

Туркестанский Народный Техникум.
ГИДРОТЕХНИЧ. СТРОИТ. ОТДЕЛЕНИЕ.

- В. И. Владычанский.

В. И. Владычанский

ГИДРОМЕТРИЯ.

Конспект лекций, читанных слушателям
II-го курса Гидротехническо-Строитель-
ного Отделения Т. Н. Т. в 1920—21 году.



РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ТАШКЕНТ.

Тир. 2000. Туркестанское Государственное Издательство. № 15660.

1922.

Ташкент, Типография № 6 Туркгосиздата.

Замеченные опечатки.

Стр. Строка сверху		Напечатано	Должно быть
15	8	10'	10"
21	17	дня	дна
32	5	позучено	получено
32	28	Разво	разно
35	3	Гидримитрические	гидрометрические
42	2	имет отверстия	имеет отверстие
44	2	уревнения	уравнения
44	23	отпускают	опускают
46	14	до дня	до дна
46	22	между	между
47	12	дигметром	диаметром
51	13	проитив	против
51	27	после слова (блок) читать	(Рис. 55)
51	32	$X = K_1' \cos \alpha - N \dots 1$	(Рис. 56)
52	28	Электические	электрические
53	1 снизу	отсвдит	отводит
54	6 сверху	у	и
63	14	ренки	рейки
75	8	ос	ось
87	5	водоность	водоносность
92	25	трфе	шурфе
97	16	восливного	водосливного
98	12	факсировать	фиксировать
101	1	соседания	оседания

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Необходимость иметь практическое руководство по гидрометрическим измерениям, изложенное более или менее популярно, без сложных выводов, основанных на знании высшей математики, чувствовалось всегда. Этот пробел в специальной литературе резко обозначился с момента открытия Туркестанских Гидротехническо-Строительных курсов, когда автору было предложено прочесть лекции по гидрометрии. С первых же шагов слушателями было заявлено желание иметь практическое руководство. Эти запросы пришлось удовлетворять рукописными конспектами.

При составлении программы лекций по гидрометрии имелась в виду подготовка работников по гидротехнике, имеющей в основе разного рода изыскания. Поэтому в конспекте очерчены работы по гидрометрическим измерениям, производимыми главным образом в обстановке изысканий, которые относятся к разряду так назыв. „временных наблюдений“; приведены наиболее распространенные простые методы обработки материалов наблюдений и даны описания приборов и способы пользования ими.

Помимо конспективного изложения вопроса, в издаваемом руководстве могут встретиться неизбежные пробелы и недочеты, свойственные всякому начинанию и если конспект найдет среди работающих применение, то эти недостатки могут быть исправлены в будущем.

При составлении конспекта пособием служили:

Отчеты Гидрометрической части в Туркестане с 1910—1913 г.

Материалы по водным изысканиям в Крыму. Инж. Кочерин. Издание Отд. Зем. Ул. 1916 г.

Описание и чертежи гидрометрических постов в С.-А. Соединен. Штатах. Перевод с английского. Инженер-агроном Е. Е. Скорняков. Изд. Гидр. части в Европ. Рос.

Инструкции для учета проносимых рекою наносов. Инж. С. Писарев. Изд. Гидр. части в Туркестане.

Материалы для описания русских рек. Инженеры Фидман и Шафалович.

Переводные статьи с английской литературы по гидрометрическим измерениям.

Статьи Е. Е. Скорнякова и Е. В. Оппокова, помещенные в Технической энциклопедии.

Краткая инструкция Мюнхенского Гидрометрического Бюро Е. В. Оппоков.

Курс геодези. Бик.

Донный лед. В. М. Лохтин. Журнал Министерства Путей Сообщения. 1917 г.

Материалы по вопросу об изучении условий образования донного льда. Л. Я. Ячевский. Гидрологич. Вестник. 1915 г.

Подземные воды. Проф. Кейльгак.

Химический метод измерения расхода потока. Инженер Н. М. Бернадский и др.

Оглавление.

	Стр.
1. Кругооборот воды в природе. Бассейны. Источники питания их. Классификация рек по источникам питания.	9—10.
2. Предмет гидрометрии. Наблюдения временные и постоянные.	10—11.
3. Водомерные наблюдения. Выбор места под водомерные посты. Съемка участка реки. Разбивка магистрали. Поперечники. Створы. Продольники. Косые галсы.	11—15.
4. Устройство водомерных постов. Рейка на свае. Рейка железная. Рейка на крестовине. Рейка в ковше. Связка нуля рейки с постовым репером. Свайные посты. Цепная рейка. Весовая рейка. Измеритель инж. Соколова. Автоматическая максимальная рейка.	15—19.
5. Приборы для автоматических отметок и записей максимальных и минимальных уровней. Измерение толщины льда.	19—21.
6. Живое сечение. Отметка среднего дна. Разбивка вертикалей, измерение глубин.	21—23
7. Наблюдения за колебанием уровня. Нуль графика наблюдений. Перенос поста на другое место.	23—24.
8. Оборудование постов для измерений. Мосты. Пост на троссе. Схема поста на троссе. Кривые и таблицы для подбора троссов. Паромы-самолеты и на троссе	24—28.
9. Определение расхода. Формула расхода воды. Формула Шези. Формула Куттера. Коэффициент шероховатости. Формула Базена. Распределение скоростей на живом сечении. Диаграмма скоростей. Средняя скорость на вертикали. Формулы для вычисления средней скорости. Переходные коэффициенты от поверхностной к средней. Формулы. Построение кривой переходного коэффициента. Поплавки и гидрометрические шесты.	28—36.

10. Определение скорости поплавками. Вычисление расхода по пл. жив. сеч. и поверхностным скоростям. Пульсация. Распределение пульсации по живому сечению. 36—39.
11. Гидрометрические приборы для измерения скоростей. Речной квадрант, его теория. Теория трубки Пито. Тубка Пито-Дарси, станционная, карманная. Вертушка Вольмана? Коэффициент вертушки. Формулы для вычисления постоянных 39—44.
12. Описание типичных вертушек. Вертушка Вольмана с механическим счетчиком. Вертушка Амслера-Ляффон с электрической сигнализацией. Поддон с контактом. Лебедка. Усовершенствования Гарляхера и Отто. Схемы и рисунки вертушек. Магнитная вертушка Менсинг-Отто. 44—48.
13. Установка вертушек во время работы, Вертушка на упорной и подвесной штанге. 48—49.
14. Установка плавучих вертушек. Вертушка на троссе. Схема соединения вертушки с регистрирующими приборами. Тип лебедки. Ошибки в определении глубин. 50—52.
15. Вертушка с вертикальной осью проф. Прайсса—Акустическая. Электрическая. Рисунки. 52—55.
16. Оборудование электрических вертушек Элементы. Испытание. Уход. Секундомеры и отсчеты по ним 55—56.
17. Поплавок-интегратор. Устройство и теория его. 57—58.
18. Понятие о тарировке вертушек. Бассейны. Кривые тарировки. Тарировки на естественных водоемах с лодки. Разборка и чистка вертушек. Измерение скорости вертушками. 59—66.
19. Вычисление секундного расхода потока, Формулы ср. скоростей. Элементарные расходы. Графическое построение секундного расхода и скоростей потока. Вычисление расхода через концевые участки треугольной и трапециодальной формы. Способ Кульмана. Схема вычисления сек. расхода и его элементов. Таблица элементов расхода. 67—71.
20. Вычисление суточного расхода. Зависимости элементов расхода от высоты уровня. Кривые зависимости площадей жив. сечения от высоты уровня. Характеристи-

ка таких кривых. Построение кривых. Форма кривых в зависимости от ширины и глубины потока. Кривая зависимости средней скорости от высоты уровня, зависимость между ср. скоростью уклоном, неровностями русла и гидравлическим радиусом. Характерные особенности кривых ср. скорости. Нахождение горизонта нулевой скорости. Построение кривой зависимости расходов от высоты уровня. Уравновешивание отдельных групп точек по группам, интервалам. Причины отклонения точек от кривой. Образец кривых зависимостей. Зависимость расходов от $F \sqrt{h}$ выражаемая прямой линией. Способ построения. Аналитический способ построения кривых. Составление таблиц средних суточных уровней. Формула проф. Глушкова. Составление таблиц расходов. Влияние изменения русла на величину расхода. Поправки к показаниям рейки. Способ Стаута. Составление таблиц расходов для зимних месяцев. Образец графика колебаний гидравлических элементов. Речной сток. Понятие о коэффициенте стока. Процес замерзания рек. Образование донного льда.

71—82.

21. Гидрометрия грунтовых вод. Классификация подземных вод, их свойства. Глубина залегания. Колебание уровня гр. в. и зависимость от испарения и осадков. Наблюдения над колебанием уровня гр. воды. Способы и приборы для измерения. Воронки понижения. Определение направления стока. Изменение направления стока по времени. Определение скорости движения и расхода гр. воды. Способы посредственные. Измерение скорости непосредственно-химически. Способ Шлихтера (электролиз)

83--90.

Метод инженера Кочерина. Определение запаса воды в пласте откачкой. Откачка желонкой. Определение притока речных и грунтовых вод по их температуре. Определение дебита ключей и малых протоков. Водомерный дюйм. Водосливная рамка. Водослив Чиполетти. Регистрирование напора на водосливах самопишущими приборами. Прибор Гидроמודульной

	части. Схема установки лимниграфа в будке. Таблица расходов воды через водослив Чиполлети в зависимости от ширины отверстия.	Стр. 90 — 99
22.	Учет речных наносов. Наносы взвешенные и растворенные. Способы учета, приборы. Батометры инженера Жуковского. Мензурка-Батометр. Батометр с регулировкой объема. Батометр-тахиметр проф. Глушкова. Весовой учет. Организация работ. Пробы воды. Относительная мутность. Расход наносов через вертикаль. Расход через живое сечение. График расхода наносов. Объемный учет. Организация работ и приборы. Относительное содержание наносов в ‰ по объему. Растворенные в воде вещества. Организация работ и приборы. График колебания расхода наносов.	100—109
23.	Таблицы переходных коэффициентов от поверх. скорости к средней для всего живого сечения. Таблица значений К в зависимости от R и природы поверхности ложа потока. Заметка о туземных оросительных единицах.	110—113
24.	Понятие о химическом методе измерения расхода потока	114—117.

Кругооборот воды в природе.

Главными факторами жизни на земле, как известно, являются солнце и вода. Могучей и безостановочной работой солнца, вода испаряется с поверхности водоемов и суши, в виде пара подымается в верхние слои атмосферы, где пары охлаждаясь, образуют облака; воздушные токи разносят пар и облака над материками; понижение температуры облака вызывают конденсацию паров в жидкость и этим обуславливается выпадение так называемых атмосферных осадков — дождя, снега, росы, тумана и т. п. Снег и град — те же капельки воды, но успевшие при своем падении принять твердый вид.

Падающие на землю капли дождя проникают в нее более или менее глубоко, смотря по свойству почвы и степени ее сухости. Первые капли дождя, упав на голую и раскаленную поверхность, тотчас же испаряются, но затем происходит охлаждение земной поверхности и мы можем проследить как вода, спускаясь по рельефу местности образует поверхностные текущие водоземы, проникая вглубь до непроницаемых пластов глины образует грунтовые воды, а затем скатываясь по уклонам этих пластов местами выходит на дневную поверхность в виде ключей или родников, ручьев и рек стремится к озерам, морям и океанам затем, чтобы опять начать свое воздушное и безостановочное путешествие.

Неровности земной поверхности образуют целые системы наклонных плоскостей, заканчивающихся линиями наибольших глубин, к которым стремятся все свободные воды, образуя по этим линиям реки. Такие системы плоскостей называются бассейнами. Цепи возвышенностей между бассейнами называются водоразделами.

Источниками питания рек, как мы видели, являются атмосферные осадки, выпадающие в бассейнах; в зависимости от высоты бассейнов над уровнем океана; а стало быть и температуры воздуха, осадки выпадают в виде дождя или снега. В горных странах, где температура понижается в зависимости от высоты места, есть такие области, где осадки выпадают только в твердом виде и образуют „вечные снега“.

Массы снега под собственным давлением спаиваются в лед, в последний хотя и очень медленно, но подвигается по уклонам к границам с более высокой температурой, здесь начинается таяние льда и отсюда берут начало большие реки. Таким образом намечается классификация рек по бассейнам питания, а именно: ледниковые, снеговые и родниковые, само собою понятно, что между ними есть реки смешанного типа.

Наиболее обеспечены водой реки ледникового типа, многоводность снеговых рек обуславливается количеством выпавшего за зиму снега и летними дождями в бассейне, почти тоже самое можно сказать и про родниковые речки, разница в том, что количество воды в них, завися от грунтовых вод, подвергается колебаниям в больших пределах времени, т. к. обогащение грунтовых вод происходит медленнее, чем поверхностных.

Предмет гидрометрии.

Гидрометрия есть одна из ветвей гидрологии, науки занимающейся изучением законов, управляющих жизнью и кругооборотом воды на земном шаре и в окружающей его атмосфере. Задачей гидрометрии является определение количества воды, протекающей в элемент времени и получение отсюда интересующих нас выводов и заключений.

Гидрометрические изыскания на реках имеют целью возможно полное изучение режима реки, для эксплуатации ее в различных отношениях. Эксплуатировать реку можно как пути сообщения, как источник энергии и орошения.

В Туркестане изыскания производятся главным образом с целью орошения. Источник питания и следовательно обеспеченность водою план, профиль, уклоны, колебание уровня и расходов воды, количество и качество наносов, проносимых и откладываемых рекою, изменение русла, время и характер вскрытия и замерзания, образование донного льда и степень солености воды—вот те вопросы, на которые гидрометрия должна дать возможно исчерпывающие ответы.

Точность и полнота наблюдений зависит от требований практического характера, но никогда не следует упускать возможности прозерить на практике в естественных условиях движения потока ту или иную зависимость или формулу, выведенную путем лабораторных на-

блюдений или проверить пригодность того или иного коэффициента на разных реках и при разных условиях течения.

По объектам наблюдений гидрометрию или водомерные наблюдения можно разделить на две группы: гидрометрия поверхностных вод; сюда относятся: наблюдения за реками, ледниками, озерами, морями и океанами и гидрометрия подземных и грунтовых вод.

Как те так и другие наблюдения могут быть временные и постоянные.

К временным относятся наблюдения за замерзанием и вскрытием рек и озер, время, продолжительность и высота весенних паводков; изучение режима реки или канала с целью устройства какого либо гидро технического сооружения, последние наблюдения охватывают собою период в 2—3 года, а иногда и того менее; постоянные наблюдения имеют целью систематическое, непрерывное изучение, исследование и учет водных запасов, установление зависимости этих запасов от метеорологических факторов и основанный на этом прогноз количества и распределения воды по бассейнам и водоемам в будущем. Точность решения таких задач зависит всецело от продолжительности и качества наблюдений, охватывающих периоды в десятки лет.

Наблюдения эти ведутся по определенным программам и методам. Данные временных наблюдений часто служат дополнением постоянным и поэтому программы и методы применяются в основных чертах аналогичные с первыми.

Водомерные наблюдения.

Для производства водомерных наблюдений устанавливают водомерные посты или гидрометрические станции. Качество и ценность водомерных наблюдений зависят, кроме добросовестности наблюдателя и способов наблюдения также и от места наблюдения, поэтому при выборе места под пост руководствуются следующими соображениями: наблюдению подвергаются—колебание уровня воды, уклоны, измеряются скорости течения, учитывается количество и качество проносимых рекою наносов, изучается размывающая и отлагающая деятельность реки и т. д. поэтому на участке реки под водомерным постом при всяком уровне воды должны проходить в одном русле, не разбиваясь на рукава; самый участок должен иметь для больших рек длину в 10 раз большую ширины в низкую воду, а для малых речек и каналов не менее

200—250 саж. Для очень малых горных извилистых рек это требование может быть сокращено до 10—15 саженов. На всем протяжении участок должен быть прямолинейен и иметь правильную корытообразную форму, без резких изменений глубин, крупных камней и т. п. в таких руслах благодаря плавному и спокойному течению сохраняется параллельность струй, а это, как увидим ниже имеет огромное значение для определения расхода воды в реке. Допускается установка постов на больших плавных поворотах реки, но только в крайних случаях.

Ниже участка, а равно на всем протяжении его не должно быть перепадов, плотин и т. п. искусственных или естественных препятствий течению. Такие препятствия создают „подпор“ и искажают скорости. Поэтому чтобы избежать влияния подпора, пост устанавливается на некотором расстоянии от таких преград. Расстояние это можно вычислить приблизительно по формуле:

$$L = \frac{2h}{i}$$

Здесь h — величина повышения первоначального уровня у запруды.

i — относительный уклон (равномерный).

(Рис. 1).

Если пост приходится устанавливать вблизи устья реки, то необходимо будет внимательно исследовать вопрос о наибольшем уровне в реке или озере, в которое впадает данная река и выбирать место для поста на таком расстоянии от впадения, чтобы этот наибольший уровень, подпирая воды исследуемой реки не повлиял на нормальное течение на посту. Например: река впадает в озеро. Следы наибольшего уровня (по берегам) в озере говорят, что вода подымается до 1,5 саж. от уровня в данный момент. Определение уклона реки дало цифру 0,001.

$$L = \frac{2,15}{0,001} = 3000 \text{ с.} = 6 \text{ верст,}$$

следовательно пост установить можно не ближе 6 верст от впадения реки в озеро.

Если обстоятельства требуют установить пост ближе, то следует выяснить тот критический уровень принимающего водоема при котором показания устанавливаемого поста будут сомнительны, а также и периоды времени, в которые можно ожидать повышения уровня и продолжительность его стояния.

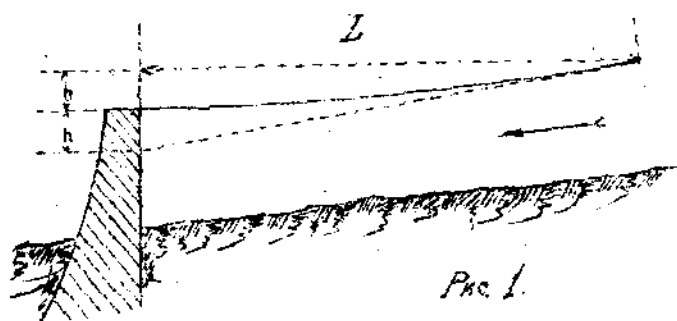


FIG. 1.

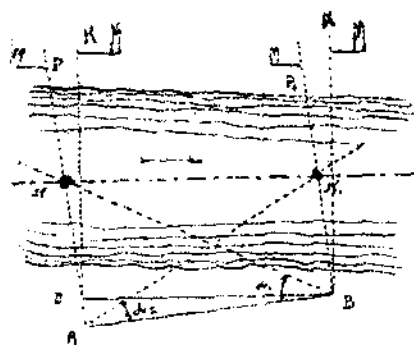


FIG. 2.

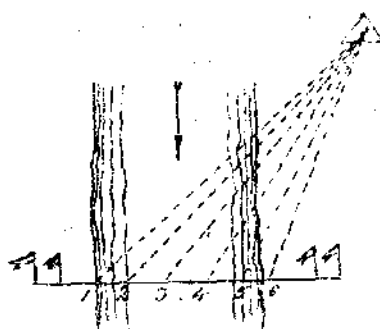


FIG. 3.

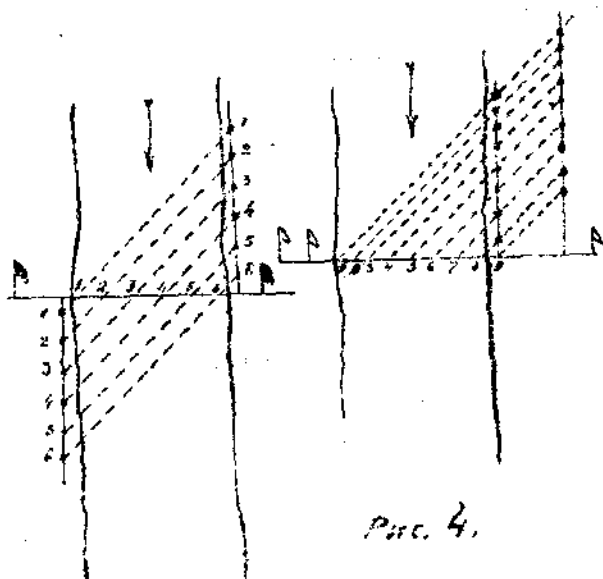


FIG. 4.

Выбрать место под водомерный пост на реках шириною до 30—50 с. и при том небольшой глубины не представляет особенных затруднений, так как здесь возможно непосредственно осмотреть участок, а иногда и сделать ряд промеров глубин для выяснения, как формы так и характера русла; при больших глубинах и значительной ширине приходится прибегать к с'емке всего участка реки.

С'емка реки производится поперечниками или продольниками; как в том, так и в другом случае по берегу реки разбивается магистраль, направление магистрали должно быть параллельно главной струе, течения реки на участке. Для этого по берегу провешивается линия АВ приблизительно параллельно главной струе, направление которой определяется брошенными поплавками. (Рис. 2.

