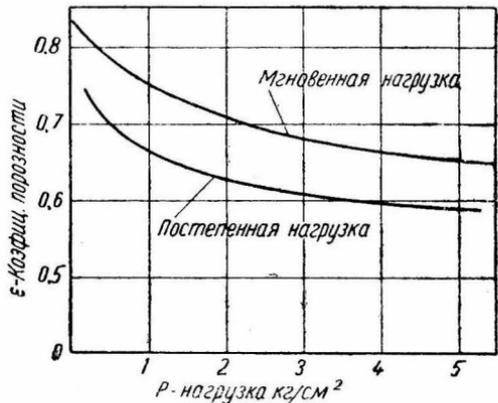
$$s_m = \frac{ah(p_1 - p_0)}{1 + \epsilon_0 + ap_0} = \frac{0,025 \cdot 4,0h}{1 + 0,755 + 0,025 \cdot 1} = \frac{0,10h}{1,78} = 0,0562h$$

и

$$s_n = \frac{ah(p_1 - p_0)}{1 + \epsilon_1 + ap_0} = \frac{0,0175 \cdot 4,0h}{1 + 0,665 + 0,175 \cdot 1,0} = \frac{0,070h}{1,683} = 0,0416h,$$

что дает расхождение около 35%.

Можно предполагать, что на характер лабораторной компрессионной кривой будет влиять также и диаметр образца. Таким образом мы должны констатировать, что пользование теоретическими формулами, в которые входят данные, получаемые из компрессионных кривых, должно быть серьезно прокорректировано. Мы полагаем, что здесь следует идти по пути максимального использования данных о фактических осадках сооруже-



Фиг. 8

жений, внося в теоретические формулы поправочные коэффициенты. Но при этом нужно ввести определенный стандартный прибор для определения порозности и разработать стандарт размеров испытуемого образца и единый метод его загрузки.

Давая же общую практическую оценку теоретическим формулам, служащим для определения осадок сооружений, необходимо указать, что эти формулы даже в прокорректированном виде будут служить лишь для предварительного определения общего характера и общей картины ожидаемых осадок. На практике же обязательно должны вестись наблюдения за фактическими осадками сооружений, так как только на основании этих данных может быть точно определен фактический объем бетонной кладки или фактический объем земляной насыпи, только на основании этих данных может быть точно установлено время затухания осадок, что позволит, например, назначить время начала монтажных работ и т. д.

Наконец, нельзя еще не отметить значительные трудности, которые возникают при попытках теоретического расчета оса-

док в строительный период, в силу непрерывности возрастания нагрузок. Очевидно, в силу этих причин нет теоретического рассмотрения для данного случая.

На фиг. 9 приведен график хода осадок и нагрузок для одной из секций одной бетонной плотины канала Москва — Волга (плотина сооружена на суглинках нижней морены).

Как видно из приводимого графика, бетонная кладка рассматриваемой секции плотины была произведена в течение четырех месяцев, причем в этот же период имела место наибольшая интенсивность осадок (почти половина всех осадок произошла именно в этот период).

Таким образом один из наиболее интересных моментов в ходе осадок не имеет теоретического освещения. Этот пробел



и должен быть заполнен результатами наблюдений над сооружениями, находящимися в процессе строительства. При этом нужно помнить, что организация наблюдений над сооружением, по которому ведутся бетонные работы, является довольно трудной задачей, которая успешно может быть выполнена лишь в результате тщательно продуманной организации этих наблюдений.

В заключение отметим еще необходимость выполнения весьма тщательных наблюдений за «разбуханием» грунта при отрывке глубоких котлованов. Указанное «разбухание» грунта здесь происходит вследствие разгрузки нижележащих слоев и получение данных о таком «разбухании» крайне необходимо для последующей оценки ожидаемых осадок основания.

### Б. Коэффициент постели

При расчете некоторых гидротехнических сооружений (камеры и головы шлюзов, неразрезные флотбеты и т. д.) и их элементов, как балок на упругом основании, обычно пользуются общеизвестной гипотезой Циммермана-Винклера, выражаемой формулой

$$p = Ky,$$

где  $p$  — нагрузка, передаваемая сооружением на грунт, в  $кг/см^2$ ;  $y$  — осадка грунта в  $см$ ;  $K$  — так называемый „коэффициент постели“, выражаемый в  $кг/см^3$ .

Коэффициент постели, характеризующий упругие свойства грунта, является величиной экспериментальной, которая может быть определена только в результате наблюдения над фактическим давлением на грунт, передающимся от сооружения, работающего как балка на упругом основании.

Ввиду крайней ограниченности таких наблюдений коэффициент постели является величиной чрезвычайно неопределенной, в силу чего он обычно принимается с большим запасом. Наличие же большого запаса в коэффициенте постели часто приводит к излишним размерам бетонных частей сооружения. Поэтому уточнение вопроса о величине коэффициента постели является одной из важных задач, которые стоят перед исследователями, занимающимися изучением построенных сооружений. При этом

только нужно помнить, что коэффициент постели представляет собой довольно сложную величину, зависящую от многих факторов. Надо полагать, что коэффициент постели может меняться по длине сооружения в силу неоднородности грунта, а также в силу неодинаковых величин просадок по площади сооружения. Кроме того, коэффициент постели будет зависеть от размеров сооружения и, возможно, будет меняться с течением времени и т. д.



Фиг. 10

Все это и должно являться предметом самых подробных исследований.

Как уже выше отмечалось, для определения величины коэффициента постели требуется определение фактического давления на грунт (или, что то же, определение реакции грунта). Для этой цели еще в процессе строительства должны закладываться в основание специальные приборы (динамометры), позволяющие в дальнейшем регистрировать давление. Зная фактическое распределение давлений по основанию сооружения, можно вычислить величину коэффициента постели. В качестве примера подобного исследования можно привести выполненные работы по определению давлений на грунт основания на одном из шлюзов канала Москва — Волга. Там в ряде секций шлюзовой камеры были установлены динамометры, которые зарегистрировали показанное на фиг. 10 распределение давлений на грунт. Произведенный же теоретический расчет показал, что данному распределению давлений наиболее близко отвечает коэффициент постели  $k = 2 \text{ кг/см}^3$  (теоретическое распределение давлений,

соответствующих  $k = 2 \text{ кг/см}^2$ , показано на фиг. 10 сплошной линией, давления, фактически наблюдаемые, показаны пунктиром).

## В. О дополнительном уплотнении земляных плотин

Вопрос о так называемом «дополнительном уплотнении» земляных плотин имеет большое практическое значение как с точки зрения получения возможности наиболее правильного назначения строительных запасов в высоте насыпи, а также с точки зрения оценки качества произведенных работ. Существо же данного явления заключается в том, что насыпное тело плотины самоуплотняется с течением времени под действием собственного веса, в силу чего отметки гребня плотины несколько понижаются против проектных. Совершенно очевидно, что чем лучше будет укатана и утрамбована насыпь, тем меньше будут размеры «дополнительного уплотнения». При изучении данного естественного процесса не следует забывать, что понижение отдельных точек профиля земляной плотины может происходить от двух причин<sup>1</sup>: от осадки основания плотины и от ее «дополнительного уплотнения». Поэтому оба эти явления должны изучаться и рассматриваться отдельно, ибо только в этом случае можно будет иметь правильное суждение о «дополнительном уплотнении». В качестве примера подобного исследования в табл. 4 приводятся результаты наблюдений за «дополнитель-

ТАБЛИЦА 4

**ПРИМЕР ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО УПЛОТНЕНИЯ ПЕСЧАНОГО ТЕЛА ЗЕМЛЯНОЙ ПЛОТИНЫ ЗА Ю-МЕСЯЧНЫЙ СРОК ЕЕ РАБОТЫ**  
(начало наблюдений относится к моменту завершения земляных работ по устройству насыпи тела плотины)

| № точек | Осадки основания в м | Полные осадки тело плотины в м | Дополнительное уплотнение тела плотины в м | Высота насыпки тела плотины в м | % дополнительного уплотнения от высоты насыпи |
|---------|----------------------|--------------------------------|--|---------------------------------|---|
| 1       | 56                   | 92                             | 36   | 10,00                           | 0,36  |
| 2       | 59                   | 94                             | 35   | 14,00                           | 0,25  |
| 3       | 63                   | 96                             | 33   | 17,00                           | 0,19  |
| 4       | 108                  | 135                            | 23   | 17,00                           | 0,13  |
| 5       | 103                  | 135                            | 32   | 17,00                           | 0,19  |
| 6       | 87                   | 122                            | 35   | 17,00                           | 0,20  |
| 7       | 90                   | 99                             | 9  | 17,00                           | 0,05  |
| 8       | 77                   | 83                             | 6  | 15,20                           | 0,04  |
| 9       | 66                   | 71                             | 5  | 10,80                           | 0,04  |
| 10      | 52                   | 56                             | 4  | 7,40                            | 0,05  |

ным уплотнением» одной из песчаных земляных плотин канала Москва—Волга. Как видно из рассмотрения приведенной таблицы, в ней помещены данные об осадках различных точек основания плотины и соответствующие данные о полных осад-

<sup>1</sup> Совершенно очевидно, что понижение отметок профиля земляной плотины, сооружаемой на скально-гравийном основании, будет происходить только за счет «дополнительного уплотнения».

ках тела плотины в тех же точках (за один и тот же 10-месячный период наблюдений, считая от конца земляных работ). Разность этих двух показаний и дает значения «дополнительного уплотнения», выраженные в миллиметрах или в процентах от высоты насыпи.

При этом следует указать, что точки 1—6 включительно соответствуют менее качественной насыпи, так как они расположены на дополнительной присыпке донного водоспуска. Точки же 7—10 соответствуют основному профилю плотины с качественной насыпью. Полученные данные свидетельствуют о крайне незначительном проценте «дополнительного уплотнения» тела рассматриваемой плотины, которое произошло почти за годичный период ее работы. Действительно, средняя величина «дополнительного уплотнения» в основном профиле плотины не превышает 0,05% и увеличивается лишь до 0,25% в присыпке. Эти данные свидетельствуют об исключительно высоком качестве произведенных работ по уплотнению насыпи исследованной нами плотины.

## Г. Обрушение и оползание откосов земляных плотин и выемок

Как во время производства строительных работ, так и в процессе эксплуатации различного рода земляных гидротехнических сооружений довольно часто происходят деформации земляных масс. Эти деформации обычно выражаются в обрушении и оползании откосов земляных плотин и дамб и в обрушении и оползании откосов выемок каналов и строительных котлованов. Перечисленные деформации происходят под действием собственного веса земляных масс, под действием постоянных и временных внешних нагрузок, а также иногда и в результате быстрого снижения горизонтов воды в пределах смоченных откосов. Хотя вопрос о расчете устойчивости откосов имеет довольно хорошее теоретическое освещение (Филлениус, Крей, Терцаги и др.), но тем не менее ряд положений в этих расчетах требует проверки в действительных условиях. Сюда в первую очередь относится предположение, положенное в основу всех теоретических расчетов, о том, что обрушение откосов происходит по цилиндрическим поверхностям. Это положение, основанное на анализе результатов наблюдений над имевшими место обрушениями откосов, требует дальнейшего изучения путем собирания, систематизации и обработки наибольшего числа данных. Поэтому все случаи оползания и обрушения откосов должны фиксироваться, описываться и весьма подробно изучаться. При этом во всех случаях должна точно измеряться та поверхность, по которой произошло обрушение или оползание. Ввиду же того, что во все теоретические формулы входит угол внутреннего трения грунта и его объемный вес, а также коэффициент сцепления, то все эти константы должны быть обязательно определены и немедленно же после происшедшей деформации. Произведенные поверочные расчеты

с учетом фактической поверхности обрушения и фактических констант обрушившегося грунта могут дать исключительно ценный материал для суждения о правильности различных теоретических предположений.

#### Д. Температурные явления в бетоне в процессе схватывания

Как известно, при схватывании бетона происходит выделение тепла, причем количество выделяемого тепла зависит от многих факторов и в первую очередь от химического состава цемента, от условий приготовления бетона, от размеров отдельных блоков, от атмосферных условий и т. д. В результате наличия разности температур внутри бетона и снаружи, при охлаждении его происходит так называемая «усадка бетона», в результате чего возникают внутренние напряжения, часто вызывающие появление трещин.

Некоторые авторы (например, проф. Ю. А. Нилендер) на основании произведенных исследований массивных бетонных сооружений<sup>1</sup> указывают, что внутренние температурные напряжения в массивных бетонных сооружениях во много раз превосходят напряжения от внешних сил и нередко значительно превышают временное сопротивление бетона растяжению. Произведенные на одном из шлюзов канала Москва—Волга исследования температурных явлений в бетоне и напряжений в общем подтверждают правильность вышеприведенного заключения.

Действительно, показания телотензометров (т. е. приборов, регистрирующих фактические напряжения в бетоне и арматуре) в свободно лежащей и не нагруженной внешней нагрузкой плите, свидетельствовали о наличии следующих напряжений:

ТАБЛИЦА 5

| Материал, где измерялись напряжения | Место расположения приборов | Наибольшие напряжения<br>к кг/см <sup>2</sup> |        |
|-------------------------------------|-----------------------------|---|--------|
|                                     |                             | Растяжение                                    | Сжатие |
| Арматура                            | В верхней арматуре          | 208   | 133    |
|                                     | „ нижней арматуре           | 75  | 160    |
| Бетон                               | „ верхней части плиты       | 11  | 14     |
|                                     | „ нижней части плиты        | 18  | 3      |

Таким образом железобетонная плита, не будучи нагруженной внешними нагрузками, в процессе схватывания бетона<sup>2</sup> имела в бетоне растягивающие напряжения до 18 кг/см<sup>2</sup>. Но одновременно с этим интересно также отметить, что бетон при укладке имел температуру около 18° С, причем через 22 дня от начала укладки температура в бетоне поднялась до 31° С в ниж-

<sup>1</sup> Проф. Ю. А. Нилендер, Исследования деформаций и температурного режима в теле плотины Днепростроя, 1933 г.

<sup>2</sup> Наблюдения были начаты через 10 дней после начала бетонной кладки. Бетонная кладка производилась в мае-июне.

ней части плиты и до  $27^{\circ}\text{C}$  в верхней части плиты, т. е. сравнительно не намного. Мы полагаем поэтому, что разница температур воздуха и бетона не являлась здесь единственной причиной появления напряжений, так как эта разница не была значительной. Очевидно, здесь действовали также и другие факторы, как, например, неравномерность осадки грунта под плитой в первое время после кладки бетона. Поэтому вопрос о температурных напряжениях, возникающих в процессе схватывания бетона, требует еще дальнейшего изучения, особенно в свете полученных данных о сравнительно невысоких температурах, появляющихся в бетоне. Очевидно, такое изучение должно производиться как в лабораторных условиях, так и на строящихся сооружениях. При этом желательно наблюдения производить там, где заведомо будут отсутствовать другие факторы, за исключением температурных, вызывающие начальные напряжения в процессе схватывания бетона.

### **Е. Трещины в бетоне**

Появление трещин в бетонных сооружениях является результатом действия следующих двух основных факторов:

1) температурных явлений, возникающих в бетоне в процессе схватывания (усадочные трещины);

2) неравномерных осадок сооружений (осадочные трещины). Усадочные трещины являются обычно трещинами волосными, не распространяющимися на большую глубину, а потому и не представляют значительной опасности для сооружения, так как эти трещины легко устраняются при помощи цементации. Более опасными являются трещины, которые происходят в результате неравномерной осадки сооружения. Такие трещины могут достигать значительных размеров как по толщине, так и по распространению в толще бетона. Иногда сооружение одной трещиной разделяется как бы на два самостоятельных блока. Поэтому изучение природы трещин и наблюдение за их поведением является весьма важным делом при строительстве и эксплуатации гидротехнических сооружений.

Большое практическое значение имеет правильное установление природы происхождения трещин, так как от этого в значительной мере зависят мероприятия по их ликвидации. Не меньшее значение имеют также и наблюдения за жизнью трещины, так как момент ее заделки наступает лишь после того, как будет установлено, что трещина стабилизировалась.

### **§ 4. ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГИДРАВЛИКИ, ТРЕБУЮЩИЕ ИЗУЧЕНИЯ РАБОТЫ ПОСТРОЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Многие вопросы гидравлики сооружений поддаются весьма точному теоретическому расчету. Многие проблемы, не имеющие точного теоретического решения, могут быть разрешены в результате исследования лабораторных моделей, так как многие гидравлические явления весьма точно моделируются (сюда в первую очередь могут быть отнесены почти все вопросы,

связанные с определением коэффициентов расходов, вопросы плоской задачи гидравлического прыжка, вопросы гашения энергии на неразмываемых моделях при установившемся движении, расчеты по определению кривых свободной поверхности и т. д.). Но есть ряд проблем, не имеющих удовлетворительного теоретического решения и одновременно не поддающихся точному моделированию в лабораторных условиях (как например, вопросы вибрации затворов, возникающей в результате действия потока, условия образования вакуума, кавитация, проблема аэрации потока, размыв русла и др.). Естественно, что явления этого рода должны изучаться, главным образом, на работающих сооружениях. Лишь накопление большого количества опытного материала приблизит перечисленные выше гидравлические проблемы к удовлетворительному практическому разрешению.

Размыв русла в нижнем бьефе, также не имеющих удовлетворительного теоретического решения и не моделирующийся точно в лабораторных условиях является, пожалуй, самой важной проблемой, с которой приходится сталкиваться эксплуатационному персоналу. Есть много примеров, когда гидротехнические сооружения выходили из строя и требовали капитального переустройства в результате размывов русла в нижнем бьефе и возникающих в связи с этим разрушений рисберм и бетонных частей флутбета.

Наконец, проблема неустановившегося движения в нижнем бьефе, которое возникает в начале попусков сбросных расходов и является весьма опасным для сооружения, вопросы образования корабельных и ветровых волн, некоторые специальные вопросы шлюзования и т. д. также не решены ни теоретически, ни экспериментально. Поэтому все они должны быть предметом весьма тщательных наблюдений и исследований на работающих сооружениях.

Перечислив основные гидравлические проблемы, требующие для своего разрешения изучения работы построенных гидротехнических сооружений, мы в дальнейшем изложении остановимся лишь на главнейших проблемах, имеющих наибольшее практическое значение для эксплуатации гидротехнических сооружений, т. е. рассмотрим:

а) вопросы гашения энергии и вопросы размывы русла в нижнем бьефе (с включением вопроса о маневрировании затворами);

б) вопросы тарирования пропускной способности гидротехнических сооружений (проверка коэффициентов расходов в различных практических случаях).

#### **А. Гашение энергии и размыв русла в нижнем бьефе**

Как уже выше отмечалось, вопрос о гашении энергии в нижнем бьефе имеет довольно хорошее теоретическое освещение и, кроме того, позволяет исследовать явления в лабораторных условиях в тех случаях, когда применяются сложные схемы гашения энергии, не имеющие теоретических способов

расчета. Но все эти теоретические расчеты и точные лабораторные исследования соответствуют установившемуся движению и жесткому, неразмываемому, руслу за пределами гасителя энергии. Между тем, место сопряжения гасителя энергии с естественным руслом водотока является наиболее слабым местом нижнего бьефа, и здесь обычно и происходят разрушения в результате размывающего действия потока. Как уже указывалось, явление размыва не имеет точных законов моделирования, поскольку здесь затруднительно моделировать размываемый грунт (например, мелкий песок) и время. Поэтому если подобные исследования и выполняются, то результаты их обычно служат только для общей качественной характеристики явления, не давая в то же время точных количественных данных. Следовательно, если даже гаситель энергии и был испытан в лаборатории, то это ни коим образом не освобождает эксплуатационный персонал от тщательных наблюдений за устойчивостью русла в нижнем бьефе и особенно в местах сопряжения естественного русла с гасителем энергии. Подобного рода наблюдения, непрерывно и тщательно выполняемые, будут давать полную картину, характеризующую состояние русла. Результаты этих наблюдений, кроме того, дадут возможность эксплуатационному персоналу вырабатывать и принимать соответствующие мероприятия эксплуатационного или строительного характера для своевременного прекращения начавшегося размыва. Сопоставление же этих данных с данными лабораторных испытаний позволит иметь суждение о принципах и предположениях, которые могут быть положены в основу закона подобия размываемых русел. При этом обязательно следует вести наблюдения за величинами скоростей и за их распределением по живому сечению потока как в пределах гасителей энергии, так и в пределах зоны размыва. Совершенно очевидна большая практическая и научная ценность такого рода наблюдений.

Исследование же работы самих гасителей энергии, ранее испытанных в лаборатории, также дает крайне полезный материал для доказательства возможности применения гидравлического закона подобия в разных сложных случаях.

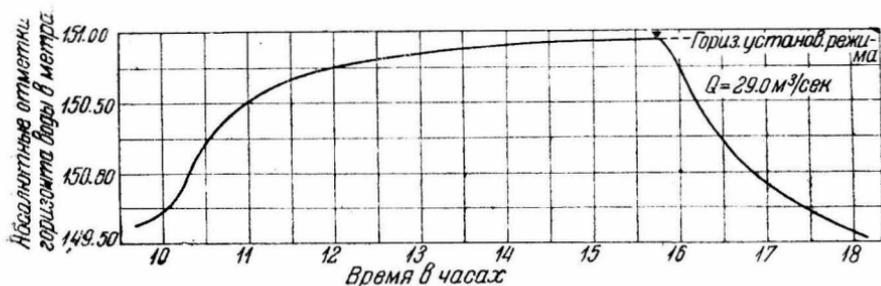
Ранее уже отмечалось, что имеющиеся теоретические решения и имеющиеся методы лабораторных исследований относятся исключительно к установившемуся режиму в нижнем бьефе. Следует отметить, что расчеты, относящиеся только к установившемуся режиму, не дают полного решения всей проблемы. Отсутствие таких законченных решений объясняется полной неосвещенностью вопроса о неустановившемся режиме в нижнем бьефе гидротехнических сооружений. Отсутствие в литературе даже самых приближенных данных, характеризующих указанный процесс<sup>1</sup>, приводит к тому, что некоторые авторы

<sup>1</sup> За исключением нашей работы „Гидравлика нижнего бьефа гидротехнических сооружений“, где на стр. 110—118 приведены результаты экспериментальных исследований быстроты и характера заполнения нижнего бьефа для некоторых сооружений канала Москва—Волга.

имеют совершенно неверное представление об указанном неустановившемся режиме. Так, например, инж. А. Ф. Бурков в своей статье «К расчету сопряжения бьефов плотин, имеющих большой сливной фронт» (журнал «Гидротехническое строительство» № 8 за 1935 г.) пишет:

«Очевидно установившемуся режиму нижнего бьефа будет предшествовать «мгновенный» неустановившийся режим, который возникает в момент открытия щитовых отверстий и продолжается до наполнения нижнего бьефа. Неустановившийся период — самый тяжелый период для сопряжения струй в нижнем бьефе. Хотя этот период продолжается лишь несколько секунд (а может быть минут), тем не менее, он очень опасен с точки зрения возможных размывов в нижнем бьефе».

Как будет показано ниже, длительность неустановившегося режима в нижнем бьефе для естественных русел измеряется не



Фиг. 11

секундами и минутами, а часами. Правда, при открытии затворов проходит волна, но она быстро сглаживается и никакого дальнейшего влияния на заполнение нижнего бьефа не оказывает.

Во всем этом легко убедиться, если обратиться к рассмотрению кривой заполнения нижнего бьефа (естественного русла реки) одного из водохранилищ канала Москва—Волга (фиг. 11).

Кроме того, нельзя оставить без внимания то обстоятельство, что вследствие длительности процесса заполнения нижнего бьефа в случае естественных русел имеют место довольно длительные периоды с большими скоростями течения воды, во много раз превышающими скорости нормального режима. Нетрудно сделать вывод, что указанное явление может привести к размыву участков рек, прилегающих к сооружениям, а также и мест сопряжения крепленной части нижнего бьефа с естественным руслом. Следовательно, на отмеченное обстоятельство должно быть обращено самое серьезное внимание при эксплуатации, а также при проектировании крепления в нижнем бьефе. Для иллюстрации всего сказанного приведем данные по естественному руслу нижнего бьефа вышеуказанного водохранилища, соответствующие пропуску расхода  $Q = 29,0 \text{ м}^3/\text{сек}$

Ввиду того что в данном эксперименте открытие затвора длилось не более 3—4 мин. то расход  $Q = 29,0 \text{ м}^3/\text{сек}$  достигал рассматриваемого створа, где был установлен лимниграф, примерно через 10 мин. с момента начала подъема затвора. Таким образом через 10 мин, т. е. в 10 ч. 50 м., рассматриваемое сечение реки уже работало полным расходом при горизонте 149,65 м (фиг. 11).

Нами были определены живые сечения реки, соответствующие различным горизонтам в начальный период неустановившегося режима, и были вычислены средние скорости, соответствующие этому наиболее тяжелому периоду. Рассматривая табл. 6, где приведены указанные данные, можно установить,

ТАБЛИЦА 6  
СРЕДНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ В РЕКЕ В НАЧАЛЬНЫЙ ПЕРИОД НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ПРИ ПРОПУСКЕ РАСХОДА  
 $Q = 29,0 \text{ м}^3/\text{сек}$

| Отметка горизонта воды в реке в м | Площадь живого сечения в м <sup>2</sup> | Средняя скорость течения в м/сек | Отношение средней скорости течения к средней скорости нормального режима | Время между стоянием отдельных горизонтов в минутах |
|-----------------------------------|---|----------------------------------|--|---|
| 149,65                            | 32,0                                    | 0,91                             | 3,95   | 10  |
| 149,70                            | 35,0                                    | 0,83                             | 3,60   | 10  |
| 149,80                            | 43,0                                    | 0,67                             | 2,90   | 10  |
| 149,92                            | 52,0                                    | 0,56                             | 2,44   | 5   |
| 150,93<br>(установившийся режим)  | 126,6                                   | 0,23                             | 1,00   | 330   |

что в течение по крайней мере 25 мин. в русле реки имели место скорости, превосходящие в 3—4 раза среднюю скорость нормального режима для данного расхода, а в течение первых 10—15 мин. средние скорости по своей величине являлись недопустимыми для песчаного ложа реки. Кроме того, надо еще иметь в виду, что помимо высоких абсолютных значений средних скоростей в начальный период неустановившегося режима может иметь место еще крайне неблагоприятное распределение скоростей по живому сечению, что может еще усилить размывающее действие потока. Таким образом приходится считать с тем, что неустановившийся режим в нижнем бьефе гидротехнических сооружений не является мгновенным процессом, а наоборот, является достаточно длительным, со всеми вытекающими из этого состояния возможными неблагоприятными последствиями для русла в приграничных к креплению пределах. Автору пришлось наблюдать, как во время испытания одного из водоспусков вода, будучи пущена в недостаточно заполненный отводящий канал, буквально в течение нескольких минут размывала и вынесла каменное крепление на границе между каменным креплением и креплением бетонными плитами. При дальнейшей же нормальной эксплуатации водоспуска, когда

отводящий канал его предварительно заполнялся попусками воды через водосброс, никаких размывов не наблюдалось. Поэтому большое значение приобретает вопрос о составлении рациональной схемы маневрирования затворами, учитывающей этот отмеченный выше фактор.

Вообще следует заметить, что практика проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений давно привела к необходимости составления гидравлически обоснованной эксплуатационной схемы маневрирования затворами для создания оптимальных условий сопряжения уровней бьефов.

Лишь только рационально составленная и фактически выполняемая схема эксплуатации может дать полную гарантию в том, что запроектированные устройства для гашения энергии будут максимально обеспечивать нижний бьеф от размыва.

В последнее время ряд авторов посвятил данному вопросу несколько специальных работ (акад. Н. Н. Павловский<sup>1</sup>, инж. А. Ф. Бурков<sup>2</sup>, доц. А. Н. Шварц<sup>3</sup>, А. А. Угинчус<sup>4</sup>).

Но все эти теоретические расчеты дают возможность получать решения только для установившегося режима, т. е. во всех этих расчетах будет отсутствовать элемент времени.