В точках А и В помощью угломера восстанавливаются перпендикуляры к линии АВ, на другом берегу эти перпендикуляры закрепляются вешками Р и Р₁, затем с лодки на главной струе выше створа АР пускаются поплавки и засекают угломером эти поплавки в момент прохождения нижнего створа ВР₁; получается для ряда поплавков несколько значений углов α₂ между АВ и направлениями на поплавки; среднее из этих углов дает точку N₁, соответствующую средней точке главной струи. Таким же порядком определяется средний угол α₁ между ВА и точкой N верхнего створа АР., для разбивки магистрали параллельно главной струе имеются: углы α₁, α₂ и длина линии АВ.

$$BV_1 = AB \operatorname{tg} \alpha_2$$

$$AN = AB \operatorname{tg} \alpha_1$$

$$AD = AN - BN_1 = AB \operatorname{tg} \alpha_1 - AB \operatorname{tg} \alpha_2 = AB (\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2) =$$

$$AB \frac{\sin (\alpha_1 - \alpha_2)}{\cos \alpha_1 \cos \alpha_2}$$

отрезок AD отложенный от А по линии АР дает точку D искомой ВD, остается построить перпендикуляр к линии ВD и получить линии створов DK и DK₁ перпендикулярные к главной струе, эти линии закрепляются постоянными вехами. Базируясь на линии ВD можно разбить любое число створов и по ним произвести с'емку всего участка поперечниками с лодки, следя за тем, чтобы лодка держалась все время на створе данного поперечника. Если ширина реки позволяет перекинуть на створе канат или тросс, предварительно размеченный, например, на сажени, то измерения глубин делают на точках, соответствующих этим меткам на троссе; при значительной ширине реки поло-

жение лодки на створе в момент промера глубины закрепляется за сечками на мензуре или помощью угломера, для этого где либо, на возвышенном месте, устанавливается угломерный инструмент, которым, по сигналу с лодки, делают засечки в момент промера. (Рис. 3) Находящимся на лодке приходится определять где требуется измерить глубину в зависимости от характерных изломов дна. Эта система засечек или створов называется центральной, при ней в случае повторения промеров поставить лодку на прежнюю точку без помощи берегового наблюдателя—нельзя. Более удобная система косых створов, будучи раз разбита по берегам реки и закреплена вехами, позволяет обходиться без инструмента, причем отыскание нужных точек делается сравнительно легко; сущность этой системы ясна из чертежа (Рис. 4).

Другой способ съёмки реки, более дешевый, быстрый, и не уступающий первому по точности—есть съёмка продольниками. Для этого лучше всего иметь два угломера, расположенных на концах участка, предназначенного к съёмке. Лодка, с которой делают промеры, движется свободно по реке и в момент прохождения поперечных створов, по сигналу с нея, берутся углы обоими угломерами, в промежутках между створами с лодки делают промеры не засекаемые с берега, но отсчитывается по секундомеру время каждого измерения; при этом предполагается, что скорость передвижения лодки между двумя створами равномерна, все наблюдения по секундомеру и результаты измерений заносятся в журнал.

Кроме приведенных способов съёмки участка реки, применяется также способ „косых галсов“. Он состоит в следующем. В верхней части участка подлежащего съёмке, например на левом берегу, забивают кол с надписью „№ Л. Г.“ лодка с техником, мерщиком глубин и гребцами, отходит от этого кола и по возможности равномерно движется поперек реки к правому берегу. По команде техника, через 10'' мерщик опускает футшток и в слух читает его показание, техник записывает время и глубину, эти манипуляции повторяются через каждые 10''. Случайные остановки например, на мелях оговариваются в журнале с отметкой времени истраченного на остановку. Когда лодка подойдет к правому берегу, замечается время и забивается кол с надписью „№ П. Г.". Затем лодка переводится вверх до высоты кола № Л. Г. и заезд повторяется от правого берега к левому, причем на правом берегу забивают кол с надписью „№ П. Г.", а на кон-

це заезда на левом берегу—кол с надписью „Л л. с.“. Колья левого и правого берега имеют, следовательно, особую нумерацию.

Пикетаж галсов снимается на план, нивелируются уровни воды у пикетных галсовых кольев и связываются с показанием рейки. Вся сеть галсов наносится на план, и по ним распределяются по времени точки промеренных глубин. Успех такой съемки на Илийской гидрометрической станции выразился в таких цифрах: за три дня снято $12\frac{1}{2}$ вер., на этом протяжении измерено 1.800 глубин через 10' каждая.

Устройство водомерных постов

В результате съемки реки строится план в горизонталях по отметкам измеренных глубин приведенным к отметке высоты уровня во время съемки. Руководствуясь планом намечают „рабочий участок“ водомерного поста. Если русло реки снятое на план прямолинейно и так сказать равноценно на всем протяжении, то рабочий участок выбирают примерно на $\frac{2}{3}$ от верхнего конца всего участка для того, чтобы воды, пройдя в русле правильной формы, так сказать, выравнились и подходили к месту измерения при наиболее полной параллельности струй. На середине „рабочего участка“ разбивают главный створ и на расстоянии от 5 до 10 с. (для малых речек) в обе стороны от главного разбивают верхний и нижний створы. Расстояние между створами зависит от ширины реки и ни в коем случае не меньше ширины, обычно для средних рек 50—100 саженей. Створы закрепляются на обоих берегах реперами или надежными кольями и при том так, чтобы вода не доходила до них, если по характеру берегов этого избежать нельзя, то в той же плоскости забивают вторую пару кольев.

Вблизи главного створа устанавливают репер; все нивелировки производят относительно этого репера. Поперечники на створах нивелируются до наибольших возможных уровней. (Рис. 5). Определяется падение реки между крайними створами по урезам и выводится уклон на рабочем участке.

Саженей на $1\frac{1}{2}$ —2 ниже главного створа, реже на самом створе, устанавливается водомерная рейка. По этой рейке наблюдается колебание уровня воды. На верхнем и нижнем створах устанавливаются такие же рейки, наблюдения по этим рейкам дают возможность определить уклон и проследить изменение его в зависимости от колеба-

ния уровня. Рейка на главном створе называется „постовой“—на крайних створах „уклонные“.

Есть много способов укрепления рек. Остановимся на некоторых из них.

Рейка на свае. В дно реки забивают отвесно деревянную сваю и к ней прибивают деревянную же рейку, разделенную на сотые сажени. Сваю обтесывают, придавая ей сечение указанное на рисунке. Такое сечение уменьшает набег воды на сваю, а это облегчает течение по рейке. На нижний конец сваи набивается железный башмак. (Рис. 6).

Рейка железная. Установка та же, рельсового или углового железа, свая забивается в дно. К ней приклепывается полоса жести с прорезами, величиною в сотку и соответствующими цифрами, иногда вместо такого циферблата, на свае, по разметкам просверливают ряд отверстий. Получается разметка рейки и цифр из сквозных отверстий.

Рейка на крестовине. При каменистых руслах, когда сваю забить невозможно, рейку устанавливают на крестовине. Крестовина собирается из двух брусьев, скрепленных врубкой и гвоздями, и к ней прибивается рейка и укрепляется проволочными тязами и подкосом. (Рис. 7).

В реке выбирается углубление и в него погружается крестовина, сверху наваливают крупные камни, но при этом нужно следить, чтобы заваленная камнями крестовина не возвышалась над общим уровнем дна, для этого углубление должно быть достаточно велико.

Встречное ребро рейки делается острым для уменьшения набега воды. Крестовину можно заменить бетонным массивом, в который заделана нижним концом железная рейка.

Рейка в ковше. При больших скоростях течения рейки приведенных типов мало пригодны, так как набег воды на рейку достигает 0,2—0,3 саж. и отсчеты до сотки совершенно невозможны, в таких случаях приходится устанавливать рейку в „ковше“. На берегу вблизи уреза, выкапывается квадратная яма приблизительно в кв. саж.; глубиною немного более средней глубины реки в данном месте, стенки ямы-ковша крепятся распорами, в дно ямы забивается свая и к ней прибивается рейка. (Рис. 8).

Яма сообщается с руслом открытым каналом, выходящим в реку под углом к течению во избежание засорения канала и ковша наносами.

Рис. 5.

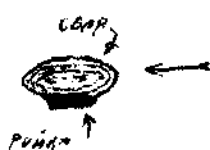
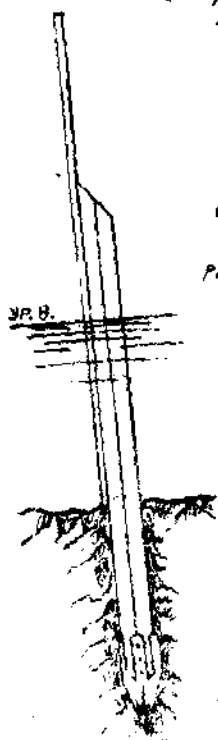
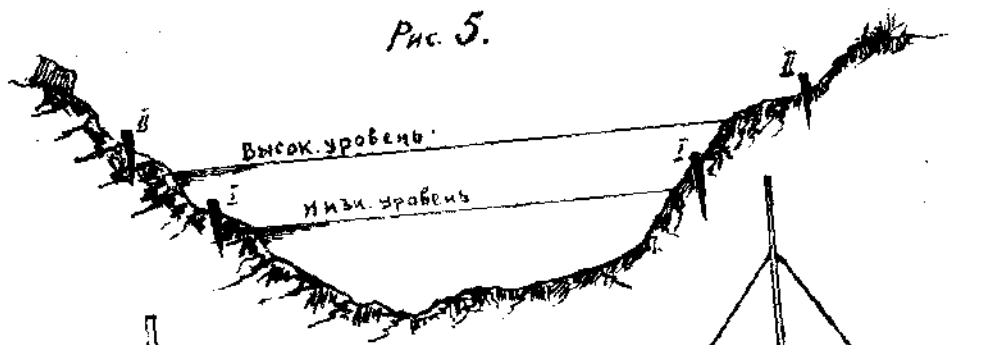


Рис. 6.

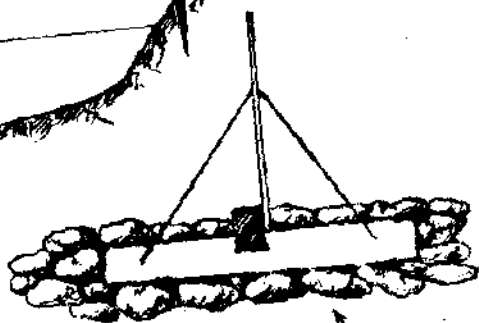


Рис. 7.

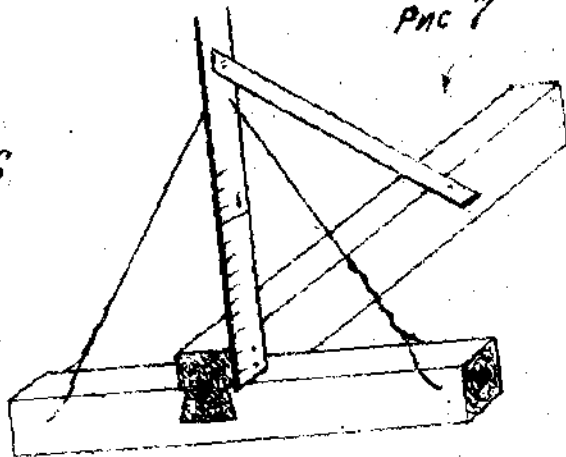
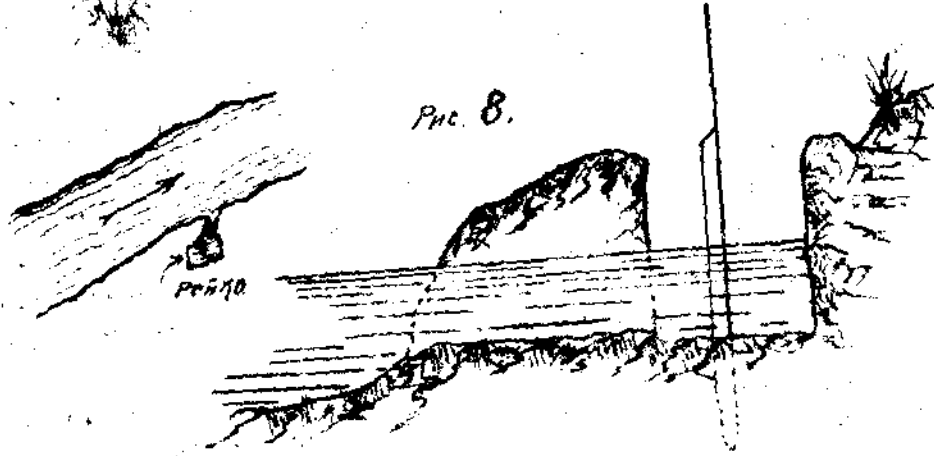
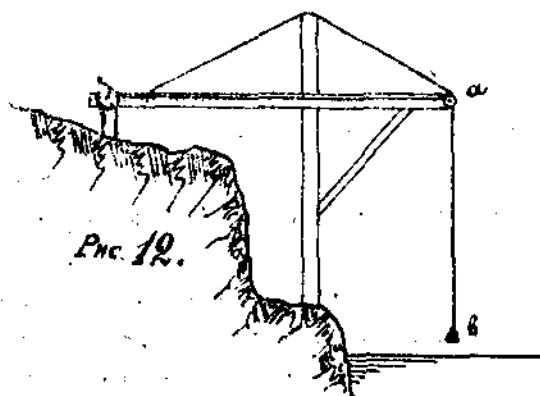
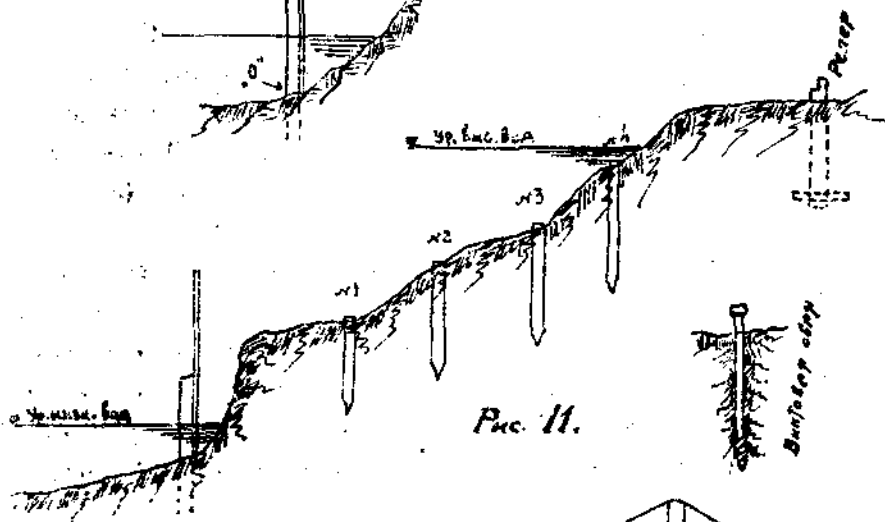
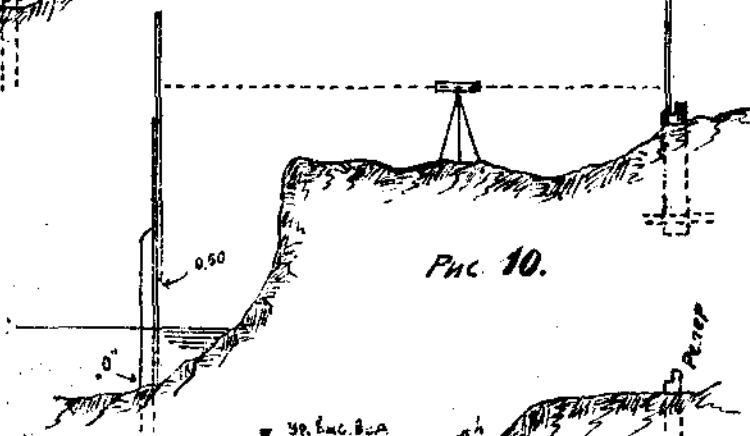
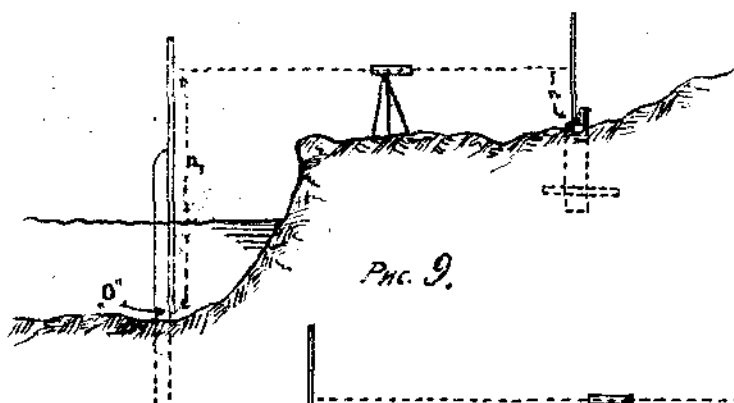


Рис. 8.





Место для ковшов лучше всего выбирать у обрывистого берега. В таком случае рейка всегда будет обеспечена водою.

Сущность наблюдения за колебанием уровня заключается в том, чтобы проследить колебания во времени, откуда само собою вытекает, что эти колебания должны фиксироваться относительно какой-то неподвижной и постоянной точки. Такой точкой является постовой репер, а изменения высоты уровня улавливаются периодическими отсчетами по постовой рейке, которая связана нивелировкой с репером. Какова бы ни была конструкция водомерной рейки, положение нулевого ее деления в вертикальной плоскости может быть нарушено или перестановкой или возобновлением вследствие повреждений, это, конечно, повлечет за собою изменение ее показаний, чтобы иметь необходимую поправку к показаниям рейки, обязательно связывают „нуль“ рейки с репером. Для этого встав с нивелиром между репером и рейкой и поставив нивелирную рейку на репер, берут по ней отсчет и повернув трубу, берут отсчет по постовой водомерной рейке; тогда отметка „О“ равна отметке репера $R + n - m$ (Рис. 9).

Если постовая рейка ниже горизонта визирования, то взяв отсчет на репер, переносят рейку и прикладывают нулевое ее деление к какому-либо делению постовой рейки, например, 0,50 и берут отсчет m , тогда отметка „О“ равна отметке репера $R + n - (m + 0,50)$ (Рис. 10).

Связка „О“ реек постовых и уклонных с репером производится при их установке и проверяется возможно чаще. Если наблюдатель-замышлен будет переставить или заново поставить рейку и не может связать ее с репером, то обязан точно отметить время установки, число и часы и уведомить об этом лицо, ответственное за правильный ход работы, которое и примет меры к закреплению „О“ нивелировкой.

Свайный пост.

Если река проходит в пологих берегах или настолько крутых, что в паводок можно ожидать что рейка вся закроется водой, то устанавливается свайный пост. По линии перпендикулярной течению забивают ряд свай, так чтобы они возвышались над землей соток на 5—10. Концы свай опиливаются так чтобы получилась горизонтальная площадка. Когда читать по рейке невозможно, то определяют высоту уровня футштоком (рейкой) над ближайшей покрытой водой

свайей. Все сваи занумерованы и точной нивелировкой связаны с по-
стоянным репером. В журнале наблюдений отмечается № сваи и пока-
зание футштока. (Рис. 11.).

Время от времени проверяется нивелировкой положение свай и
их исправность. Сваи для водомерных постов изготавливаются также чу-
гунные с винтовым наконечником, длина такой сваи около сажени,
диаметр 2—5 дюймов, для завививания в землю употребляется особый
ключ с деревянными рукоятками.

Цепная рейка.

Если берег мало доступен, то устраивают цепные рейки. Кон-
струкция береговой установки представлена схематически на черте-
же; проволочный тонкий трос перекинут через блок, а на балке и
имеет на конце груз *а*. Другой конец троса закреплен на валу ле-
бедки; работая лебедкой опускают груз до воды и замечают по шка-
ле укрепленной на балке высоту уровня, (Рис. 12.).

Весовая рейка.

На Аральском море работает весовая рейка, построенная по
указаниям проф. Глушкова. Принцип устройства основан на за-
коне Архимеда. Тело погруженное в воду теряет в своем весе столь-
ко, сколько весит вытесняемая им вода; если объем воды вытесняе-
мый телом меняется, то меняется и вес погруженного в ней тела.
Полый оцинкованного железа цилиндр, загруженный дробью или кам-
нями так, что его удельный вес немного больше единицы (при погружении
в воду только-только тонет) погружен в воду и подвешен на проволоке
к кольцу пружинных весов, укрепленных неподвижно. (Рис. 13.). При
повышении уровня воды, цилиндр будет терять вес и всплывать; каж-
дому уровню соответствует определенное деление шкалы весов. Эта
рейка обладает многими преимуществами. Детали расчета цилиндра
шкалы весов и способ установки изложены в отчете Гидрометриче-
ской Части за 1911 г. том I.

Измеритель инженера Соколова

Для измерения высоты уровня над головкой водомерной сваи
кроме футштока применяется также измеритель инженера Соколова.
(Рис. 14.). Он состоит из стеклянной трубки высотой 26 с. диамет-
ром 2 сан. вделанной в медную оправу. Внизу оправы имеется кран

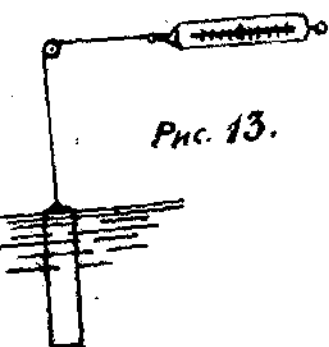


Рис. 13.

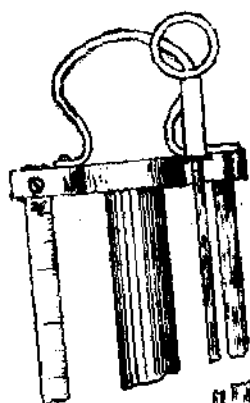
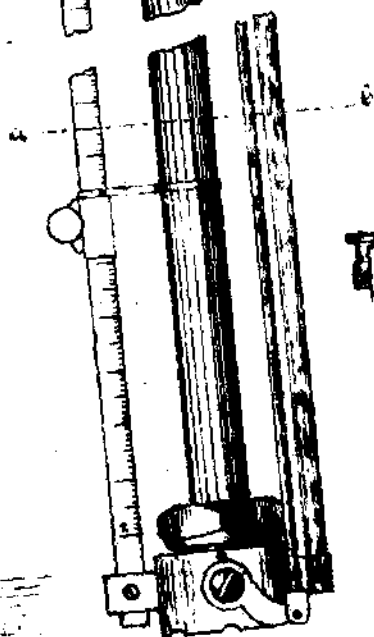
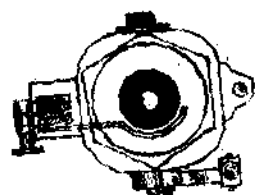


Рис. 14

Вид сзади



Вид сверху

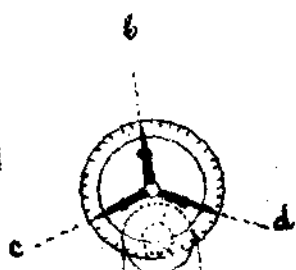
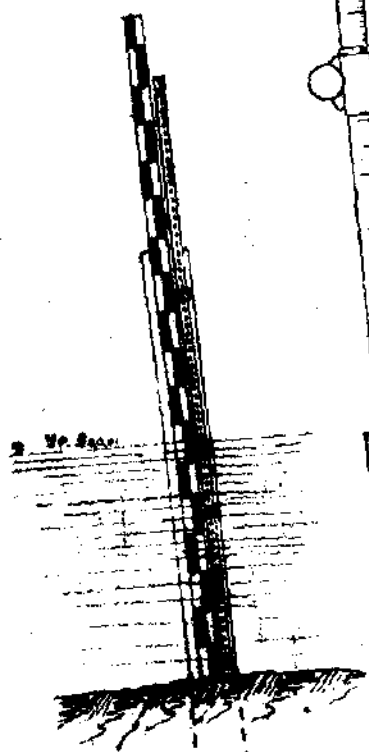
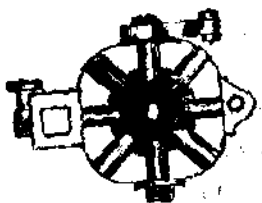


Рис. 16.

Рис. 15.

Управление краном производится особой тягой. На одной из стоек нарисована шкала с делениями в 0,001 см. На шкале имеется передвижной индекс с зажимным винтом. С индексом, скреплена вилка, охватывающая трубку и свободно по ней скользящая. Поставив прибор на головку сваи, открывают кран. Вода подымается в трубке на высоту уровня. Когда колебание воды в трубке затихнет, кран закрывают и сняв прибор со сваи, устанавливают вилку индекса так, чтобы ее верхний край был на высоте нижней поверхности мениска. Отсчет по индексу дает высоту уровня над свайей. Точность отсчета 0,0005 см. При сильном волнении стараются уловить верхнюю и нижнюю часть волны, повторяя несколько раз измерение. Тогда среднее из всех измерений дает вероятную величину высоты уровня над свайей.

Автоматическая максимальная рейка.

В горных областях часто выпадают значительной силы паводки поднимающие почти мгновенно уровень в речках. Такой паводок проходит очень быстро. Захватить максимальное положение уровня для отсчета по рейке возможно только случайно. Наиболее удачная конструкция для фиксирования таких паводков выработана гидрометрическим отделом Крымских Изысканий. (Рис. 15). Рядом с посто́вой рейкой укрепляется газовая продырявленная труба, в которую опускается железный стержень с головкой, имеющей винтовую нарезку и который ввинчивается ключом в такую же нарезку в трубе. Вдоль стержня укрепляется полоска бумаги с проведенной на ней вертикально чертой гектографическими чернилами. Конец стержня и черта на бумаге совпадает с положением нулевого деления рейки. Вода проникает в трубу и размывает чернильную линию. Наблюдателю после паводка остается вывинтить стержень, измерить длину размытой линии, заменить бумагу новой и снова приготовить рейку для работы.

Приборы для автоматических отметок и записей максимальных и минимальных уровней.

Наблюдения по посто́вым рейкам обычно производятся в светлое время суток, а между тем на горных речках существуют значительной величины суточные колебания уровня, причем крайние значения таких колебаний могут приходится или на ночное время или же на очень короткий промежуток времени между двумя сроками наблюдений по рейке. Для фиксирования таких колебаний и контроля ра-

Зоты наблюдателя применяются автоматически действующие приборы. На чертеже (Рис. 16). А схематически представлен прибор состоящий из поплавка, опущенного в трубу, сообщающуюся с рекою. Шнур от поплавка перекинут через блок и на другом конце имеет противовес; на оси блока насажена зубчатка, приспособляющая в движение зубчатое колесо большого диаметра, на ось этого второго колеса насажена стрелка (в) по этой стрелке отсчитываются на циферблате высоты уровня. На этой же оси насажены еще две стрелки, причем каждая из этих стрелок может двигаться только в одну сторону.

Поплавок подымается или опускается вместе с уровнем и приводит в движение стрелку (в), которая захватывает и отводит до крайнего положения уровня одну из стрелок, таким образом максимальное и минимальное стояние уровня отсчитывается по циферблату, а затем стрелки могут быть переведены к главной и фиксировать колебания за другой срок наблюдений. Видоизменная конструкция такого прибора (рис. 17) имеет вместо стрелок и циферблата карандаш и лежащее на одной линии с ним и осью острие. Карандаш скользит по бумаге вставленной в кассету. В момент установки бумаги, острием накалывают точку на бумаге, а затем при колебаниях уровня карандаш чертит дугу. При смене бумаги делается второй накол. Таким образом можно измерить углы между вертикальной линией (положение ее на бумаге отмечается наколами при вложении бумаги в кассету) соответствующей нулевому стоянию уровня и точками начальной, конечной и концами дуги. Один градус дуги равен 0.002 саж. При смене бумаги для контроля записывается показание рейки; нуль рейки связан с положением карандаша на нулевой линии.

Измерение толщины льда.

В зимнее время, когда река покрывается льдом для наблюдения по рейкам, вокруг них, прорубаются во льду окна. При значительной толщине льда показания рейки не соответствуют действительному положению уровня, так как вода подымается в проруби на некоторую высоту. В отсчет по рейке необходимо ввести поправку, величину которой находят измеряя высоту воды в проруби от нижней поверхности льда.

Для этого применяются особые измерители, состоящие из бруска А и скрепленной с ним под острым углом планки В. (Рис. 18.). Нуль

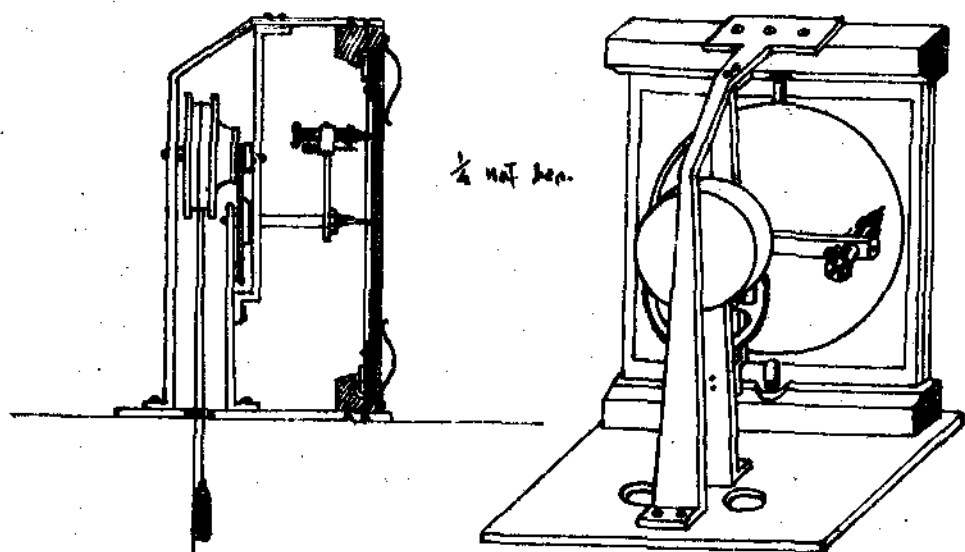


Рис. 17.

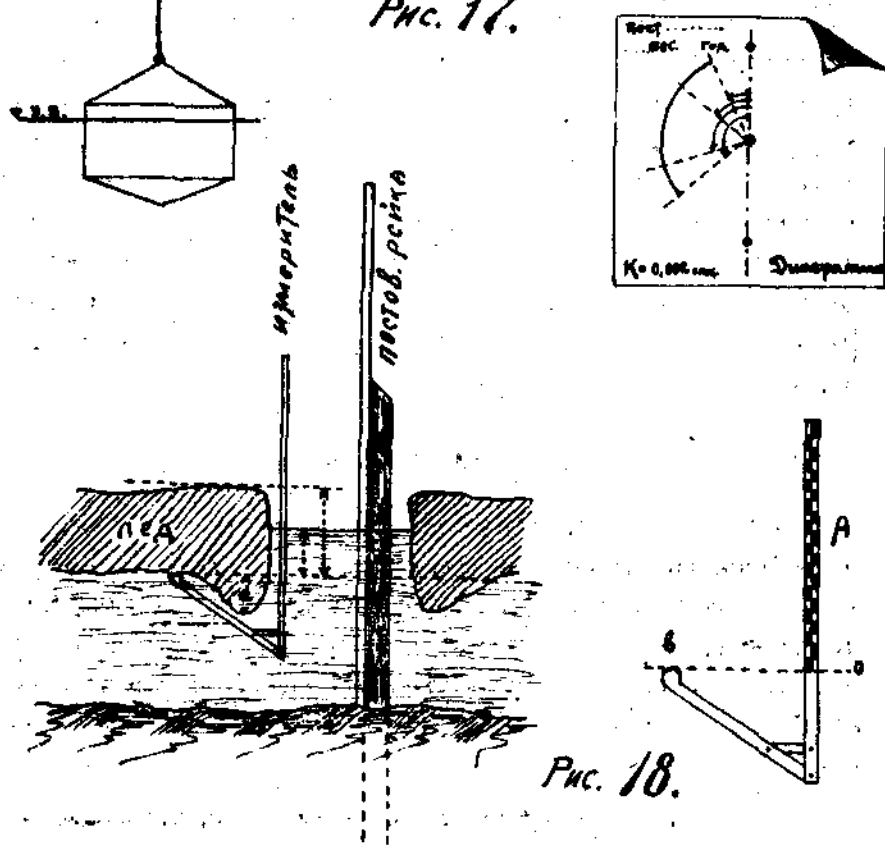


Рис. 18.

(Рис. 17) - Прибор сконструирован в 1917 году

В. И. Владычаевым

еления на бруске А находится на высоте проекции точки в на брусок. Измеритель подводится под лед планкой и удерживается в вертикальном положении. Отсчет высоты уровня по шкале дает поправку к отсчету уровня по рейке, а отсчет по линии соответствующей верхней поверхности льда — толщину льда. Планка скрепляется с бруском под острым углом потому, что при сильных морозах и постоянном прорубании окна в одних и тех же размерах на нижнем крае льда намерзает валик, высота этого валика (п) может достигнуть значительной величины. При измерении толщины льда в прорубях, прорубаемых каждый раз на новом месте скрепление планки с бруском делается под прямым углом, что при небольшой глубине воды под льдом облегчает работу.

Живое сечение.

На основании нивелировки поперечников на створах составляются профили. Поперечником называют воображаемую вертикальную плоскость секущую русло перпендикулярно течению. Часть этой плоскости ограниченная уровнем воды и линией дна называется „живым сечением“ реки. (Рис. 19.).

Площадь живого сечения обозначается буквою F, эта площадь вычисляется или как сумма площадей отдельных геометрических фигур или одним из графических способов. Часть живого сечения покрытая водою называется *смоченным* или *подводным периметром* и обозначается буквою P. Длина подводного периметра подсчитывается как сумма гипотенуз треугольников, принимая расстояние по дну между двумя вертикалями за прямую линию. Например:

$$= \sqrt{b^2 + h_1^2} + \sqrt{b^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b^2 + (h_3 - h_2)^2} + \sqrt{b^2 + (h_4 - h_3)^2} + \sqrt{b^2 + (h_5 - h_4)^2} + \sqrt{b^2 + h_5^2}$$

Отношение $\frac{F}{P}$ — площ. жив. сеч. / смочен перим. называется гидравлическим радиусом и обозначается буквою R.

Отношение F к ширине реки d (от уреза до уреза) $F:d = h$ ср. глуб. средней глубиной профиля, дели площадь на ширину, получаем высоту равновеликого по площади прямоугольника. Средняя глубина может быть также получена как среднее арифметическое из всех измеренных глубин, очевидно, первый способ скорее приводит к цели.

Величина R колеблется в зависимости от колебания уровня ре-

ки. Для учета изменения профиля на створе вследствие размывания или намывания русла, выводится отметка среднего дна.

Допустим, что наименьший и постоянный известный нам уровень H_1 имеет отметку: $H_0 = 40,023$ саж. Стметка уреза в день промера живого сечения $H_0 = 40,523$.

Разность $H_1 - H_0 = 40,523 - 40,023 = 0,500$ вычитается из измеренных глубин т. е. на любой вертикали откладывается от линии уровня вниз 0,50 и через эту точку проводится горизонтальная линия, (рис. 20), подсчитывается площадь abc , вычисляется средняя глубина пл. abc
 $\frac{d}{d} = h$ ср. (d есть ширина на горизонте H_0); полученное h ср. вычитается из отметки H_0 , таким образом отметка среднего дна $X = H_0 - h$ характеризует состояние русла. Если изменений в русле не произошло, то X будет равно такой же отметке среднего дна для уровня H_0 , если в районе поста дно подымалось или опускалось, то X будет отличаться от H_0 . Отметка среднего дна наносится на график, для этого на оси абсцисс откладывают точки соответствующие времени измерений, на перпендикулярах к этим точкам откладывают отметки среднего дна, (рис. 21), кривая соединяющая оконечности этих перпендикуляров, выражает изменение русла во времени по отметкам среднего дна.

Очевидно, что для изучения всех проявлений жизни и деятельности реки необходимо производить все измерения всегда на одних и тех же точках (вертикалях) живого сечения. Для этого на мостиках или троссах делаются постоянные пометки на расстоянии:

При ширине	Чрез.
до 3 саж.	0,25 саж
от 3 до 5 саж.	0,50 "
" 5 " 20 "	1,00 "
" 20 " 50 "	2,00 "
выше 50 саж.	5—10 саж.

Если мостика нет и работа ведется стоя в воде, то определяют положение вертикали по мерной ленте. Для этого каждый раз натягивают ленту через речку так, чтобы ее нулевое деление пришлось на створном колу, например левого берега, тогда зная расстояние между вертикалями, отсчитывают число целых и частей этих промежутков до уреза левого берега (первая вертикаль) записывают расстояние от уреза по ленте, до второй вертикали, далее работа идет на очередных вер-

Рис. 19.

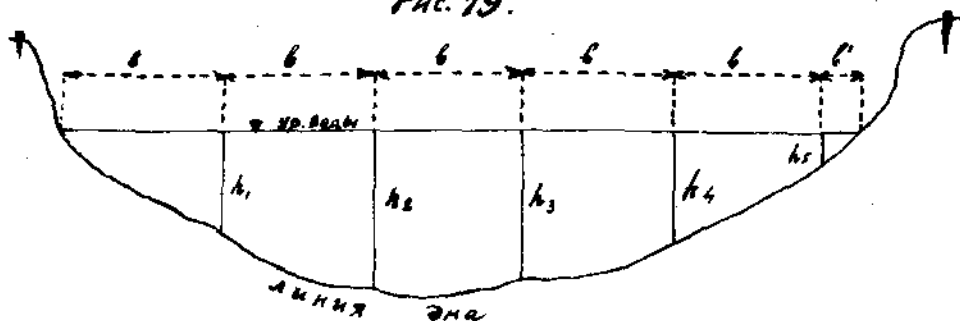


Рис. 20.



Рис. 21.

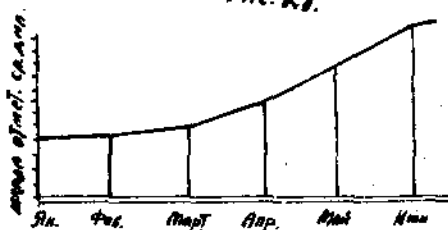


Рис. 22.

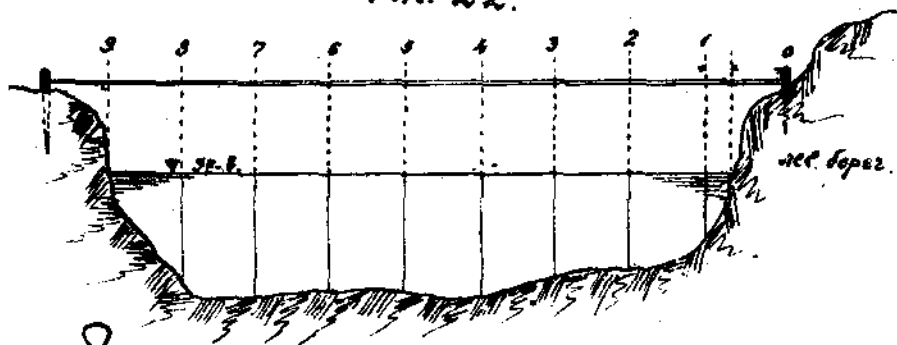
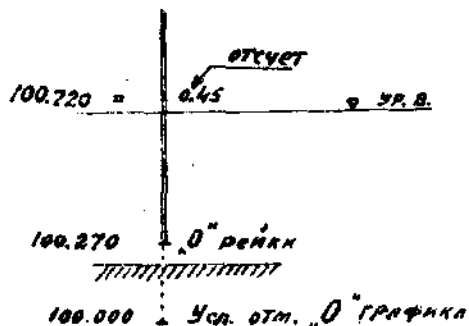


Рис. 24.

Рис. 23.



тикалях; подходя к правому берегу отсчитывают расстояние по ленте от последней вертикали до уреза правого берега (п—вертикаль). При таком порядке работы, измерения будут всегда на одних и тех же точках. (Рис. 22). При наличии мостика или тросса дело упрощается, так как метки постоянные, остается определить расстояние по мостику или троссу от уреза до первой вертикали и от последней вертикали до уреза; обычно положение уреза проектируется на мостик или тросс отвесом.

Измерение глубин вертикалей делают футштоками шестами, обыкновенной рейкой или лотом. Футшток имеет сечение показанное на рисунке; (рис. 23) такое сечение создает наименьший набег воды и значительно облегчает чтение. Соточные деления подписаны через десятую сажени. Низ снабжен железной пяткой, предупреждающей изнашивание футштока. Имеют применение круглого сечения шесты, разделенные на десятые сажени. Лот представляет из себя груз на размеченном пеньковом просмоленном шнуре.

Наблюдения за колебанием уровня в реке

Производятся на постовой рейке три раза в день, обычно в 7 ч. утра, 1 час дня, 9 час. вечера, по уклонным рейкам—один раз в день. Если река широка (100—200 саж.), то водомерные рейки устанавливают и на другом берегу, но наблюдения по ним производят один раз в день. Точность наблюдений или отсчета по рейке 0,005 саж. В журналах для записи срочных наблюдений отмечают: время замерзания и вскрытия реки, время прохода судов, плотов и т. п., все повреждения и изменения постовых установок и состояние погоды за сутки.

Иногда для каждого водомерного поста устанавливают нуль графика наблюдений, т. е. условную отметку нуля рейки, к которой и приводят все отсчеты по рейке. (Рис. 24). Например отметка „0“ рейки 100,270, отсчет по рейке 0,45. Отметка отсчета уровня $100,270 + 0,45 = 100,720$, за нуль наблюдений принято 100.000. Такая отметка взята потому, что для данной реки уровень ниже этой отметки быть не может, следовательно, отсчет по рейке приведенный к нулю графика будет $100,720 - (100,270 - 100,000) = 100,450$, чаще всего за нуль графика принимается нуль рейки.