Действительно, период времени, потребный для маневрирования затворами с целью пропуска заданного расхода, вышеприведенными расчетами установлен быть не может. В литературе имеются более или менее удовлетворительные решения по вопросу о неустановившемся режиме водных потоков, но все существующие решения относятся преимущественно к неустановившемуся режиму бьефов гидростанций.

Вопрос же о неустановившемся режиме нижнего бьефа, возникающем при маневрировании затворами гидротехнических сооружений, насколько нам известно, в литературе не освещен. Между тем, разрешение в той или иной мере этой задачи является совершенно необходимым, ибо без знания элемента времени не может быть составлена правильная схема маневрирования затворами сооружений.

При выборе метода исследования здесь правильнее всего остановиться на постановке эксперимента на построенных гидротехнических сооружениях, так как лабораторные исследования при нынешнем их уровне здесь заранее обречены на неудачу ввиду практической невозможности точно смоделировать явление. Точные теоретические решения здесь также едва ли возможны ввиду многочисленности факторов, влияющих на режим

<sup>1</sup> Акад. Н. Н. Павловский, О принципах маневрирования затворами плотин для доведения размывов до минимума (Известия Научно-исследовательского института гидротехники — НИИГ, вып. XVI за 1935 г.).

<sup>2</sup> Инж. А. Ф. Бурков, К расчету сопряжения бьефов плотин, имеющих большой сливной фронт (Известия НИИГ, вып. XVI за 1935 г.).

<sup>3</sup> Доц. А. Н. Шварц, О новых зависимостях в области расчетов сопряжения бьефов и некоторых их приложениях (Известия НИИГ, вып. II за 1934 г.).

<sup>4</sup> А. А. Угинчус, Гидравлика нижнего бьефа гидротехнических сооружений, стр. 87—119, ГОНТИ, 1938 г.

где  $t_2$  — глубина воды в нижнем бьефе;  $h_2$  — глубина после прыжка, соответствующая расходу и напору работающего пролета.

Настоящий вывод свидетельствует о том, что растекание потока не дает улучшенных условий для создания спокойного течения воды в нижнем бьефе (кроме того, наши теоретические и экспериментальные исследования показали, что при свободном растекании практически нет потерь энергии). Правда, при растекании потока не образуется ясно выраженного отогнанного прыжка, но вместо прыжка появляется указанное выше сбойное течение, которое не менее опасно, чем отогнанный прыжок. Действительно, в результате образования сбойного течения происходит размыв и подмыв откосов каналов и берегов естественных русел, часто не рассчитанных на восприятие подобных гидравлических явлений.

Поэтому образование сбойного течения никоим образом не должно быть допускаемо в течение длительного периода. Совершенно очевидно, что для наилучшего освещения данного вопроса необходима постановка исследований в действительных условиях. Автору пришлось наблюдать сбойное течение при работе одной нитки трубопровода (из двух) на одном из водоспусков системы канала Москва — Волга. В результате возникновения сбойного течения в водобойном колодце образовались настолько сильные поперечные колебания потока, что вода выплескивалась из колодца на большую высоту. При увеличении глубины воды в нижнем бьефе сбойное течение прекратилось и водобойный колодец стал работать нормально.

## **Б. Тарировка водопропускных отверстий и проверка коэффициентов расходов**

При эксплуатации гидротехнических сооружений большое значение имеет возможность точного определения расхода, проходящего через различного рода водопропускные отверстия. Точное знание расходов, проходящих через сооружение, необходимо как при маневрировании затворами при пропуске сбросных расходов, так и при постоянных эксплуатационных пусках воды в нижний бьеф. Если весьма хорошо моделируются коэффициенты расходов незатопленных водосливов и коэффициенты расходов щитовых отверстий с простой формой горизонтальных уплотнений, то значительно сложнее обстоит дело с затопленными водосливами и с щитовыми отверстиями, имеющими достаточно сложные очертания горизонтальных уплотнений.

В первом случае при малой разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов в лабораторных условиях возникают затруднения при измерении малого значения перепада. Во втором же случае затрудняется точное моделирование (изготовление модели в малом масштабе) сложных очертаний горизонтальных уплотнений.

Как известно, для определения коэффициента затопления  $\sigma_n$  в формуле затопленного водослива практической формы

$$q = \sigma_n m \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}}$$

обычно пользуются «Таблицей американских инженеров». Всем также известно, что данные этой таблицы, являясь устаревшими, требуют дополнений и корректив. Особенно неточны данные этой таблицы для малых перепадов, характеризующихся малыми величинами отношений перепада и напора

$$\frac{z}{H_0} = 0,10 - 0,05.$$

Поэтому во всех случаях работы затопленных водосливов желательно определение коэффициента затопления  $\sigma_n$  для возможности внесения соответствующих корректив в «Таблицу американских инженеров», и особенно для малых значений отношения  $\frac{z}{H_0}$ .

Обращаясь теперь к вопросу об определении коэффициентов расходов щитовых отверстий, следует заметить, что проблема определения коэффициентов расходов для данного случая является значительно более сложной, чем вопрос о коэффициентах расходов водосливов, где эти коэффициенты не колеблются в столь значительных пределах, как в щитовых отверстиях, не будучи зависимы от ряда дополнительных факторов. Действительно, ряд произведенных автором исследований, как в действительных, так и в лабораторных условиях, показал, что величина коэффициента расхода щитового отверстия зависит от двух основных факторов: от формы нижнего обтекаемого ребра затвора и от формы водослива, на котором стоит затвор. Но при этом почти нет никаких закономерностей в характере кривых

$$\mu = f\left(\frac{h}{H_{щ}}\right)$$

для различных затворов.

Здесь  $\mu$  — коэффициент расхода щитового отверстия;  $h$  — величина открытия затвора;  $H_{щ}$  — напор перед затвором;  $\frac{h}{H_{щ}}$  — степень открытия затвора.

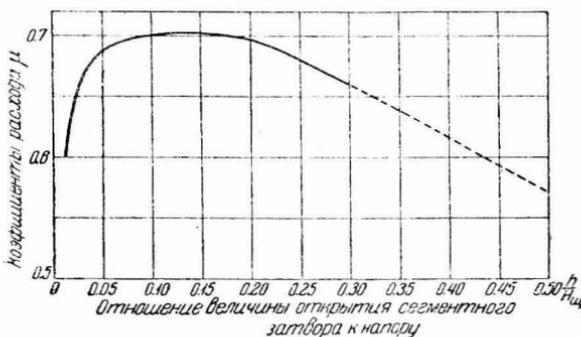
Так, например, нами были определены коэффициенты расхода при истечении воды из-под щита головного сооружения одного из водохранилищ канала Москва — Волга. Полученные данные позволили построить график изменения коэффициента расхода  $\mu$  в зависимости от отношения  $\frac{h}{H_{щ}}$  т. е.

$$\mu = f\left(\frac{h}{H_{щ}}\right).$$

Из рассмотрения указанного графика (приведенного на фиг. 12) видно, что коэффициент расхода  $\mu$  изменяется в значительных пределах, в зависимости от изменения открытия

затвора, причем в интервале от  $\sim \frac{h}{H_{\text{из}}} = 0,10$  до  $\frac{h}{H_{\text{из}}} = 0,2$  приобретает максимальное значение, равное  $\sim 0,70$ .

Нужно отметить, что в литературе как будто отсутствуют указания на наличие столь резко выраженного максимума для коэффициента расхода  $\mu$ . Более того, эти данные находятся в некотором противоречии с выводами А. Коха (см. А. Кох и М. Карстаньен «Основы практической гидродинамики», 1933 г., стр. 134) и некоторыми экспериментальными лабораторными работами по данному вопросу. Имея же в виду, что работы по исследованию коэффициента расхода  $\mu$  в условиях указанного головного сооружения производились с большой тщательностью (расходы мерились двумя вертушками в искусственном канале одновременно в двух створах, и при значительных расходах производились повторные измерения, величины открытий затворов определялись нивелированием и т. д.), то на отмеченную особенность должно быть обращено внимание в последующих экспериментальных работах.



Фиг. 12

В свою очередь нами в гидравлической лаборатории Омского сельскохозяйственного института им. С. М. Кирова были произведены лабораторные испытания щитовых отверстий с закругленной и острой кромкой затворов, которые были поставлены на водосливы разных форм. При этом были получены весьма интересные данные, часть которых мы считаем полезным ниже привести (см. табл. 7).

ТАБЛИЦА 7

ЗНАЧЕНИЕ КОЭФИЦИЕНТОВ  $\mu$  ДЛЯ ЩИТОВЫХ ОТВЕРСТИЙ С ЗАТВОРАМИ, ИМЕЮЩИМИ РАЗНУЮ ФОРМУ ОБТЕКАЕМОЙ НИЖНЕЙ КРОМКИ

| Степень открытия затвора<br>$\frac{h}{H_{\text{из}}}$ | Водослив без порога   |                             | Водослив практической формы |                             | Примечания  |
|---|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---|
|   | Острая кромка затвора | Закругленная кромка затвора | Острая кромка затвора       | Закругленная кромка затвора |   |
| 0,10  | 0,61                  | 0,88                        | 0,65                        | 0,96                        | Опыты производились при напоре $H=20$ см<br>Ширина лотка $b=25$ см<br>Коэффициент расхода водослива практической формы $m=0,45$ и коэффициент скорости $\varphi=0,83$ |
| 0,20  | 0,60                  | 0,80                        | 0,66                        | 0,92                        |   |
| 0,30  | 0,60                  | 0,75                        | 0,69                        | 0,89                        |   |
| 0,40  | 0,59                  | 0,72                        | 0,72                        | 0,88                        |   |

## ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Приведенный выше перечень наблюдений и исследований свидетельствует о чрезвычайном разнообразии измерений, которые обычно приходится производить при изучении построенных гидротехнических сооружений. В связи с этим применяются и значительное число весьма разнообразных измерительных приборов и устройств. В последующем изложении мы не будем останавливаться на общеизвестных геодезических и гидрометрических приборах, а дадим описание лишь тех приборов и установок, которые являются специфичными для работ по исследованию гидротехнических сооружений. Основными материалами для настоящей главы, а также для гл. IV, трактующей о методах измерения, послужили инструкции по исследованию гидротехнических сооружений, составленные на строительстве канала Москва—Волга автором настоящей работы совместно с инж. А. И. Крыловым, которому также принадлежит и конструктивная разработка ряда измерительных приборов, описанных ниже.

При изложении вопроса о струнном методе проф. Н. Н. Давиденкова нами весьма полно использована «Инструкция об измерении деформаций струнным методом», составленная инж. Д. Д. Головачевым, научным работником Ленинградского института сооружений.

### § 1. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ОСАДКАМИ БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

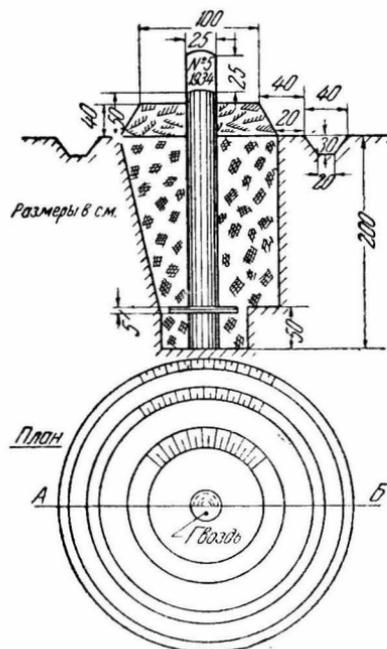
Для измерения осадок бетонных гидротехнических сооружений чаще всего применяются обычные технические нивелиры и лишь в особо ответственных случаях нивелиры прецизионные. Последние служат, главным образом, для точного (прецизионного) нивелирования основных (вековых) реперов и исходных (рабочих) реперов, от которых производится нивелирование отдельных сооружений, в наиболее характерных точках которых установлены так называемые высотные марки.

В качестве вековых реперов должны применяться вековые реперы стандартной конструкции, установленной для государственных прецизионных нивелировок. В качестве же исходных (рабочих) реперов, от которых должно вестись нивелирование отдельных сооружений и которые должны быть расположены вблизи сооружений в естественном (не насыпном) грунте, можно рекомендовать один из следующих двух типов:

#### А. Деревянный репер (фиг. 13 и 14).

Деревянный репер представляет собой деревянный столб толщиной 25 см, закапываемый в землю на глубину не менее 2 м от естественной поверхности грунта. На высоте 50 см от низа

столба последний должен иметь деревянную перекладину, создающую реперу большую устойчивость против выдергивания и раскачивания. Над естественной поверхностью земли репер должен возвышаться на 75 см, из которых 40 см обсыпается землей (фиг. 14). Сверху столб репера окапывается на высоте 25 см и в полку репера, получившуюся в результате околки, забивается гвоздь, головка которого служит точкой, подвергающейся нивелированию.

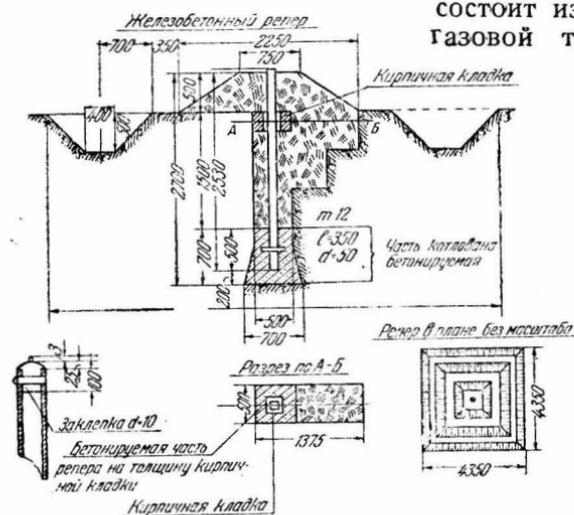


Фиг. 13—14

Кругом репера в радиальном расстоянии, равном 1 м, выкапывается защитная канавка глубиной 30 см и шириной по верху в 40 см. На репере обязательно ставится номер и год установки. При установке репера требуется особо тщательная трамбовка обратной засыпки. Для удлинения срока службы деревянного репера деревянный столб желателно подвергать просмолке или легкому обугливаю.

## Б. Железобетонный репер

Железобетонный репер (фиг. 15) состоит из обычной металлической газовой трубы диаметром 5 см, забетонированной в массив, имеющий размеры  $70 \times 70 \times 50$  см. Этот бетонный массив с закрепленной в нем трубой закапывается в землю на глубину 2,20 м (фиг. 15). Для придания реперу дополнительной устойчивости создается упор из кирпичной кладки и бетона. Верхняя граница этого упора располагается на уровне естественной поверхности земли. Труба репера выпускается из



Фиг. 15

земли на 50 см и покрывается хорошо утрамбованным грунтом. Верх репера образуется металлической пробкой, вставляемой в трубу и соединяемой с ней заклепкой диаметром  $d = 1$  см. Во-

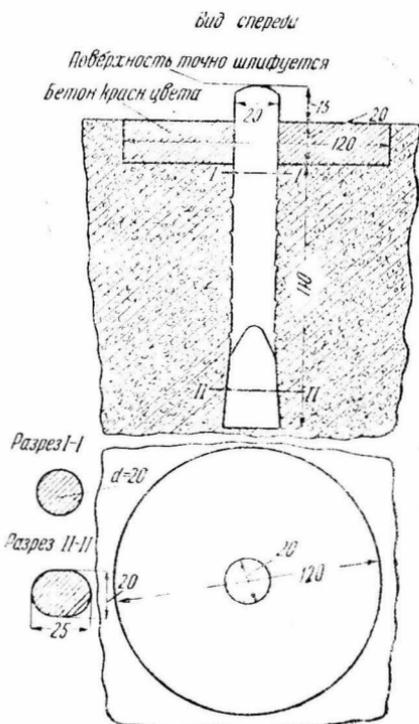
круг репера устраивается охранная канавка глубиной 50 см, шириной по дну 40 см с одиночными откосами. Расстояние между осью канавки и репером обычно составляет около 2,0 м. Переходя теперь к описанию различных типов высотных марок, которые заделываются в наиболее характерные точки исследуемого сооружения, укажем, что высотные марки, располагаемые на горизонтальных поверхностях, в большинстве случаев делаются из отрезков круглого железа или стали диаметром в 2 см. Когда же высотные марки должны закладываться в вертикальных стенках сооружений, то в этом случае с успехом могут применяться обычные чугунные марки с выступами (полочкой) или круглые железные или стальные стержни диаметром в 2 см (имеющие выступающую часть не менее 4 см для установки рейки). Ниже мы приводим описание некоторых типов высотных стальных и чугунных марок.

### В. Стальная высотная марка для горизонтальных плоскостей

Рассматриваемый тип стальной высотной марки (фиг. 16), служащей для установки на горизонтальных плоскостях, имеет полную длину 14,5 см при толщине в 2 см. Марка на глубину 13 см заделывается в бетон и лишь на 1,5 см выступает над его поверхностью.

Для наилучшего схватывания и сопряжения стержня с бетоном стержень заершивается, а нижний конец расплющивается. Выступающая из бетона часть стержня должна быть хорошо закруглена, и поверхность точно отшлифована. Для того чтобы высотная марка могла быть более заметной, бетон вокруг марки раскирковывается и заполняется бетоном красного цвета.

Лучшим моментом для установки высотной марки является момент кладки последних слоев бетона, когда марка может быть установлена в еще не затвердевший бетон. Но чаще всего приходится заделывать марки после снятия опалубки. Тогда шлямбуром пробивается в бетоне бурка, в которую закладывается марка и заливается цементным раствором.

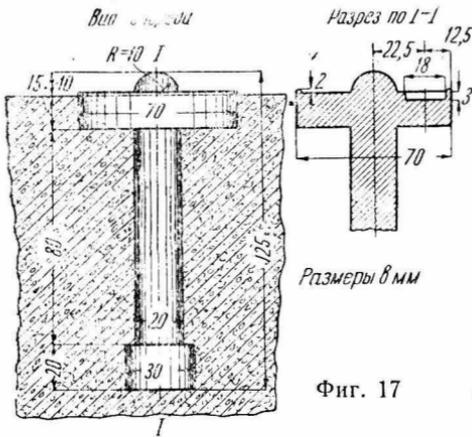


Фиг. 16

## Г. Чугунная высотная марка для горизонтальных плоскостей

В качестве высотной марки, устанавливаемой на горизонтальных плоскостях, также может быть рекомендована высотная марка, отливаемая из чугуна. (фиг. 17). Марка этого типа имеет полную длину 12,5 см, выступая из бетона на 1 см.

Стержень отливки, оканчивающийся внизу утолщением, имеет диаметр 2,0 см при диаметре утолщения в 3,0 см. Верхняя часть марки состоит из диска диаметром в 7,0 см толщиной 1,5 см, в центре которого имеется выступающая часть в виде правильного полушария высотой в 1 см. Диск высотной марки заделывается в бетон, а находящееся в центре его полушарие выступает над поверхностью бетона. Геометрическая вершина этого полушария и является точкой, подлежащей нивелированию, т. е. той точкой, на которую должна ставиться нивелирная рейка. На диске при помощи



насечки может быть выбит номер репера. Год же установки и наименование организации, устанавливающей репер, целесообразнее всего отливать на диске в процессе изготовления высотной марки.

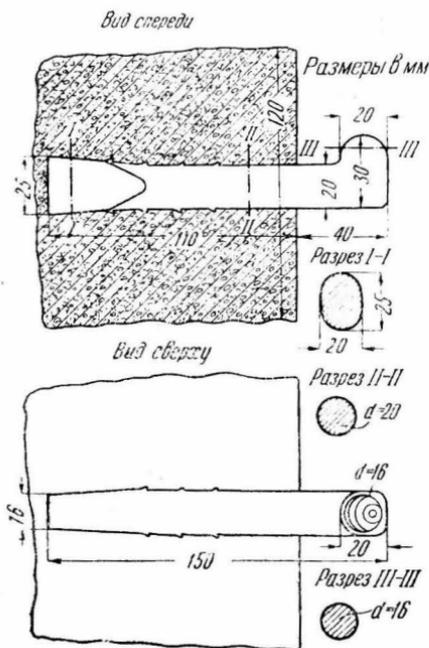
## Д. Стальные высотные марки для установки в вертикальных плоскостях бетонных гидротехнических сооружений

Довольно часто не представляется возможным установить высотную марку в горизонтальной плоскости исследуемого сооружения. Поэтому приходится прибегать к установке высотных марок в вертикальных плоскостях, что неизбежно приводит к некоторому изменению самой конструкции высотной марки. Один из возможных типов подобной высотной марки представлен на фиг. 18. Здесь марка изготавливается из стального стержня диаметром 2,0 см и имеет полную длину 15,0 см. На длине 11,0 см марка заделывается в бетон, выступая на 4,0 см от вертикальной плоскости сооружения. Для лучшего схватывания с бетоном стержень заершивается, а конец его расплющивается. Выступающая из бетона часть стержня предварительно загибается (в горячем состоянии) и ей придается форма, показанная на фиг. 18. Рейка опускается сверху и ставится на закругленную и хорошо отшлифованную часть загнутого стержня. Расстояние в 3,0 см от точки установки рейки до вертикальной поверхности стены, как показал опыт, является вполне достаточным. Поэтому удлинение выступающей части высотной марки свыше 4,0 см не вызывается

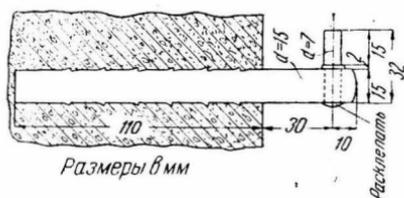
особой необходимостью и может лишь привести к ухудшению внешнего вида исследуемого сооружения.

В качестве второго типа стальной высотной марки может быть также рекомендована конструкция, представленная на фиг. 19. Этот несколько облегченный тип марки изготавливается из стального стержня диаметром в 1,5 см и имеет также полную длину в 15,0 см.

Выступающая из бетона часть марки, как и в первом рассмотренном нами типе, имеет длину в 4,0 см. В выступающей части стержня, на расстоянии 1 см от конца его, просверливается отверстие диаметром 0,7 см, в которое вставляется стержень длиной 3,2 см с диаметром, равным диаметру отверстия. Нижний конец этого стержня расклепывается (нижним концом стержня здесь будет являться конец, обращенный к низу сооружения). Верхний конец стержня, имеющий свободную длину 1,5 см, будучи хорошо отшлифованным, является точкой установки нивелирной рейки. Совершенно оче-



Фиг. 18



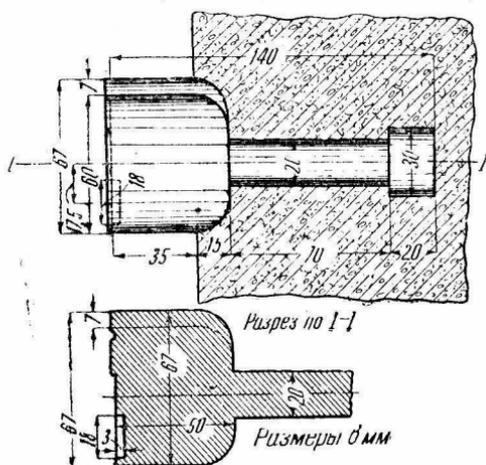
Фиг. 19

видно, что мыслима конструкция, представляющая собой комбинацию двух выше рассмотренных типов стальных высотных марок. Здесь имеется в виду, главным образом, устройство выступающей из бетона части.

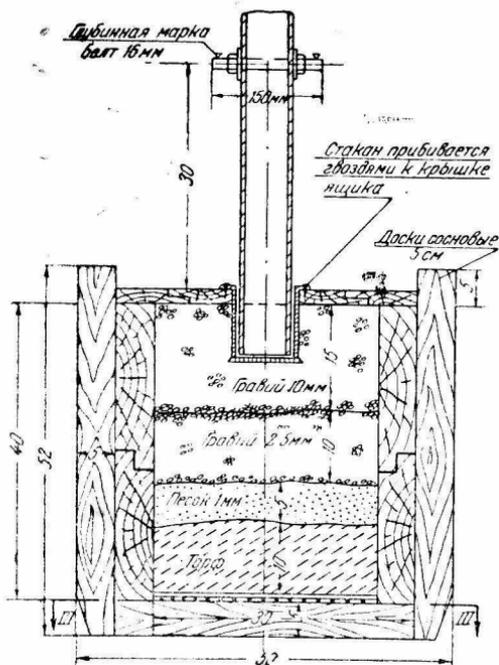
### Е. Чугунная высотная марка для установки в вертикальных плоскостях

Чугунная высотная марка рассматриваемого типа изображена на фиг. 20. Марка состоит из чугунного круглого стержня диаметром 2,0 см, длиной 9,0 см и из чугунной отливки дискообразной формы диаметром 6—7 см при толщине 5,0 см. Полная длина чугунной марки составляет 14,0 см. Весь стержень, имеющий на конце утолщение до 3,0 см, и часть диска на длине 1,5 см заделывается в бетон. Выступающая из бетона часть высотной

марки имеет длину 3,5 см. Для установки рейки на диске отли-  
вается специальная полка. На торце диска отливаются год уста-  
новки и наименование стро-



Фиг. 20



Фиг. 21

ительной или исследова-  
тельской организации, по-  
ставившей марку. На торце  
также высекается порядко-  
вый номер высотной марки.

Заключивая на этом  
описание высотных марок,  
применяющихся при на-  
блюдениях за осадками ги-  
дротехнических сооруже-  
ний, мы считаем уместным  
отметить, что наиболее  
удобными как для установ-  
ки, так и для эксплуатации  
являются чугунные марки,  
которые и следует приме-  
нять там, где изготовление  
их не вызывает особых за-  
труднений. При этом чугу-  
нные марки выгодны особенно  
там, где их приходится ста-  
вить в большом количестве.  
В тех же случаях, где число  
высотных марок, подлежа-  
щих установке, является не-  
значительным, то там целе-  
сообразнее применять сталь-  
ные марки, ибо организация  
отливки малого числа чугу-  
нных марок не всегда может  
оказаться практичной.

### Ж. Глубинная марка для определения осадок основа- ний бетонных гидротехниче- ских сооружений

Для определения осадок  
оснований гидротехнических  
сооружений отдельно от оса-  
док сооружений в целом, для  
установления фактических  
размеров бетонной кладки, а  
сооружений применяются так

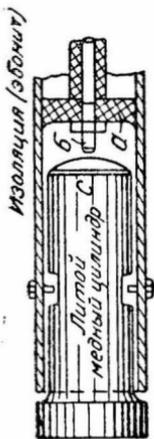
также для определения перекосов  
называемые «глубинные марки».

Глубинная марка представляет собой металлический болт,  
пропускаемый через металлическую трубу, устанавливаемую в

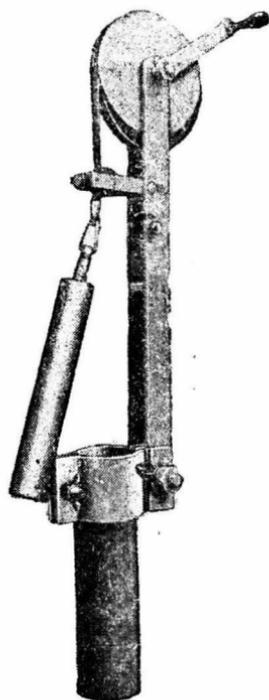
бетоне сооружения около границы, разделяющей бетон и естественный грунт основания или его подготовку. Удобнее всего глубинную марку совмещать с пьезометрическими трубами, служащими для измерения величин фильтрационного давления на подошву сооружения. На фиг. 21 представлена глубинная марка, совмещенная с пьезометром. Здесь глубинной маркой является болт диаметром 1,6 см, пропущенный через металлическую (газовую) трубу пьезометра, имеющую диаметр 5,0 см. Болт с обеих сторон выпущен из трубы на 5,0 см и прочно прижат к ней гайками, навинчиваемыми на концы болта. Полная длина болта равна 15,0 см. В рассматриваемом случае глубинная марка расположена на высоте 0,30 м от основания сооружения. После того как часть трубы будет забетонирована, глубинная марка должна быть связана точной нивелировкой с исходным репером, т. е. должна быть установлена начальная отметка болта. По мере возведения сооружения труба должна наращиваться и отметка глубинной марки должна переноситься выше.