Если по каким-либо причинам водомерный пост должен быть перенесен на другое место, то по требованию инструкции Гидрометри

ческой части, наблюдения на старом посту должны вестись в продолжении трех лет параллельно с новым постом. При предварительных изысканиях или временных постах ограничиваются тем, что не снимая старого поста устанавливают новый, нивелировкой определяют отметку репера нового поста относительно отметки репера старого поста и по разности отметок нулей реек обоих постов выводят поправку к показаниям нового поста для приведения к старому посту, а затем снимают старый пост. Здесь допускается, что колебания уровня на обоих постах тождественны.

Оборудование постов для измерений

Мосты

При всех гидрометрических измерениях следует избегать нарушать естественное течение потока. Работающий должен иметь возможность свободно перемещаться над живым сечением. Обычно стараются использовать уже имеющиеся мосты. При отсутствии готовых мостов приходится устраивать специальные гидрометрические приспособления.

Конструкция таких устройств зависит от важности и продолжительности предстоящих работ. На речках шириною 6—8 саж. перекинуть пару бревен не представляет затруднений, если нельзя обойтись без подпорок, то делают их из досок, которые ставят узким заостренным ребром навстречу, а плоским параллельно течению, тогда подпор и разбивание струй будут не велики.

При ширине до 25 саж. на постоянных постах устраивают висание пешеходные мостики на тросах. Два стальных оцинкованных $\frac{3}{8}$ дм. троса перетягиваются через реку, крепятся за камни, деревья или особые якоря и подпираются особыми опорными рамами (Рис. сун. 25). Расстояние между тросами 3 фута; на 3 фута выше эти тросов на таком же расстоянии перекидываются дополнительные тросы. На нижних тросах на расстоянии 4 фут. центр от центра, укладывают зарубками деревянные бруски 2×4 дм. и длиной 3 фут. 6 дм., эти бруски проволокой привязываются к тросам, другой конец проволоки протягивают к верхним тросам и за них закрепляется. Таким образом нагрузка распределяется на все 4 троса. На бруски набиваются в два параллельных ряда доски, между концами досок оставляется зазор для обеспечения мостику гибкости. Верхние тросы принимая на себя часть нагрузки служат поручнями.

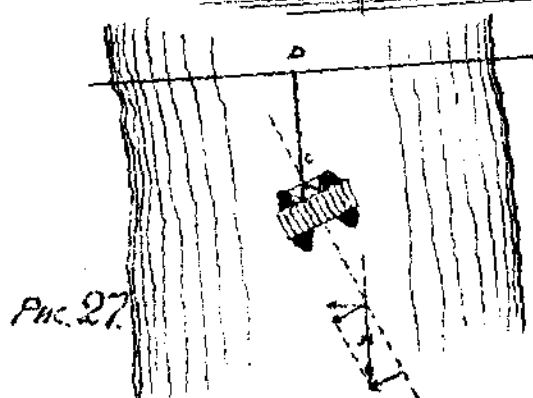
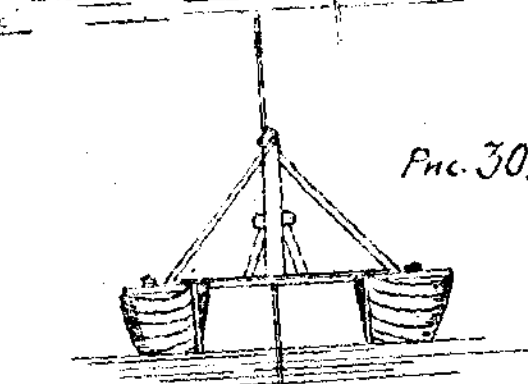
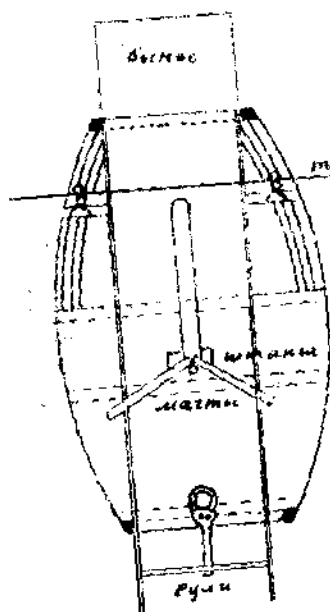
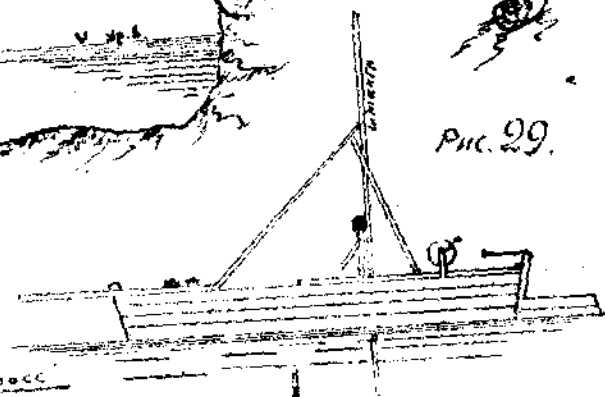
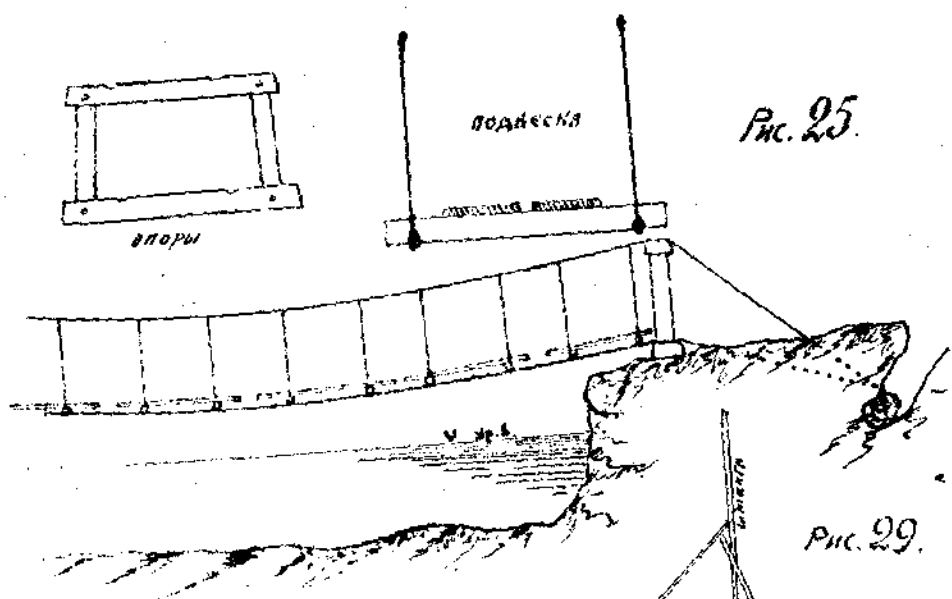
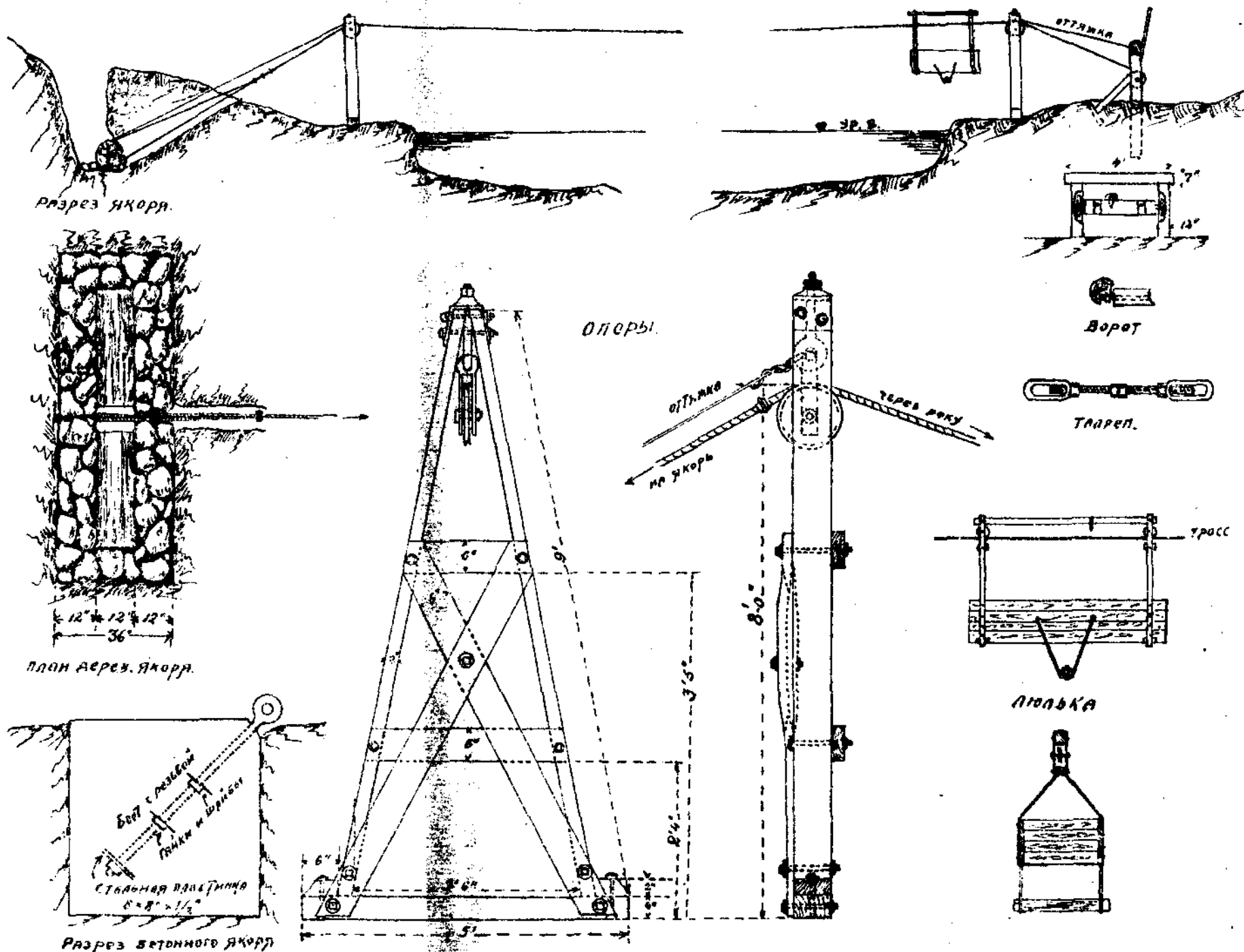


Рис. 26.

Схема поста на троссе.



Пост на троссе.

На реках с резкими колебаниями уровня и небольшой глубиной для пролетов от 20 до 150 саж. наиболее удобной является установка поста на троссе. Стальной тросс перетянут через реку и поднят на опоры, по троссу на роликах движется люлька, в которой помещается наблюдатель со своими приборами.

Тросс для такой установки должен быть в одном куске. Рабочее натяжение принимается в одну шестую предельного, указанного фабрикой. Стрелу провеса нагруженного и ненагруженного тросса можно подобрать по кривым провеса приводимым здесь. Сосредоточенный груз принимается равным 15 пудам. Диаметр тросса в зависимости от пролета можно подобрать по особой ведомости. На схеме приведены типичные американские 8 футовые опоры, якорь для закрепления тросса, талрепы и простой ворот для выбирания и регулировки провеса тросса. При расчете высоты опор принимается во внимание самый высокий уровень воды, требуемая высота люльки над водой, расстояние между люлькой и опорами и провес нагруженного тросса. При увеличении высоты опор увеличивается число поперечных затяжек и размеры брусьев. Опоры устанавливаются на подкладках с которыми обычно скрепляются болтами. Якорем для закрепления тросса служит саженное 6 вершк круглое бревно, укладываемое в яму, по-казанную в разрезе и плане; под бревно подкладывают слой камня для того, чтобы дождевая вода не заливала якоря. Тросс обварачивается тремя оборотами и по траншее выводится наружу; бревно под троссом обварачивается тонким железом. Скрепление свободного конца тросса с концом идущим через реку делается специальными зажимами. Опоры укрепляются проволоочными оттяжками. Люлька приспособливается для 2 человек, имеет стремя или упор для ног, откидной столик, ящик под сиденьем, блок для спуска подвесных приборов и т. п. Передвижение люльки производится веревками, завязанными за арматуру люльки и идущими через блоки на опорах к рабочим, стоящим по одному на каждом берегу. Иногда устраивают специальный ворот, дающий возможность посылать люльку вперед или

назад с одного берега. Требуется постоянный надзор за якорем, тросом, роликами и всеми ходовыми частями, без такого надзора возможна катастрофа.

П а р о м ы. При специальных исследованиях очень больших и глубоких рек строятся и снаряжаются особые паромы или понтоны. Есть два типа таких паромов—паромы-самолеты и паромы передвигаемые по троссу.

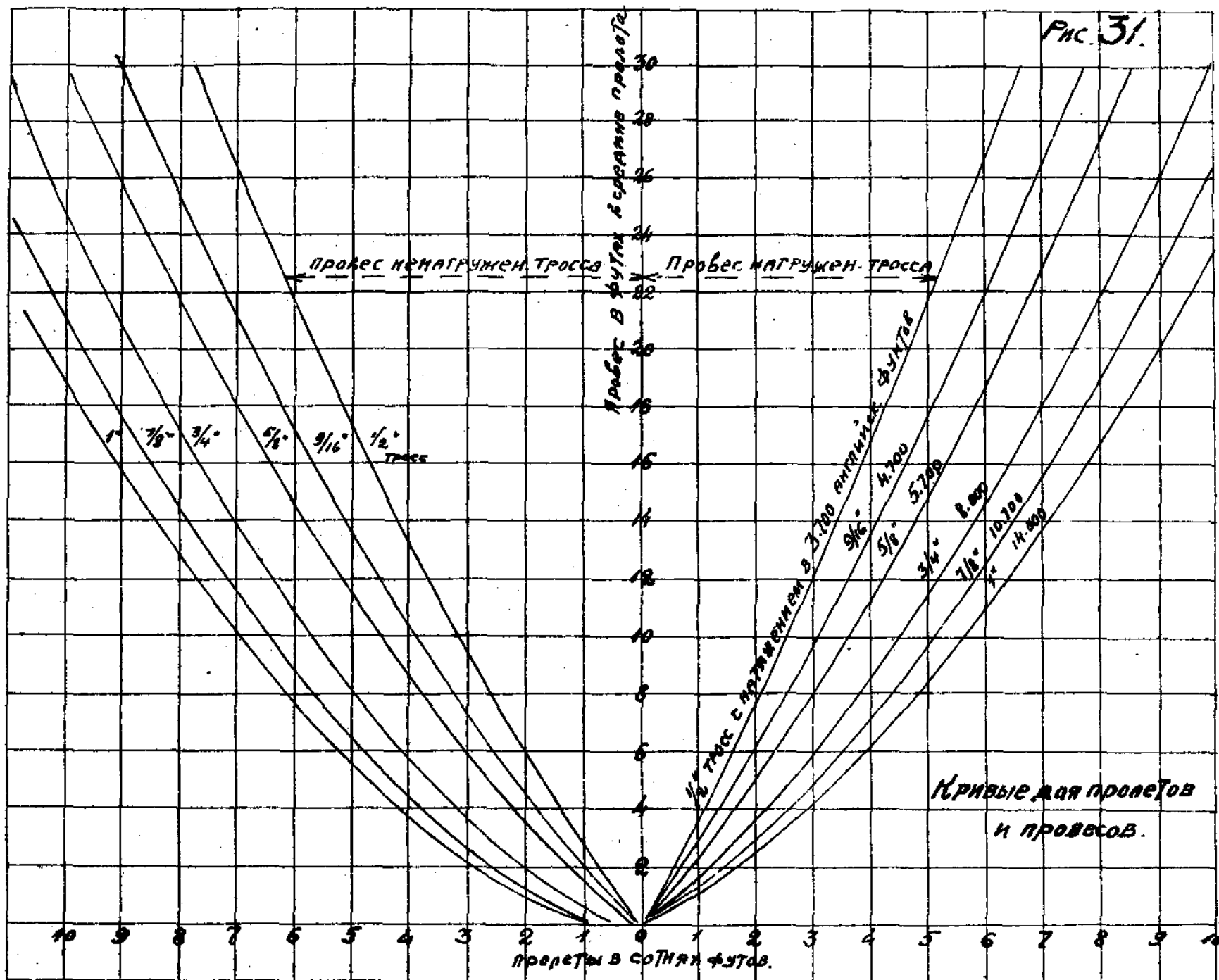
Две лодки соединены настилом, имеют впереди помост-вынос, с которого ведется работа. Расстояние между осями лодок 1,50—2,00 сажен. Внутренние стороны лодок делаются плоскими. На схеме приведен план одного из понтонов Гидрометрической части Туркестана.

Схема движения парома-самолета понятна из рисунка. Через реку натянут тросс, по которому движется блок с петлей. От петли идет тросс к парому. Если действуя рулем, придать парому положение показанное на рисунке, то паром пойдет справа на лево.

И сила удара струи на паром разложится на две силы, параллельную и перпендикулярную положению парома. Перпендикулярная сила разложится на силу параллельную троссу DC и перпендикулярную ему, эта последняя и произведет перемещение понтона поперек реки. (Рис. 27). Положение понтона регулируется работой руля. Поперечный тросс размечается хорошо видными метками через определенные промежутки, причем принимается во внимание провес и растяжение тросса во время работы.

Паромы второго типа передвигаются поперек рек по размеченному троссу. Тросс пропущен через блоки на лодках; передвижение производится вручную силою рабочих стоящих у блоков. На паромах есть приспособления для установки приборов, запасных троссы, якоря, спасательные круги и т. п. Поперечные троссы в нерабочее время затопляются на дно реки, для обеспечения свободного прохода судов и каждый раз для работы парома поднимаются особыми воротами. (Рис. 28, 29, 30).

Рис. 31.



Провесы для нагруженных троссов.

(Стальной канат—6 прядей из 7 проволок каждая—сосредоточенный груз 550 английских футов). (Рис. 31).

Пролеты в фу-тах.	При допускаемом рабочем натяжении в английских футах.					
	1/2 дм. тросс 3700 ф.	9/16 дм. тросс 4700 ф.	5/8 дм. тросс 5700 ф.	3/4 дм. тросс 8000 ф.	7/8 дм. тросс 10700 ф.	1 дм. тросс 14000 ф.
	Провесы в футах.					
100	8,85	3,06	2,55	1,86	1,43	1,12
200	7,96	6,38	5,37	3,99	3,13	2,53
300	12,33	9,97	8,46	6,41	5,12	4,22
400	16,37	13,83	11,82	9,10	7,38	6,18
500	21,88	17,95	15,46	12,07	9,63	8,44
600	27,04	22,34	19,36	15,32	12,75	10,97
800	38,16	31,91	28,00	22,65	19,25	16,68
1000	50,34	42,55	37,71	31,09	26,87	23,92

Собственный провес в футах и натяжение ненагруженного тросса в английских футах.

(Стальной канат—6 прядей из 7 проволок каждая).

Пролеты в фу-тах.	При диаметре тросса в дюймах.											
	1/2 дм.		9/16 дм.		5/8 дм.		3/4 дм.		7/8 дм.		1 дм.	
	Провес.	Натяжение	Провес.	Натяжение	Провес.	Натяжение	Провес.	Натяжение	Провес.	Натяжение	Провес.	Натяжение
100	2,88	170	2,04	310	1,45	530	0,54	2060	0,14	10710	0,12	16460
200	6,03	320	4,45	560	3,37	920	1,84	2420	1,11	5400	0,83	9520
300	9,49	480	7,19	780	5,67	1230	3,58	2800	2,46	5490	1,92	9260
400	13,23	590	10,25	980	8,29	1490	5,68	3130	4,20	5710	3,41	9270
500	17,26	710	13,58	1150	11,24	1720	8,09	3410	6,29	5960	5,24	9420
600	21,53	810	17,20	1310	14,45	1930	10,80	3710	8,67	6230	7,38	9620
800	30,86	1010	25,23	1590	21,72	2280	17,05	4180	14,27	6730	12,52	10100
1000	41,20	1180	34,28	1820	30,02	2580	24,35	4870	20,93	7170	18,70	10560

Наименьшие допустимые диаметры троссов и провесы для различных пролетов.

Пролеты в футах.	Диаметр тросса в дюймах.	Провесы в футах.	
		При нагрузке.	Без нагрузки.
До 200	1/2	8	6,
От 200 до 300	5/16	10	7,2
" 300 " 400	5/8	11,8	8,3
" 400 " 650	3/4	17	12,2
" 650 " 850	7/8	21,1	15,9
" 850 " 1000	1	24	18,7

Определение расхода.

Поверхность водоема со стоячей водою строго горизонтальна, малейшее течение производит уклон поверхности; следовательно, если течение = 0, то и уклон = 0. Уклон возрастает вместе с уровнем до некоторого предела, а следовательно скорость течения тоже.

Частицы воды характеризуются легкою подвижностью и почти полным отсутствием сцепления между собою. Частицы при движении образуют струю, это — непрерывный ряд следующих друг за другом частиц; путь, проходимый такой частицей в единицу времени, называется скоростью струи. Если допустить, что по всему сечению потока скорости отдельных струй одинаковы, то скорость какой-либо струи и будет скоростью всего потока. Следовательно, определив площадь живого сечения потока (F) и измерив скорость струи в единицу времени (V), мы получим две величины для вычисления количества воды в потоке в единицу времени.

Пусть наш поток имеет F равной одной кв. саж., а измеренная скорость равна 1,5 с. в секунду; по условию все струи потока имеют одинаковую скорость, умножив Fc^2 на V с, получим объем воды 1,5 м³/с пропущенной через живое сечение в секунду.

Из чертежа (рис. 32) видно, что этот объем или расход (Q) есть столб воды с основанием равным площади живого сечения F , умноженной на высоту или скорость V .

$$\text{Итак } Q = FV \quad \dots \dots \dots (1).$$

$$\text{Отсюда } V = Q : F$$

$$F = Q : V$$

При выводе формулы расхода воды мы сделали допущение, что скорости по всему сечению одинаковы, и совершенно не принимали во внимание трения частиц жидкости между собою и трения их о стенки русла потока; не может быть сомнений в том, что такое трение существует, что оно оказывает некоторое задерживающее влияние на массу движущейся воды и является причиною изменения скоростей отдельных струй и их направления.

Если бы такое трение отсутствовало, то скорость течения равнялась бы скорости падения твердого тела с высоты равной падению потока в месте измерения, т. е.

$$V = \sqrt{2 g h} \dots \dots \dots (2).$$

Здесь: V —скорость,

g —ускорение силы тяжести (9,81 м/с. или 32,18 ф/с.)

h —высота падения в метрах или футах.

Но в природе таких идеальных потоков не существует; наблюдая движение воды в потоке, мы замечаем, что скорости у стенок меньше, чем на середине, а измерения говорят, что у дна они меньше, чем у поверхности, отсюда следует, что член V в формуле расхода (1) должен иметь среднее значение для всего живого сечения потока.

Если бы мы пожелали вычислить скорость (V) по приведенной формуле (2), то неминуемо должны были бы ввести поправочные коэффициенты, зависящие от степени шероховатости стенок канала или русла, от фигуры площади живого сечения, скорости, уклона, гидравлического радиуса, потери напора на трение и т. п.

Для вычисления скорости в открытом канале Шези дает следующую формулу:

$$V = K \sqrt{R i} \dots \dots \dots (3).$$

где $K = \sqrt{2 g \zeta}$

Здесь: R —гидравлический радиус.

i —уклон.

g —ускорение силы тяжести.

ζ —опытный коэффициент.

Эту формулу можно написать так:

$$V = K \sqrt{R : i} \dots \dots \dots (4).$$

Если степень шероховатости стенок канала не меняется, то при V и i постоянных K будет зависеть только от радиуса (R), а следовательно, имея гидравлический радиус постоянным, можем заменить член $K \sqrt{R}$ через постоянное C , тогда формула переписется в таком виде:

$$V = C \sqrt{i} \dots \dots \dots (5).$$

и мы можем сказать, что при постоянном коэффициенте шероховатости и гидравлическом радиусе скорость меняется в зависимости от изменения уклона.

Для определения величины K предложено много формул, из них наиболее распространенные в настоящее время формулы Гангилье-Куттера и новая формула Базена.

Формула Куттера для метрических мер имеет следующий вид:

$$\frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} = K \dots (6).$$

Здесь i и R имеют прежние значение.

n —коэффициент шероховатости, зависящий от поверхности русла и природы этой поверхности. Остальные величины постоянные.

Та же формула для английских (футовых) мер:

$$\frac{41.65 + \frac{1.811}{n} + \frac{0.00281}{i}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} = K.$$

Коэффициент шероховатости n в формуле Куттера изменяется:

для русла из строганых брусьев или цементных гладких стенок	0.010
„ „ нестроганых брусьев или плит	0.013
„ „ бутовой кладки	0.017
„ „ земляных	0.025
„ „ с крупными камнями и водными растениями	0.030
„ „ плохо содержимых каналов с каменистым руслом и растениями	0.035

Широким применением пользуется формула Базена.

Для метрических мер:

$$K = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

Для саженных мер:

$$K = \frac{59.5}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \dots (7).$$

Здесь γ —коэффициент шероховатости.

Приведем некоторые значения коэффициента шероховатости (γ) для разных русел, для новой формулы Базена, в метрических мерах.

Русло из строганных брусьев или цемента	0.06
„ „ нестроганных брусьев или плит (лещадей)	0.16
„ „ бутовой кладки	0.47

Русло из земли	0.85
„ „ обыкновенного грунтового канала	1.30
„ „ из земли, гальки и хряща	1.75

Вычислив по одной из формул величину K и подставив ее в формулу Шези (3), мы получим интересующую нас скорость в канале и притом среднюю.

Если нам удастся каким-либо способом измерить среднюю скорость потока V , то имея для него R и i , по формуле Базена (для саж. мер), можем вычислить коэффициент шероховатости (γ).

$$\gamma = \left(\frac{60 \sqrt{R \cdot i}}{V_{\text{ср}}} - 1 \right) \sqrt{R} \dots \dots \dots (8).$$

а отсюда, имея величину γ или взяв ее из таблиц, можем вычислить V по формуле:

$$V_{\text{ср}} = \frac{60 R \sqrt{i}}{\gamma + \sqrt{R}} \dots \dots \dots (9).$$

Приведенной формулой Шези пользуются при расчетах каналов, т. е. она дает скорость равномерного движения воды.

Мы сделали вывод формулы расхода воды в потоке $Q = VF$, следовательно для получения Q мы должны определить V и F . Определение V представляет в естественных условиях течения потока значительные затруднения с технической стороны; кроме того до настоящего времени нет точной формулировки закона изменения скоростей на живом сечении, а между тем формула требует, чтобы V , очевидно, было средним из всех скоростей живого сечения как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Из исследований и многочисленных непосредственных измерений известны общие правила распределения скоростей на живом сечении потока:

- 1) Наименьшая скорости—у берегов и дна русла.
- 2) Скорости на поверхности меньше у берегов и возрастают к середине потока сообразно глубине.
- 3) Скорости возрастают по направлению вертикали вверх от дна русла.
- 4) Абсолютная наибольшая скорость на вертикали лежит иногда на самой поверхности, а иногда на некоторой незначительной глубине под поверхностью.

Если мы будем владеть способом измерять скорости течения и, разбив вертикаль на точки с равными промежутками от дна до поверхности, измерим на этих точках скорости, то, построив по резуль-

татам нашей работы диаграмму так назыв. „площадь скоростей“, получим представление о распределении скоростей на данной вертикали живого сечения.

Положим, что глубина вертикали $h = 0.80$ саж., измерения делались через 0.1 саж., получено для V —девять значений:

От дна к поверхности.

у дна	0	с/сек.
на 0.10 от дна	0.42	„
» 0.20 » »	0.56	„
» 0.30 » »	0.68	„
» 0.40 » »	0.75	„
» 0.50 » »	0.80	„
» 0.60 » »	0.82	„
» 0.70 » »	0.82	„
» 0.80 » »	0.80	„

Отложим в каком-либо масштабе на клетчатке, вертикальную линию (h) и в каждой десятой этой линии построим перпендикуляры, отложим на перпендикулярах полученные значения V , начиная от дна, соединим полученные точки плавной кривой линией, (рис. 33) полученная кривая будет **кривая скоростей на вертикали**, если далее, мы вычислим площадь этой диаграммы и разделим на глубину вертикали или h , то получим высоту равновеликого по площади прямоугольника, численное значение этой высоты и будет средней скоростью ($V_{ср.}$) для данной вертикали.

$$f = 0.55.$$

$$V_{ср.} = 0.55 : 0.80 = 0.69 \text{ с/с.}$$

Ученые, занимавшиеся исследованием вопроса о распределении скоростей на живом сечении, определяют вид кривой скоростей раз-
во: как параболы с вертикальной или горизонтальной осью, как логарифмическую линию с вертикальной осью и т. п. Следует заметить, что этот спор далек от конца. Для практических целей важно знать на каких точках (глубинах) вертикали нужно измерить скорости, чтобы получить среднюю наиболее близкую к действительной.

Чаще всего применяется метод измерения на трех точках: на 0,2, 0,6, 0,8 глубины, считая от поверхности, тогда $V_{ср}$ получится по формуле:

$$V_{ср.} = \frac{V_{0.2} + 2 V_{0.6} + V_{0.8}}{4}$$

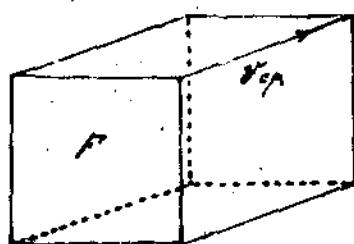


Рис. 32. стр. 28.

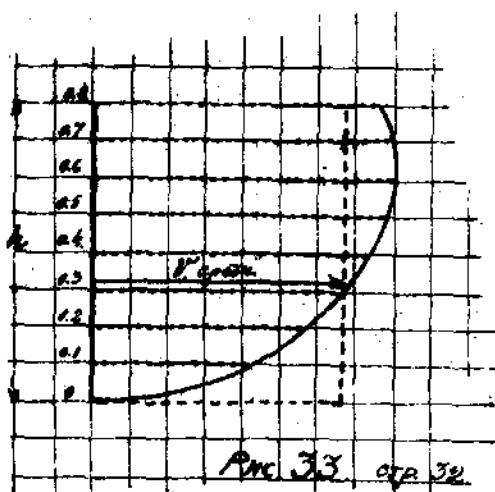


Рис. 33. стр. 32.

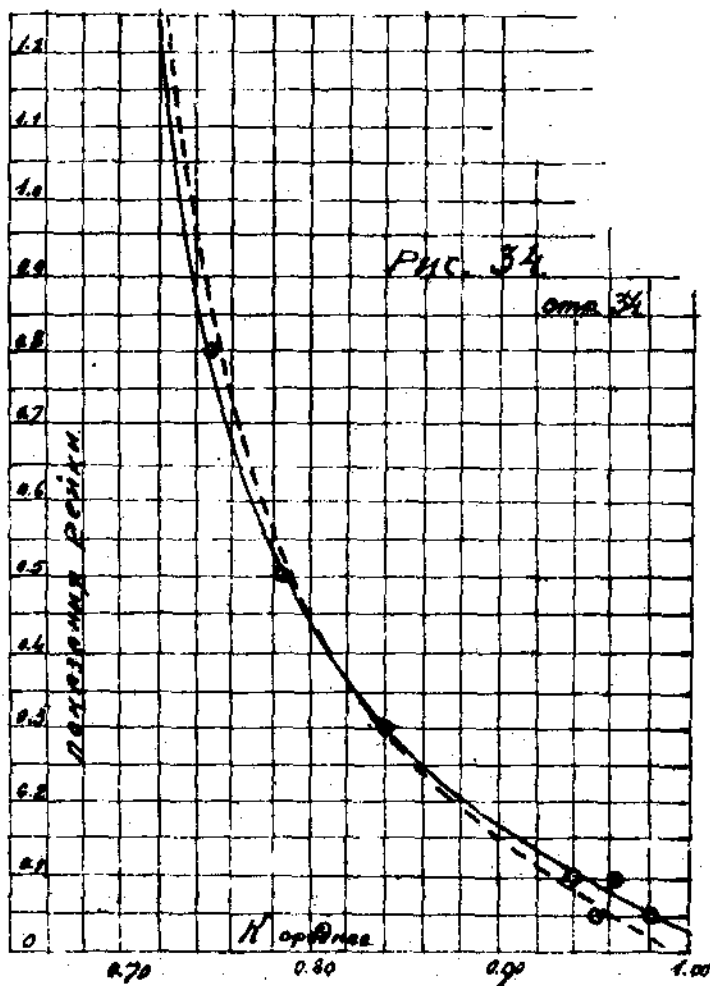


Рис. 34.

стр. 34.

Эта формула дает скорости очень близкие к действительным. По наблюдениям и сравнениям Гровера на 14 реках, средняя скорость, подсчитанная по этой формуле, отличалась от истинной от 8,5% до $\pm 2\%$, т. е. в среднем—5,3% для одной из 14 рек; для остальных наибольшее отклонение—3%. Для малых рек с каменистым дном среднее отклонение для 216 кривых $\pm 1\%$.

Для ускорения при менее точных работах допускаются измерения на одной точке, т. е. на 0.6 глубины. Из данных Гровера видно, что средний коэффициент для перехода от скорости измеренной на этой точке к действительной, для 486 кривых равен 0.99 (колебания от 1.03 до 0.95), Для 910 кривых средний коэффициент 100 (колебание от 1.04 до 0.97).

Применяется также работа на 2-х точках: у поверхности и на $\frac{2}{3}$ (0.67) глубины от поверхности. Тогда

$$V_{\text{ср.}} = \frac{V_0 + 3V_{2/3}}{4}$$

В тех случаях, когда есть основание опасаться за целостность приборов, погружаемых в воду, например, в паводки, когда плывут корни или поток несет камни, приходится ограничиваться измерением только поверхностных скоростей. Для получения средней скорости на вертикали в таком случае должен быть применен коэффициент, т. е.

$$V_{\text{ср.}} = V_{\text{пог}} \times K$$

Платант дает среднее значение такого коэффициента для поплавковых измерений равным 0.85. Хаген ставит его в зависимость от глубины и дает формулу для вычисления коэффициента

$$K = \frac{1 + 0.3907 \sqrt{H}}{1 + 0.5860 \sqrt{H}} \dots \dots \dots I$$

а для широких и бурных рек он рекомендует другую формулу:

$$K = 1 - 0.085 \sqrt{H} \dots \dots \dots II$$

в обеих формулах H—в саженях.

Более или менее точно коэффициент перехода от поверхностной скорости к средней может и должен быть выведен только из непосредственных измерений для каждого интересующего нас участка реки и отдельной вертикали. Допустим, что средняя и поверхностная скорости нами измерены, тогда K получится из формулы:

$$V_{\text{ср.}} : V_{\text{пог}} = K$$

имея это K для каждой вертикали нашего сечения и взяв среднее

арифметическое из всех значений K , мы получим средний коэффициент перехода от средней поверхностной (тоже среднее арифметическое из всех $V_{\text{пов}}$) к средней (глубинной) скорости всего живого сечения и притом только для того уровня воды, который имел место в момент определения скоростей, для всякого другого уровня этот коэффициент может быть другим, следовательно, изучая режим реки, мы должны изучить и эту сторону явления и производя измерения при разных уровнях собрать данные для вывода целого ряда переходных коэффициентов в зависимости от высоты уровня.

Имея ряд уровней и значений K для каждого из них, мы можем построить кривую средних значений переходного коэффициента для данного живого сечения в зависимости от высоты уровня по рейке.

Например: (Рис. 34).

h (показ. рейки), K ср.

0.05 — 0.98 ; 0.95 (2 опред.)

0.10 — 0.94 ; 0.96 "

0.30 — 0.84 (одно опред).

0.50 — 0.78 "

0.80 — 0.743 "

Отложим по оси абсцисс значения K , в каком-либо масштабе, а за ось ординат возьмем нашу рейку, нанося затем как координаты, имеющиеся значения h и соответствующее ему K , получим ряд точек; соединяя их плавной линией, получим кривую, по которой можем интерполировать величину K для тех показаний рейки, при которых замерены поверхностные скорости и неизвестен переходный коэффициент. Следует иметь в виду, что под названием „поверхностная“ скорость мы понимаем ту скорость, которая получена путем измерения каким-либо снарядом. И на самом деле есть скорость у поверхности или скорость того слоя, в котором работал снаряд при наименьшем возможном для него погружении, действительная поверхностная скорость определяемая свободно плывущим на поверхности воды легким телом и, следовательно, имеющим скорость поверхностного слоя будет отличаться от скорости замеренной снарядом, поэтому необходимо будет определить коэффициент перехода и от „поплавочной“ поверхностной к средней глубинной, а для этого, если позволяет время и уровень за время работы не меняется, нужно сделать измерения скоростей на поверхности поплавком; определив K для поплавочных скоростей, строим вторую кривую (на чертеже пунктиром).

Само собою понятно, что можно построить такие кривые и для каждой вертикали.

Поплавки и гидриметрические шесты.

Материалом для поверхностных поплавков обычно служит дерево. В лучшем случае это отпиленный от 2—3 вершк. бревна кружок толщиной 1—1½ вершка; иногда поплавок служит просто обломки доски. Главный враг поплавочных измерений—ветер. Поэтому поплавок должен быть такого веса и формы, чтобы на нем возможно меньше отражалось колебание воздуха.

Почти вышедшие из употребления глубинные поплавки состоят из двух частей, поплавок и тяжелого шара, связанного с поплавком цепочкой или шнуром. (Рис. 35). В зависимости от длины шнура, такой поплавок дает среднюю скорость того слоя воды, в которой движется. Регулировать длину шнура во время движения поплавка, конечно нельзя; равным образом нельзя быть уверенным в том, что глубина реки на всем протяжении пути поплавок одинакова, поэтому нельзя сказать, что такой поплавок дает среднюю скорость того продолжника, по которому он прошел.

Более точные результаты дают гидриметрические шесты. Они делаются из дерева и из металлических полых труб. (Рис. 36). Такой шест состоит из отдельных звеньев, свинчивающихся друг с другом, причем для водонепроницаемости между ними кладется резиновый кружок. Нижнее звено имеет сплошное дно и заполняется дробью так, чтобы шест имел требуемую осадку. Нижнее звено соединяется с последним звеном посредством вырезов в верхней части и штифтов в нижней части предпоследнего звена. Диаметр шеста 10 сант. при толщине стенок в 1 мм. Звенья делают разной длины для того, чтобы было возможно подобрать длину шеста сообразно с глубиной исследуемого продолжника. Такой конструкции шест работает хорошо при глубинах до 2,5 саж., на больших глубинах требуется усиление конструкции за счет толщины стенок и диаметра труб, а также и соединительных приспособлений.

Верхнее звено закрывается колпаком, окрашенным в белый или красный цвет, что облегчает наблюдение за шестом во время работы.

Пущенный на воду шест плывет с некоторым наклоном вперед по течению, что объясняется неравномерностью давления воды на шест, которое увеличивается к поверхности.

Предварительной съёмкой русла выясняется рельеф дна и отчасти направление течения; сообразуясь с этим собирается шест с таким расчетом, чтобы глубина его погружения равнялась 0,9 средней глубины реки по соответствующему пути шеста. (Рис. 37).

Пускать шест следует выше верхнего створа, с лодки, положение которой определяется засечками с берега, и этим определяется положение вертикали или продольника, по которому пойдет шест.

Моменты прохождения шестом створов отмечаются по секундомеру по сигналам, стоящих на створах. После прохода нижнего створа, шест вылавливается второй лодкой. Значительно облегчается работа с шестом если пускать его привязанным на бичеве или мотаусе, но точные наблюдения показали, что мотаус замедляет скорость шеста свыше 40%, что не всегда допустимо.

Вообще скорости, определяемые шестами, отличаются от средних скоростей вертикали, потому что шест не доходит до дна и его скорость движения может быть больше действительной средней скорости вертикали. Поэтому скорость, показанную шестом, необходимо уменьшить введением коэффициента. Френсис дает такую формулу для вычисления коэффициента:

$$K = 1.000 - 0.116 \left[\sqrt{1 - \frac{I}{H}} - 0.1 \right]$$

Здесь H — глубина воды,

I — длина шеста, находящегося под водою;

обе величины могут быть выражены в любых мерах.

Таким образом, действительная средняя скорость вертикали $V_{\text{вр}} = KW$, где W наблюденная скорость шеста.

Определение скорости поплавками.

Забрасывать поплавок нужно выше створа сажен за 3-5 против течения для того, чтобы он успел, подходя к створу, принять скорость той струи, на которую попал. На реках шириною до 25 саж. забрасывание поплавков не представляет особых затруднений, на более широких реках поправки запускаются с лодки, которая следует за поплавком и в момент прохождения створа с лодки подается сигнал и отмечается время, а с берега делается засечка мензулой или угломерным инструментом. Таким образом, отмечается положение поплавка на поверхности реки и на створе, при прохождении второго створа маневр с сигналом, секундомером и засечкой повторяется. На ма-

рых реках поплавочные скорости определяются различно: забрасывают поплавки так, чтобы они прошли у обоих берегов и по середине. Работающий становится у верхнего створа и забрасывает поплавок, в момент прохождения поплавок через створ, пускает секундомер, по сигналу помощника стоящего на нижнем створе, в момент прохода поплавок через нижний створ, секундомер останавливается, тогда, деля расстояние между створами на время, (в секундах) потраченное поплавком на прохождение этого расстояния, получаем скорость в секунду каждого поплавок, а взяв среднее из всех скоростей, получим среднюю поплавочную скорость. Чем больше было запущено поплавков, тем точнее определится скорость. Иногда для очень малых потоков выводят только наибольшую поверхностную скорость, так например, по инструкции Крымских водных изысканий при работе с поплавками на потоках шириною до 10,0 саж. и глубиною средн. до 0,50 саж. принимается в расчет не меньше пяти запусков поплавок, давших наибольшую скорость, а для перехода от средней наибольшей поверхностной применяется $K = 0,54$; этот коэффициент проверен довольно тщательно для потоков шириною до 0,5 саж. при средней глубине в 0,05 и менее тщательно для потоков до 10,0 саж. при средней глубине в 0,50 саж.