### 3. Электроконтактный прибор, служащий для измерения положения глубинных марок

Для измерения осадки основания сооружений при помощи глубинных марок может быть с успехом применяем специальный электроконтактный прибор. Электроконтактный прибор, изображенный на фиг. 22, представляет собой полый металлический цилиндр диаметром 3,0 см и длиной 25 см, разделенный на две части эбонитовой перегородкой а, через середину которой пропущен изолированный проводник б, соединяемый со стальной лентой. В нижней части полого цилиндра ходит литой медный цилиндр с, который при касании с проводником б дает контакт и, в момент контакта, — звонок через батарею, помещенную наверху в отдельном ящике.



Фиг. 22



Фиг. 23

Измерение осадки основания сооружений при этом производится следующим образом: после установки первого звена трубы определяется положение глубинной марки (болта) по отношению к срезу трубы, на которой при нивелировке ставится рейка.

Зная начальное высотное положение марки и зная расстояние марки от верхнего среза трубы, можно определить отметку

основания, бывшего под нагрузкой. Измерение вертикального расстояния от марки (болта) до среза трубы при этом производится следующим образом: электроконтактный прибор на специальной лебедке (фиг. 23), насаженной на трубу, спускается в последнюю на стальной ленте. В момент касания болта с цилиндром с получается контакт, что и позволяет определить по стальной ленте искомое расстояние. Отсчеты по ленте должны производиться при помощи штангенциркуля с точностью до 0,5 мм.

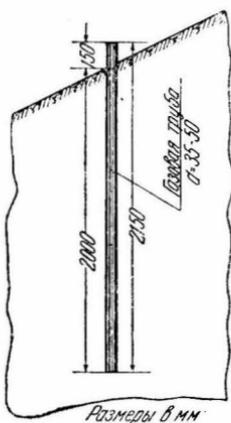
## § 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ОСАДКАМИ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

Для наблюдения за осадками земляных плотин и дамб служат специальные высотные знаки — реперы, устанавливаемые по гребню плотины и в наиболее характерных ее поперечниках. Для наблюдения же за осадками основания плотины и для установления так называемого «дополнительного уплотнения» насыпи служат глубинные марки в виде бетонных плит, закладываемых в основании плотины.

В качестве знаков — реперов — применяются железные и деревянные реперы, описания которых ниже и приводятся.

### А. Железный репер, служащий для наблюдения за осадками земляных плотин

Железный репер представляет собой отрезок железной газовой трубы  $d=35-50$  мм (фиг. 24) или отрезок круглого железа, закапываемый в тело плотины на глубину 2,0 м с выступающей над поверхностью земли частью высотой 10—15 см.



Фиг. 24

Репер, исполняемый из газовой трубы, может одновременно служить и плановым знаком для наблюдения за перемещением откосов в плане (наблюдение за сползанием откосов). Для этого достаточно в трубу репера периодически вставлять вешку и наблюдать по заранее разбитому створу ее плановое положение.

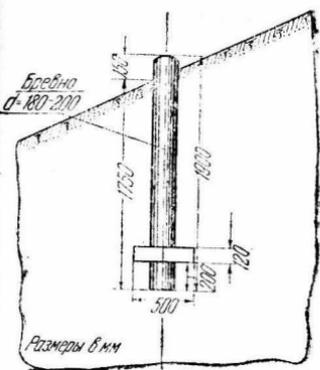
### Б. Деревянный репер, служащий для наблюдения за осадками земляных плотин

Деревянный репер, служащий для указанной выше цели, обычно изготавливается из бревна диаметром 18—20 см (фиг. 25) и имеет на своем нижнем конце перекладину для предотвращения выдергивания и раскачивания; он закапывается в тело плотины на глубину 1,75 м. Имея полную высоту в 1,90 м, деревянный репер должен выступать над поверхностью земли на 15 см. Верхняя часть репера должна быть хорошо закруглена и иметь вби-

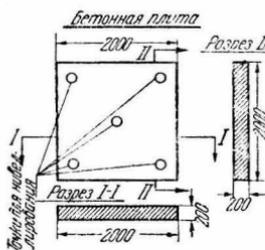
тый в нее гвоздь или иметь специальную полку для установки рейки.

### В. Глубинная марка, служащая для определения осадок основания земляных плотин

Глубинная марка представляет собой бетонную плиту размерами  $2,0 \times 2,0 \text{ м}^2$ , толщиной 20 см, укладываемую на основание плотины и засыпанную грунтом при возведении тела плотины (фиг. 26, 27). Так как по мере осадки плотины заложенная в ее



Фиг. 25



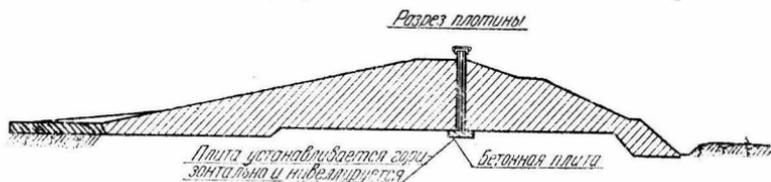
Фиг. 26

основание бетонная плита будет также опускаться, то по изменению высотного ее положения можно установить осадку основания и дополнительное уплотнение тела плотины.

Точка заложения глубинной марки в плановом отношении закрепляется двумя створными плоскостями, причем закрепительные знаки устанавливаются со стороны сухого откоса вне тела сооружения и

за пределами работ (чтобы створные знаки не повреждались во время производства работ).

Закрепительные знаки делают из столбов диаметром 12—16 см, длиной 1,5—2,0 м, врываемыми в землю с поперечинами на



Фиг. 27

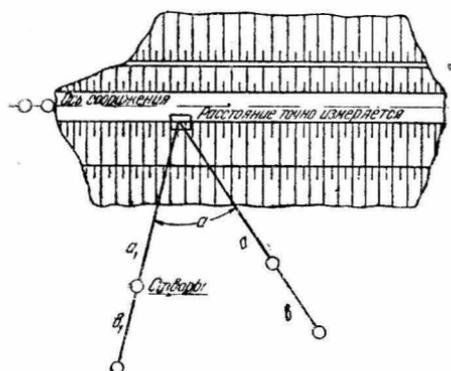
глубину 1,0—1,5 м. Рекомендуемые схемы расположения створных знаков показаны на фиг. 28 и 29.

Глубинная марка (плита) укладывается горизонтально (по уровню), причем одновременно с укладкой определяется отметка центра плиты. Для указанной цели производится двойное нивелирование от исходного репера. После завершения земляных работ определяется при помощи створных знаков точка, соответствующая центру заложения плиты. Далее производится бу-

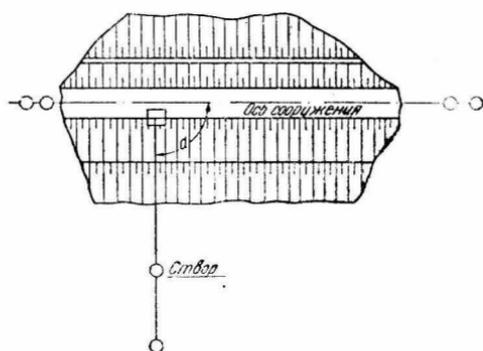
<sup>1</sup> Размер плиты  $2,0 \times 2,0 \text{ м}$  рекомендуется для плотин выше 15,0 м, при высоте плотины от 10 до 15 м можно применять плиты размерами  $1,5 \times 1,5 \text{ м}$ , уменьшая плиту до  $1,0 \times 1,0 \text{ м}$  для плотин или дамб ниже 10,0 м.

рение диаметром 12—15 см до верхней поверхности бетонной плиты, причем бурение должно быть выполнено таким образом, чтобы края нижнего конца обсадной трубы плотно касались поверхности плиты. При этом необходимо следить за тем, чтобы нижним концом обсадной трубы или долотом (желонкой) не повредить самой плиты, так как она является той плоскостью, от которой в дальнейшем будут вестись наблюдения.

Обсадная труба оставляется в скважине и служит в дальнейшем для установки внутри ее металлического стержня, по которому будут вестись наблюдения за осадками основания плотины. Внутренний металлический стержень может быть изготовлен из газовых труб диаметром 25—37,5 мм в зависимости от длины



Фиг. 28



Фиг. 29

стержня. Так, например, при длине стержня до 10 м диаметр трубы следует принимать равным 25 мм, а при длинах стержня от 10 до 25 м желательно диаметр труб брать равным 37,5 мм (1,5") (внутренний стержень может также исполняться и из круглого железа диаметром 20—25 мм).

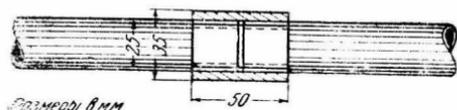
Стержень, изготовленный заранее и состоящий из отдельных звеньев, должен доставляться к месту работ в разобранном виде; затем отдельные звенья стержня свинчиваются между собой муфтами впритык (фиг. 30) и производится точное измерение длины стержня (с точностью до 0,5 мм) при помощи стальной линейки или компарированной ленты; после этого стержень опускается в трубу (фиг. 31).

Для предотвращения изгиба стержня под действием собственного веса на стержень через каждые 1,5—2,0 м по его длине одеваются и закрепляются винтами резиновые кольца (фиг. 32).

Для предотвращения ржавления стержня полезно произвести покраску его гудроном или битумом. Верхний конец обсадной трубы должен выступать над поверхностью земли на 40 см, причем верхний конец внутреннего стержня во избежание случайных повреждений должен быть ниже среза обсадной трубы на 20 см (фиг. 31). Верхний конец обсадной трубы должен быть

выравнен строго горизонтально и закручен специальной крышкой (фиг. 33). На крышке должен быть выбит номер и время установки глубинной марки.

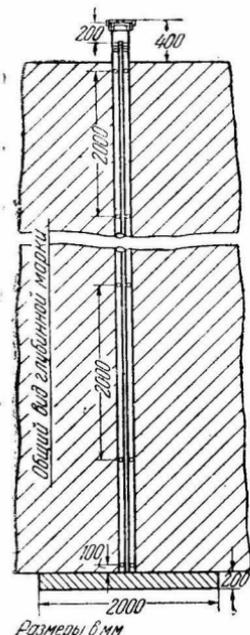
Вставленный в обсадную трубу внутренний стержень будет свободно опираться на бетонную плиту и опускаться вместе с ней при осадке основания.



Размеры 8 мм

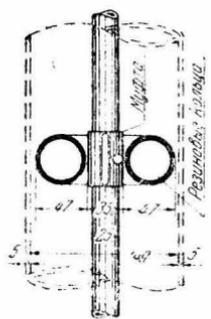
Фиг. 30

Зная длину стержня и отметку его верха, можно устанавливать величины осадок основания, происшедшие в период между двумя нивелировками.



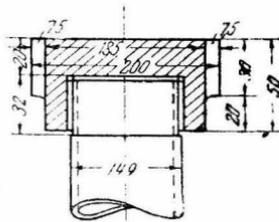
Размеры 8 мм

Фиг. 31



Размеры 8 мм

Фиг. 32



Размеры 8 мм

Фиг. 33

### § 3. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ НАБЛЮДЕНИЯХ ЗА ФИЛЬТРАЦИЕЙ ПОД БЕТОННЫМИ СООРУЖЕНИЯМИ И В ТЕЛЕ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН

#### А. Пьезометры в бетонных сооружениях

Пьезометры, служащие для измерения фильтрационных давлений, передающихся на основания бетонных гидротехнических сооружений, состоят из двух основных частей: из пьезометрической трубы, в которой устанавливается и измеряется горизонт воды, соответствующий величине фильтрационного давления и из фильтра, служащего для предотвращения заиливания пьезометрической трубы.

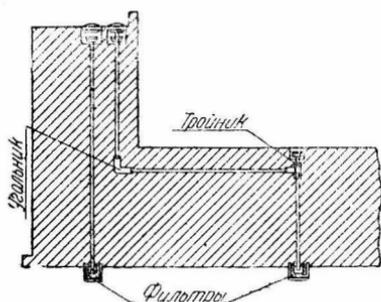
Пьезометрические трубы выполняются из обычных металлических труб (газовых) внутренним диаметром не менее 5 см.

Все соединения труб должны производиться фасонными

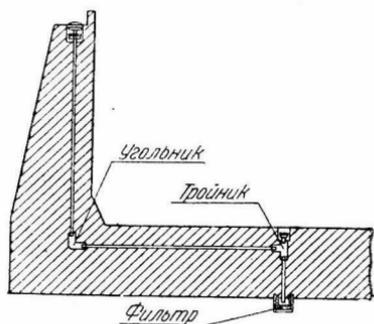
стандартными частями, причем в продольном направлении трубы должны свинчиваться муфтами впритык.

В вертикальных частях пьезометрических труб, т. е. там, где будут производиться замеры уровня воды при помощи опускаемых приборов, трубы должны быть поставлены строго вертикально и тщательно центрированы, чтобы избежать внутри трубы выступов, за которые могут задевать опускаемые приборы.

Все концы пьезометрических труб должны быть выведены на



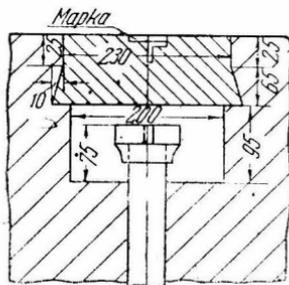
Фиг. 34



Фиг. 35

незатопляемые части сооружения, например, устои плотин или головы шлюзов (фиг. 34, 35).

В тех же случаях, когда пьезометры закладываются в основание затопляемых частей сооружения, например, в днищах шлюзов, в флютбетах плотин между бычками и т. д., то для вывода пьезометра в незатопляемую часть (бычок плотины, голова шлюза и т. д.) последнему необходимо давать горизонтальный переходный участок, соединяемый тройниками с вертикальными стояками, как это, например, показано на фиг. 34, 35. Но независимо от этого нижняя вертикальная часть пьезометра должна быть выведена на поверхность бетона в затопляемой части сооружения (фиг. 36). Такое устройство делается с целью получения возможности еще



Фиг. 36

до затопления сооружения или в момент его опорожнения произвести осмотр нижней части пьезометра.

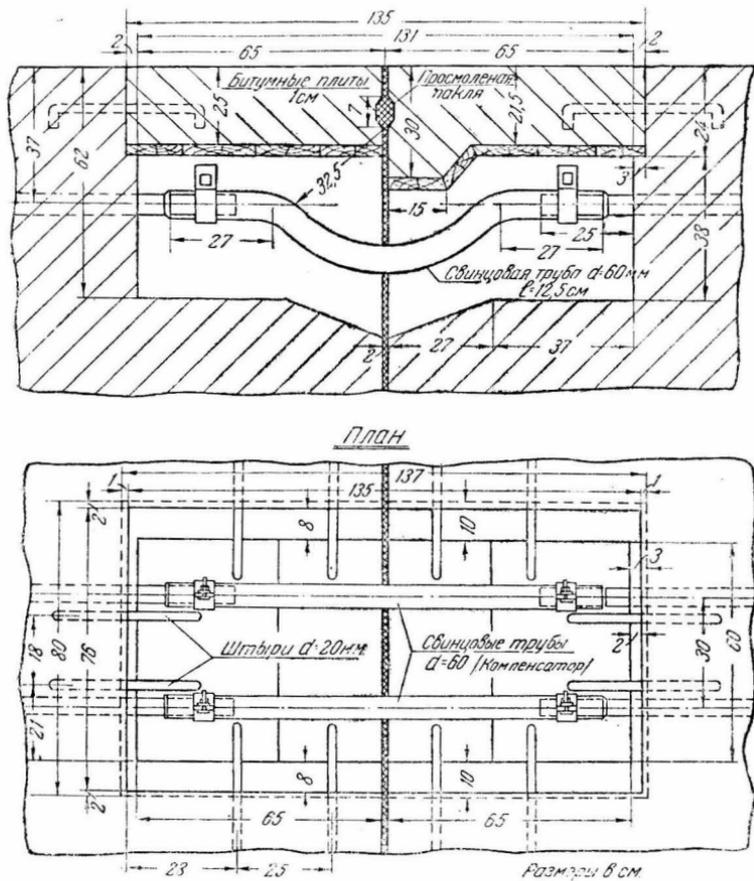
После проверки нижней (затопленной) части пьезометра труба тщательно (герметически) завинчивается крышкой, заливается гудроном и заделывается раствором цемента (фиг. 35).

Когда пьезометрические трубы прокладываются через отдельные блоки сооружения, которые могут иметь разные осадки, то в этих местах должны быть сделаны эластичные соединения при помощи вставок из свинцовых труб (фиг. 37) во избежание повреждения пьезометров.

Герметичность соединения труб свинцовых с железными достигается путем затягивания хомута и запайки края свинцовой трубы.

В основании пьезометра должен быть устроен надежный фильтр, предотвращающий занос труб мелкими частицами грунта.

Фильтр может быть устроен в виде ящика (фиг. 38) с двойными боковыми стенками и отверстиями в дне для свободного



Фиг. 37

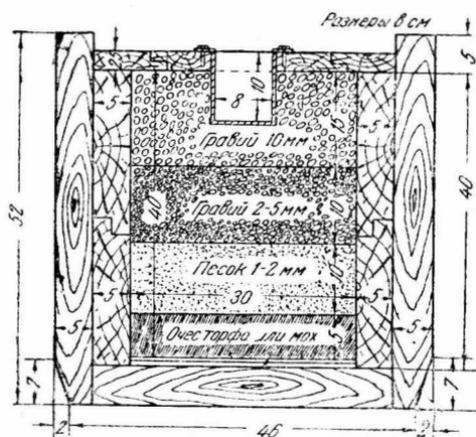
доступа воды снизу. В ящик последовательно укладывается, например, слабо разложившийся до 15% торф (очес) и гравий разных фракций, служащий для удержания мелких частиц, т. е. создается так называемый обратный фильтр.

Доски для ящика берутся сосновые 5 см, причем для большой плотности стенок края досок выбираются в четверть. Ящик прочно сколачивается гвоздями.

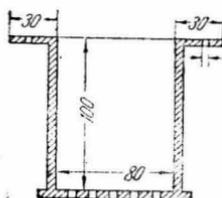
Порядок изготовления фильтра может быть рекомендован следующий: после того, как деревянный ящик изготовлен, на дно

его прибивается проволочная железная сетка с отверстиями 5—10 мм или, при отсутствии сетки, укладываются металлические прутья через 15 мм, на которые закладывается слой, слабо разложившегося (до 15%) сфагнового торфа.

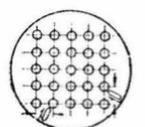
Торф для фильтра берется с самой поверхности (очес), без живого покрова и корней и укладывается слоем в 10 см, после чего уплотняется до толщины слоя в 5 см. На этот слой торфа насыпается хорошо промытый и отсеечный песок слоем в 10 см крупностью в 1 мм. Далее на этот слой насыпается промытый слой гравия диаметром от 2 до 5 мм, толщиной в 10 см и, наконец, закладывается последний 15-см слой промытого гравия крупностью в 8—10 мм.



Фиг. 38



Диаметр стакана



Размеры 8 мм

Фиг. 39

До заделки ящика крышкой в слой гравия закладывается металлический стакан, сделанный из железа толщиной в 2—3 мм, с отверстиями внизу в 5 мм (фиг. 38, 39). Стакан прибивается предварительно к доскам крышки ящика, и после того как фильтр окончательно смонтирован и заполнен гравием, доски крышки ящика забиваются наглухо.

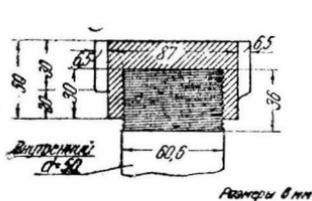
Для заложения фильтра под его основанием выкапывается соответствующих размеров яма, причем если грунты глинистые, то под основанием ящика подстиляется еще слой песка или гальки толщиной не менее 20 см и лишь затем устанавливается фильтр.

Кругом фильтра грунт должен быть хорошо утрамбован. Высота крышки должна соответствовать отметке основания сооружения. Выступающие края ящика на 5 см для прочности закладываются в бетон.

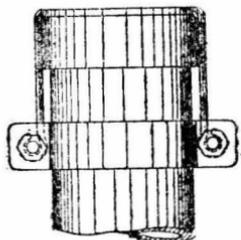
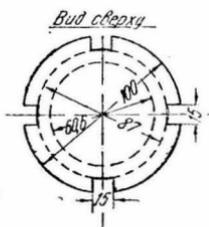
После установки фильтра в стакан вводится пьезометрическая труба; пространство (щель) между трубой и стенкой стакана во избежание попадания цементного раствора туго забивается паклей или куском пеньковой веревки и заливается гу-

дромом. Труба закрепляется в строго вертикальном положении (по отвесу), и только после этого производится бетонная кладка.

На верхний конец пьезометрической трубы, имеющей нарезку, должна быть немедленно же после установки первого колена навинчена металлическая крышка, открываемая лишь при помощи особого ключа (фиг. 40, 41). Это мероприятие является совер-



Фиг. 40

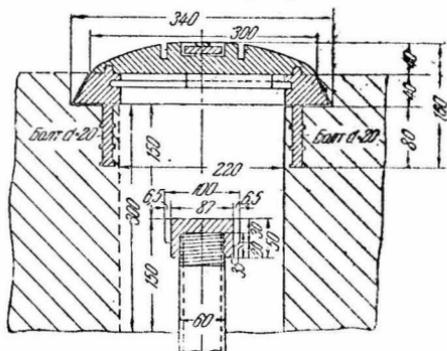


Фиг. 41

шенно необходимым во избежание засорения пьезометра строительным мусором и бетоном при бетонировании.

Открытие трубы при присоединении нового колена должно производиться в присутствии ответственного за устройство пьезометров лица. После установки нового звена необходимо снова проследить за тем, чтобы на трубу была навинчена крышка.

Как уже указывалось выше, верхняя часть пьезометров должна выводиться в незатопляемую часть сооружения в небольшую квадратную шахту глубиной 0,30 м и шириной 0,20—0,60 м, плотно закрываемую деревянной крышкой или чугунной колонкой (фиг. 42).



Фиг. 42

Выступающая часть трубы над полом должна быть около 0,15 м.

На верхний конец трубы, как уже упоминалось выше, должна быть навинчена крышка, открываемая лишь при помощи особого ключа, который должен храниться у наблюдателя. На крышке должен быть выбит номер пьезометра.

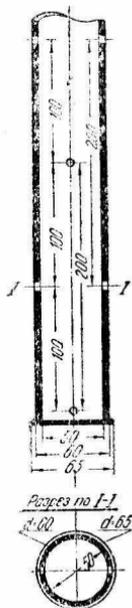
## Б. Пьезометры в земляных плотинах

Пьезометры в земляных плотинах служат для производства наблюдений за положением кривой депрессии. Обычно пьезометры устанавливаются после возведения тела земляной плотины, так как установка их в процессе работ связана с большими затруднениями.

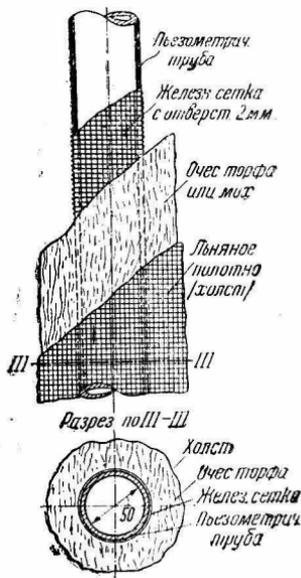
Поэтому для установки пьезометра в теле плотины бурится

скважина, в которую и опускается труба пьезометра. Трубы для устройства пьезометров обычно берутся газовые или водопроводные, с внутренним диаметром не ниже 5 см. Но вместе с тем при внутреннем диаметре обсадных труб 0,16 м не следует брать диаметр пьезометрических труб более 8 см, чтобы иметь возможность поместить фильтр в получающийся зазор между стенками пьезометра и обсадной трубой.

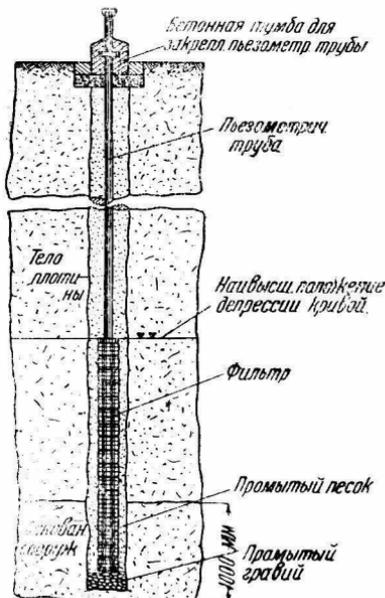
Отдельные звенья пьезометрической трубы должны быть соединены муфтами впритык. Трубы должны быть хорошо центрированы во избежание образования выступов, которые могут в дальнейшем препятствовать опусканию измерительных приборов.



Фиг. 43



Фиг. 44



Фиг. 45

Крайне желательно пригонку труб произвести еще до доставки их на место работ.

Нижняя часть пьезометрической трубы перфорируется (т. е. просверливается) в пределах высоты ожидаемой депрессионной кривой, определяемой по теоретическим подсчетам, но не менее 3—4 м по высоте. Отверстия располагаются в шахматном порядке и должны быть диаметром от 5 до 8 мм (фиг. 43). Все шероховатости (заусенцы) внутри трубы, образующиеся при сверлении труб, должны быть зачищены.

В пределах перфорированной части труба покрывается железной сеткой диаметром 2—3 мм. Сетка должна быть хорошо припаяна к трубе, чтобы она не могла быть сдвинута во время опускания пьезометра.

На конец трубы одевается железный стакан, сделанный из железа толщиной 3 мм. Стакан прикрепляется к трубе болтом

диаметром 1,5 см, который одновременно будет предохранять дно стакана от повреждений при чистке пьезометра желонкой.

После того как труба будет покрыта металлической сеткой, она оборачивается слабо разложившимся (не свыше 15%) волокнистым торфом слоем в 3 см. Для этой цели берется самый поверхностный слой торфа (очес) без живого покрова и корней.

Торф прижимается туго к стенке трубы, обертывается кустарным холстом или мешковиной в несколько раз, после чего зашивается и закрепляется через 10 см железной проволокой (фиг. 44, 45).

В обсадную трубу перед заложением в нее пьезометра насыпается слой промытого гравия крупностью 1—2 см, толщиной 0,20 м и лишь после этого устанавливается пьезометр в строго вертикальном положении.

Пространство между пьезометром и стенками обсадной трубы засыпается хорошо промытым и просушенным песком, крупностью 1—2 мм. По мере засыпки обсадная труба осторожно вынимается из скважины.

Наружный конец пьезометра должен быть выведен над уровнем земли на высоту 0,80 м и заделан в бетонный столб для предотвращения трубы от раскачивания и осадок (фиг. 45, 46).

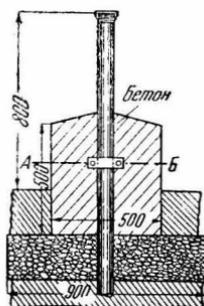
Под бетонный массив закладывается слой тощего бетона или бута на цементном растворе для защиты скважины от попадания в нее сточных и поверхностных вод, которые могут стекать вдоль стенок трубы.

Пьезометрическая труба, после того как она опущена, должна быть завинчена крышкой (фиг. 47), открываемой только при помощи особого ключа. На крышке пьезометра выбивается номер пьезометра.

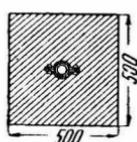
После выполнения перечисленных работ пьезометр передается в эксплуатацию, о чем составляется соответствующий акт. К акту прилагается исполнительный чертеж пьезометра и все данные о грунтах.