Колебание коэффициента в первом случае было в пределах от 0,493 до 0,573 с средней ошибкой $\pm 4,5\%$, а для второго случая колебания в пределах от 0,43 до 0,67 и средней ошибкой $\pm 5,8\%$.

Ввиду того, что при определении расхода рек при изысканиях, чаще всего приходится пользоваться поплавком, а следовательно необходимо применять коэффициент перехода к средней скорости течения, в конце приведены таблицы значений K в зависимости от гидравлического радиуса (R) или средней глубины потока (h) в саженях. Такую замену допустимо делать для русел плоских с небольшой глубиной, для них R мало отличается от $h_{ср}$; для глубоких и узких русел полезно вычислить R .

Там же приведены таблицы значения K в зависимости от R (в метрических мерах) и природы поверхности ложа потока, причем K есть отношение средней скорости к наибольшей ($V_{ср} : V_{max} = K$). Когда из ряда измеренных поплавочных скоростей путем применения одного из переходных коэффициентов будет выведена средняя скорость для всего сечения, то расход реки определится по формуле

$$Q = V \times F.$$

Здесь F есть площадь живого сечения.

Следует иметь в виду, что в этом случае F представляет собою среднюю площадь живого сечения полученную из формулы

$$F = \frac{F_1 + 2 F_2 + F_3}{4}$$

здесь F_1 , F_2 , F_3 площадь живого сечения на верхнем, среднем и нижнем створах между которыми измерены поплавочные скорости. (Рис. 38). Удвоенная площадь на среднем створе взята потому, что продольный профиль между крайними створами оказывает влияние на скорости, причем это влияние распределится по всему участку так: на долю среднего створа придется $\frac{1}{2}$ всей длины продольного профиля, считая в обе стороны по $\frac{1}{4}$, а на долю крайних створов по $\frac{1}{4}$ оставшего расстояния.

При определении расхода по измеренным скоростям специальными приборами, влияние продольного профиля не учитывается, потому, что метод самого определения иной и состоит в определении ряда элементарных расходов. (См. дальше).

Средняя скорости, полученные из определения поверхностных скоростей поплавками, путем применения переходных коэффициентов, будут безусловно отличаться от действительных, как потому, что самый способ измерения поплавками богат всякого рода неточностями и ошибками, так и потому, что при выборе коэффициента могут быть допущены ошибки. Поэтому, когда к работе предъявляются более строгие требования, измерения скоростей производят специальными приборами.

Необходимость применения таких приборов диктуется теми соображениями, что только та величина, которую мы измерили непосредственно, с учетом всех возможных ошибок измерений, будет для нас несомненна и принята как действительная. При измерении скоростей течения воды с целью получения средней скорости нам приходится иметь в виду не только изменение скоростей от дна к поверхности или от берегов к середине, а также и то характерное для движущейся воды явление, которое называется пульсацией.

Явление пульсации было подмечено германским ученым Гарляхером при гидрометрических работах на р. Эльбе.

Сущность этого явления заключается в том, что скорость в одной точке потока непостоянна; как по величине, так и по направлению, но колеблется около некоторого среднего значения. Было заме-

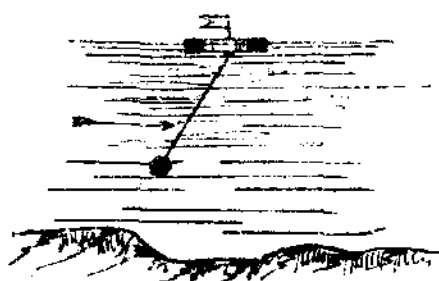


Рис. 35. стр. 35

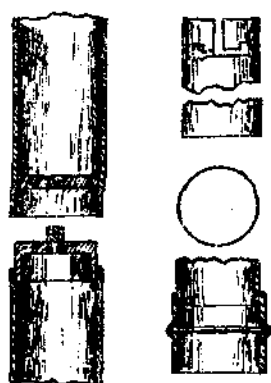


Рис. 36.

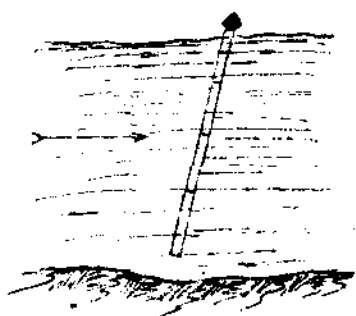


Рис. 37. стр. 36.

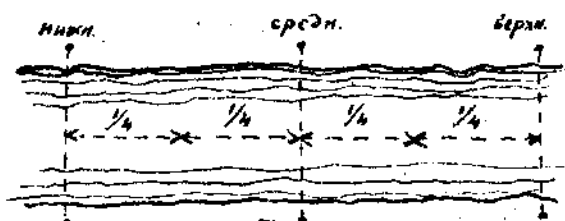


Рис. 38 стр. 38.

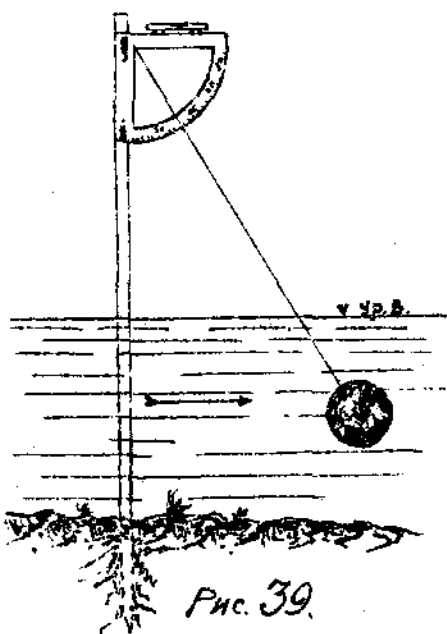


Рис. 39.

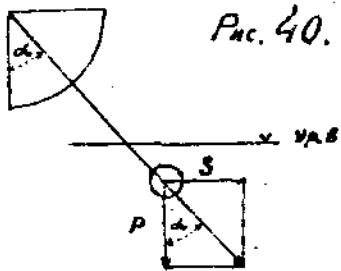


Рис. 40.

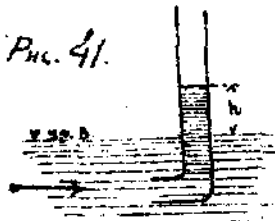


Рис. 41.

Составим из этих сил параллелограмм:

тогда $S = P \operatorname{tg} \alpha$; $S_1 = P \operatorname{tg} \alpha_1$

Разделим: $\frac{S = P \operatorname{tg} \alpha}{S_1 = P \operatorname{tg} \alpha_1}$

Получим: $S : S_1 = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha_1$.

Скоростной напор S выражается формулой механики:

$$S = \frac{V^2}{2g}$$

поэтому напоры пропорциональны квадратам скоростей V и V_1 т. е.

$$S : S_1 = V^2 : V_1^2.$$

а следовательно

$$V^2 : V_1^2 = \operatorname{tg} \alpha : \operatorname{tg} \alpha_1.$$

Отношение $V_1 : \sqrt{\operatorname{tg} \alpha_1}$ будет постоянным K ; так что

$$V = K \sqrt{\operatorname{tg} \alpha}$$

Определение K делается посредством определения нескольких скоростей поплавком, причем по квадранту замечаются углы ($\alpha, \alpha', \alpha''$) при этих скоростях; квадрант дает скорости в момент отсчета по шкале, независимо от определения времени, а следовательно при наличии пульсаций получить действительную скорость невозможно; кроме того, трудно найти отношение полученной скорости к средней на глубине. Этот прибор в настоящее время почти вышел из употребления.

Другой прибор, **трубка Пито**, построенный на принципе преобразования скоростного напора в высоту давления (h), также не дает возможности учесть пульсацию струи, но может быть легко погружаем на требуемую глубину, а поэтому применяется для измерений на небольших потоках,

Теория его следующая:

Если стеклянную трубку, изогнутую под прямым углом погрузить в воду так, чтобы изогнутый конец отверстием был против течения, (рис. 41) то вода в другом колене трубки под влиянием напора подымается на высоту (h); столбик воды будет тем выше, чем больше напор или производящая его скорость течения.

Обозначим высоту столбика над уровнем в реке через h , ускорения тяжести— g , скорость— V , скор. напор— S . Через m —коэффициент зависящий от свойств трубки, то по формуле:

$$S = \frac{V^2}{2g}$$

имеем, что

$$h = \frac{V^2}{2gm^2}$$

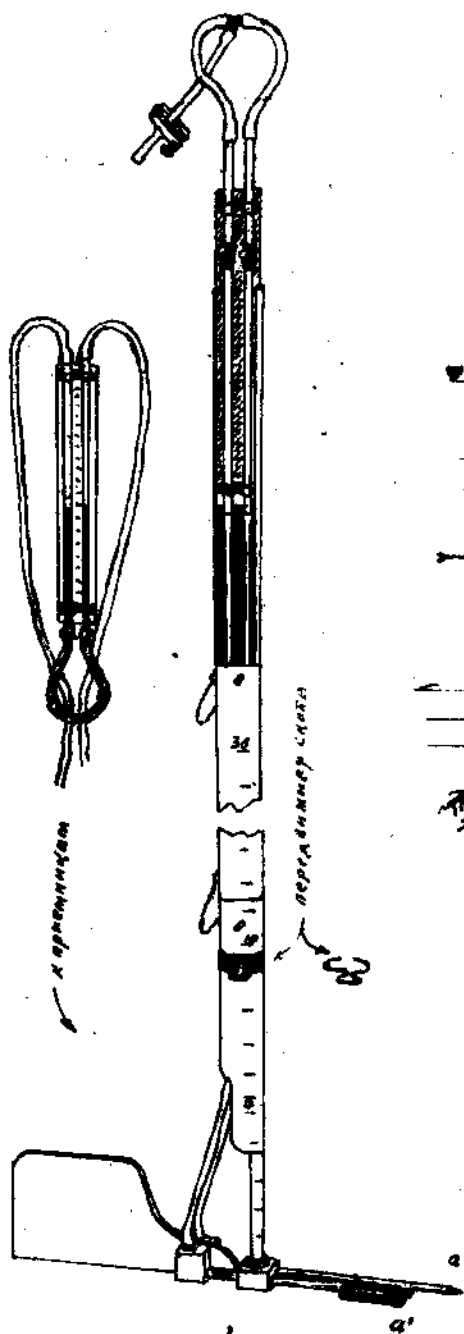


Рис. 43.

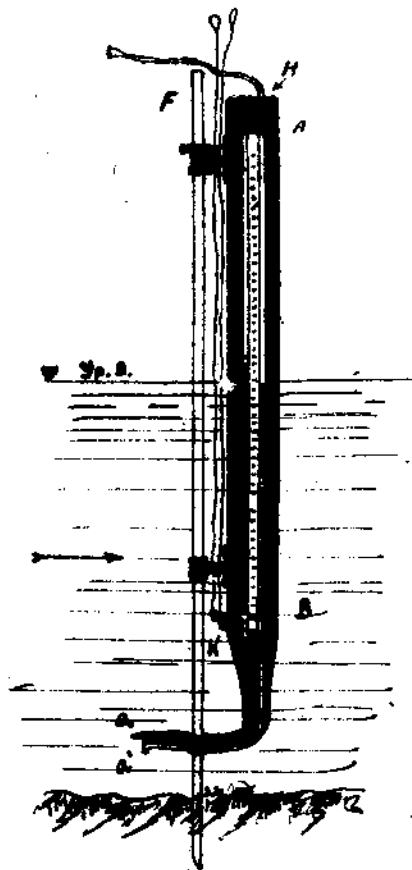


Рис. 42.

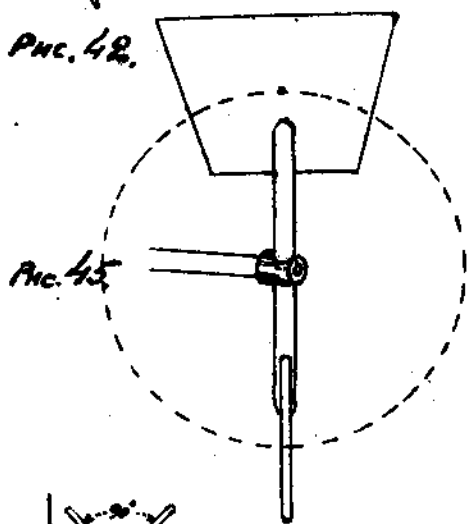


Рис. 45.

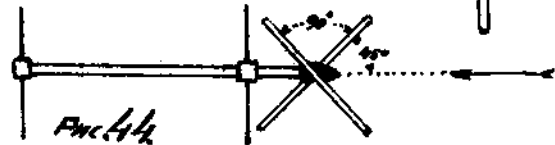


Рис. 44.

Отсюда $V = m\sqrt{2gh}$ или, обозначив $m\sqrt{2g}$, как постоянную через K , имеем: $V = K\sqrt{h}$

K определяется тарировкой.

Трубка Пито получила целый ряд конструктивных усовершенствований и в настоящем виде носит название трубки Пито-Дарси.

Большая или стационарная трубка состоит из деревянной или металлической доски, на которой укреплены две стеклянные трубки длиной около метра. (Рис. 42). Верхние концы трубок вделаны в оправу с краном H и сообщаются между собою каналом в теле оправы. От крана H идет не большой резиновый рукав F . Нижние концы трубок вделаны в оправу B но между собою не сообщаются; от оправы B продолжением стеклянных трубок идут две металлические трубки—приемники a и a' . Оправа B имеет кран K , одновременно открывающий или закрывающий обе трубки. Управление краном производится посредством 2-х проволочных тяжей. Доска посредством муфт с зажимным винтом устанавливается на деревянной или металлической штанге E . Прибор погружается в воду, на требуемую глубину, с открытыми кранами K , так, чтобы доска расположилась по течению за штангой. Тогда приемники расположатся так, как представлено на рисунке. Отверстие приемника a , открытое навстречу течению, воспринимает и передает динамическое давление воды в манометр; отверстие приемника a' расположено перпендикулярно течению и испытывает статическое давление воды, поэтому уровень воды в стеклянных трубках в левой будет стоять выше, чем в правой, разность отсчетов по шкале, укрепленной между трубками выразит высоту напора. Кран K держат открытым около минуты и затем закрывают, вынимают прибор из воды и делают отсчеты. При больших скоростях может случиться, что уровень левой трубки подымется до конца или же желают делать отсчеты, не вынимая прибора из воды, тогда открывают кран H и через резиновый рукав F или поршнем сжимают или разрезают воздух в трубках, подымая или опуская этим уровень воды в коленях манометра и снова закрывают кран H . Капиллярность трубок не имеет влияния на отсчеты, потому что трубки одного диаметра.

Карманная трубка Пито состоит из легких, полых, металлических, составных штанг, верхнее колено служит обоймой для манометра, а на нижнее навинчивается скомбинированное в одно целое приемники

и направляющий их навстречу течению руль. Рис. 43. Приемник имеет отверстия сбоку трубки, покрытое металлической гильзой; на мундштуки приемников надеваются резиновые рукава, и тушище внутри штанг к манометру. Стекланные трубочки длиною 10—15 см. укреплены на деревянной шкале. Верхние концы трубок соединяются двумя рукавами с тройником, имеющим на третьем отростке рукавом с зажимом. Назначение его тоже, что и в большой трубке. Возможна иная сборка такой трубки; шланги от приемников идут к верхним концам манометра, а нижние концы соединены куском резиновой трубки. В манометр наливается окрашенная жидкость до половины стекланных трубок. При такой сборке прибор сразу опускают в воду на глубину, отмечаемую на штанге особой передвижной скобкой. Когда, входя в приемник а, сжимает воздух в шлангах, последний передает это давление в манометр. При сборке же по первому способу с тройником раньше нужно поднять воду в шлангах до половины трубок манометра, разрезая воздух чрез тройник. Сборка обычно применяется та, при которой определен коэффициент прибора. Карманная трубка Пито имеет приемники расположенными в горизонтальной плоскости, что при диаметре трубок около 5 мм. позволяет измерять скорости течения в самых мелких протоках, имеющих слой воды достаточный, чтобы покрыть приемники. На трубки манометра одеты пружинные индексы, устанавливаемые перед отсчетом на высоте мениска водяного столбика в трубках.

Все приборы, основанные на измерении скоростного напора, страдают тем недостатком, что дают скорость того момента, в который сделан отсчет по шкале; кроме того, при больших глубинах определение скоростей на глубине представляет почти непреодолимые препятствия, а между тем наличие пульсации скоростей требует, чтобы скорость была определена за возможно большой промежуток времени, потому что только в таком случае может быть получено среднее значение измеряемой скорости, а также и отклонения от этой средней или размахи пульсации.

Вертушка Вольтмана позволяет не только измерить скорости с большою точностью в любой точке сечения, но также дает возможность исследовать и изучить характер пульсаций.

Идея вертушки очень проста и понятна из следующего: представим себе, что в реке, на некоторой глубине, параллельно струе,

на неподвижных опорах вращается горизонтальная ось; к этой оси перпендикулярно прикреплен стержень; на равных расстояниях от оси и концам этого стержня прикреплены две металлические пластины, имеющие форму трапеций; плоскости этих пластинок между собою перпендикулярны, а с горизонтальной осью составляют угол в 45° , а следовательно тот же угол имеют со всеми струями. (Рис. 44).

Очевидно, что при таком угле встречи крыльев со струйками последние отбросят крылья в сторону, а это заставит всю систему поворачиваться вместе с горизонтальной осью. Чем больше скорость течения, тем быстрее будет вертеться наша ось с крыльями; следовательно, по скорости вращения крыльев можно судить о скорости течения. Чтобы получить величину скорости течения, нужно знать число оборотов или путь крыльев в единицу времени. Путь крыльев будет равняться числу оборотов, умноженному на длину одного оборота; один оборот есть длина окружности, проходящей через центры тяжести крыльев. (Рис. 45). Диаметр этой окружности есть расстояние между центрами тяжести крыльев. Длина окружности будет постоянным вертушки (K).

Допустим, что K нам известно. Тогда, соединив ось вертушки с каким либо счетчиком числа ее оборотов в определенный интервал времени, мы сумеем вычислить число оборотов в единицу времени, например, секунду, а умножив эту величину на K, получим скорость течения.

Обозначим время t
число оборотов n
длину одного оборота k

Положим, что в течении t секунд крылья сделали n оборотов, следовательно, в одну секунду будет $n:t=n$ оборотов отсюда

$$V = K \frac{n}{t} = V = Kn \dots \dots \dots 1$$

Это и будет уравнение вертушки, данное ее изобретателем Вольтамом.

Неизвестное (K), по его указаниям, определялось следующим порядком: вертушка на штанге передвигалась в стоячей воде с некоторою скоростью на протяжении около 200 фут. Делением пути (s) на число оборотов за время пробега (n) определялась искомое K. Предполагалось, что на участке определенной длины число оборотов не зависит от скорости движения вертушки.

На основании дальнейших опытов Гарляхер предложил уравнение вертушки в виде уравнения прямой линии.

$$V = C + Ku \dots\dots\dots \text{II}$$

Здесь C такая скорость, при которой крылья еще не поворачиваются, иными словами, C —такая скорость, напор которой равен силе трения в снаряде.

Другой исследователь этого вопроса Лямейер дал уравнение вертушки в виде уравнения параболы

$$V = C + Ku + Ku^2 \dots\dots\dots \text{III}$$

Здесь C имеет прежнее значение.

Во всех этих формулах C , K и K^1 есть постоянные вертушки или ее коэффициенты, определяемые тарировкой.

Описание типичных вертушек

Вертушка Вольтмана.

Вертушка этого типа имеет горизонтальную ось с червячной нарезкой и крыльями в 2, 3 или 4 лопасти. Число оборотов оси регистрируется механическим счетчиком, состоящим из двух зубчатых колес. Колеса счетчика помещаются в рамке A , имеющей небольшое перемещение вверх и вниз вокруг оси в вилке прибора. Пружина c отжимает раму счетчика книзу и держит зубчатку Z_1 , всегда разобщенной с червяком оси. (Рис. 461. Во время работы управление счетчиком производится двумя шнурами, идущими к эксцентрику h . Прибор отпускают в воду с разобщенным счетчиком. Натяжением одного из шнуров переводят эксцентрик, поднимающий рамку счетчика вверх и этим производится сцепление зубчатки с червяком оси. Дергая второй шнур приводят эксцентрик в прежнее положение. Зубчатка счетчика отойдет от червяка и попадет зубцами на особый пружинящий зуб e укрепленный на вилке. Этим устраняется произвольное вращение колес счетчика. Колесо счетчика Z_1 , имеет сто зубцов, на котесе нанесены деления подписанные через 10 делений—зубцов. Один оборот крыльев передвигает это колесо на один зубец. Второе колесо Z_2 то же имеет 100 зубцов и приводится в движение первым колесом при помощи шестерни в 10 зубцов. Один полный оборот колеса Z_1 передвигает колесо Z_2 на десять зубцовделений, подписанные от нуля до 10 и отмечающее сотни оборотов колеса Z_1 и следовательно крыльев вертушки. Отсчет производится по индексу

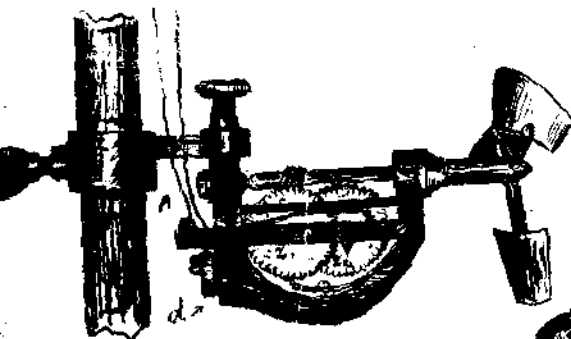
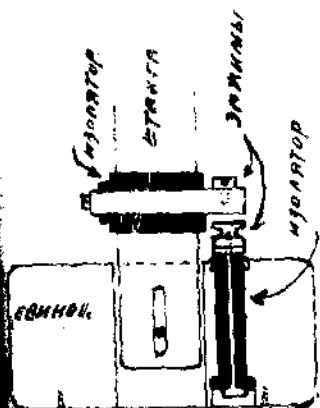
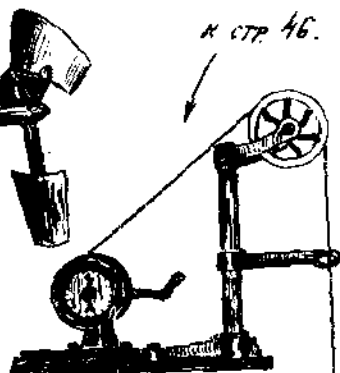


Рис. 46.