## В. Лот-свисток, служащий для измерения уровней воды в пьезометрических скважинах

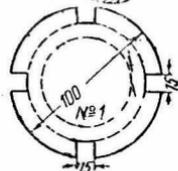
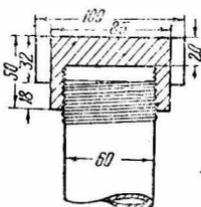
Лот-свисток представляет собой полый цилиндр, который дает свисток при ударе нижней поверхности цилиндра о поверхность воды при опускании прибора в скважину (фиг. 48).



Разрез по А-Б



Фиг. 46



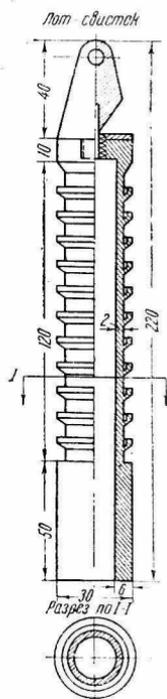
Фиг. 47

Звук получается вследствие быстрого вытеснения воздуха водой. Лот опускается в скважину на стальной ленте при помощи специальной лебедки (фиг. 49). С наружной стороны лот имеет тарелочные кольцевые желобки, расположенные друг от друга через 1 см и служащие для определения глубины, на которую прибор опущен в воду. При производстве измерения горизонта воды лебедки должны быть закреплены на трубе (фиг. 49) и отсчет по стальной ленте должен производиться от-

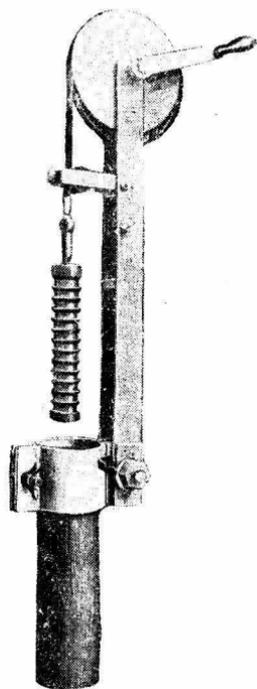
носительно среза пьезометрической трубы, точно занivelированного от основного репера. При измерении горизонтов воды в пьезометрических скважинах при помощи лота-свистка в показания должны вноситься поправки на повышение уровня воды в трубе в зависимости от степени погружения прибора в воду. Эти поправки должны вычисляться заранее для заданной конструкции прибора и заданного диаметра пьезометрической трубы.

### Г. Электроконтактный прибор, служащий для измерения уровней воды в пьезометрических скважинах

При необходимости получения особо точных данных о стоянии уровня воды в пьезометрических скважинах может быть рекомендовано применение электроконтакт-



Фиг. 48



Фиг. 49

ного прибора. Электроконтактный прибор для измерения горизонтов воды в пьезометрических скважинах может быть выполнен по тому же принципу, что и элеткроконтактный прибор, описанный выше и служащий для измерения положения глубинных марок (фиг. 22). Только здесь вместо литого медного цилиндра устраивается полый цилиндр в виде поплавка, при касании которого о контакт и получается звонок. Сам же процесс измерения аналогичен описанному выше.

## § 4. СТРУННЫЙ (ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЙ) МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ И ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ СТРУННЫЕ ПРИБОРЫ

Струнный метод, служащий для измерения деформаций, возникающих в сооружениях под действием различных сил, а также позволяющий определять давления и температуры, предложен

проф. Н. Н. Давиденковым. Этот метод основан на известном свойстве металлической струны однозначно менять частоту собственных колебаний в зависимости от напряжений, растягивающих струну.

Указанная зависимость между частотой собственных колебаний струны и растягивающими струну напряжениями выражается формулой

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_0}},$$

где  $N$  — частота собственных колебаний струны (тон струны) в герцах;  $l$  — длина колеблющейся части струны в см;  $\rho_0$  — постоянная величина, характеризующая материал струны и равная плотности, деленной на ускорение силы тяжести, т. е.

$$\rho_0 = \frac{\rho}{g} \text{ кг/см} \cdot \text{сек},$$

где  $\rho$  — плотность материала струны;  $\sigma$  — напряжения в струне в  $\text{кг/см}^2$ .

Из приведенной формулы следует, что напряжение в струне будет равно:

$$\sigma = 4l^2 \rho_0 N^2.$$

Предположим, что в струне произойдет изменение напряжения от величины  $\sigma_1$  до величины  $\sigma_2$ . В соответствии с изменением напряжений произойдет также и изменение собственных колебаний струны от значения  $N_1$ , соответствующего напряжению  $\sigma_1$ , до значения  $N_2$ , соответствующего напряжению  $\sigma_2$ . Если через  $\Delta\sigma$  обозначить абсолютную величину изменения напряжения в струне, т. е. полагать, что

$$\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_2,$$

то мы можем написать

$$\Delta\sigma = 4l^2 \rho_0 N_1^2 - 4l^2 \rho_0 N_2^2 = 4l^2 \rho_0 (N_1^2 - N_2^2)$$

или

$$\Delta\sigma = 4l^2 \rho_0 (N_1 - N_2)(N_1 + N_2).$$

Из сопротивления материалов известно, что относительное удлинение равно

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta\sigma}{E_c},$$

где  $\Delta l$  — абсолютное удлинение струны в результате изменения напряжения на величину  $\Delta\sigma$ ;  $E_c$  — модуль упругости струны (модуль Юнга).

Следовательно, мы можем написать, что

$$\frac{\Delta l}{l} = 4l^2 \frac{\rho_0}{E_c} (N_1 - N_2)(N_1 + N_2).$$

Из этого выражения легко получается величина абсолютной деформации, т. е. абсолютная величина удлинения струны

$$\Delta l = 4l^3 \frac{\rho_0}{E_c} (N_1 - N_2)(N_1 + N_2).$$

Если, например, в исследуемом бетонном или железобетонном сооружении взять в бетоне или в арматуре две точки и между этими точками закрепить струну, то в результате деформации бетона или арматуры на длине закрепления струны (т. е. между точками закрепления) также произойдет деформация струны.

Если мы обозначим через  $\sigma_m$  — напряжение, возникающее в исследуемом материале (т. е. бетоне или арматуре).  $E_m$  — модуль Юнга для материала,  $\sigma_c$  — напряжение, возникающее в струне,  $E_c$  — модуль Юнга для струны, то, очевидно, должно соблюдаться следующее равенство:

$$\sigma_m E_c = \sigma_c E_m \quad \text{или} \quad \frac{\sigma_m}{E_m} = \frac{\sigma_c}{E_c}$$

и, наконец,

$$\sigma_c = \frac{\sigma_m E_c}{E_m}.$$

Если начальное напряжение в материале равно нулю, то возникающее напряжение  $\sigma_m$ , вызывающее изменение напряжения в струне на величину  $\Delta \sigma_c$ , будет равно изменению напряжения  $\Delta \sigma_m = \sigma_m - 0 = \sigma_m$ . Поэтому, применяя полученное выше выражение для величины изменения напряжения в струне  $\Delta \sigma_c$ , т. е.

$$\Delta \sigma_c = 4l^2 \rho_0 (N_1 - N_2) (N_1 + N_2)$$

и отношение

$$\Delta \sigma_c = \frac{\sigma_m E_c}{E_m},$$

можем написать

$$\sigma_m \frac{E_c}{E_m} = 4l^2 \rho_0 (N_1 - N_2) (N_1 + N_2),$$

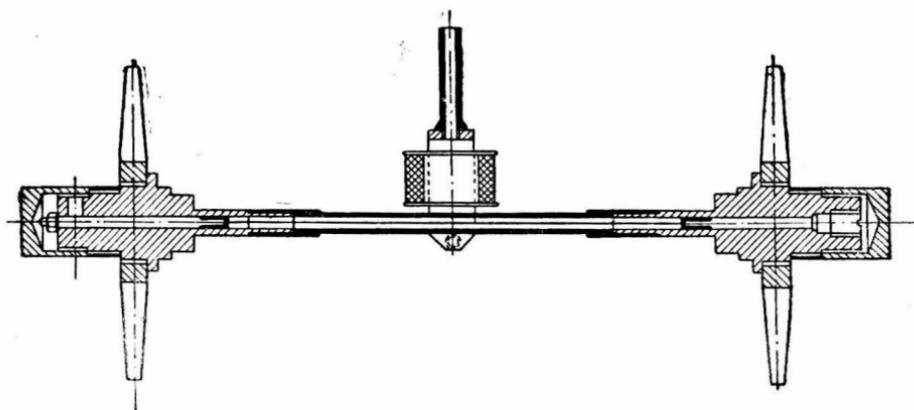
откуда получается зависимость для напряжения в исследуемом элементе сооружения

$$\sigma_m = \frac{E_m}{E_c} 4l^2 \rho_0 (N_1 - N_2) (N_1 + N_2).$$

Итак, для того, чтобы определить напряжение в исследуемом элементе сооружения, необходимо знать:

- 1) длину струны  $l$  между точками закрепления;
- 2) постоянную величину  $\rho_0$ , характеризующую материал струны и модуль Юнга для струны  $E_c$ ;
- 3) начальную частоту собственных колебаний струны, соответствующую тому напряжению струны, которое имеет место до начала возникновения напряжений в исследуемом материале;
- 4) модуль Юнга  $E_m$  для исследуемого материала;
- 5) частоту собственных колебаний струны, изменившуюся в результате возникновения напряжений в исследуемом элементе сооружения.

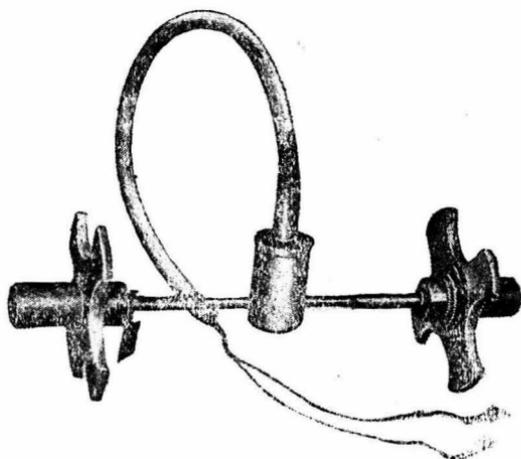
Струнным прибором, служащим для определения напряжений в бетонных сооружениях, а также в железобетонных и деревянных конструкциях, является электроакустический телетензометр системы проф. Н. Н. Давиденкова.



Фиг. 50

Ниже мы приводим описание телетензомера для бетона, который состоит из двух стальных головок (фиг. 50, 51) с крестовинами, соединенными между собой тонкостенной латунной трубкой, в которой между головками натянута стальная струна. Расстояние между крестовинами измеряется натянутой в приборе струной. Прибор после заделки в бетон будет деформироваться вместе с последним, причем в результате деформации бетона будет происходить изменение расстояния между крестовинами, что, в свою очередь, изменяя натяжение струны, будет вызывать изменение частоты ее собственных колебаний.

При помощи электромагнита (фиг. 50, 51), помещенного в середине прибора, струна может быть приведена в колебательное движение с центральной станции (см. ниже), с которой прибор соединяется специальным проводом (например, однопарным проводом СРГ). Затухающие колебания струны в поле магнита обуславливают возникновение в катушке переменной электродвижущей силы с



Фиг. 51

периодом, соответствующим периоду колебаний струны. Эта электродвижущая сила воспринимается на центральной станции в телефон как звук. Путем сравнения частоты колебаний струны с частотой стабилизированного генератора центральной станции можно определить собственную частоту колебаний струны телетензометра. Определение же значения частоты колебаний струны прибора дает возможность, пользуясь вышеприведенными формулами, определить напряжение в исследуемом элементе сооружения. Предварительно только нужно определить модуль упругости бетона, для каковой цели должны быть взяты образцы. При этом для определения модуля упругости образца бетона могут с успехом быть использованы те же самые струнные приборы, что одновременно позволит автоматически ввести ряд поправок от индивидуальных особенностей приборов в определенное отношение модулей.

По данным Ленинградского института сооружений модуль упругости  $E_c$  струны в среднем может быть принят равным  $E_c = 2,1 \cdot 10^6 \text{ кг/см}^2$ .



Фиг. 52

Действительно, произведенные институтом исследования струн диаметром 0,22—0,25 мм показали, что модуль Юнга колеблется в пределах  $2,04—2,16 \times 10^6 \text{ кг/см}^2$ .

Телетензометры, применяющиеся для измерения напряжений в арматуре, в основном имеют ту же самую конструкцию, что и телетензометры для бетона. Разница здесь лишь только в том, что струна соединяется не с крестовиной, а прикрепляется к двум колкам, ввинчиваемым в арматуру. Колки, будучи жестко соединены с арматурой, при деформации последней изменяют расстояние, отделяющее их друг от друга, вызывая тем самым изменение длины натянутой между ними струны. Располагаемые таким образом колки, струна и электромагнит защищаются от бетона специальным металлическим кожухом.

Для определения давлений, испытываемых грунтом основания от веса сооружения, а также для определения давлений, испытываемых боковыми стенками сооружений от обратных засыпок, применяются струнные динамометры системы проф. Н. Н. Давиденкова, несколько переконструированные инж. В. П. Бомбчинским. Подобный динамометр представляет собой стальную жесткую цилиндрическую коробку с мембраной (фиг. 52), наглухо закрываемую верхней крышкой на резьбе.

На мембране в месте наибольшего ее прогиба под действием нагрузки приклепываются две капюли, между которыми помещается стальная струна, приводимая в колебательное движение при помощи электромагнита аналогично тому, как это осуществляется в струнном электроакустическом телетензомере.

Принцип работы динамометра чрезвычайно прост и основан

на изменении длины струны, натянутой на мембране между двумя капсулями.

Указанное изменение длины струны происходит вследствие прогиба мембраны под действием передающихся на нее нагрузок, что в свою очередь и вызывает изменение расстояния между капсулями.

Динамометр имеет большое преимущество перед телетензомером, так как он допускает тарировку, которая дает возможность исключить при пользовании динамометром индивидуальные особенности каждого прибора (упругие свойства самого динамометра, геометрические его очертания и т. д.). Действительно, помещая каждый динамометр в специальный тарировочный бак с водой, где можно получать различные давления, легко получить кривую тарировки

$$N = f(q),$$

где  $N$  — частота колебаний струны, а  $q$  — нагрузка в  $кг/см^2$ .

Наличие тарировочной кривой чрезвычайно облегчает также и обработку материалов наблюдений, так как для определения давления, испытываемого динамометром, достаточно только установить частоту колебания струны, ибо величина давления  $N$  получается немедленно по кривой

$$N = f(q).$$

Прежде чем перейти к описанию общей схемы и принципа работы центральной приемной станции, остановимся на некоторых практических указаниях, даваемых лабораторией физических методов исследования Ленинградского института сооружений.

Первое практическое указание относится к установлению наиболее рациональной длины струны.

Существо вопроса здесь заключается в том, что основная формула

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_0}}$$

не учитывает поперечную жесткость струны, в силу чего при достаточно коротких струнах указанная формула при определении напряжений может дать ощутительную ошибку. Для суждения о размерах погрешности, вносимой пренебрежением поперечной жесткостью струны, можно воспользоваться формулой Шеффера:

$$N'_n = N_n \left( 1 + \frac{E_c J}{2\sigma F} \cdot \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \right),$$

где  $N'_n$  — истинная частота собственных колебаний струны с учетом ее поперечной жесткости;  $N_n$  — частота собственных колебаний струны, определенная по формуле

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_0}}$$

для  $n$ -й гармонии (обертон);  $J$  — момент инерции струны;  $F$  — площадь поперечного сечения струны.

Как нетрудно убедиться, член  $\frac{E_c J}{2cF} \cdot \frac{\pi^2 \pi^2}{l^2}$  является поправочным коэффициентом, учитывающим поперечную жесткость струны.

Поэтому, обращаясь к рассмотрению указанного поправочного коэффициента, мы можем установить, что погрешность, вносимая пренебрежением поперечной жесткостью струны, будет возрастать с повышением гармоники  $n$ , с укорочением длины струны  $l$ , с уменьшением напряжения  $\sigma$  и с утолщением струны  $F$ <sup>1</sup>.

Исследования Ленинградского института сооружений показали, что количественное влияние пренебрежения поперечной жесткостью может характеризоваться следующими ошибками в процентах к истинному значению напряжений:

а) для струны длиной 10 см, диаметром 0,22 мм при напряжениях  $\sigma = 20$ —40 кг/см<sup>2</sup> ошибка составляет всего 0,24%;

б) для струны длиной 4 см, диаметром 0,22 мм при напряжениях  $\sigma = 15$ —25 кг/см<sup>2</sup> ошибка составляет 2%.

На основании всего сказанного и рекомендуется применять струны не короче 6 см, где ошибка в напряжениях не превышает 0,6% при пользовании формулой

$$N = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_0}},$$

не учитывающей поперечную жесткость струны. Все сказанное здесь относится исключительно к телетензомерам, так как динамометры, подвергаемые тарировке, включают влияние жесткости непосредственно в тарировочную кривую. В этом, как мы уже отмечали ранее, заключается значительное преимущество динамометров перед телетензомерами.

Второе практическое указание относится к установлению чувствительности струны. Как показали многочисленные наблюдения, точность измерения частоты колебаний струны следует принять в 1 герц, что, собственно, и будет характеризовать чувствительность струны.

Чрезвычайно интересны помещаемые в табл. 8 данные, характеризующие деформацию струн различной длины, которая (деформация) требуется для изменения частоты струны на одно колебание (на 1 герц) при начальном напряжении в 30 кг/мм.

ТАБЛИЦА 8

| Длина струны см                    | 15                  | 10                  | 6                    | 4                    |
|------------------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|
| Деформация в микронах на 1 герц    | 0,650               | 0,300               | 0,100                | 0,046                |
| Относительная деформация на 1 герц | $0,4 \cdot 10^{-5}$ | $0,3 \cdot 10^{-5}$ | $0,17 \cdot 10^{-5}$ | $0,11 \cdot 10^{-5}$ |

<sup>1</sup> Так как  $\frac{J}{F} = \frac{\pi r^4}{4\pi r^2} = \frac{r^2}{4}$ , где  $r$  — радиус поперечного сечения струны.

Ввиду того что формулы, которыми приходится пользоваться при обработке материалов наблюдений, включают в себя не абсолютные величины частот колебания струны, а разности частот, то нет особой необходимости в достижении большой точности в первоначальной настройке струны.

Третье практическое указание касается необходимости устранения температурных помех, которые могут сильно исказить показания приборов.

Так, например, струна, будучи натянута на мало теплопроводное дерево, при повышении температуры на  $10^\circ$  дает удлинение, вызывающее напряжение в  $200 \text{ кг/см}^2$ , при соответствующем температурном напряжении в дереве всего в  $10 \text{ кг/см}^2$ .

Такие явления могут иметь место вследствие того, что струна, обладая весьма малой теплоемкостью, очень быстро принимает температуру окружающего воздуха, в то время как материал, подвергающийся исследованию, имеет еще другую температуру. Поэтому на струну будет передаваться разность линейных деформаций струны и исследуемого материала или элемента сооружения, возникшая вследствие изменения температуры.

Из всего сказанного видно, насколько важно устранение температурных помех. Лучшим средством, устраняющим влияние температуры на струну, является ограждение струны от изменения температуры при помощи специальных кожухов и чехлов. Независимо от применения этих предохранительных приспособлений необходимо производить контрольные измерения температуры той среды, в которой помещен струнный прибор.

Четвертое практическое указание касается установления предельного рабочего напряжения струны во избежание образования явления «ползучести», вызывающей самопроизвольное снижение строя струны. Установлено, что указанное явление «ползучести» может иметь место в струнах, натянутых выше предела упругости, т. е. выше напряжений в  $100\text{—}120 \text{ кг/см}^2$ . В соответствии с этим рекомендуется, чтобы предельное рабочее напряжение в струне было процентов на 20 ниже предела упругости.

Следовательно, предельное рабочее напряжение струны не должно превышать  $80 \text{ кг/мм}^2$  ( $8000 \text{ кг/см}^2$ ). Это требование и должно быть учитываемо при установке струнных приборов в испытываемые элементы сооружений.

Пятое практическое указание относится к необходимости устранения в струнах так называемого «упругого последействия», стремящегося продолжить ту деформацию, которая задана струне. При удлинении струны упругое последействие снижает частоту колебания струны, поднимая частоту колебаний при ее укорочении.

В результате исследований, произведенных проф. Н. Н. Давиденковым, было установлено, что влияние упругого последействия значительно меньше в струнах, предварительно подвергнутых прогреву в натянутом состоянии. При этом прогрев

рекомендуется делать при температуре около  $100^{\circ}$  в течение 8—10 час., сокращая время прогрева до 3—4 час. при температуре в  $200^{\circ}$ .

Проф. Н. Н. Давиденковым на основании многочисленных экспериментов с прогреванием струн дана эмпирическая формула, характеризующая протекание упругого последействия

$$\Delta\sigma = A(\sigma - \sigma_0)(t^{0,23} - B),$$

где  $\Delta\sigma$  — упругое последействие, выражаемое напряжением в кг/мм<sup>2</sup>;  $\sigma$  — верхняя граница интервала напряжений;  $\sigma_0$  — нижняя граница интервала напряжений или в случае „сырых струн“ (т. е. не прогретых) нижняя граница, не вызывающая последействия;  $t$  — время в днях;  $A$  и  $B$  — постоянные коэффициенты, характеризующиеся данными табл. 9.

ТАБЛИЦА 9

| Состояние струны                 | $A$                 | $B$  |
|----------------------------------|---------------------|------|
| Сырые струны                     | $8,3 \cdot 10^{-3}$ | 0,31 |
| Прогрев с последующей нагрузкой  | $3,3 \cdot 10^{-3}$ | 0,00 |
| Прогрев с последующей разгрузкой | $4 \cdot 10^{-3}$   | 0,60 |

Опыт показывает, что прогретая, или, как ее называют, «стабилизированная», струна за первые десять дней дает погрешность около 0,70%, за сто дней 1,17% и за три года 2,0%, что свидетельствует о большой точности струнных приборов, изготовленных из стабилизированных струн, ибо вышеуказанные погрешности не выходят за практические пределы точности измерений. Тут же следует указать, что нестабилизированная струна может за полгода дать погрешность при определении напряжений в 10% и более.

Таким образом прогревание струн следует считать совершенно обязательным мероприятием при изготовлении струнных электроакустических приборов.

При этом следует иметь в виду, что во избежание потери стабилизации натянутую и стабилизированную струну не следует спускать до нуля на продолжительный срок.

Опыт показывает, что разгрузка струны не должна длиться более 30 мин., ибо только в этом случае не происходит заметной потери стабилизации. Но этот срок является вполне достаточным для установки прибора со стабилизированной струной или для натяжения струны на колки.

Центральная станция. Из всего изложенного выше по вопросу о измерении деформаций при помощи струнного метода следует, что техника измерения деформаций сводится к определению частот колебаний струны электроакустического прибора до и после возникновения или изменения деформации в изучаемой части сооружения. Главным прибором, служащим для измерения частот, является стабилизированный генератор —

частотомер. Такой генератор в соединении с усилителем, собственно, и составляют центральную станцию (пульт), с которой происходит периодическое прослушивание заложенных в сооружение струнных приборов.

Центральная станция системы и производства Ленинградского института сооружений состоит из генератора и усилителя, которые монтируются вместе и имеют питание от одного комплекта батарей в 4 и 80 в.

Генератор имеет колебательный контур, состоящий из секционированной на 28 секций катушки самоиндукции и конденсаторов — отсчетного, установочного и балластного.

Контур включен в цепь сетки генераторной лампы, в цепь анода которой помещена катушка обратной связи.

Телефон генератора включен в цепь второй лампы во избежание влияния нагрузки телефоном на частоту колебаний генератора.

Изменение частоты генератора производится переключением секций катушки самоиндукции (грубая настройка) и отсчетного конденсатора (плавная настройка).

Катушка намотана таким образом, что диапазон частот каждой секции перекрывает соседние при крайних и противоположных положениях отсчетного конденсатора.

Градуировка генератора производится по каждой клемме в отдельности для отсчетного конденсатора. По оси абсцисс отложены деления конденсаторов, по оси ординат — частоты.

Установочный конденсатор имеет назначение устанавливать генератор на присущие ему градуировочные кривые.

Градуировку генератора можно произвести с помощью простой струны диаметром 0,25—0,30 мм и длиной 12—15 см, нагружаемой грузами (разновесом) с тем, чтобы наибольшее напряжение растяжения не превзошло 80 кг/мм<sup>2</sup>, и двум камертонам, частоты которых известны.

Верхний конец такой градуировочной струны укрепляется неподвижно к стене или столу на кронштейне. Электромагнит ставится посередине струны. К нижнему концу струны должна быть прикреплена некоторая масса весом около 200 г для устранения продольных колебаний струны и поддон, нагружаемый гирьками (как на аптекарских весах). Электромагнит соединяется с выходом генератора, и струна раскачивается методом резонанса. Из-за нежесткости закрепления нижнего конца явление затягивания значительно ослабляется.

Определение зависимости частоты струны и приложенного груза производится расчетом по формуле:

$$N = A\sqrt{P+B+C},$$

где  $A$  и  $C$  — постоянные, определенные помощью камертонов;  $P$  — вес груза на поддоне;  $B$  — вес поддона и массы у струны.

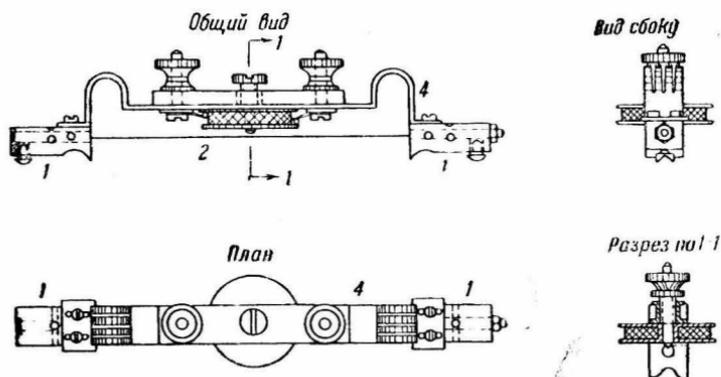
Уравнение имеет два неизвестных  $A$  и  $C$ , определяемые по двум значениям. Для этого подбирают груз так, чтобы струна получила частоту камертона, одного и затем другого.

Далее на основании этих данных составляется таблица частот в зависимости от груза  $P$  на поддоне с тем расчетом, чтобы интервал частот был порядка 10—15 колебаний.

Установив далее груз  $P$ , соответствующий искомой частоте для градуировки генератора, вращают ручку переключателя катушки самоиндукции и отсчетного конденсатора до резонанса струны.

Этому отсчету будет соответствовать данная частота. Подобная манипуляция продлевается для всех вычисленных частот и грузов, и таким способом производится градуировка всего генератора.

Если диапазона частот струны нехватает, можно перейти на вторую гармонику струны. Для этого электромагнит следует



Фиг. 53

поместить в четверти длины струны, вычислить постоянные вновь и проделать все описанное до конца.

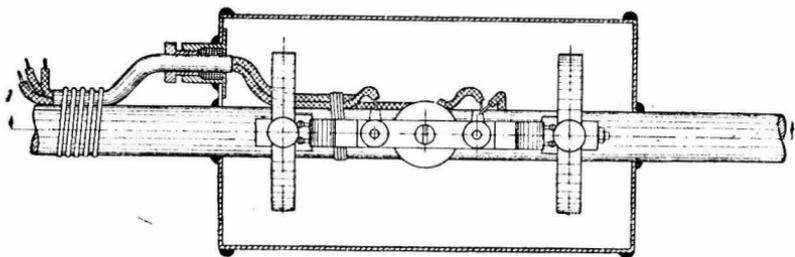
Следует следить за тем, чтобы струна не перекручивалась, так как от этого меняется ее частота.

В заключение укажем, что помимо рассмотренных выше конструкций струнных приборов в настоящее время предложено еще много новых схем, значительно повышающих качество измерений. Эти новые приборы, в принципе не отличающиеся от описанных выше, имеют ряд усовершенствований, правда, за счет некоторого усложнения конструкции. В качестве примера здесь мы приведем описание струнного прибора, сконструированного инж. М. М. Дороховым<sup>1</sup> и названного им «струнный универсальный экстензометр». При помощи этого прибора возможно измерение деформаций в металлических и деревянных конструкциях, а также в арматуре железобетонных сооружений. Согласно описанию М. М. Дорохова, которое мы ниже полностью приводим, конструкция прибора состоит из четырех основных частей (фиг. 53):

<sup>1</sup> „Гидротехническое строительство“ № 12 за 1938 г. инж. М. М. Дорохов, Струнный универсальный экстензометр.

1) Пары опорных колодочек с ножами и качающимися опорными штифтиками на упругих прокладках; ножи точно фиксируют базу прибора, а опорные штифтики на упругих прокладках не дают возможности исказить на участке между ножом и опорным штифтиком ход деформации объекта от посадки на него колодочек. Колодочки являются наиболее ответственной и дорогой деталью экстензометра.

2) Измерительной струны с постоянными ниппелями на обоих концах, составляющих со струной одно целое. Благодаря этому струну можно весьма просто и легко вынимать из прибора для осмотра, проверки, ремонта или, что наиболее существенно, замены новой иной длины для придания прибору требуемой в каждом частном случае чувствительности. Для последней цели к прибору прикладывается комплект отдельных струн разной



Фиг. 54

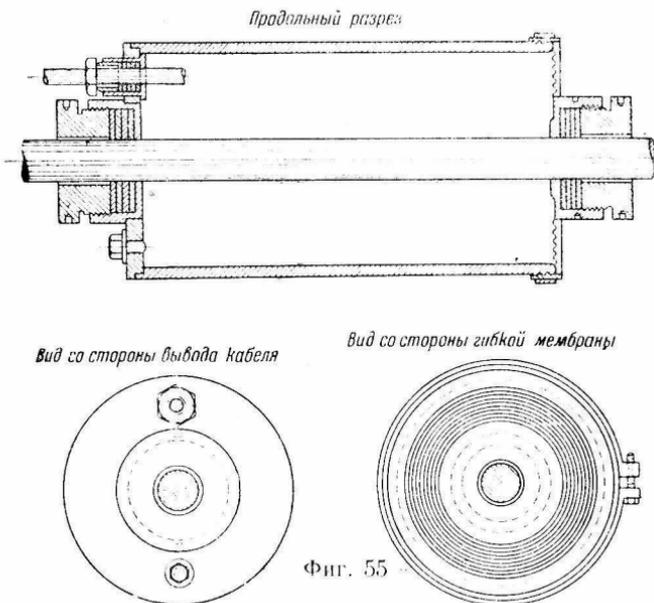
длины, именно 50, 100, 150 и 200 мм. Струны устроены так, что любую из них можно вставлять в один и тот же прибор.

3) Шаблона (на рисунке не показан) для установки прибора на любую базу. Шаблон состоит из пары планочек — дощечек, прикрепляемых сбоку к колодочкам. В нерабочее время планочки шаблона, распирая колодочки, сохраняют стабильность струны. В рабочем положении прибора шаблонные планочки снимаются. Комбинируя длину базы и длину струны, можно осуществить в приборе довольно легко и просто различные соотношения длины базы к длине струны: именно: 1, 1,5, 2, 3 и 4, и тем самым задать нужную чувствительность прибору.

4. Фасонных пружинящих планочек или держателей электромагнитного устройства. Электромагнитное устройство — регулирующееся. Электрическая катушка служит термометром сопротивления. Для разных длин баз имеются съемные фасонные планочки длиной 50, 100, 150 и 200 мм с смонтированным на них электромагнитным устройством. Выводы от катушки оканчиваются клеммами стандартного типа, сделанными из изоляционного материала. Крепление экстензометра к объекту измерения производится струбцинками.

Струнный универсальный экстензомер описанного типа относится к классу закладных приборов, устанавливаемых в бетонных сооружениях при производстве работ. Закладной измерительный прибор состоит из двух элементов: собственно экстензометра и защитного кожуха (фиг. 54).

Более целесообразная конструкция кожуха, выполняющая основные технические условия: прочность корпуса, герметичность, компенсация жесткости кожуха, упругое крепление к стержню арматуры, изоляция от сцепления с бетоном, отсутствие пайки и др., показана на фиг. 55.



## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

### МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ПОСТРОЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

#### § 1. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКАМИ БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

Перед началом наблюдений над осадками бетонных гидротехнических сооружений должны быть собраны исчерпывающие материалы и данные, характеризующие изучаемое сооружение: рабочие и вспомогательные чертежи и пояснительные записки к ним, подробные геологические данные, полученные во время постройки, акты промежуточных приемных комиссий, описание имевших место строительных аварий, календарные сроки исполнения работ и т. д.

Для наблюдения за осадками сооружения выбираются в наиболее характерных его местах контрольные точки, в которых должны быть заделаны высотные марки, по вертикальному перемещению которых и будут фиксироваться осадки сооружения.

Высотные марки, служащие для наблюдения за осадками сооружений, рекомендуется располагать по следующим схемам:

а) На бычках бетонных плотин, водосбросов и других аналогичных сооружений — по четыре

марки по краям прямоугольного сечения (фиг. 56). Если ширина бычка составляет менее 2 м, то можно ограничиться двумя точками, расположенными по оси.

б) На судоходных шлюзах — по четыре марки на каждой голове шлюза и по четыре марки на тех бетонных массивах, составляющих камеру шлюза, на которых должны вестись наблюдения за осадками. Эти марки устанавливаются в углах массивов, в расстоянии не менее 0,50 м от краев (фиг. 57).

в) На устоях плотин, водосбросов и других аналогичных сооружений — по четыре марки в углах устоя, в расстоянии не менее 0,50 м от наружной грани устоя (фиг. 58). Расположение марок в бетонных массивах в указанных местах имеет целью определение как величины осадки всего сооружения в целом, так и неравномерности осадки его контура.

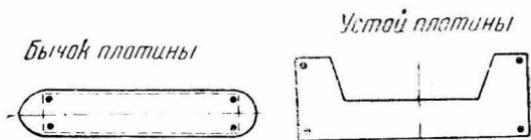
г) В донных водоспусках, устраиваемых в теле земляных плотин, высотные марки заделываются в каждом звене трубы, по ее концам, на расстоянии 0,22 м от края.

Марки закладываются в середине свода трубы (фиг. 59) внутри ее.

д) Для наблюдения осадок мостовых устоев и бычков схема расположения высотных марок аналогична вышеприведенным схемам, но с учетом специфической особенности данной категории сооружений (наличие верхнего строения, сложность устройства постоянных реперов на подходах и т. д.), имея в виду, главным образом, создание наиболее удобных условий для производства нивелирования.

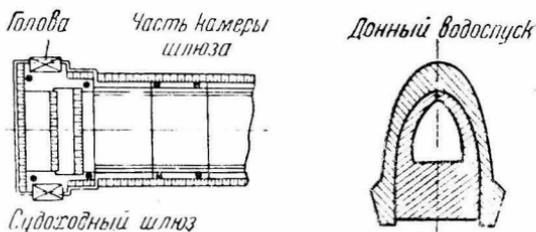
Наблюдения за осадками сооружения должны заключаться в повторных нивелировках, точных (прецизионных), связывающих высотные марки, заделанные в сооружении, с исходным нивелирным репером, заложенным вблизи сооружения, в естественном (не насыпном) грунте.

Исходный репер при сооружении должен быть расположен таким образом, чтобы с него можно было наблюдать каждую высотную марку непосредственно с одной точки стояния инструмента, без промежуточных точек, соблюдая, по возможности, равенство расстояний от реск, из которых одна помещается на репере, а другая на высотной марке.



Фиг. 56

Фиг. 58



Фиг. 57

Фиг. 59

В необходимых случаях между исходным репером и высотными марками допускаются промежуточные точки стоянки инструмента, причем связующие точки устраиваются как постоянные и положение их отмечается на схеме высотных марок.

При наблюдениях высотных марок на сооружениях большого протяжения и размеров или же на сооружениях, имеющих такие конструкции, которые затрудняют производство нивелирных работ, можно допускать установку двух и более исходных реперов (например, по одному реперу на каждом берегу водохранилища).

Исходные реперы должны быть связаны двухсторонней точной нивелировкой с ближайшим вековым репером.

При нивелировке марок, заложенных в вертикальной стенке сооружения, желательно возможно более широкое применение подвесной нивелирной рейки (длиной в 1 м), для подвешивания которой в выступающей части марки должно быть особое приспособление.

Как уже выше указывалось, для наблюдения за осадками сооружения в процессе его возведения служат высотные марки на пьезометрах. Эти совмещенные с пьезометрическим устройством высотные знаки называются «глубинными марками». Они служат для:

- а) определения фактического размера бетонной кладки;
- б) определения перекоса сооружения по различной величине осадок его частей;
- в) определения осадки основания сооружения.

Глубинной маркой является металлический болт, пропущенный через трубу пьезометра с навинченными на концы его гайками. Выступающие части болта связываются точной нивелировкой с исходным репером при сооружении. Болт закладывается в первое, нижнее, звено трубы пьезометра. Нивелировка производится после того, как часть трубы примерно на 20 см уже забетонирована и прочно схватилась с бетоном.

По мере хода бетонной кладки и наращивания трубы пьезометра отметка глубинной марки должна переноситься выше.

Верхняя часть пьезометра и глубинная марка, выведенные в незатопляемую часть сооружения, помещаются в небольшой квадратной шахте шириной 0,4 м и такой же глубины. Выступающая часть трубы, верхний срез которой является вынесенной глубинной маркой, над полом шахты возвышается на 0,2 м. Труба завинчивается металлической крышкой, открываемой при помощи особого ключа.

Измерение осадки сооружения по глубинным маркам рекомендуется производить следующим образом. После установки первого звена трубы пьезометра при помощи специально для этой цели предназначенного и описанного выше электроконтактного прибора, опускаемого на стальной ленте, определяется положение марки по отношению к срезу трубы, на которой при нивелировке будет устанавливаться рейка. Этот срез предварительно должен быть тщательно выравнен напильником по

уровню. Отсчеты по ленте электроконтактного прибора при помощи штангенциркуля должны производиться с точностью до 0,5 мм.

Имея данные о высотном положении глубинной марки по отношению к отметке основания сооружения (из акта заложения марки), зная расстояния марки от верхнего среза трубы и произведя нивелировку среза трубы, можно определить абсолютную отметку основания сооружения.

При наращивании колена пьезометрической трубы должна определяться отметка среза второй трубы или при помощи нового измерения электроконтактным прибором или путем непосредственного измерения вновь наращенного отрезка трубы. В последнем случае необходимо предварительно на первой трубе в расстоянии 20 см ниже ее верхнего конца сделать напильником нарезку, вычислить абсолютную отметку этой нарезки и измерить расстояние от нарезки до среза новой трубы.

При отсутствии электроконтактного прибора измерение расстояния глубинной марки от среза трубы может быть произведено также при помощи специального деревянного футштока, допуская при этом точность измерения не ниже 0,5 мм. Для этой цели футшток опускают внутрь трубы до болта и на нем при помощи острого ножа наносят черту, соответствующую срезу трубы. Затем футшток вынимают на поверхность и при помощи стальной линейки или штангенциркуля измеряют его длину от конца до отмеченной ножом черты.

После закладки высотных марок производится точная (прецизионная) нивелировка всей системы высотных марок и реперов от ближайшего основного векового репера. По окончании нивелировки составляется акт, фиксирующий начало систематических наблюдений. К акту должна быть приложена схема расположения высотных марок, исходных реперов, промежуточных точек с указанием их абсолютных отметок.

К нивелировке марок и реперов следует приступать не ранее, как по прошествии суток с момента их закладки, чтобы дать возможность марке прочно схватиться с бетоном.

При производстве первичной нивелировки необходимо нивелировать поверхность бетона сооружения, на которой устанавливаются марки, с целью выяснения высоты марки по отношению к поверхности бетона.

Для периодической проверки исходных реперов, от которых ведутся наблюдения за осадками сооружений, не менее чем четыре раза в год (раз в сезон) должна производиться точная (прецизионная) нивелировка от основного (векового) репера.

Как уже выше указывалось, наблюдения над осадками законченных сооружений должны производиться при помощи точного нивелирования высотных марок. Нивелировка этих марок должна производиться раз в месяц.

Наблюдения же за осадкой сооружения в процессе его возведения должны вестись посредством технической нивелировки не реже двух раз в месяц. При этом кроме

нивелировки марки или среза пьезометрической трубы каждый раз должна нивелироваться также высота вновь уложенного слоя бетона.

Производство наблюдений за осадкой сооружения по высотным маркам, закладываемым в стенках сооружения, должно начинаться после распалубки нижних частей сооружения.

При наличии толстых блоков основания (например, днище шлюза) одновременно с кладкой бетона в последний заделывается штырь, который должен выступать за стенку опалубки на 2 см. В целях предохранения штыря — марки от повреждения в опалубке должна делаться вырезка с тем, чтобы опалубка не касалась марки.

При засыпке основания сооружения грунтом отметка марки, заложенной в основание, должна переноситься вверх на новую марку, закладываемую на высоте, допускающей нивелирование, по возможности, с одной точки стояния инструмента.

Для того чтобы осадка основания сооружения была выражена в абсолютных отметках, необходимо:

а) в тех случаях, когда наблюдения за осадкой сооружения ведутся по маркам, заложенным в стенках или в цокле, нужно иметь абсолютную отметку заложения основания сооружения и условно считать осадку сооружения от этой отметки, пренебрегая величиной осадки, происшедшей за время от начала работ до распалубки (начала наблюдений).

б) В тех случаях, когда наблюдения ведутся по маркам, заложенным в основание, то абсолютные отметки марок должны браться из актов, составленных при закладке указанных марок.

При нивелировке, связывающей высотные марки с исходными реперами, помимо общих требований специальной инструкции для точной нивелировки необходимо соблюдение следующих условий:

а) Следует тщательно регулировать инструмент, особенно в отношении параллельности оси уровня и оси трубы, добиваясь, чтобы угол между этими осями не превышал  $10''$ .

б) Определение  $ktg\ i$  следует выполнять ежедневно два раза (утром и вечером). Поправки на  $ktg\ i$  должны вычисляться для каждого штатива, несимметрия которого превышает допускаемые пределы.

в) Должно учитывать длину реек и их изменение, а также необходимо вводить поправки за разность высот нулей реек. Складные рейки при нивелировке ни под каким видом не должны допускаться.

г) Желательно возможно более широкое применение подвесной рейки при нивелировании марок, заложенных в вертикальных стенках сооружений и при наблюдениях за осадкой донных водоспусков, где марки обычно заделываются в свод трубы.

д) Нивелирование следует производить во время спокойных изображений, избегая случаев прохождения визирного луча вблизи земной поверхности (не ниже 0,5 м).

е) Необходимо отмечать в полевом журнале условия полевой работы и зарисовывать взаимное положение высотных марок и исходных реперов.

ж) Расхождение между прямым и обратным ходами допускается  $\Delta h = \pm 1,4 \text{ мм} \sqrt{n}$ , а невязка ординарного хода или замкнутого полигона допускается  $\Delta h = \pm 1 \text{ мм} \sqrt{n}$ , где  $n$ —число штативов.

з) По окончании обработки полевых измерений должны составляться ведомости по наблюдению за осадками по прилагаемым ниже формам № 1 и 2.

ФОРМА 1

**СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ**  
по наблюдению за осадками (название сооружения)

| Месяц и число | № высотных марок | Абсолютная отметка марок в м | Примечание |
|---------------|------------------|------------------------------|------------|
|               |                  |                              |            |

ФОРМА 2

**СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ**  
по наблюдению за осадками (название сооружения) в процессе его возведения

| Месяц и число | № высотных марок | Абсолютная отметка марок в м | Абсолютная отметка поверхности бетонной кладки сооружений | Примечание |
|---------------|------------------|------------------------------|---|------------|
|               |                  |                              |   |            |

## § 2. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКАМИ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ДАМБ

Прежде чем приступить к наблюдениям за осадками земляной плотины или дамбы, нужно собрать и просистематизировать все материалы, характеризующие данное сооружение.

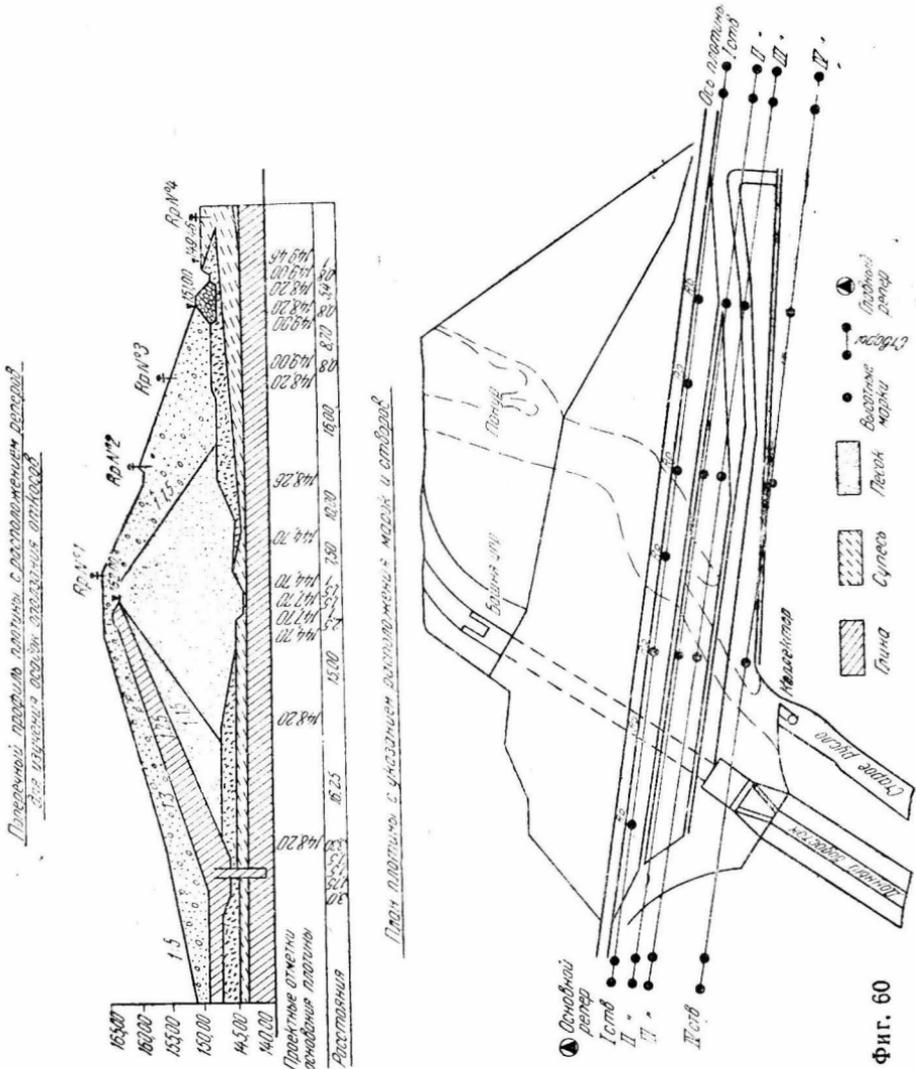
Таковыми материалами являются: исполнительный чертеж сооружения, подробные геологические профили основания, механические анализы грунтов тела плотины и основания, данные о коэффициентах фильтрации, о порозности и объемном весе этих грунтов, данные о характере уплотнений, произведенных при отсыпке плотины, акты о деформациях, происшедших в процессе строительства и другие аналогичные материалы, относящиеся к рассматриваемому сооружению.

На основании анализа указанного материала на рабочем чертеже должна быть нанесена сеть высотных реперов, которые могут располагаться, например, следующим образом:

а) Для наблюдения продольной осадки плотины по бровке сухого откоса на расстоянии 50—75 м друг от друга.

б) Для наблюдения осадки откосов плотины, не менее как на трех поперечниках, соответствующих наиболее характерным местам плотины (обычно в местах наибольшей ее высоты).

Указанные реперы должны устанавливаться лишь по сухому откосу на расстоянии не более 15 м друг от друга. При этом ре-



Фиг. 60

перы должны располагаться таким образом, чтобы они как в продольном направлении по оси плотины, так и в поперечном направлении были размещены по прямым линиям (по створам).

в) Для наблюдений за выпиранием грунта ниже плотины должно быть установлено не менее трех реперов на расстоянии 5—10 м от низового откоса.

г) Для наблюдений за оползанием откосов могут быть использованы те же самые реперы, которые служат для наблюдений за осадкой откосов плотины, причем для этой цели должны быть установлены на обоих берегах водохранилища закрепительные знаки, фиксирующие продольные створы поставленных реперов. Визированием теодолитом по этим створам может фиксироваться смещение отдельных реперов при оползании откоса, а при помощи непосредственных замеров от створной линии до места нового положения репера может определяться и величина оползания.

После того как вся сеть высотных знаков намечена на рабочем чертеже, при помощи теодолита и стальной ленты сеть разбивается в натуре и закладываются реперы (обрезки круглого железа, газовых труб или деревянные сваи).

Определение отметок реперов должно производиться при помощи технического нивелирования замкнутым ходом между исходными (рабочими) реперами, устанавливаемыми по оси плотины с обеих сторон водохранилища. Нивелирование должно производиться или при двух горизонтах инструмента или по двум сторонам рейки.

Если исходные (рабочие) реперы имеют отметки только технического нивелирования, то они сами должны проверяться от основного (векового) репера не менее четырех раз в год (раз в сезон) при помощи точного или повышенной точности нивелирования.

После того как произведено устройство всех реперов и сделана первоначальная нивелировка их, составляется акт, который определяет начало правильной постановки наблюдений. К акту должна быть приложена схема всех устройств и первоначальные отметки установленных реперов (фиг. 60).

Наблюдения над осадками земляных плотин и дамб должны сводиться к нивелированию всех высотных знаков, установленных для этой цели, через каждые 15 дней. По мере уменьшения абсолютных величин осадок период между отдельными нивелировками может удлиниться до 30 дней и более.

Точность нивелировки может соответствовать 4-му разряду с предельной невязкой  $\pm 0,002 \sqrt{2n}$ , где  $n$  — число стоянок.

Результаты нивелировок заносятся в сводную ведомость наблюдений за осадками плотины (форма № 3).

ФОРМА 3

**СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ**  
наблюдения за осадками плотины . . . . .

| Месяц и число | № створа и репера | Отметки реперов в м | Примечание |
|---------------|-------------------|---------------------|------------|
|               |                   |                     |            |

Переходя теперь к вопросу о наблюдениях за осадками оснований земляных плотин при помощи описанных выше глубинных марок, укажем, что наблюдения за осадками основания плотины должны заключаться в нивелировании один раз в месяц внутреннего металлического стержня, поставленного на поверхность бетонной плиты. Нивелировка, при этом, должна производиться от исходного (рабочего) репера, заложенного вблизи сооружения.

В том случае, когда отверстие обсадной трубы недостаточно широко для того, чтобы можно было в нее опустить нивелировочную рейку и поставить непосредственно на конец внутреннего стержня, то сначала нивелируется срез трубы и затем при помощи стального масштаба с точностью до 0,5 мм отсчитывают расстояние среза трубы до головки внутреннего стержня и, таким образом, находят высотное положение стержня. Если внутренний стержень исполняется из газовой трубы, то головка, вставляемая внутрь трубы (стержня), делается из латуни с таким расчетом, чтобы она плотно своими краями ложилась на срез газовой трубы.

Отметка исходного репера должна проверяться один раз в сезон, т. е. четыре раза в год от ближайшего векового репера.

Так как на длину внутреннего стержня влияет температура окружающей среды, то при наблюдениях необходимо замерять температуру воздуха около средней части стержня (трубы). Для указанной цели применяется максимальный термометр, спускаемый в обсадную трубу на шнурке. Показание температуры берется среднее из нескольких наблюдений.

Так как глубинные марки показывают только осадку основания плотины, то для определения величины «дополнительного уплотнения» тела плотины необходимо вблизи обсадной трубы, на расстоянии 1 м, установить высотный знак, который устраивается из обрезка газовой трубы длиной до 2,5 м.

Нивелировка вышеуказанного высотного знака производится одновременно с нивелировкой стержня, т. е. один раз в месяц.

Высотное изменение положения этого высотного знака дает суммарную величину осадки основания плотины и «дополнительного уплотнения», поэтому величину дополнительного уплотнения можно легко определить путем вычитания из общей величины осадки высотного знака — величины осадки основания, измеренной по глубинной марке.

После того как окончена установка глубинной марки, поставлен рядом высотный знак и произведена первоначальная нивелировка, составляется акт, который фиксирует начало постановки наблюдений. К акту обязательно должна быть приложена исполнительная схема устройства высотной марки.

Результаты периодически произведенных наблюдений над осадками после обработки нивелировочных данных заносятся в соответствующие ведомости (форма № 4).

## ВЕДОМОСТЬ

результатов наблюдений над осадками глубинных марок, заложенных в основание  
земляной плотины . . . . . 193 . . г.

| Дата наблюдений | Место расположения и № глубинной марки | Отметка головки стержня в абсолютных отметках в м | Отметка среза обсадной трубы в абсолютных отметках в м | Температура воздуха в обсадной трубе | Отметка высотного знака, установленного у обсадной трубы в абсолютных отметках в м | Примечание |
|-----------------|--|---|--|--------------------------------------|--|------------|
|                 |  |   |  |                                      |  |            |

### § 3. МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОЛОЖЕНИЕМ КРИВОЙ ДЕПРЕССИИ В ТЕЛЕ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН И ЗА ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ В БЕТОННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

Как уже выше указывалось, устройство пьезометров в теле земляных плотин и дамб имеет большое практическое и научное значение, так как только при помощи их можно вести наблюдения за положением кривой депрессии в теле плотины в различные периоды ее эксплуатации.

Пьезометры в теле плотины должны располагаться в наиболее ответственных и характерных профилях, например: в поперечниках с наибольшим напором воды верхнего бьефа, на поперечниках, проходящих вдоль перекрываемого плотиной старого русла реки, по оси и сторонам донных водоспусков, а также в других характерных частях плотины, где необходимо осуществлять тщательный контроль как за стоянием высоты горизонта фильтрационного потока, а также и за работой понура, экрана обратного фильтра и других элементов земляной плотины.

Количество пьезометрических скважин должно устанавливаться с таким расчетом, чтобы можно было получить на профилях кривую депрессии (т. е. обеспечить получение данных о состоянии уровня воды в теле плотины не менее чем в трех точках до обратного фильтра в низовом откосе и одной точки за обратным фильтром).

Глубину заложения пьезометров рекомендуется брать с таким расчетом, чтобы концы пьезометрических труб были ниже на 1 м подошвы обратного фильтра, и во всяком случае конец пьезометра должен быть доведен до основания тела плотины.

Глубина заложения пьезометров, устанавливаемых над обратным фильтром, доводится до верха обратного фильтра.