вращаясь с контактом

Рис. 48.

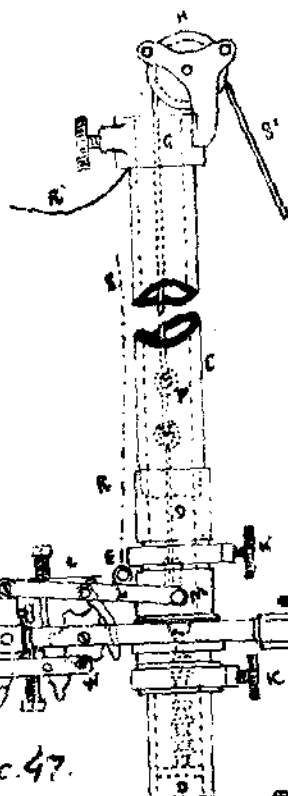


Рис. 47.



Рис. 49.

Схема соединенная малой вертушки с звонком и батареей.

колеса Z_1 —сотки и по зубцу e в который упирается колесо Z_1 —десятки и единицы оборотов.

Работа ведётся в следующем порядке:

Устанавливают колеса счетчика на нули, вращая ось; отводят эксцентриком счетчик от оси и погружают прибор в воду, затем одновременно пускают секундомер и шнуром включают счетчик. Протянув нужное время (2—4 мин.) в таком положении прибор одновременно же останавливают секундомер и шнуром выключают счетчик, вынимают прибор из воды и записывают отсчеты по счетчику и время в журнал. Нет, конечно, надобности приводить счетчик на нули, можно записать начальный отсчет и затем получить число оборотов, как разность конечного и начального отсчетов. Шнуры должны быть не размокающие и не растягивающиеся.

Отрицательные стороны этой конструкции заключаются в том, что при сильном течении шнуры оттягиваются и соединение счетчика с червяком делается ненадежным и крайне неудобно то, что для отсчета нужно каждый раз вынимать прибор из воды, отсутствие руля не дает уверенности в правильном положении прибора под водою.

Вертушка Амслера-Ляффон.

Есть измененная и усовершенствованная вертушка Вольмана. (Рис. 47). Включение или выключение счетчика производится одним шнуром идущим либо снаружи, либо внутри штанги.

Шнур ES крепится к рычагу L или к стержню проходящему через вилку этого рычага и находящемуся внутри штанги—трубы (шнур MDEGHS¹) в штанге в таком случае должны быть прорезы. Широкое храповое колесо в 6 зубцов упирается в ролик (W) на рамке счетчика. Двойная, на одной оси собачка прижата к храповому колесу плоской пружиной сверху рычага L. Этот рычаг прижимается вниз спиральной пружиной e . При натяжении шнура собачка захватывает храповое колесо и поворачивает его на один зубец, при этом зубец отжимает рамку счетчика книзу и удерживает ее в таком положении, вторая собачка в этот момент стоит между зубцами храпового колеса; если снова натянуть шнур, то вторая собачка захватит храповое колесо и передвинет его так, что ролик рамки счетчика попадет между зубцами храповика и зубчатое колесо счетчика сцепится с червяком оси.

Вторая спиральная пружина (снизу) отжимает рамку счетчика вверх. Счетчик оставлен без изменения и сходен с ранее описанным.

Вторым существенным усовершенствованием является электрическая сигнализация. На колесе Z , счетчика недалеко от центра ввинчен штифтик приходящий в соприкосновение с рычагом P после каждого полного оборота колеса Z , рычаг P может подниматься проходящим мимо штифтиком только вверх и прижимается к низу изогнутой пружинкой. Рычаг P изолирован прокладкой V от тела вертушки, от него идет изолированный провод R к батарее и звонку. Второй провод идет или к вертушке или к штанге так как вертушка и штанга скрепленные винтами KK представляют проводник для электрического тока. Позади штанги привинчивается руль, удерживающий прибор в положении параллельном течению. Вертушки Амслера-Ляффон изготавляются для работы с упорной штангой или подвесные на троссе. В таком случае ниже вертушки подвешивается груз в виде чечевицы; ниже груза помещается донный контакт. Когда прибор дойдет до дна и упрется в него контакт замыкает электрическую цепь и раздается предупредительный звонок. Наиболее простая конструкция такого контакта приведена на рисунке. (Рис. 48.).

Для опускания вертушки с тросса служит особая лебедка с циферблетом, по указателю циферблата можно отсчитывать глубину воды или погружения вертушки.

В дальнейшем вертушка Вольтмана усовершенствована Гарляхером, применившим, между прочим, шариковые подшипники, но эта деталь оказалась мало пригодной на реках несущих много песчаных наносов. Засорение шариков способно совершенно извратить коэффициенты вертушки. Опыты показали, что смазка ходовых частей растительными маслами собирает муть и задерживает вращение вертушки. Оказалось более целесообразным совершенно отказаться от смазки, потому, что тогда сохраняется постоянство сопротивления от трения в подшипниках, что в свою очередь сохраняет коэффициенты постоянными. Шариковые подшипники Гарляхер заменил агатовыми, эта замена признана практиками наиболее удачной.

Фабрикант А. Отт значительно усовершенствовал вертушку Гарляхера. Наибольшее распространение получили приборы этого фабриканта для малых и средних рек „малая штанговая вертушка Отта с электрической сигнализацией“. (Рис. 49). В этом типе трехлопастное крыло защищено от боковых ударов кольцом. Червячная передача приводит в движение зубчатое колесо дающее контакт через 50 оборотов. Счетчик совершенно открытый. При разборке вывинчивается передний винт, имеющий встречную для воды кониче-

Рис. 50.

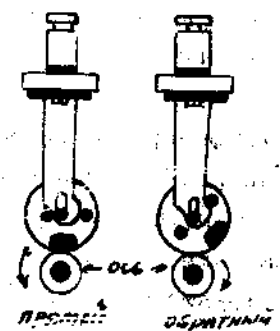
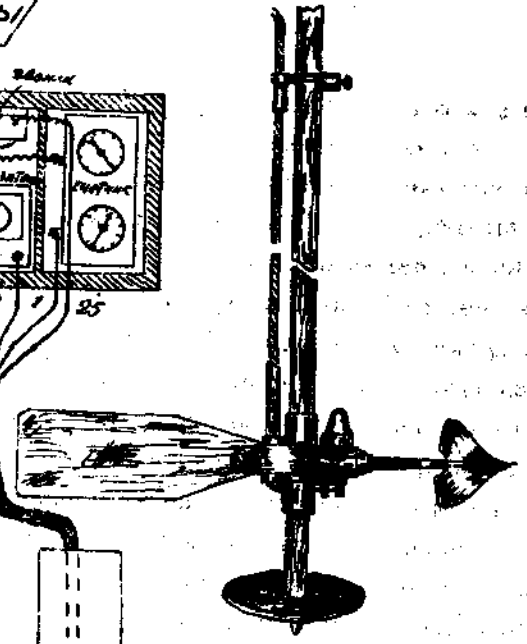
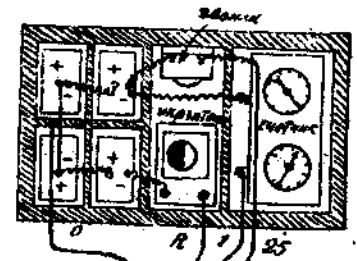
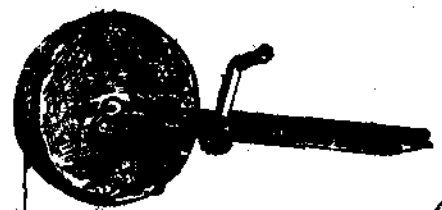
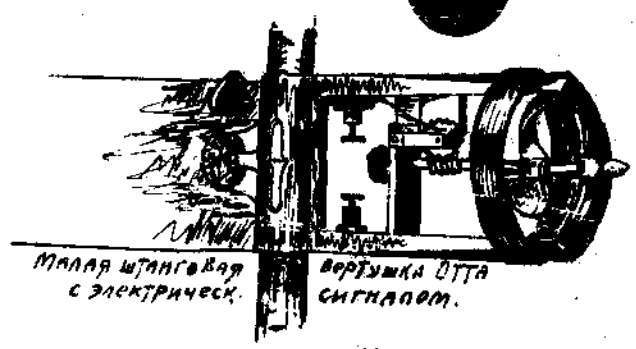
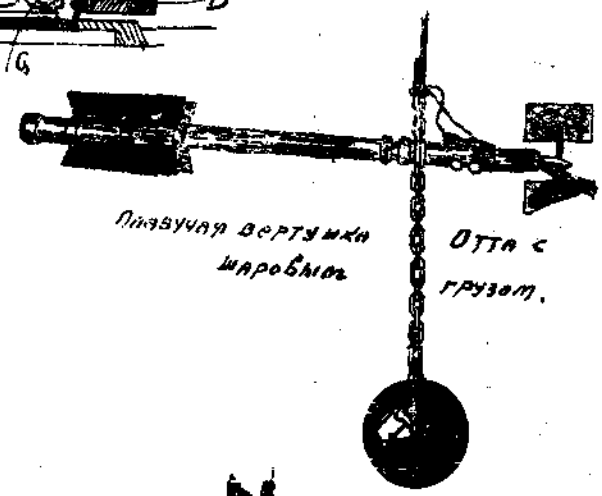
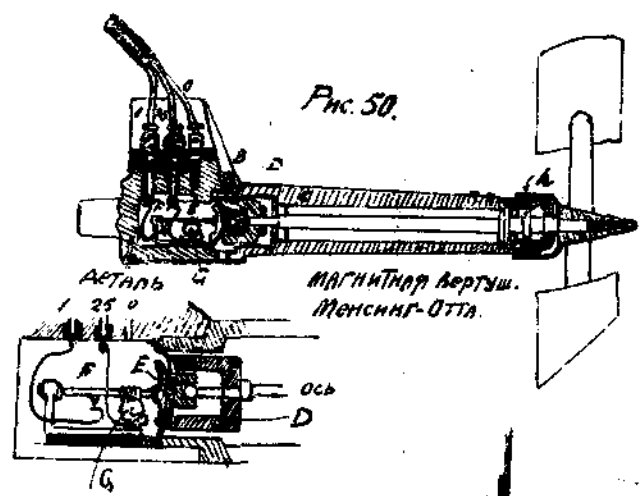
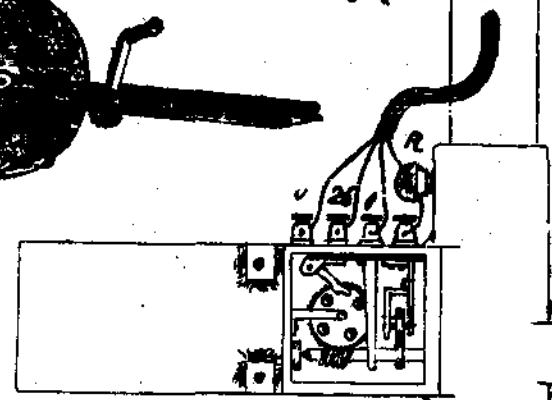


Схема указателя и контакта прямого и обратного хода лопастей.

Схема большой вертушки Отта и соединяющих регистрирующих приборов с контактами.



кую головку и ось с крыльями вынимается легко. Следует избегать трогать задний установочный винт закрепляемый обычно контргайкой. Изменение положения этого винта вызовет изменение трения, и это нарушит коэффициенты прибора. На рисунке приведена схема соединения малых вертушек со звонком и батареей. Кабель вытягивается вдоль и позади штанги.

Для измерения на больших реках значительной глубины Отт строит вертушки большого типа. В большинстве случаев эти вертушки работают на подвесной штанге яйцевидного сечения, изготовленной из цельнотянутой, стальной трубы. Поперечные размеры трубы 54×27 мм, толщина стенок 3 мм.

Винт двухлопастный с косыми поверхностями дитметром в 16 см. Этого типа вертушки оборудованы тремя контактами (см. схему Рис. 49). В 1 и 25 оборотов и указателем прямого и обратного хода. Зубчатое колесо несет четыре контактных штифта, представляющих из себя половинки разрезанных по оси цилиндров. Эти штифты могут быть от руки поставлены так, что контактный рычаг будет задевать за каждый штифт, скользя по его выпуклой стороне, тогда сигнал будет получаться через 25 оборотов, если два диаметрально расположенные штифта повернуть в сторону рычага плоскими сторонами, то рычаг не касаясь их, замкнет ток через 50 оборотов, если и третий штифт поставить в такое же положение, то сигналом будут отмечаться каждые 100 оборотов винта. Контакт для регистрирования отдельных оборотов дается соприкосновением пластинчатой пружины с пальцем—выступом на оси вращения.

Контакт указателя прямого и обратного хода винта (на схеме R) показан на отдельной схеме: на ось насажена шайба к которой прилегает и прижимается собственным весом другая шайба, ось которой вставлена в прорезы в вилке этого приспособления. Эта шайба имеет свободу вертикального перемещения и поэтому не оказывает тормозящего влияния на работу прибора.

Эта шайба имеет в двух диаметрально расположенных местах вставки из слоновой кости (изоляторы), а по перпендикулярному к ним диаметру два штифта. При прямом ходе винта один из штифтиков упирается в вилку и удерживает шайбу в таком положении, что изолятор скельзит по шайбе насаженной на ось. При обратном ходе (достаточно чтобы винт сделал $1/20$ полного своего оборота) изолятор отойдет в сторону и соприкосновение металлических шайб пош-

лет ток в оптический указатель, устроенный так, что при прямом ходе глазок указателя закрыт черным щитком, а при обратном—красным. Кабель от вертушки проходит внутри штанги и проводится к ящику с батареей и регистрирующими приборами. Четвертый контакт 0 служит обратным проводником тока, он не изолирован от тела вертушки. В звонковую цепь может быть включен контакт поддона, тогда при достижении вертушкой дна раздается звонок.

Приведенная на рисунках вертушка Альбрехта отличается конструктивными деталями и в общем сходна с описанными вертушками.

Разсмотренные вертушки имеют контакты или совершенно открытые или не вполне надежно защищенными от попадания в счетчик воды и пригодны для работы только в чистой пресной воде, так как вода слабо проводит электрический ток и это на работе прибора не отражается. В соленой воде или содержащей кислоты необходимо для правильной и надежной работы иметь контакты тщательно закрытыми от попадания в них воды.

Представителем такого типа приборов может служить магнитная вертушка системы Менсинг-Отта. (Рис. 50). На заднем конце оси привинчен наглухо подковообразный магнит D вращающийся вместе с осью; против магнита в закрытой металлической коробке помещается вращающийся под действием магнитной индукции якорь E. На оси этого якоря имеется палец F замыкающий цепь через контакт 1 через каждый оборот оси; червячная передача приводит в движение колесо G, замыкающее цепь через контакт 25, через 25 оборотов оси. Вся система привинчена к крышке B и вынимается вместе с ней. Вводы контактов 1 и 25 изолированы от тела приборов, а ввод 0 не изолирован и служит обратным проводником тока. Перегородка, в которой работает передний конец оси якоря может выниматься и имеет с другой стороны подшипник для оси несущей крылья. Передний конец этой оси работает на шариковом подшипнике, защищенном от попадания воды и песку кожухом H. Вертушка этого типа имеет рули и может работать на штанге или как плазучая.

Установка вертушек во время работ.

Вертушка на штанге упираемой в дно, применима при небольших глубинах (до 0,8 саж.) и скоростях (до 1 саж. сек.) при таких условиях еще возможно удерживать штангу в отвесном положении руками. Закрепив вертушку установочным винтом на делении штан-

ти, соответствующем требуемой глубине погружения (деления на штангах идут снизу вверх) опускают штангу до дна и слегка разжимают руку, тогда давлением течения на руль вертушку выправит по течению. Тогда лопасти будут впереди штанги и остается во все время работы удерживать штангу отвесно и неподвижно.

Берлинские опыты показали, что отклонение штанги от вертикали (влево или вправо) до 10° дает ошибку в определении скорости 0,75%, при наклонении вперед или назад до $7,5^\circ$ ошибка равна 1,5% по тем же опытам при прямом и обратном ходе лопастей всегда есть разница в коэффициентах вертушки.

Для того, чтобы штанга не углублялась в дно, на нижний ее конец навинчивается железный башмак.

Вертушка на подвесной штанге.

При значительных глубинах и скоростях не только маневрировать но и удерживать штангу руками почти невозможно, как вследствие ее веса, так и вследствие большого напора, поэтому применяются подвесные штанги. Есть много конструкций таких приспособлений, приведем схему простейшего из них (Рис 51). Сущность такой конструкции заключается в том, что штанга передвигается по роликам, помощью троса, закрепленного за нижний конец штанги, выше вертушки, другой конец троса перекинут через блок и закреплен на валу лебедки или ворота. Работая лебедкой можно подымать и опускать штангу с вертушкой, а помощью особого зажима удерживать всю систему на определенной глубине. Для устранения вибрации штанги и опасности ее излома или сгибания к муфте, за которую крепят подъемный трос, крепятся еще три троса, два из них служат растяжками, предупреждающими баковые раскачивания, и третий трос предупреждает сгибание штанги от напора течения.

На конце штанги имеется поддон дающий в момент соприкосновения его с дном реки, особым контактом сигнальный звонок. Кабель от поддона и счетчика числа оборотов пропускается внутри штанги, для этого в ней пробуравлены отверстия. При лебедке есть счетчик, по показаниям которого можно судить о длине выпущенного троса, а следовательно и глубине реки или погружения вертушки.

При работе с подвесной штангой необходимо обеспечить ей отвесное положение. Это возможно только тогда, когда вся система укреплена на достаточно устойчивом понтоне или мостике.

Установка плавучих вертушек.

Подвесная штанга может быть заменена гибким стальным тросом, перекинутым через блок закрепленным на валу лебедки. Условия для правильной работы прибора те же, что и для подвесной штанги, т. е. устойчивость приспособления с которого ведется работа.

Для измерения рек средней ширины Альбрехт предложил плавучия вертушки подвешивать на тросс перетянутый через реку. (Рис. 52).

Для этого на живом сечении устанавливают два столба, укрепленные оттяжками. На этих столбах зверху укреплены блоки, через которые перекинут тросс в виде бесконечного ремня, на одном берегу тросс обернут вокруг блока два раза. Этот блок имеет рукоятку, вращая рукояткой блок можно передвигать тросс поперек реки. По верхней ветви тросса скользит блок подвески, а нижняя ветвь скреплена с подвеской. На конце подвески есть второй блок, через него перекинут тросс, на котором подвешена вертушка. Конец этого тросса (иногда троссом служит электрический кабель) закреплен на валу лебедки. (Рис. 53). Таким образом, вращая рукоятку блока А посылают вертушку вперед или назад, устанавливают ее на нужном расстоянии от берега. Это расстояние отчитывается по рейке укрепленной между блоком А и лебедкой. На троссах имеются метки или переставные указатели по которым и ведется работа. Когда вертушка поставлена на место, действуя лебедкой, погружают ее в воду для работы. Глубина реки и установка прибора измеряется по той же рейке. Если вертушка оборудована донным контактом, то работа идет сравнительно быстро, приблизительно в таком порядке: подняв вертушку вверх до отказа, устанавливают указатель на троссе—кабеле на нуль рейки, опускают вертушку до поверхности воды и записав отсчет, опускают до дна, что узнается по звонку, отсчет по указателю на рейке дает длину выпущенного тросса (см. ниже), поднимают вертушку до тех пор, пока указатель, укрепленный на троссе—кабеле не дойдет до деления рейки, выражающего глубину, на которой решено вести измерение скорости. Если донного контакта нет, то приходится заменить вертушку грузом и мерить глубину отдельно.

Соединение вертушки со звонком и батареей производится кабелем, проходящим через лебедку. Конструкция лебедки довольно сложна. Так например, для работ Туркестанской Изыскательно-Строительной Партии, автором сконструирована и мастерской Партии построена

Рис. 51.