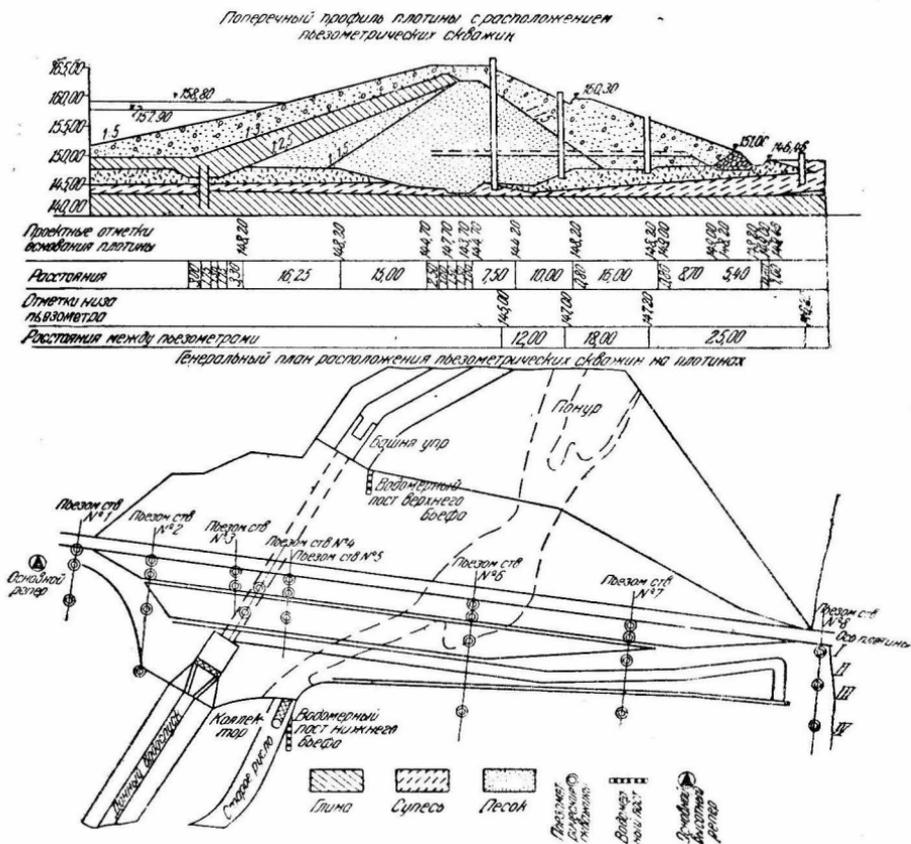
В особых случаях, как, например, при расположении пьезометров в районе старых русел, служащих естественными дренами, глубина заложения пьезометров должна доводиться до водоносных слоев.

Глубина заложения пьезометров, устраиваемых в берегах водохранилищ с целью изучения фильтрации в обход сооружений, должна назначаться в соответствии с общими гидрогеологическими условиями.

На приводимой фиг. 61 дана типовая схема размещения пьезометров в земляной плотине.

После того как составлен проект расположения сети пьезометров и даны отметки глубины их заложения, производится разбивка их в натуре (при помощи теодолита с точностью до 2 см в плане).

Для заложения пьезометрических труб предварительно бу-



Фиг. 61

рится скважина диаметром не менее 0,16 м, куда и закладываются пьезометры, представляющие собой трубу меньшего диаметра.

При производстве бурения попутно должны браться образцы грунтов для следующих целей:

а) Для составления детального геологического профиля. При этом необходимо с особой точностью (до 10 см) и тщательностью установить путем точного промера при бурении пьезометрической скважины границу между естественным грунтом, на котором возведена плотина, и насыпью тела плотины. Эти данные

нужны для определения осадки основания плотины и «дополнительного уплотнения».

б) Для определения влажности, объемного веса и уплотнения грунта берутся по три образца через каждые 2—3 м в зависимости от глубины скважины. Определение влажности и объемного веса должно производиться на месте.

в) Для получения коэффициента фильтрации, гранулометрического состава и угла естественного откоса образцы должны браться по крайней мере в двух точках, расположенных на  $\frac{1}{3}$  и  $\frac{2}{3}$  ожидаемой глубины фильтрационного потока, а также снизу скважин, входящих в естественный грунт основания плотины. Образцы берутся из скважин, расположенных по гребню плотины, и из двух скважин, расположенных по откосу. По условиям дальнейших лабораторных исследований вес одного образца должен быть около 4 кг.

При размещении пьезометров, служащих для определения противодавлений в бетонных сооружениях, нужно стремиться к тому, чтобы пьезометрами были охвачены наиболее характерные точки эпюры противодавления. При этом в первую очередь должна быть освещена при помощи пьезометрических наблюдений эффективность работы шпунтов, зубьев и фильтров (разгружающих устройств). Поэтому число пьезометрических точек в бетонных сооружениях должно определяться в зависимости от конструктивных особенностей подземного контура. Но во всяком случае число пьезометров не должно быть менее трех. Конечно, при установке пьезометров должны быть собраны и получены исчерпывающие данные о коэффициентах фильтрации грунтов основания. Заканчивая на этом вопрос о размещении пьезометров в земляных плотинах и бетонных сооружениях, перейдем к изложению методов измерения уровней воды в пьезометрических скважинах.

Наблюдения над горизонтами воды в пьезометрах входят в состав наблюдений над фильтрацией через земляные плотины или под основанием бетонных сооружений. В последнем случае наблюдения над горизонтами воды в пьезометрах дают возможность судить и о противодавлении воды в основании сооружения.

В общий комплекс наблюдений над движением фильтрационного потока входит:

- а) наблюдение за колебанием уровня воды в верхнем и нижнем бьефах сооружения;
- б) наблюдения за горизонтами воды в пьезометрах, расположенных в теле гидротехнических сооружений;
- в) наблюдения за температурным режимом воды в скважинах и бьефах.

#### **А. Наблюдения за уровнем воды в бьефах**

Наблюдения над горизонтами воды в верхнем и нижнем бьефах сооружения должны производиться ежедневно, в определенно установленные утренние часы и обязательно перед

началом наблюдений за горизонтами воды в пьезометрических скважинах.

Для измерения уровня воды в бьефах должны быть установлены надежные свайные или реечные водомерные посты.

Так как целью устройства этих водомерных постов является установление связи между режимом грунтовых и поверхностных вод, то посты необходимо располагать ближе к створам пьезометров.

Проверка отметок «нулей» водомерных постов должна производиться не реже чем один раз в сезон (т. е. четыре раза в год).

В тех случаях, когда рейки наглухо закреплены в бетонные части сооружения, поправка нуля рейки должна вводиться в зависимости от осадки самого сооружения.

Сведения о состоянии уровня воды должны вписываться в полевую книгу, например, следующей формы (форма № 5):

ФОРМА 5

| Число и<br>месяц | Часы | Абсолютная отметка горизонта воды<br>в м |             | Примечание<br>(состояние погоды<br>и пр.) |
|------------------|------|--|-------------|---|
|                  |      | Верхний бьеф                             | Нижний бьеф |   |
| 1                | 2    | 3  | 4           | 5   |
|                  |      |  |             |   |

## Б. Измерение уровня воды в пьезометрах, устраиваемых в теле земляных плотин и дамб

В период наполнения водохранилища наблюдения за уровнем воды в пьезометрах, устраиваемых в теле земляных плотин, должны производиться ежедневно в утренние часы, устанавливаемые в зависимости от времени года. В летнее время (более светлое) — начиная с 7 час., в зимнее — с 9 час.

В период установившегося режима горизонтов воды в верхнем бьефе и фильтрационного потока в теле плотины наблюдения можно вести через одни сутки, а также и через более длительные периоды.

Обход пунктов наблюдений и производство в них замеров следует всегда производить в одинаковой последовательности с тем, чтобы сроки наблюдений для каждого пьезометра были одни и те же.

Измерения уровня воды в пьезометрах целесообразнее всего производить при помощи лотов-свистков, спускаемых в скважину на стальной ленте при помощи специальной лебедки, или в случаях, где требуется повышенная точность, при помощи электроконтактных приборов, описанных выше.

Во избежание нарушения единой методики наблюдений и

точности никакими другими приборами, понижающими точность наблюдений, пользоваться не следует.

Как уже ранее подробно указывалось, прибор лот-свисток, применяющийся для замеров, представляет собой полый цилиндр, открытый снизу и имеющий в верхней части свисток.

При ударе нижней поверхности цилиндра о поверхность воды, воздух из цилиндра вытесняется и, проходя через свисток, издает звук. С наружной стороны цилиндр имеет кольцевые желобки (тарелочные), расположенные на расстоянии 1 см друг от друга. Тарелочки служат для определения глубины спуска свистка в воду при производстве замеров уровня.

После того как наблюдателем услышан звук свистка, прибор опускается еще на 1—2 см и замеряется длина выпущенной ленты от края пьезометра. Высота горизонта в пьезометре определяется следующим образом: берется длина опущенной стальной ленты от среза трубы и к ней прибавляется расстояние от нуля ленты до низа прибора и из этой суммы вычитается длина заглубленной в воду части прибора — свистка.

При измерении горизонта воды в скважинах лотком-свистком должны вноситься поправки на повышение уровня воды в трубе в зависимости от степени погружения прибора. Указанные поправки определяются для каждого диаметра трубы и вносятся, начиная от 0,5 см. Поправка прибавляется к сделанному отсчету по ленте.

Каждое определение стояния уровня грунтовых вод в пьезометрических скважинах должно производиться путем двукратного замера, причем в случае расхождения при измерениях лотом-свистком более чем 2 см, а электроконтактным прибором — 0,5 см замеры должны повторяться.

Применяемые для спуска измерительных приборов стальные ленты должны подвергаться периодической проверке по стальной линейке (типа Женевской), причем поправки должны вводиться при составлении (в конторе) сводных ведомостей. В конторе должен вестись журнал проверки ленты, где должна указываться дата их проверок.

Так как положение уровня воды в пьезометрических скважинах устанавливается относительно среза трубы, то все пьезометрические трубы должны быть точно занивелированы и привязаны к основному реперу.

До окончательной заделки пьезометров ввиду возможной осадки пьезометрических труб должна производиться не реже 1—2 раз в месяц периодическая проверка превышения трубы над телом плотины по реперам (круглое железо или отрезки труб), забиваемым на глубину 1,5 м в теле плотины около пьезометра.

Изменения высоты среза труб должны фиксироваться в рабочем журнале, и в конторе должна вноситься соответствующая поправка.

Наблюдатели должны следить за исправным состоянием пьезометров и, в случае обнаружения повреждений каких-либо

частей, снятия посторонними лицами крышек, засорения труб и т. д. должны это отмечать в рабочем журнале и немедленно доносить руководителю наблюдений, который обязан немедленно принимать меры к устранению обнаруженных дефектов.

Результаты наблюдений за состоянием горизонта воды в пьезометрах заносятся в соответствующем журнале (форма № 6).

ФОРМА 6

Наблюдения за горизонтами воды в скважине № . . . . .  
 . . . . . 193 г.

Отметка среза пьезометрической трубы 540,00 м

| Число и месяц | Измерение глубины скважины от среза трубы до низа прибора |                 |                      | Величина погружения прибора в воду с введенной поправкой на вытеснение воды в м | Расстояние от среза трубы до горизонта воды (4-5) в м | Абсолютная отметка горизонта воды в скважине в м | Примечание |
|---------------|---|-----------------|----------------------|---|---|--|------------|
|               | 1 измерение в м   | 2 измерение в м | Среднее значение в м |   |   |  |            |
| 1             | 2   | 3               | 4                    | 5   | 6   | 7  | 8          |
|               |   |                 |                      |   |   |  |            |

### В. Измерение уровня воды в пьезометрах, закладываемых в бетонных сооружениях

В процессе наполнения верхнего бьефа наблюдения за уровнем воды в пьезометрах, закладываемых в бетонных плотинах, водосбросах и других водоподпорных бетонных сооружениях, должны производиться через день.

В период же установившихся горизонтов верхнего бьефа, а также после истечения испытательного периода, сроки наблюдений могут быть изменяемы. Иногда вполне достаточным может быть измерение горизонтов один раз в 5—10 и более суток. Сама же техника измерений остается аналогичной технике и методике измерений, применяемым при измерении уровней в пьезометрах земляных плотин.

### Г. Измерения температуры воды в бьефах сооружений и в пьезометрах

Наблюдения за температурой воды в пьезометрах, заложенных в теле земляных плотин, должны производиться одновременно с наблюдениями над уровнем воды в них. При этом нет надобности вести температурные наблюдения во всех пьезометрах, в силу чего такие наблюдения следует вести только на наиболее характерных поперечниках, выбранных в наиболее характерных местах сооружения. Температурные наблюдения вполне достаточно производить два раза в месяц.

Одновременно с производством наблюдений за температурой воды в пьезометрах должны также производиться измерения температуры воды в верхнем и нижнем бьефах. Кроме того, дол-

жны использоваться наблюдения за температурой воздуха и барометрическими давлениями по данным ближайших метеорологических станций.

Для измерения температуры воды могут употребляться обычные термометры в металлической оправе, имеющей расширение в нижней части. Расширение имеет форму цилиндра с отверстиями в верхней части для доступа воды. При вытаскивании термометра из воды цилиндр остается наполненным водой, что препятствует быстрому изменению показаний термометра на воздухе во время отсчета (фиг. 62).

При измерении температуры необходимо следить, чтобы конец ртутного термометра (ртутный шарик) находился строго в центре металлического цилиндра. Для этой цели стеклянный термометр внутри металлической оправы закрепляется резиновым кольцом.

Результаты наблюдений за температурой воды должны заноситься в специальный журнал (форма № 7).

#### § 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННОГО РАСХОДА, ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ ЗЕМЛЯНЫЕ ПЛОТИНЫ

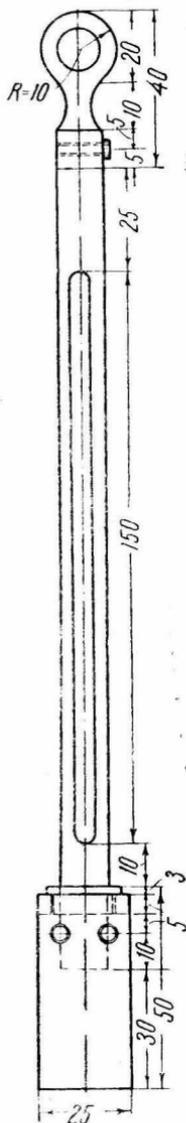
Определение расхода воды, проходящей через тело плотины, обычно производится путем замера расхода воды в отдельных коллекторах, заложенных в дренажной системе плотины.

Расход фильтрующейся воды может быть замерен: в случае малой его величины объемным способом, а при большом расходе водосливами Томсона и др.

При измерении фильтрационного расхода объемным способом вода, протекающая по коллектору, должна направляться в мерный сосуд по желобу или отводной трубе.

Подставив под нижний конец трубы или желоба мерный сосуд и заметив время его напол-

Оправка для термометра



Фиг. 62

#### ЖУРНАЛ

наблюдений за температурой воды в пьезометрических скважинах и в бьефах гидротехнических сооружений

| Число<br>в месяц | Часы | № пьезометров или<br>наименование бьефов | Темпера-<br>тура<br>в °С | Примечание<br>(состояние погоды<br>и пр.) |
|------------------|------|--|--------------------------|---|
| 1                | 2    | 3  | 4                        | 5   |
|                  |      |  |                          |   |
|                  |      |  |                          |   |
|                  |      |  |                          |   |
|                  |      |  |                          |   |

нения, определяют расход воды. Запись полученных результатов должна вестись в соответствующем журнале (форма № 8).

При измерении расхода воды водосливом последний должен устанавливаться в отводящем канале, идущем от коллектора, по возможности, на прямолинейном участке.

Для определения расхода воды нужно замерить толщину струи воды (напор) над отверстием водослива. Для определения толщины струи устраивается водомерная рейка несколько выше водослива по течению (не менее 5 Н, где Н — толщина струи), по которой и должен браться отсчет.

ФОРМА 8

Ж У Р Н А Л

измеренного фильтрационного расхода . . . . .  
(название сооружения)

за . . . . . месяц 193 г.

| Место наблюдений | Время наблюдения в час. | Замеры расходов воды мерным сосудом |              |                 | Замеры расходов воды водосливом    |                      |                  | Отметки горизонта |               | Примечание (указание о состоянии погоды и пр.) |
|------------------|-------------------------|-------------------------------------|--------------|-----------------|------------------------------------|----------------------|------------------|-------------------|---------------|--|
|                  |                         | Время заполнения в сек.             | Объем сосуда | Расход в л/сек. | Высота струи над порогом водослива | Расход воды в л/сек. | Температура в °С | Верхнего бьефа    | Нижнего бьефа |  |
| 1                | 2                       | 3                                   | 4            | 5               | 6                                  | 7                    | 8                | 9                 | 10            | 11   |
|                  |                         |                                     |              |                 |                                    |                      |                  |                   |               |  |

Нуль рейки при этом устанавливается точно по нивелиру на одной высоте с порогом (нулем водослива). В дальнейшем периодическая проверка путем нивелировки нуля рейки и порога водослива производится не реже одного раза в месяц.

По толщине струи, протекающей над порогом выреза, может быть легко определен расход воды, проходящий через водослив. Для этого можно пользоваться или предварительно составленной тарировочной кривой, указывающей зависимость между расходами воды и напором на водосливе, или имеющимися эмпирическими формулами.

Например, расход воды через водослив Томсона может быть определен по формуле

$$Q = C\sqrt{H^3},$$

где Н — толщина струи; С — коэффициент, который в среднем может быть принят равным 1,40.

Определение расходов воды рекомендуется производить в следующие сроки: по рейке водослива ежедневно объемным способом один раз в декаду.

Все сказанное выше относилось к определению общего фильтрационного расхода, проходящего через всю плотину.

Для наблюдения же фильтрационного расхода в определенном сосредоточенно фильтрующем месте плотины или при выходе воды на поверхность ниже плотины (отдельные очаги фильтрации) рассматриваемый участок плотины должен выделяться, очаги фильтрации должны расширяться и затем вода должна отводиться для измерения расхода воды при помощи мерного сосуда или водослива.

При этом нужно иметь в виду, что при обнаружении очагов фильтрации последние должны быть отмечены на плане и на поперечном профиле сооружения, с указанием даты их появления и точного местонахождения, причем об этом должно быть в тот же день сообщено ответственному руководителю исследований, а также эксплуатационному персоналу.

Наблюдения за обнаруженными очагами фильтрации должны сводиться к фиксированию их деятельности (усиление или уменьшение фильтрации). Форма записи наблюдений за очагами фильтрации может быть предложена следующая (форма № 9).

ФОРМА 9

**Ж У Р Н А Л**  
наблюдений за деятельностью очагов фильтрации  
.....  
(название сооружения)

за ..... м-ц 193 г.

| Месяц и число обнаружения очагов | Место обнаружения очага | Описание деятельности очагов фильтрации | Расход воды в л/сек | Отметки горизонтов |                   | Примечание (время прекращения деятельности очагов фильтрации и появления вновь и пр.) |
|----------------------------------|-------------------------|---|---------------------|--------------------|-------------------|---|
|                                  |                         |   |                     | Верхнего бьефа в м | Нижнего бьефа в м |   |
| 1                                | 2                       | 3                                       | 4                   | 5                  | 6                 | 7   |
|                                  |                         |   |                     |                    |                   |   |

Наблюдения над расходами воды, фильтрующимися через очаги фильтрации, должны производиться раз в сутки, а при установившемся режиме фильтрационного потока через двое суток. Но в случае значительной фильтрации и появления очагов фильтрации в ответственных частях сооружения наблюдения должны вестись несколько раз в сутки.

Всякий раз при наблюдениях над фильтрационными расходами воды должны быть замерены горизонты воды верхнего и нижнего бьефов.

Кроме того, должны производиться измерения температуры воды верхнего и нижнего бьефов и температуры воды фильтрационного потока. Эти наблюдения достаточно производить один раз в пять дней.

## § 5. СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ В ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИНАХ И В ПРОНИЦАЕМЫХ ОСНОВАНИЯХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Наиболее надежным способом определения скоростей фильтрации в теле земляных плотин и в проницаемых основаниях бетонных гидротехнических сооружений являются химические и электролитические методы измерений. Основная идея этих методов заключается в том, что в одни скважины (загрузочные) впускается индикатор (краска, различные электролиты), а в других скважинах (наблюдательных) определяется время появления данного индикатора, что и дает возможность установить скорость фильтрационного потока.

Ниже мы подробно рассмотрим два способа подобных измерений, т. е. способ химический и способ электролитический.

### А. Способ химический

Для определения скорости фильтрации воды в теле земляных плотин могут использоваться или имеющиеся в плотине пьезометрические скважины, перфорированные в пределах движения фильтрационного потока, или, при больших расстояниях между ними, должны ставиться специально для этой цели дополнительные пьезометрические трубы.

Для определения скорости фильтрации необходимо иметь не менее двух скважин, из которых первая, загрузочная, служит для вливания в нее индикатора движения (раствор соли или краски), а вторая, приемная, служит для взятия пробы воды с целью суждения о времени, через которое доходит соответствующий раствор из загрузочной скважины в наблюдательную.

Расстояние между загрузочной скважиной и наблюдательной назначается в зависимости от водопроницаемости грунта и может браться в пределах до 100 м.

Загрузочная и наблюдательная скважины берутся по направлению линии токов, для определения которых необходимо предварительно по показанию горизонтов воды в пьезометрах построить гидроизогипсы.

Если нет возможности точно определить направления линии токов, то по бокам наблюдательной скважины должны устанавливаться контрольные скважины, расположенные по окружности к загружаемой скважине.

Выбор того или иного индикатора движения в каждом отдельном случае должен производиться на основании сведений о физико-химических свойствах фильтрационного потока (загрязненность органическими веществами, степень жесткости и др.), сведениях о грунте (водопроницаемость и химический состав), с учетом свойств самого индикатора (быстрота растворения, коэффициент диффузии, степень вредности и др.).

Индикаторами из красок для щелочных вод могут быть употребляемы флюоресцеин, красная краска Конго, краска для кислых вод — метиловая синька.

Большая ценность исследований получается в том случае, если в разных местах тела плотины и при сопряжении ее с берегами представляется возможным заложить несколько групп загрузочных и наблюдательных скважин и определить скорость фильтрации воды с применением различных индикаторов (соли и краски).

Переходя теперь к описанию приемов, применяющихся при измерениях, укажем, что загрузка скважины должна производиться лишь после того, как в плотине или в основании исследуемого гидротехнического сооружения будет иметь место установившееся движение фильтрационного потока.

Перед началом опыта специальным стаканчиком должны быть взяты пробы воды из всех скважин. Эти пробы сохраняются в продолжение всего опыта и с ними производится сравнение получаемых далее проб воды, уже насыщенной индикатором.

После взятия проб воды готовится концентрированный раствор краски (например, флюоресцеина) путем разведения порошка в какой-либо щелочи (едкий натр, нашатырный спирт, аммиак и др.), примерно в соотношении 1 г флюоресцеина в порошке на 3—4 см<sup>3</sup> щелочи.

Количество флюоресцеина, вводимого в скважину, зависит от водопроницаемости пород.

Ориентировочно можно считать, что флюоресцеина в порошке на каждые 10 м длины пути фильтрации требуется от 5 до 20 г<sup>1</sup> для глинистых пород и от 2 до 10 г в породах песчаных.

Порошок флюоресцеина в количестве 2—3 г сначала растворяется в любой щелочи (едкая щелочь, нашатырный спирт и др.) или в спирте и потом уже вливается в литровую бутылку и доливается водой. Вливание раствора в скважину должно производиться при помощи стаканчика, опускаемого в загрузочную скважину.

В случае большого столба воды в скважине стаканчик с раствором следует опустить на некоторую глубину и посредством его перемешать раствор краски с водой в скважине. Для лучшего перемешивания внизу стаканчика можно прикрепить груз. Перемешивание краски должно производиться при каждом взятии проб из скважины.

Момент вливания раствора в скважину должен фиксироваться на часах с точностью до 1 мин. и записывается в журнал (форма № 10).

Пробы воды в наблюдательных скважинах должны браться через заранее заданные промежутки времени в зависимости от рода грунта и расстояния между скважинами. Перед каждым взятием пробы должен быть произведен замер уровня воды в скважинах и измерение температуры.

<sup>1</sup> Нижние пределы относятся к наиболее водопроницаемым породам.

ЖУРНАЛ

опытов по определению скорости движения грунтовых вод

(название сооружения)

Створ . . . . . № . . . . .

Пикет . . . . . № . . . . .

Загрузочная скважина № . . . . .

| № опытов | Время наблюдения | Вид индикатора и количество | Концентрация раствора краски в наблюдательном пункте в % |   |   | Продолжительность опыта в сутк. | Уровни воды на пунктах наблюдения |   |    | Пьезометрический уклон |     | Температура |    |    | Примечание |
|----------|------------------|-----------------------------|--|---|---|---------------------------------|-----------------------------------|---|----|------------------------|-----|-------------|----|----|------------|
|          |                  |                             | 5  | 6 | 7 |                                 | 5                                 | 6 | 7  | 5-6                    | 5-7 | 5           | 6  | 7  |            |
|          |                  |                             | 4  | 5 | 6 |                                 | 7                                 | 8 | 9  | 10                     | 11  | 12          | 13 | 14 |            |
| 1        | 2                | 3                           | 4  | 5 | 6 | 7                               | 8                                 | 9 | 10 | 11                     | 12  | 13          | 14 | 15 | 16         |
|          |                  |                             |  |   |   |                                 |                                   |   |    |                        |     |             |    |    |            |

Взятая проба должна вливаться в непрозрачный стаканчик, так как солнечный цвет обесцвечивает флюоресцеин. Обычно взятая проба имеет мутность, которая некоторое время сохраняется и после отфильтрования. В таких случаях стаканчик с пробой должен ставиться в темное место на одни сутки и только на следующий день подвергаться исследованию. Если же взятая проба имеет достаточно осветленный вид, то она после фильтрования сразу же должна вливаться для определения концентрации в трубку специального прибора, называемого флюороскопом, описание которого ниже приводится.

Флюороскоп служит для обнаружения следов флюоросцеина в пробе и представляет собой ряд стеклянных (из белого стекла) трубок длиной 50—75 см и диаметром 14—20 мм, закрытых снизу пробками с зачерненной тушью или лаком поверхностью и установленных на штатив. Трубки наполняются растворами флюоресцеина разной концентрации: 5; 1; 0,5; 0,1; 0,050; 0,01; 0,005; 0,001; 0,0005 и 0,0001, принимая за 100% окраску воды в скважине в момент запуска<sup>1</sup>.

В одну из трубок наливается вода из скважины, взятая до введения флюоресцеина. Несколько трубок (от 3 до 5) остается свободными для опробования взятой из наблюдательной скважины воды. Таким образом флюороскоп должен иметь всего 15—17 стеклянных трубок.

Проба воды, вынутая из скважины, должна быть перелита в пустую стеклянную трубку, которая, будучи передвигаемой в пустых промежутках между стандартами флюороскопа, дает возможность определить степень окраски пробы, при сравнении на глаз окраски столбов воды при взгляде сверху.

Просмотр взятых и влитых в трубки проб должен произво-

<sup>1</sup> Можно также составить стандарты флюороскопа, принимая за 100% окраску воды при растворении 1 г краски на 1 л воды.

даться при дневном освещении (желательно без солнца) и вдали от предметов, могущих дать зеленый отсвет (например, деревья, трава и т. д.). Все трубки должны находиться в одинаковых условиях освещения, причем под стойку с пробками полезно положить лист белой бумаги, поставив другой лист вертикально позади трубок.

По полученным данным строится график, на котором по горизонтальной оси откладывается время прохождения раствора, а по вертикальной — концентрация раствора флюоресцеина в пробах. Опыт должен продолжаться до прохождения максимума концентрации раствора, что на графике будет отражено поворотом кривой вниз.

На основании данных нескольких опытов составляется осредненная кривая изменения концентрации флюоресцеина во время прохождения через приемные скважины.

Определив время (по вышеуказанной кривой), прошедшее от момента загрузки индикатора до появления наибольшего окрашивания воды в наблюдательной скважине, и зная расстояние между местом запуска и местом наблюдения, может быть определена действительная скорость фильтрации.

## Б. Электролитический способ Слихтера

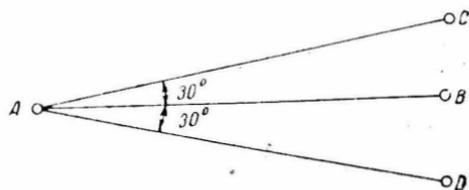
Применение электролитического способа Слихтера возможно лишь в пресных грунтовых водах, так как соленые и вообще сильно минерализованные воды уже в естественном состоянии обладают высокой электропроводностью и добавочное введение электролита становится в этом случае неощутимым для электроизмерительных приборов.

Для производства измерений при помощи электролитического способа Слихтера должны закладываться минимум две скважины.

Скважины располагаются в таком порядке, чтобы верхняя А и нижняя В (фиг. 63) находились по возможности по линии движения грунтовых вод. В случае же недостаточной уверенности в направлении движения фильтрационного потока по сторонам наблюдательной скважины В закладываются еще две контрольные скважины С и D, причем расстояние от средней скважины В берется таким образом, чтобы углы САВ и ВAD не превышали  $30^\circ$ .

Расстояние от верхней (загрузочной) скважины до нижней (наблюдательной) берется в зависимости от глубины скважины, например, в соответствии с данными, приводимыми в табл. 10.

Загрузка скважины должна производиться лишь после того, как в плотине будет иметь место установившееся движение фильтрационного потока.



Фиг. 63

ТАБЛИЦА 10

| Глубина скважины<br>в м | Расстояние АС, АВ и АД<br>в м | Расстояние ВD и СВ<br>в м |
|-------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| 8—10                    | 1,2                           | 0,60                      |
| Около 20                | 1,8                           | 0,75                      |
| 30                      | 2,5                           | 1,20                      |

В качестве электролита может применяться хлористый аммоний (нашатырь), так как раствор его сообщает воде высокую электропроводность.

Хлористый аммоний вводится в верхнюю скважину в сухом виде, в количестве 4—5 кг.

Введение индикатора должно производиться в минимально короткий срок, так как концентрированная загрузка индикатора обеспечивает более правильный ход концентрации индикатора к наблюдательной скважине.

Момент загрузки хлористого аммония в скважину фиксируется на часах, с точностью до 1 мин, и записывается в журнал (форма № 11).

ФОРМА 1

**ЖУРНАЛ**  
**записи наблюдений по амперметру**

| Время<br>(часы и мин.) | Скважина В     |          | Скважина С     |          | Скважина D     |          |
|------------------------|----------------|----------|----------------|----------|----------------|----------|
|                        | Обсадная труба | Электрод | Обсадная труба | Электрод | Обсадная труба | Электрод |
| б) VIII                |                |          |                |          |                |          |
| 8 ч. . . . .           | 0,140          | 0,360    | 0,142          | 0,332    | 0,150          | 0,390    |
| 8 ч. 5 м. . . . .      | —              | —        | —              | —        | —              | —        |
| 8 ч. 30 м. . . . .     | 1,160          | —        | 1,163          | —        | 0,170          | —        |
| 9 ч. . . . .           | 0,180          | 0,360    | 0,182          | 0,330    | 0,192          | 0,390    |

Одновременно с пуском электролита в загрузочную скважину должны начинаться наблюдения в наблюдательной и контрольных нижних скважинах.

Для производства наблюдений за контрольной скважиной составляется электрическая цепь. На одном конце этой цепи находится латунный или какой-либо другой металлический стержень толщиной 1 см и длиной 1—2 м, изолированный от обсадных труб скважины деревянными (лучше резиновыми) пробками. Латунный стержень при помощи изолированного (звонкового, телефонного и др.) провода соединен с одним из полюсов батареи и с обсадной трубой загрузочной скважины.

Другой полюс батареи соединяется с одноименным полюсом миллиамперметра (при работе с постоянным током) или с мостиком Кольрауша (при работе с переменным током).

Другая клемма миллиамперметра соединяется при помощи изолированного провода с обсадной трубой другой скважины,

в которой определяется увеличение электропроводности. Запись времени ведется по часам.

До запуска электролита замеряется электропроводность воды во всех наблюдательных скважинах при помощи составленной электрической цепи. Миллиамперметр будет показывать одну и ту же величину до впуска электролита в скважину, после же впуска электролита электропроводность воды в скважине, расположенной по направлению потока, будет возрастать по мере продвижения новых порций электролита, пока не дойдет до некоторого максимума, после чего будет понижаться, весьма постепенно, приближаясь к первоначальному значению.

Уменьшение силы тока после перехода через максимум обыкновенно происходит значительно медленнее, чем первоначальное повышение при подходе к максимуму.

В некоторых случаях получается несколько максимумов на кривой хода индикаторов. В таких случаях необходимо давать более полную характеристику движения подземной воды и надо стремиться довести опыт до наибольшего завершения, не прекращая наблюдения сейчас же, как только концентрация индикатора пройдет через максимум.

В описанном выше способе применяется постоянный ток, под влиянием которого может создаться поляризация электродов, затемняющая истинную картину хода электролита и приводящая к погрешностям. Во избежание этого вместо постоянного тока можно пользоваться переменным, для чего в цепь должна вводиться небольшая спираль Румкорфа и вместо амперметра включаться мостик сопротивлений (Кольрауша или другой).

При такой системе регистрируется уже не сила тока, а сопротивление в цепи.

Чтобы перейти от полученных при этом данных к графику хода концентрации электролита, необходимо вычислить величины, обратные сопротивлениям, замеренным по мостику.

При этом получают величины прямо пропорциональные концентрации электролита, по ним может быть построен график, подобный описанному выше.

Задачей наблюдений является установление момента первого появления индикатора в скважине, а также и определение изменения содержания индикатора в последующие периоды наблюдений.

В заключение укажем, что для производства измерений электролитическим способом Сликтера необходимо в водоносный слой заложить (как говорилось выше) несколько скважин, заканчивающихся внизу фильтром.

В каждую из нижних наблюдательных скважин устанавливается (в пределах водоносного пласта) электрод, устроенный из латунного никелированного стержня толщиной около 1 см. От обсадных труб электрод изолируется эбонитовыми или резиновыми пробками.

Кроме того, электрод может быть составлен из нескольких кусков проволоки, тщательно изолированных друг от друга и

имеющих каждый свои провода, выходящие наружу; такой электрод позволяет определять скорости движения подземных вод на разных глубинах.

Как к электроду, так и к обсадным трубам должны быть припаяны клеммы, посредством которых к ним присоединяются электрические провода.

## § 6. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИКИ СООРУЖЕНИЙ

Перед началом работ по гидравлическим исследованиям того или иного гидротехнического сооружения необходимо прежде всего подобрать и проанализировать следующие материалы.

а) пояснительную записку к гидравлическим расчетам сооружения;

б) гидрологическую записку;

в) отчет о результатах лабораторных исследований, если сооружение предварительно исследовалось в лаборатории;

г) пояснительную записку к проекту эксплуатации сооружения;

д) исполнительный чертеж сооружения;

е) при изучении гидравлики узлов в целом, размываемых участков в нижнем бьефе плотины, подходов к шлюзам и насосным станциям и т. п. должны быть получены планы участков в горизонталях, фиксирующих рельеф до начала наблюдений

При отсутствии таковых данных до начала эксплуатации сооружения должна быть произведена специальная для этой цели съемка участка.

После подробного изучения и анализа собранных материалов должна быть составлена программа наблюдений и схема расположения всех необходимых измерительных устройств и приспособлений, гидрометрических створов, водомерных постов и пр., в соответствии с объемом и содержанием предполагающихся работ.

Как уже выше отмечалось, работы по изучению гидравлики сооружений могут быть подразделены на следующие основные разделы:

а) изучение гидравлики отдельных гидротехнических узлов в целом;

б) изучение пропускной способности сооружений и проверки расчетных и лабораторных данных (коэффициентов расходов водосливов и т. д.);

в) наблюдения над состоянием нижнего бьефа сооружений. (наблюдения над работой гасителей энергии, проверка величины скоростей течения воды в отводящих каналах и наблюдения за устойчивостью русла в пределах влияния на него данного гидротехнического сооружения);

г) изучение движения воды на быстротоках и в лотках с повышенной шероховатостью дна и откосов;

д) изучение вакуумности обтекаемых профилей и наблюдения над гидродинамическим давлением потока на водосливные поверхности сооружений;

е) изучение гидравлики шлюзов;

ж) изучение зимнего режима гидротехнических сооружений.

з) изучение неустановившегося движения воды в нижнем бьефе при маневрировании затворами.

При изучении гидравлики отдельных гидротехнических узлов должны быть получены данные о величинах, направлении и распределении поверхностных скоростей потока при подходе к узлу, шлюзу или насосной станции, а также данные о средних скоростях для характерных точек потока и о изменении рельефа дна с течением времени с тем, чтобы по этим материалам можно было судить о правильности компоновки узла в целом и работе отдельных элементов узла сооружений (струе-направляющие дамбы, палы, радиусы закруглений подводящих каналов и т. д.).

В соответствии с вышеуказанными требованиями в состав работ по изучению гидравлики отдельных гидротехнических узлов должны входить нижеследующие работы:

а) Фиксация направления (траектории) поверхностных струй потока при помощи засечек мензулой или угломерными инструментами поверхностных поплавков при прохождении их через заранее разбитые створы;

б) Получение данных об абсолютных величинах поверхностных скоростей по данным поплавочных наблюдений.

в) Измерения величины скоростей по вертикалям в отдельных характерных профилях при помощи вертушек, для суждения о распределении скоростей по сечению и для установления величины средних скоростей потока.

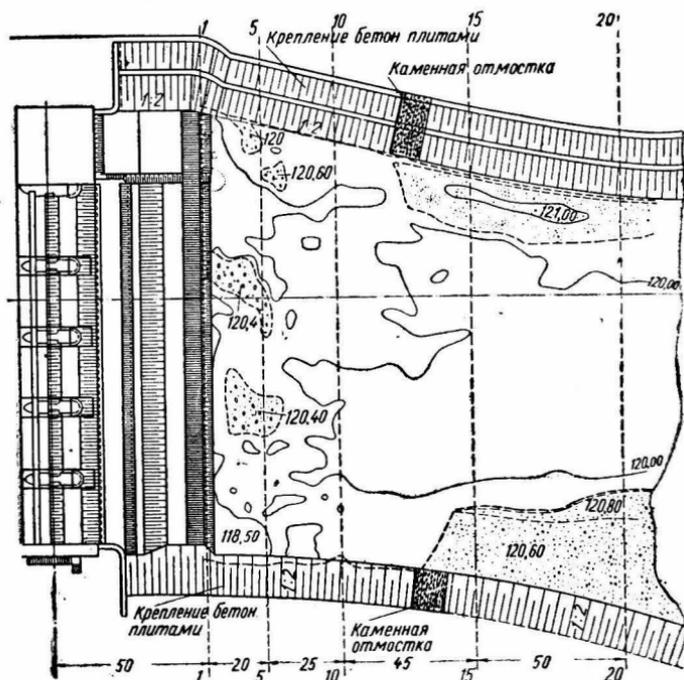
г) Производство промеров глубин в характерных профилях исследуемого участка для наблюдения за изменениями рельефа дна с течением времени.

Для указанной цели еще до начала эксплуатации сооружения должны быть разбиты и закреплены в плановом и высотном отношении промерные створы (например, при помощи деревянных реперов и деревянных столбов, образующих створы). Расстояния между отдельными створами должны назначаться в зависимости от размеров сооружения и конструкции гасителей энергии и креплений в нижнем бьефе. Желательно кроме этого, чтобы некоторые промерные створы совпадали со створами, где будет в дальнейшем производиться измерение скоростей течения воды при изучении работы гасителей энергии. Расстояние между отдельными промерными точками на промерных створах должно колебаться в пределах 1,0—2,0 м в зависимости от рельефа дна и размеров сооружения. В местах размывов промерные точки должны сгущаться. Во время промерных работ должны браться пробы грунтов, слагающих исследуемое русло. В качестве примера расположения промерных створов на фиг. 64 приводится план нижнего бьефа одной из плотин канала Москва — Волга, где пунктиром показаны промерные створы.

В заключение отметим, что промеры обязательно должны производиться до и после прохода паводков (перед паводком промеры удобнее всего производить зимой со льда). При интенсивном же размыве русла промеры должны также производиться и в течение лета (один или два раза).

д) Производство фотоснимков и в некоторых случаях производство стереофотограмметрической съемки поверхности потока.

Все вышеизложенные наблюдения должны производиться при характерных эксплуатационных горизонтах и расходах во-



Фиг. 64

ды, принятых при проектировании узлов. В случае если исследованию будет подвергаться типовый узел, то желательно наблюдения производить не менее чем на двух типовых узлах.

Само выполнение перечисленных работ должно производиться при помощи обычных, принятых в гидрометрии, способов измерений.

Здесь только приведем описание одного весьма удобного приема фиксации поверхности водного потока.

Этот метод измерения заключается в следующем:

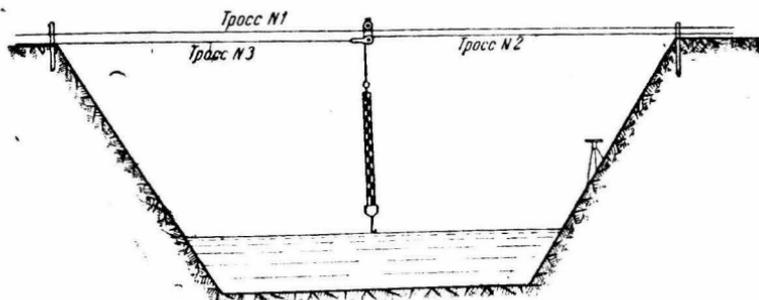
Поперек канала или реки перетягивается 3-мм трос, по этому тросу скользит (на верхнем ролике) блок с двумя роликами, через нижний ролик блока пропущен второй трос, за один конец его подвешена нивелировочная рейка с грузом, а второй конец троса остается на берегу.

Третий трос одним концом прикрепляется к нижнему ролику блока, а второй конец выносится на берег, противоположный тому, где оставлен конец второго троса (фиг. 65).

Таким образом висящую на блоке рейку можно передвигать по всей ширине реки и, кроме того, вторым тросом рейку можно опускать или поднимать на нужную высоту.

Для определения отметки поверхности воды рейку опускают таким образом, чтобы крючок, вделанный в конец груза, коснулся поверхности воды.

После этого по установленному на берегу нивелиру делается отсчет по висящей рейке. Горизонт визирования нивелира определяется ранее. Отметку поверхности воды получим вычитанием



Фиг. 65

из отметки горизонта визирования — отсчет по рейке плюс расстояние от нуля рейки до нижнего конца крючка.

Указанный способ весьма успешно применялся при гидравлических исследованиях сооружений канала Москва—Волга и вполне может быть рекомендован для широкого использования.

При изучении пропускной способности сооружений должна быть определена зависимость между величиной открытия щитов или величиной напора на водосливе сооружения, пропускаемым расходом воды и разностью горизонтов верхнего и нижнего бьефов.

В результате указанных наблюдений должны быть получены данные в виде зависимостей:

$$Q = f(z), \quad Q = f(H_0), \quad Q = f(H_c) \quad \text{и} \quad \dot{Q} = f(H_0, \sigma_n),$$

где  $Q$  — расход воды в  $\text{м}^3/\text{сек}$ ,  $z$  — разность горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов,  $H_0$  — напор на водосливе (с учетом скорости подхода),  $H_c$  — напор над центром тяжести отверстия,  $\sigma_n$  — коэффициент затопления, на основании которых вычисляются нижеследующие коэффициенты:

$$\mu = f(z), \quad \mu = f(H_c), \quad \mu = f\left(\frac{h}{H_c}\right), \quad m = f(H_0) \quad \text{и} \quad \sigma_n = f(h_n),$$

где  $\mu$  — коэффициент расхода отверстия;  $H_c$  — напор над центром незатопленного отверстия;  $h$  — величина открытия отверстия;  $m$  — коэффициент расхода водослива;  $h_n$  — величина подтопа затопленного водослива.

В соответствии с этим в состав работ по изучению пропускной способности сооружений входят:

а) наблюдения за горизонтами воды в верхнем и нижнем бьефах;

б) измерение расходов воды в нижнем бьефе при помощи гидрометрической вертушки пятиточечным методом.

Гидрометрические створы выбираются на участках отводящего канала или русла реки, где представляется возможным с наибольшей точностью определить расход воды.

При определении вышеуказанных коэффициентов нужно получать не менее пяти точек при двухкратном измерении расходов для каждого положения.

При наблюдениях за работой гасителей энергии должны быть получены общие данные о состоянии потока в нижнем бьефе (характер образования прыжка) и о величине скоростей течения воды в характерных профилях ниже гасителя энергии в отводящем канале или русле реки.

Следовательно, в состав исследований гасителей энергии должны входить нижеследующие работы:

а) Фиксация (зарисовки с промерами и фотографированием) формы водного потока над гасителями энергии и описание характера различных гидравлических явлений при пропуске различных расходов воды через исследуемое сооружение.

б) Измерение скоростей течения воды при помощи вертушки пятиточечным методом на характерных вертикалях, расположенных на нижеследующих характерных профилях. Первый профиль в расстоянии от 2,0 до 3,0 м от конца гасителя, второй на расстоянии 10—15 м от первого створа и третий на расстоянии 20—30 м от второго створа. Последний (четвертый) профиль берется в той части участка, в которой отсутствует влияние гасителя на распределение скоростей потока.

В тех случаях, когда исследуемое сооружение подвергалось лабораторному испытанию, створы и вертикали должны назначаться в строгом соответствии с расположением их на испытанных моделях.

Кроме того, при исследовании устойчивости различных типов креплений в отводящих каналах и руслах, если указанные выше четыре створа для этих целей не будут являться достаточными, должны назначаться дополнительные створы для оценки скоростей течения воды в пределах каждого типа крепления.

Все створы должны быть привязаны к высотным реперам и иметь абсолютные отметки.

в) Измерение расходов воды пятиточечным методом на четвертом створе канала для установления величины расхода, при котором изучалось действие гасителей энергии.

г) Наблюдения над устойчивостью дна и откосов отводящего канала или русла путем периодических промеров глубин и фотографирования осушаемых частей.

Все вышеперечисленные наблюдения должны быть произведены при пропуске максимального, среднего и минимального расходов воды, причем пропуск максимальных расходов приурочивается к периоду паводков.

Одновременно с этим должны вестись наблюдения за горизонтами воды в затопляемой пойме.

Для изучения работы гасителей энергии в дополнение к перечисленным выше исследованиям в отдельных случаях крайне желательно измерение гидродинамических давлений на поверхности гасителей энергии, воспринимающей гидродинамический удар потока. Очевидно, для указанной цели возможно применение струнной аппаратуры системы проф. Н. Н. Давиденкова, соединенной с осциллографом.

При наблюдениях за движением воды в быстротоках и потоках с повышенной шероховатостью дна и откосов должны быть получены данные для суждения об эффективности действия исследуемых конструкций. Такими показателями будут являться: глубина воды в лотке быстрого тока, в разных его сечениях, и скорости течения потока за водобойным колодцем (гасителем энергии), в отводящем канале при пропуске различных расходов воды.

Поэтому в состав работ по изучению движения воды в быстротоках и лотках должны входить:

а) промеры глубины в лотке быстрого тока в различных его сечениях по длине для получения продольного профиля потока;

б) фиксация формы потока при сопряжении уровней верхнего и нижнего бьефов при помощи зарисовки и фотографирования;

в) измерения скоростей течения воды ниже водобойного колодца (гасителя) в отводящем канале на двух-трех гидрометрических профилях или на ряде вертикалей (в случае сброса воды в канал или реку) в пределах растекания потока;

г) наблюдение за горизонтом воды (в верхнем и нижнем бьефах) и измерение проходящих через исследуемое сооружение расходов;

д) наблюдения над аэрацией потока.

При исследованиях вакуумности водосливных профилей должны быть получены величины пьезометрических давлений по оси сливной поверхности при пропуске максимальных расходов.

Количество пьезометрических точек должно быть назначено с таким расчетом, чтобы имелась возможность охватить наблюдениями весь профиль сливной поверхности, где можно ожидать отрицательных давлений. Обычно для этой цели бывает достаточно производство по профилю наблюдений по пяти-шести точкам.

Когда же водосливные профили предварительно подверга-

лись лабораторным исследованиям, размещение пьезометрических точек должно производиться в тех же местах профиля, в которых были помещены пьезометры при производстве лабораторных испытаний.

Таким образом в состав работ по наблюдениям за вакуумностью водосливных профилей, должны входить измерения давлений при помощи закладываемой на поверхности водосливных частей специальной измерительной аппаратуры (динамометры, вакуумметры, ртутные манометры и др.).

При изучении гидравлики сооружений в период зимнего режима должны быть получены данные:

а) об образовании ледяного покрова в районе гидротехнических узлов и отдельных сооружений путем съемок участков с профилями толщины льда;

б) об образовании льда и его нарастания на поверхности гасителей энергии, на предохранительных решетках всасывающих труб и тому подобных частях сооружений путем измерений толщины льда и фотографирования;

в) о давлении льда на отдельные части сооружения (на водосливные поверхности, облицовку каналов, гасители энергии) посредством закладываемых в бетон динамометров;

г) об условиях прохода льда через водосливные отверстия сооружений и действие его на рисбермы и гасители энергии (описание общего характера явления и фотографирование его, а также последующая фиксация повреждений исследуемых частей сооружения).

Как уже выше отмечалось, большое практическое значение имеют наблюдения и исследования неустановившегося режима в нижнем бьефе, возникающего при маневрировании затворами. Наибольший интерес здесь представляет определение времени и характера наполнения нижнего бьефа при пропуске различных расходов.

Для указанной цели необходима установка в нижнем бьефе ряда водомерных (реечных или лимниграфных) постов, из которых один обязательно должен быть расположен непосредственно за гасителем энергии. При производстве опытов по наполнению русла нижнего бьефа желательно производство следующих экспериментов:

а) Изучение наполнения пустого русла нижнего бьефа при пропуске в него различных расходов от  $Q_{мин}$  до  $Q_{макс}$  (конечно, где это возможно). При этом желательно опыты производить при быстром и медленном открытии затворов для ряда расходов, заключенных в пределах между  $Q_{мин}$  и  $Q_{макс}$ .

б) Изучение наполнения русла нижнего бьефа, когда исследуемое русло имеет в нижнем бьефе достаточные глубины. Опыты здесь желательно проводить также для ряда расходов при медленном и быстром подъеме затворов.

в) Исследование скорости движения волны попуска и изуче-

ние распределения скоростей по сечению при неустановившемся движении.

Все перечисленные здесь наблюдения могут быть выполнены при помощи обычных приемов гидрометрических измерений (лимниграфы, рейки, вертушки и т. д.).

## **§ 7. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИКИ СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗОВ И УСЛОВИЙ ОТСТОЯ СУДОВ В НИХ**

Гидравлические исследования судоводных шлюзов предусматривают освещение следующих двух основных вопросов:

а) Соответствие фактических коэффициентов и других гидравлических элементов с коэффициентами и гидравлическими элементами, принятыми при проектировании.

б) Определение условий отстоя судов при шлюзовании как в камерах, так и в подводящих и отводящих каналах. При этом большой интерес представляет возможность сопоставления данных лабораторных опытов с фактическими наблюдениями в натуре, в тех случаях, когда работа шлюзов исследовалась в лаборатории.

Все перечисленные выше исследования шлюзов могут быть разделены на три группы: а) исследования шлюза при неустановившемся движении; б) исследования шлюза при установившемся движении; в) исследования условий отстоя судов.

### **А. Исследования шлюза при неустановившемся движении**

В данный раздел исследований должны входить наблюдения за наполнением и опорожнением шлюза и работы по определению коэффициента расхода отверстий, через которые происходит наполнение и опорожнение шлюза.

Наблюдения за наполнением шлюза сводятся к измерениям горизонта воды в камере при его наполнении в зависимости от скорости поднятия затворов, перекрывающих те отверстия, через которые происходит наполнение шлюза.

При вышеуказанных наблюдениях должно фиксироваться состояние горизонта воды в камере шлюза, величины подъема затвора и время от начала подъема затвора до полного наполнения камеры.

Для построения кривой, устанавливающей зависимости между горизонтом воды в камере и времени наполнения

$$H = f(t) \text{ и } h = f(t)$$

[где  $H$  — горизонт воды в камере шлюза,  $h$  — напор воды (разность уровней верхнего и нижнего бьефов),  $t$  — время] необходимо получить не менее 15—20 отсчетов.

Кроме того, должна быть установлена амплитуда колебания горизонта воды при выравнивании горизонта в камере шлюза, вызываемая инерционными колебаниями.

При измерении горизонтов воды желательнее применение лимниграфов с механической записью показаний. Число пунктов наблюдений желательно иметь не менее пяти.

При этом пункты для наблюдений за горизонтами воды в камере шлюза или пункты установки лимниграфов целесообразнее всего располагать следующим образом: первый пост на расстоянии 15 м от верхней головы, второй на расстоянии 20 м от нижней головы остальные три поста в средней части камеры должны располагаться равномерно по длине. Механическая запись лимниграфов должна быть рассчитана на запись изменения уровня воды в пределах всего подъема горизонта воды с точностью возможного отсчета по записи до 2 см (желательно даже до 1 см).

При отсутствии лимниграфов самым простейшим приспособлением для регистрации подъема воды может служить специально устанавливаемая на стенке камеры рейка (может быть не крашения), на которой при помощи обычного графитного карандаша наносится горизонт воды через 30-секундные периоды. Засечки горизонта воды наносятся карандашом на рейке с лодки, которая поднимается при наполнении камеры вместе с наблюдателем. По окончании опыта рейку вынимают и производят по ней отсчеты при помощи накладываемой на рейку ленты рулетки (с точностью до 0,2 мм). Наблюдения над поднятием горизонта воды могут производиться также с лодки или противоположной стороны камеры в бинокль по рейке с делениями, укрепляемой на стенке шлюза.

Отсчеты подъема горизонта воды должны записываться в определенные моменты (через 30 сек.) и производиться с точностью не менее 0,5 см.

Наблюдения над изменением горизонта воды при наполнении должны быть произведены дважды, причем в случае расхождения полученных данных должно быть произведено третье наблюдение.

При производстве наблюдений над временем наполнения камеры шлюза должна производиться регистрация подъема затвора при помощи самопишущего прибора, отмечающего время и подъем затвора.

Прибор должен быть рассчитан таким образом, чтобы можно было регистрировать подъем затвора с точностью до 0,5 см.

В случае отсутствия вышеуказанного прибора запись подъема затвора должна определяться по длине цепи Галля, проходящей через подъемный механизм, причем по секундомеру отсчитывается время прохождения рейки, устанавливаемой на цепи Галля, через специальный указатель, прикрепляемый к неподвижной части механизма.

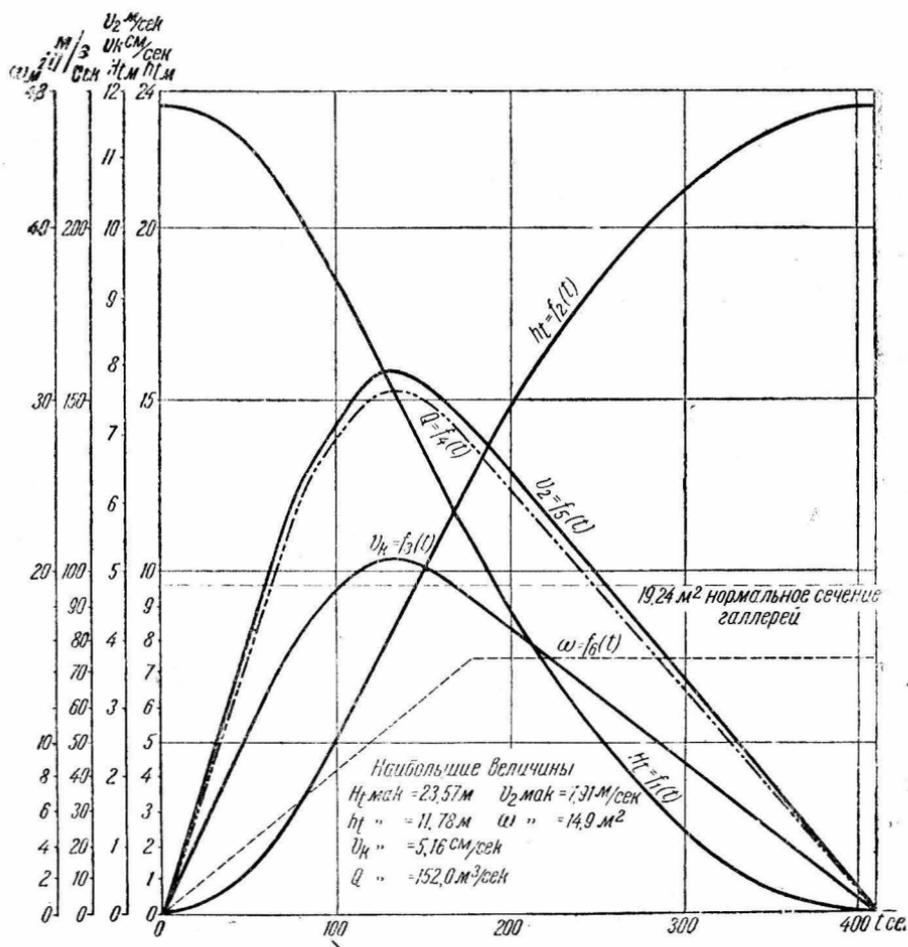
Отсчет по секундомеру производится с точностью до 1 сек. Время начала и конца подъема затвора, а также все изменения уровней воды должны быть точно зафиксированы.

На основании вышеприведенных наблюдений должна быть составлена кривая зависимости между площадью живого сече-

ния водосливного отверстия и временем, причем для определения площади живого сечения водосливного отверстия необходимо точно установить при помощи нивелировки начальное положение бруса нижнего уплотнения затвора.

На основании полученных данных и данных о площади камеры и о горизонте воды в камере должны быть вычислены для различных моментов расходы воды с тем, чтобы возможно было построить плавную кривую зависимости расхода воды от времени  $t$ :

$$Q = f(t).$$



Фиг. 66. Кривые изменения во времени: 1) Напора в камере  $H_t = f_1(t)$  в м. 2) Высота подъема горизонта воды в камере  $h_t = f_2(t)$  в м. 3) Скорости вертикального перемещения горизонта воды в камере  $v_k = f_3(t)$  в см/сек. 4) Расхода воды в отверстие сегментного затвора  $Q = f_4(t)$  в м<sup>3</sup>/сек. 5) Скорости течения в отверстии затвора  $v_2 = f_5(t)$  в м/сек. 6) Площади открытой части затвора  $\omega = f_6(t)$  в м<sup>2</sup> в период наполнения камеры шлюза.

Путем деления расхода воды  $Q$  на площадь живого сечения водосливных устройств  $\omega$  можно определить скорость и построить кривую зависимости изменения скорости от времени  $t$ :

$$v = f(t).$$

После получения зависимости  $Q = f(t)$  должен быть определен коэффициент расхода  $\mu$  при неустановившемся движении (т. е. при наполнении шлюза) по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gh}},$$

где  $\omega$  — площадь живого сечения водосливного устройства;  $h$  — разность напоров.

Подсчеты коэффициента  $\mu$  при неустановившемся движении должны быть произведены не менее чем для десяти различных напоров, чтобы получить данные для построения кривой зависимости  $\mu$  от времени  $t$ , учитывая совокупность действия ряда гидравлических элементов (напор, расход и др.).

В результате вышеперечисленных наблюдений должен быть составлен сводный график, на котором должны быть нанесены зависимости между нижеследующими гидравлическими элементами (фиг. 66), соответствующими наполнению шлюза:

$$H = f(t), \quad h = f(t), \quad \omega = f(t),$$

$$Q = f(t), \quad v = f(t), \quad \mu = f(t).$$

Все вышеперечисленные наблюдения, исполняемые при наполнении камеры шлюза, в результате которых должна быть получена вышеуказанная зависимость между гидравлическими элементами, должны быть также проделаны и при опорожнении шлюза при закрытых затворах верхней головы и построен соответствующий график для условий опорожнения.

## Б. Исследования шлюза при установившемся движении в камере

В данном разделе исследований должны выполняться работы по определению коэффициентов расходов отверстий при установившемся движении и исследование работы гасителей энергии.

Определение коэффициента расхода  $\mu$  при установившемся движении воды в камере шлюза должно производиться для нескольких открытий затворов верхней головы.

При этом горизонт воды в камере шлюза должен устанавливаться при помощи маневрирования затворами галлерей и ворот нижней головы.

В рассматриваемом случае коэффициент расхода определяется по формуле:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gh} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gh}},$$

где  $Q$  — расход воды в  $м^3/сек$ ;  $\omega$  — площадь живого сечения водосливных устройств в  $м^2$ ;  $\mu$  — коэффициент расхода.

Расход воды при определении коэффициента  $\mu$  измеряется на гидрометрическом профиле, расположенном в средней части шлюзовой камеры, при помощи вертушек.

Количество вертикалей на гидрометрическом профиле берется в количестве 5 шт., равномерно распределенных по профилю.

На каждой вертикали скорости наблюдаются в пяти точках.

Наблюдения над работой гасителей энергии должны производиться при наиболее характерных положениях горизонта воды в камере шлюза (начальное открытие затвора, полное открытие и т. д.), причем соответствующие этим положениям затвора горизонты воды в камере шлюза должны устанавливаться по кривым зависимости гидравлических элементов от времени, полученным при исследовании неустановившегося движения воды в камере.

При этом исследование работы гасителей энергии должно заключаться в определении характера распределения скоростей течения воды в наиболее характерных профилях, расположенных в камере за гасителем энергии.

Створы могут быть, например, расположены в нижеследующей последовательности:

I створ на расстоянии 5 м от гасителя энергии

II створ на расстоянии 15 м от гасителя энергии

III створ в середине камеры.

Для определения расхода воды следует пользоваться сечением, расположенным по середине камеры, где наименее всего сказывается влияние гасителя энергии и водопроводных галлерей нижней головы на распределение скоростей.

При обработке вышепоименованных данных должны на всех профилях, где производились наблюдения над скоростями, вычерчиваться изотахи, наглядно показывающие распределение скоростей потока по сечению.

При исследовании гасителей энергии должна производиться также фиксация формы потока (описание, зарисовки или фотографирование поверхности потока).

Наблюдения над изучением работы гасителей энергии во избежание повторения некоторых наблюдений желательно производить попутно с наблюдениями над определением коэффициента расхода водосливных устройств.

Кроме наблюдений за действием гасителей энергии при наполнении шлюза должны также производиться наблюдения и за действием потока (при опорожнении шлюза) на русло участка, находящегося непосредственно за нижней головой шлюза.

Для этой цели еще до начала работы шлюза должны быть произведены съемки вышеуказанного участка, чтобы в дальней-

шем можно вести регулярные наблюдения за состоянием русла (хотя бы два раза в год до и после начала навигации).

Съемка делается на протяжении участка в 100 м за нижней головой. Поперечники должны быть разбиты через 10 м друг от друга и промеры по профилю произведены через 1,5—2 м с точностью до 2 см.

## В. Исследования условий отстоя судов

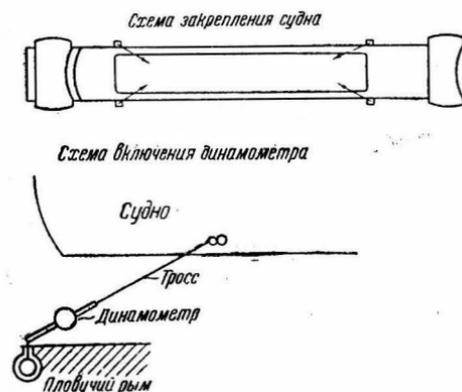
В этот раздел исследований должны быть отнесены работы по изучению условий отстоя судов в камере шлюза при его наполнении и опорожнении, исследования условий отстоя судов при подходе судов сверху и во время их стоянки за нижней головой шлюза, а также исследования колебаний уровня воды в бьефах при наполнении и опорожнении камеры шлюза. Исследование отстоя судов сводится в основном к нахождению реактивного действия воды на судне  $N$  и изменения этой силы по времени  $t$  в период наполнения или опорожнения камеры шлюза, т. е.  $N = f(t)$ , и выявление части этой силы, воспринимаемой закрепляющим судно тросом.

Закрепление судов при испытании отстоя должно производиться тросами равной длины, прикрепленными к судну и к пловучим рымам шлюза. Схема закрепления указана на фиг. 67.

Измерение силы натяжения троса производится динамометрами мощностью до 25 т с включением самопишущих приборов, рассчитанных на период записи не менее 20 м и лишь в случае отсутствия самопишущих приборов могут применяться динамометры с максимальными стрелками.

Самопишущие приборы должны быть устроены так, чтобы они были герметически закрыты, так как при наблюдении динамометр с тросом может попасть в воду. Динамометры включаются в каждый закрепляющий судно трос.

Поперечные и продольные усилия при принятой схеме закрепления судна будут получаться путем проектирования усилий в тросах на ту или иную ось.



Фиг. 67

При исследовании отстоя судов трос на судне должен закрепляться наглухо и натягиваться до незначительного провеса. В процессе наблюдений самопишущие приборы должны включаться одновременно.

В результате вышеуказанных наблюдений строится зависи-

мость (при условии наличия самопишущих приборов) между силой натяжения  $N$  и временем  $t$ :

$$N=f(t).$$

Изучение перемещения судна во время шлюзования как самостоятельное наблюдение может не ставиться, так как влияние этого перемещения на условия отстоя судна в камере шлюза уже учитывается при изменении напряжений в тросах и легко может быть вычислено аналитически.

Все вышеперечисленные наблюдения над условиями отстоя судов в камере шлюза производятся как при наполнении, так и при опорожнении шлюза.

Каждые наблюдения производятся дважды и в случае получения разноречивых данных повторяются еще раз.

Исследования условий отстоя судов в деривационных каналах производятся с целью определения наилучшего места расположения судна в ожидании шлюзования.

Методы определения отстоя судов при подходе к шлюзу аналогичны тем, которые применяются при исследовании отстоя судов в камере шлюза.

Зачалка судов при этих наблюдениях производится за береговые тумбы (вместо пловучих рым).

Кроме указанных наблюдений за отстоем судов в нижнем и верхнем деривационных каналах должны быть произведены наблюдения за колебанием уровней воды во время наполнения и опорожнения шлюзов.

Наблюдения за колебанием уровней воды в верхнем и нижнем бьефах производятся для получения зависимости между колебаниями уровня воды в определенных пунктах канала в зависимости от времени  $t$  подъема затворов в период наполнения или опорожнения камер.

В результате этих наблюдений должны быть построены:

1) графики колебаний уровней воды по всем водопостам, устраиваемым в канале;

2) кривые спада или подъема уровней на исследуемых участках через двухминутные периоды наблюдений.

Для исследования колебаний уровней воды в верхнем деривационном канале устанавливается от 6 до 10 водомерных постов, из них: один располагается в средней части камеры, один в 3—5 м выше верхних ворот и остальные устанавливаются в верхнем деривационном канале и в русле реки (один) более часто в местах максимального падения уровней (ближе к воротам) и реже в местах выклинивания кривой спада. Конечный от головы шлюза водомерный пост располагается на таком расстоянии, чтобы колебание уровня воды, зависящее от наполнения камеры шлюза, не превышало 2 см.

Для измерения горизонтов воды в нижнем деривационном канале устанавливаются от трех до пяти водомерных постов.

На всех водомерных постах должны быть установлены лимниграфы или в случае их отсутствия речные водомерные посты.

Порядок производства наблюдений на водомерных постах лимниграфного типа должен быть следующий: перед началом подъема затвора делается два контрольных измерения горизонтов воды по всем водомерным постам. Затем, начиная с момента открытия затворов, отсчеты уровней воды производятся по всем постам через 1 мин. одновременно по сигналу с точностью до 0,5 см. В качестве сигнала рекомендуется использовать шлюзовые радиоустановки.

Измерение уровней воды на постах продолжается до момента затухания колебаний уровней воды в канале, вызванных процессом наполнения или опорожнения камеры шлюза.

При производстве наблюдений за колебанием уровней воды в деривационных каналах одновременно должна производиться регистрация подъема затворов (порядок и способ этих наблюдений указан выше).

### § 8. ВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Помимо инструментальных наблюдений и исследований большое практическое значение имеют так называемые визуальные наблюдения.

Под визуальными наблюдениями подразумеваются наблюдения, которые производятся путем общего осмотра сооружений с применением самых простейших измерительных инструментов и записью (в соответствующих журналах и актах) о всех замеченных деформациях в сооружении.

Визуальные наблюдения за состоянием сооружения заключаются в систематических (ежедневных или через более длительные сроки, в зависимости от серьезности сооружений) осмотрах сооружений с целью выявления происходящих в процессе работ или по окончании возведения сооружения деформаций и filtrаций.

Результаты каждого визуального осмотра сооружения заносятся в полевой журнал, в котором также отмечаются все важнейшие фазы в жизни того или иного сооружения (закладки сооружения, остановка в работе на длительный период, окончание возведения сооружения и пр.).

Если при осмотре не обнаружено никаких заметных изменений в состоянии сооружения, то в полевом журнале это обстоятельство также фиксируется.

ФОРМА 12

#### ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

| Месяц и число | Название и № сооружения | Краткое описание результатов наблюдения |
|---------------|-------------------------|---|
| 1             | 2                       | 3                                       |
|               |                         |   |

Журнал визуальных наблюдений можно вести, например, по форме № 12:

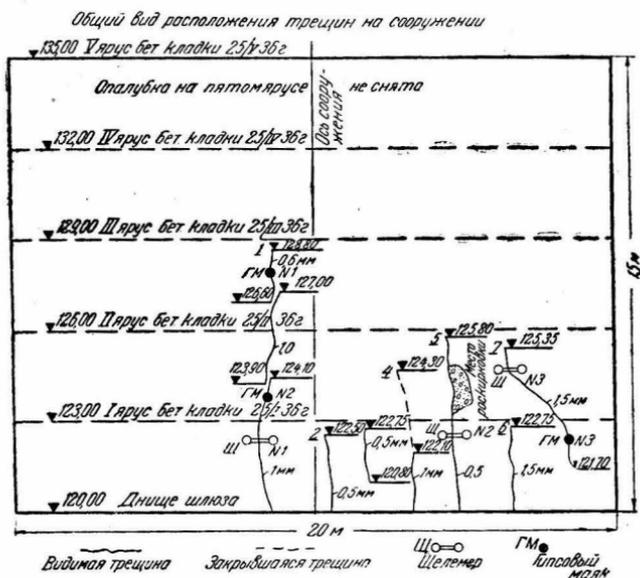
Состав визуальных наблюдений над сооружениями в зависимости от их типа может быть подразделен на следующие виды:

- а) наблюдения за земляными плотинами и дамбами;
- б) наблюдения за бетонными сооружениями.

При осмотре земляных плотин должно обращать внимание на состояние гребня и откосов плотины (образование оползней, выпучивание грунта, каверн, видимых на-глаз осадок и других деформаций, могущих произойти на видимой поверхности этих сооружений).

При обнаружении указанных изменений профиля плотины производится эскизная зарисовка деформированных мест сооружения, с указанием измеренных рулеткой размеров. В полевом журнале отмечается также время появления деформации и предполагаемые причины их образования (по опросу технического персонала сооружения).

При осмотре земляных плотин ведутся также наблюдения за состоянием понуров, за выпиранием грунта из-под основания



Фиг. 68

плотины. Если ниже подошвы плотины будет обнаружено выпирание (подъем) грунта, то на этом участке путем ватерпасовки (или в особо важных случаях при помощи технического нивелирования) снимается не менее двух-трех профилей.

При визуальных наблюдениях фильтрации в земляных плотинах должно быть обращено особое внимание на фильтрацию из отдельных очагов, выступающих на поверхность на откосах плотины, а также и на берегах водохранилищ вблизи плотины.

В случае обнаружения очага фильтрации должна быть произведена зарисовка выхода грунтовых вод, составлено общее описание явлений и приближенно определен расход воды (в литрах в секунду). Особое внимание должно быть обращено на очаги фильтрации, дающие мутную воду.

При визуальных наблюдениях за состоянием бетонных сооружений в первую очередь должно быть обращено внимание на фиксацию появления трещин в бетонной кладке.

При обнаружении трещин необходимо отметить масляной краской концы ее распространения — измерить ее расстояние и дать ориентировочно местоположение трещины на сооружении (см. прилагаемую схему зарисовки трещин на фиг. 68).

В дальнейшем один раз в пятидневку должны вестись повторные наблюдения по измерению длины трещины и ее ширины.

Места появления серьезных трещин должны фотографироваться как в начале появления трещин, так и в промежуточных ее фазах, но не менее двух раз (в начале наблюдения и в конце).

В случае появления трещин в наиболее ответственных частях сооружения для наблюдения за состоянием трещины необходимо установить гипсовые маяки или щелемеры.

Для устройства гипсового маяка готовится густой раствор (тесто) из гипса и накладывается на то место, где предполагают наблюдать за состоянием трещин.

При визуальных наблюдениях за состоянием бетонных сооружений необходимо следить за состоянием подводных частей шлюзов, плотин и других сооружений, а именно: понуров, сливных частей, рисбермы и пр., а также за плотностью затворов и исправностью их действия.

При визуальных наблюдениях за состоянием бетонных сооружений необходимо также следить за фильтрацией грунтовых вод через бетонные массивы, бетонные облицовки каналов, а также за появлением очагов фильтрации в берегах около сооружения.

При наличии фильтрации воды через бетон в полевом журнале должен отмечаться цвет просачивающейся воды (для суждения о наличии выщелачиванием солей из бетона), а также фиксироваться места отложений продуктов выщелачивания (выцветы.)

При значительной фильтрации, позволяющей взять пробу воды, необходимо произвести взятие пробы в объеме 1 л и пробы продуктов выщелачивания.

О всех обнаруженных серьезных деформациях сооружений, как-то: появление оползней, образование больших трещин в ответственных бетонных частях сооружения, выпучивание облицовок и размывов в отводных канавах и тому подобных явлений, требующих для устранения специальных мероприятий и организации детальных наблюдений, должно в тот же день быть сообщено руководителю исследований, а также эксплуатационному персоналу.

Посылка извещения не снимает необходимости постановки первичных наблюдений впредь до организации детальных наблюдений.

### § 9. НЕКОТОРЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО МЕТОДИКЕ ИЗМЕРЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ СТРУНЫМ МЕТОДОМ <sup>1</sup>

Как уже выше отмечалось, метод измерения деформаций помощью струны сводится к определению частоты ее собственных колебаний до и после действия этой деформации, силы или изменения напряжения.

Основным прибором, для этого употребляемым, является стабилизированный генератор частотомер.

Существуют три основных способа измерения частоты: способ резонанса, самовозбуждения и способ прослушивания затухающих колебаний. Наиболее удобным является способ прослушивания затухающих колебаний, который приводим ниже.

Для этого способа кроме генератора необходимо еще приемное усилительное устройство, снабженное специальной вызывной кнопкой. Нажатие ее включает батарею 80 в в катушку электромагнита, по которой протекает при этом ток, и намагничивает струну, играющую роль якоря. При отпускании кнопки катушка переключается на вход усилителя и в телефоне выхода слышен звук затухающих колебаний струны. Благодаря индуктивным и емкостным связям между генератором и усилителем и общему питанию в телефоне усилителя слышен звук от незатухающих колебаний генератора в виде фона. Задача наблюдателя заключается в подборе звука генератора, одинакового со звуком струн.

Точная настройка производится по интерференционным биениям, возникающим при различии частот и исчезающим при их совпадении. Частота биений равна разности интерферирующих частот. Музыкальности этот способ не требует. Практика лаборатории Ленинградского института сооружений и других лабораторий, пользующихся этими приборами, показала, что наблюдатели, не обладающие музыкальным слухом вовсе, очень быстро обучались правильному взятию отсчетов.

Следует отметить, что из-за влияния изменения температуры, влажности и т. д. частота генератора может самопроизвольно изменяться, правда, в небольших пределах, обычно порядка 3—5 колебаний. Для устранения этих сползаний следует перед началом работы, во время работы и по ее окончании проверять камертонную точку генератора и устанавливать его на эту точку.

Для этого служит проверочный камертон, прилагаемый к генератору.

Измерение деформаций начинается со включения генератора посредством реостата и включения прослушиваемого прибора.

Нажатие кнопки включает батарею 80 в в катушку прибора, благодаря чему струна приходит в состояние колебательного движения.

<sup>1</sup> По данным Ленинградского института сооружений.

При опускании кнопки прибор включается в сетку первой лампы усилителя и в телефоне, включенном в клеммы, слышен звук затухающих колебаний струны.

Благодаря индуктивным и емкостным связям к общему питанию в телефоне при этом слышен звук генератора.

Задача наблюдателя сводится к тому, чтобы подобрать частоту генератора равной частоте струны.

Грубый подбор делается переключением самоиндукции, точная настройка — конденсатором (отсчетным). При этой манипуляции не следует трогать установочный конденсатор.

Равенство частот характеризуется исчезновением биений между струной и генератором.

Если струну слышно плохо, следует повернуть переключатель у входа прибора — переменить полярность включения. У некоторых приборов в зависимости от индивидуальных электромагнитных свойств магнита это дает улучшение слышимости.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

|                    |   |
|--------------------|---|
| Введение . . . . . | 3 |
|--------------------|---|

### ГЛАВА ПЕРВАЯ

#### КЛАССИФИКАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И НАБЛЮДЕНИЙ

|  |   |
|--|---|
| § 1. Основные цели и задачи изучения построенных гидротехнических сооружений . . . . . | 4 |
| § 2. Классификация исследований и наблюдений . . . . .                                 | 5 |

### ГЛАВА ВТОРАЯ

#### ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ, ТРЕБУЮЩИЕ ДЛЯ СВОЕГО РАЗРЕШЕНИЯ ИЗУЧЕНИЯ ПОСТРОЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

|  |    |
|--|----|
| § 1. Основные вопросы расчета фильтрации воды через земляные плотины и их основания . . . . .  | 11 |
| А. Роль верхового клина в фильтрационном режиме земляных плотин . . . . .  | 11 |
| Б. Изучение работы обратных фильтров в земляных плотинах . . . . .   | 17 |
| В. Вопрос о фильтрации воды через плотины, имеющие воду в нижнем бьефе . . . . .   | 20 |
| Г. Вопрос о фильтрации в обход плотины и вопрос о насыщении тела плотины грунтовыми водами, поступающими с берегов . . . . .                                   | 22 |
| Д. О наблюдениях за фильтрацией вдоль бетонных водоспусков, закладываемых в теле земляных плотин . . . . .   | 24 |
| § 2. Основные вопросы фильтрации воды под бетонными гидротехническими сооружениями . . . . .   | 25 |
| А. Определение фильтрационного давления (противодавления) на подошву основания бетонного гидротехнического сооружения . . . . .                                | 26 |
| Б. Вопросы суффозии и выпора в месте выхода фильтрационного потока в нижний бьеф . . . . .   | 28 |
| В. вопрос о фильтрации в обход сооружений . . . . .  | 29 |
| Г. Фильтрация через бетон . . . . .  | 29 |
| § 3. Основные вопросы общих и частных деформаций гидротехнических сооружений, требующие своего экспериментального изучения в действительных условиях . . . . . | 30 |
| А. Осадки гидротехнических сооружений . . . . .  | 30 |
| Б. Коэффициент постели . . . . .   | 34 |

|   |    |
|---|----|
| В. О дополнительном уплотнении земляных плотин . . . . .  | 36 |
| Г. Обрушение и оползание откосов земляных плотин и выемок . . . . .                                     | 37 |
| Д. Температурные явления в бетоне в процессе схватывания  | 38 |
| Е. Трещины в бетоне . . . . .   | 39 |
| § 4. Основные вопросы инженерной гидравлики, требующие изучения работы построенных сооружений . . . . . | 39 |
| А. Гашение энергии и размыв русла в нижнем бьефе . . . . .  | 40 |
| Б. Тарировка вовопрпусных отверстий и проверка коэффициентов расходов . . . . .                         | 46 |

### ГЛАВА ТРЕТЬЯ

#### ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА, ПРИМЕНЯЮЩИЕСЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

|   |    |
|---|----|
| § 1. Измерительные приборы и устройства, применяющиеся при наблюдениях за осадками бетонных гидротехнических сооружений . . . . .                 | 49 |
| А. Деревянный репер . . . . .   | 49 |
| Б. Железобетонный репер . . . . .   | 50 |
| В. Стальная высотная марка для горизонтальных плоскостей .  | 51 |
| Г. Чугунная высотная марка для горизонтальных плоскостей .  | 52 |
| Д. Стальные высотные марки для установок в вертикальных плоскостях бетонных гидротехнических сооружений . . . . .                                 | 52 |
| Е. Чугунная высотная марка для установки в вертикальных плоскостях . . . . .  | 53 |
| Ж. Глубинная марка для определения осадок оснований бетонных гидротехнических сооружений . . . . .  | 54 |
| З. Электроконтактный прибор, служащий для измерения положения глубинных марок . . . . .   | 55 |
| § 2. Измерительные приборы и устройства, применяемые при наблюдениях за осадками земляных плотин . . . . .  | 56 |
| А. Железный репер, служащий для наблюдения за осадками земляных плотин . . . . .  | 56 |
| Б. Деревянный репер, служащий для наблюдения за осадками земляных плотин . . . . .  | 56 |
| В. Глубинная марка, служащая для определения осадок основания земляных плотин . . . . .   | 57 |
| § 3. Измерительные приборы и устройства, применяемые при наблюдениях за фильтрацией под бетонными сооружениями и в теле земляных плотин . . . . . | 59 |
| А. Пьезометры в бетонных сооружениях . . . . .  | 59 |
| Б. Пьезометры в земляных плотинах . . . . .   | 63 |
| В. Лот-свисток, служащий для измерения уровней воды в пьезометрических скважинах . . . . .  | 65 |
| Г. Электроконтактный прибор, служащий для измерения уровней воды в пьезометрических скважинах . . . . .   | 66 |
| § 4. Струнный (электроакустический) метод изучения деформаций и применяющиеся струнные приборы . . . . .  | 66 |

**ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ**  
**МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ПОСТРОЕННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ**  
**СООРУЖЕНИЙ**

|  |     |
|--|-----|
| § 1. Методика наблюдений за осадками бетонных сооружений . . .   | 78  |
| § 2. Методика наблюдений за осадками земляных плотин и дамб . . .  | 83  |
| § 3. Методика наблюдений за положением кривой депрессии в теле земляных плотин и за противодавлением в бетонных гидротехнических сооружениях . . . . . | 87  |
| А. Наблюдения за уровнем воды в бьефах . . . . .   | 89  |
| Б. Измерение уровня воды в пьезометрах, устраиваемых в теле земляных плотин и дамб . . . . .   | 90  |
| В. Измерение уровня воды в пьезометрах, закладываемых в бетонных сооружениях . . . . .   | 92  |
| Г. Измерения температуры воды в бьефах сооружений и в пьезометрах . . . . .  | 92  |
| § 4. Определение фильтрационного расхода, проходящего через земляные плотины . . . . .   | 93  |
| § 5. Способы определения скорости фильтрации в земляных плотинах и в проницаемых основаниях гидротехнических сооружений . . . . .                      | 96  |
| А. Способ химический . . . . .   | 96  |
| Б. Электролитический способ Слихтера . . . . .   | 99  |
| § 6. Общая методика изучения гидравлики сооружений . . . . .   | 102 |
| § 7. Методы изучения гидравлики судоходных шлюзов и условий отстоя судов в них . . . . .   | 109 |
| А. Исследования шлюза при неустановившемся движении . . .  | 109 |
| Б. Исследования шлюза при установившемся движении в камере . . . . .   | 112 |
| В. Исследования условий отстоя судов . . . . .   | 114 |
| § 8. Визуальные наблюдения . . . . .   | 116 |
| § 9. Некоторые практические указания по методике измерения деформаций струнным методом . . . . .   | 119 |

---

Сдано в производство 10/IV 1939 г. Подп. к печ. 21/XII 1939 г.  
Формат  $60 \times 92 \frac{1}{16}$  Печ. лист.  $7 \frac{3}{4}$  Уч. авт. лист 8,25  
Тираж 3000 Изд. № 117 Уч. № 7656 Заказ № 796  
Уполном. Главлита № А-1621

---

1-я Журнальная тип. ГОНТИ. Москва, Денисовский пер., 30

Цена 2 р. 75 к.

ЭГ-30-5-3