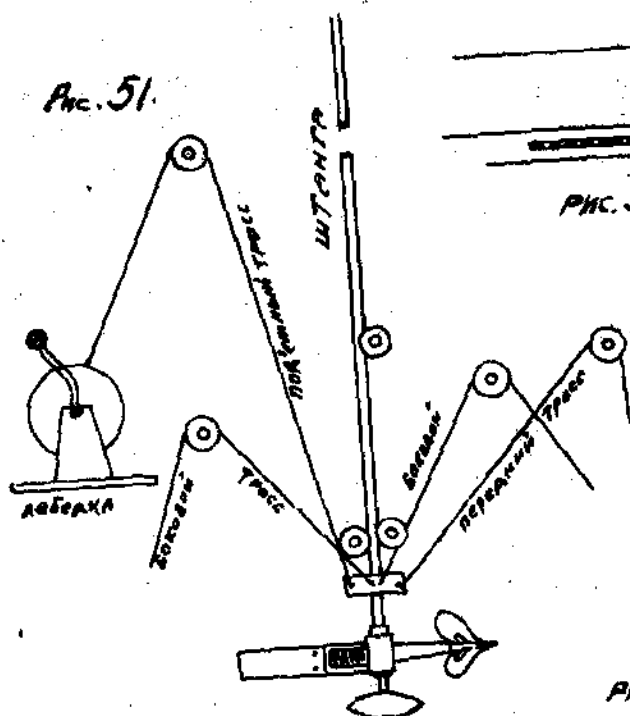


Рис. 53

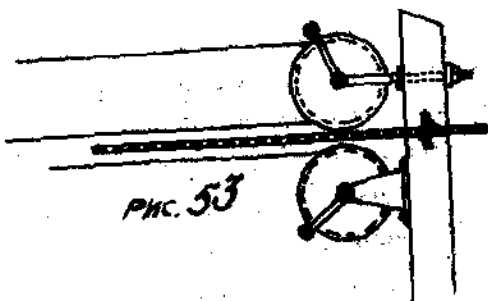
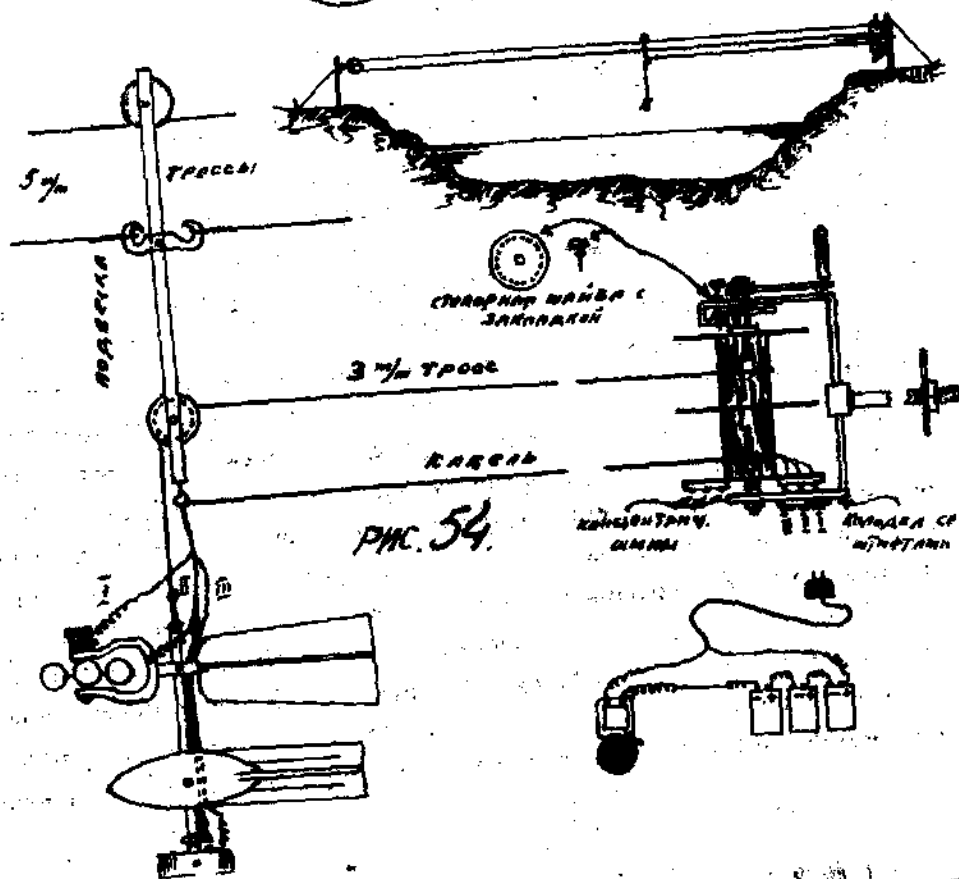
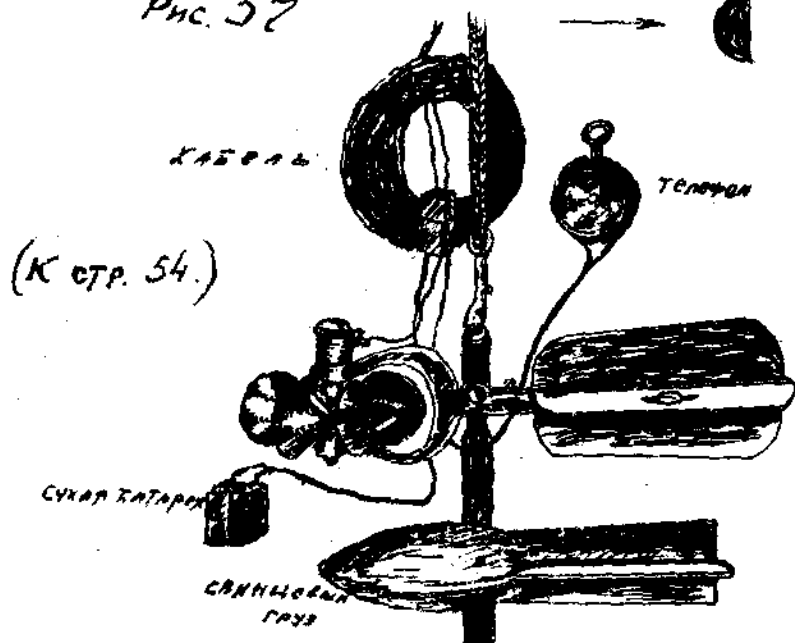
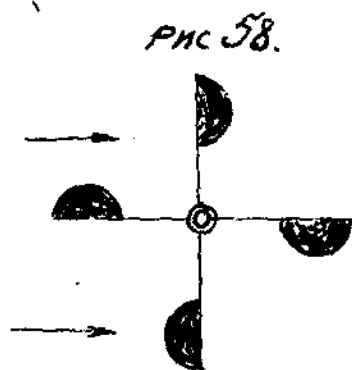
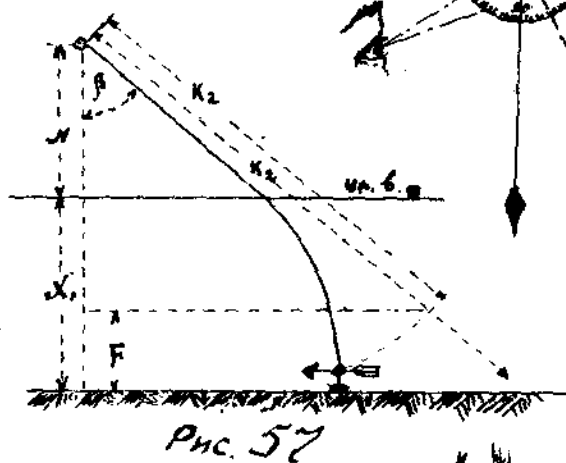
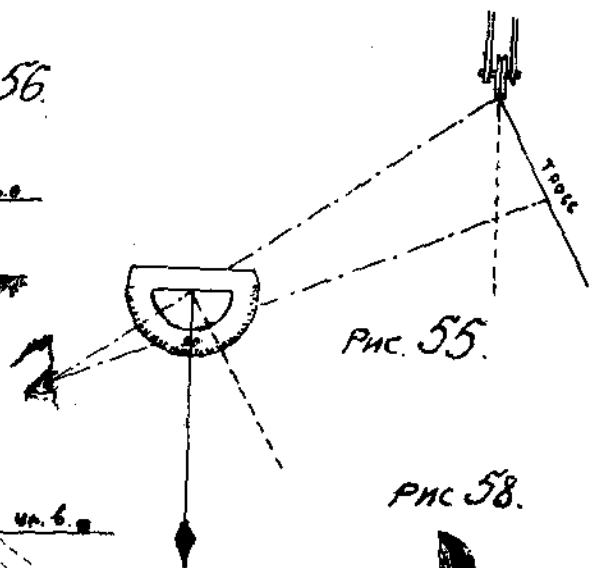
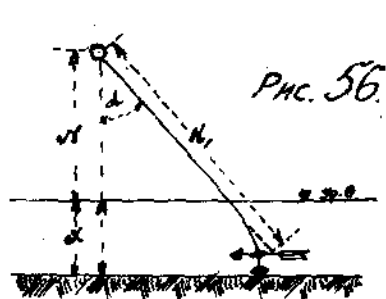


Рис. 52.





Плавучая электрическая вертушка проф. Прейсса.

лебедка и плавучая вертушка Прайсса. Вертушка оборудована донным контактом. Кабель, за отсутствием других, был взят трехжильный.

Схема соединения приведена на рисунке. (Рис. 54). Одна ветвь кабеля (I) идет от счетной камеры, вторая ветвь (II) включена в арматуру вертушки; к ней присоединяется изолированный проводник, идущий к верхнему зажиму донного контакта; от нижнего зажима идет самостоятельный проводник (III), далее все три изолированных проводника скручены в один кабель и идут к лебедке, на валу которой закреплены за кольцо, свободные концы проводников пропущены через щеку лебедки и соединяются каждый отдельно с тремя голыми мелкими круговыми шинами, расположенными концентрически; на изолированной от тела (железа), лебедки пластине. В вилку лебедки против шин вставлена фибровая колодка с тремя медными пружинящими штифтами, свободно скользящими каждый по своей шине и прижатые к ним спиральными пружинами, скрытыми в колодке. Два штифта штепселя соединены с батареей и звонком. Когда требуется измерить глубину, то штифты штепселя вставляются в отверстия колодки, помеченные II и III, когда же требуется считать число оборотов вертушки, штепсель переставляется в отверстия I и II. Вал лебедки разделен перегородкой на два отделения; в одном намотан кабель, а в другом тонкий стальной тросс, на котором подвешена вертушка.

Груз плавучих вертушек помещается не ближе 30 см. от крыльев, во избежание влияния подпора на ход крыльев.

Несмотря на довольно большой груз угон вертушки течением при больших глубинах и скоростях неизбежен и приходится визируя через транспортир и отвес на точку привеса вертушки (блок) определять угол отклонения тросса от вертикали а затем вводить поправку в показания указателя на рейке. При малых скоростях и глубинах действительную глубину X можно принять равной K (отсчет по рейке) умноженному на $\cos \alpha$, уменьшенному на N

$$X = K_1 \cos \alpha - N \dots \dots \dots (Рис. 55).$$

где N расстояние до поверхности воды взятое по рейке.

При больших глубинах и скоростях получить X точно нельзя потому, что под напором течения тросс образует не прямую (рис. 56), а сильно изогнутую линию, в таком случае: (рис. 57).

$$X_1 = K_2 \cos \beta + F - N \dots \dots \dots$$

где F ошибка не поддающаяся учету и состоящая например, при

глубине в 7 метр. около 10% т. е. 70 см. При самом тонком троссе ошибка эта уменьшается. *).

Вертушки с вертикальной осью проф. Прайсса.

Рассмотренные нами типы вертушек имеют крылья в виде трапециoidalных, изогнутых пластинок или косых с закругленными концами лопастей, причем эти крылья сообщают вращательное движение горизонтальной оси. Это тип вертушек с горизонтальной осью.

Теперь рассмотрим вертушки с вертикальной осью. Отличительной особенностью в этом типе является то, что вертикальная ось приводится во вращение не крыльями, а черпаками.

Если поставить в плоскости, перпендикулярной течению; горизонтальный стержень, укрепленный своею серединою на вертикальной вращающейся оси, а на концах этого стержня укрепить по одному конусу или полушарию так, чтобы один был обращен выпуклостью в одну сторону (рис. 58), а другой в другую, то естественно, что черпак, обращенный вогнутостью навстречу течению, будет испытывать большее давление, чем его сосед, поставленный к течению своей шаровой поверхностью, а так как стержней с черпаками два и расположены они перпендикулярно друг к другу, то наш опыт приведет к тому, что вертикальная ось будет вращаться со скоростью, зависящей от скорости течения.

Число оборотов может регистрироваться как механическим счетчиком, так и помощью электрического звонка.

Среди более или менее удачных конструкций этого типа вертушек на первом месте стоит американская вертушка проф. Прайсса (рис. 59.).

Вертушки системы проф. Прайсса изготовляются двух типов: акустические и электрические; различие заключается в том, что в акустических—счет числа оборотов производится по ударам молоточка счетного механизма, звук передается по штанге особому слуховому прибору, а в электрических вертушках счет оборотов производится помощью звонка или телефона.

Как видно из чертежа акустическая вертушка состоит из колеса А, на спицах которого укреплены шесть черпаков в виде конусов, обращенных отверстиями в одну сторону; вертикальная ось состоит из двух частей: нижняя часть В имеет форму стаканчика опрокинутого вверх дном; с наружной стороны дна имеется отросток с винтовой

*) Краткое руководство Мюнхенского Гидр. Бюро Е. В. Оппоков.

нарезкой; диаметр отростка меньше диаметра дна стаканчика; на этот отросток надевается черпаковое колесо отверстием D, в маленькое отверстие d входит штифтик, вделанный в тело стаканчика. Таким образом колесо не может вращаться независимо от стаканчика. Верхняя часть оси С навинчивается на отросток и этим колесо и ось собираются в одно целое. В дно стаканчика вделан агатовый подшипник, опирающийся на закаленной стали, хорошо отточенное и отполированное острие E; острие ввинчено в вкладыш и удерживается в нем гайкой, а вкладыш входит в круглое отверстие полукольца Q и зажимается винтом. Полукольцо служит рулем. Сквозь отверстие в верхней части полукольца проходит круглая трубка K, лежащая заплечиками на полукольце и зажатая винтом. В отверстие трубки K пропускается верхняя часть оси С, имеющая на конце червячную нарезку; эта нарезка входит в счетную камеру L. Камера эта навинчивается на трубку K и зажимается винтом.

Хорошо уравновешенное колесо и тщательная припасовка нижней конической части оси С и трубки K позволяют обходиться без верхнего подшипника, так что вся система легко поворачивается на одном острие E.

На стаканчик В навинчена барашковая гайка Г, во время работы гайка поднята вверх, при перевозке гайка свинчивается вниз и упираясь в подставку полукольца, препятствует свободному вращению черпакового колеса.

Счетная камера L состоит из круглой коробки, в которую вставлена медная колодка со счетным механизмом. Камера герметически закрывается навинчивающейся крышкой М с резиновой прокладкой. На внешней стороне крышки оставлен отросток с винтовой нарезкой; на него навинчивается легкая, полая медная штанга из 2-х футовых, свинчивающихся трубок.

Счетный механизм устроен следующим образом: медная колодка прорезана по диаметру, в этом прорезе на оси вращается зубчатое колесико в 20 зубцов, червяк (в две нитки) проходит через отверстие в колодке и сцепляется с зубчаткой. Зубчатка несет на себе один штифтик (а), который проходя мимо проволочного стерженька (в), отводит его вниз; стерженек укреплен в тело маленькой колодки, поворачивающейся на оси; на этой же колодке укреплен молоточек (с) и внизу проволочная пружина b; штифт, отжимая книзу стерженек (в) тем самым отводит к низу и молоточек (с), а затем, когда стерже-

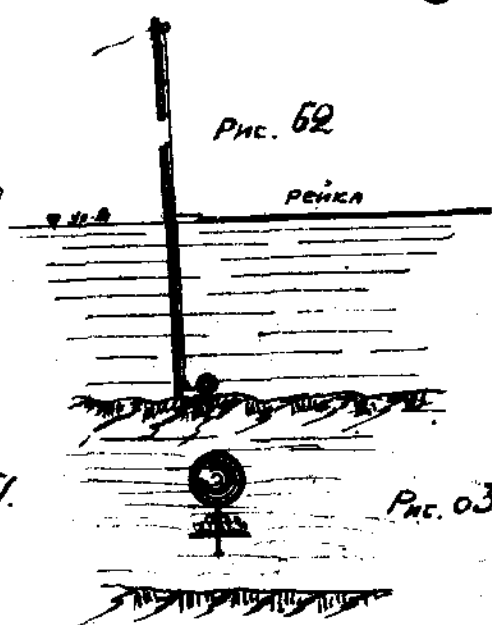
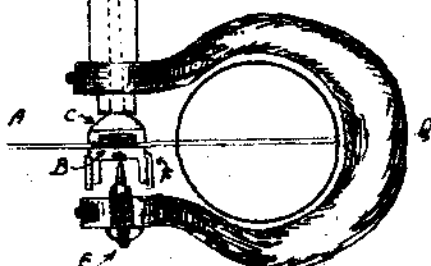
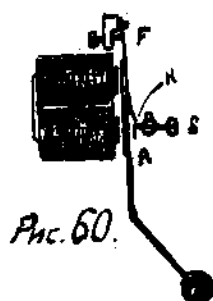
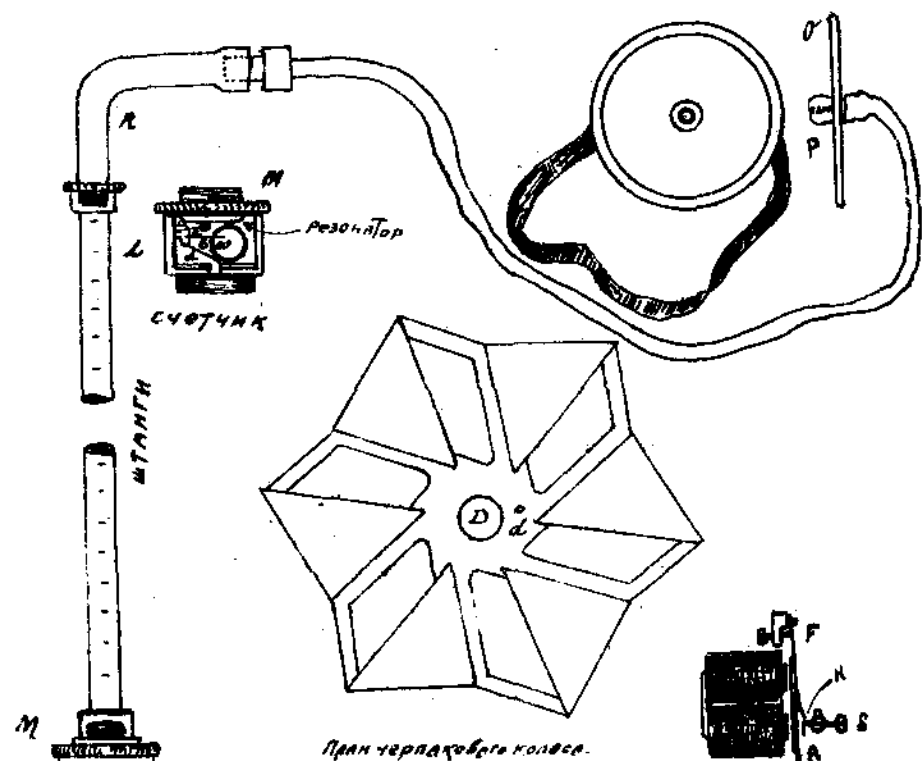
чек соскользнет с штифта, пружинка *d* отбрасывает эту систему вверх, при этом молоточек ударит по резонатору; резонатор представляет собою полую, металлическую коробочку, припаянную внутри крышки *M*, когда колесо черпаками сделает 10 оборотов, молоточек ударит по резонатору; звук удара передается по штанге слуховому прибору и достигнет уха наблюдателя в виде короткого сухого треска достаточно сильного, чтобы быть услышанным.

Слуховой прибор состоит из кожанного кружка *O* с костяной пуговкой *P*, просверленной насквозь; пуговка эта проходит через кружок и с другой стороны на нее насажена резиновая трубка длиной 1,5—2 метр.; пуговка вкладывается в ухо, кружок прикрывает ушную раковину и удерживается резиновой лентой, охватывающей голову наблюдателя; на другом конце резиновая трубка соединяется с кривулиной *R*, которая навинчивается на верхний конец штанги.

Такая вертушка без штанги весит около фунта, все части прочны и хорошо выдерживают удары воды, применима для неглубоких и быстрых речек. При больших глубинах и скоростях удержать на весу штангу невозможно и кроме того легкие штанги гнутся, поэтому есть типы вертушек более солидной конструкции с упорными штангами и подвесные.

Очень ценным в конструкции этих вертушек является то, что твердые примеси воды, как песок или ил не могут попасть и задержаться на острие и подшипнике, а следовательно повлиять на устойчивость коэффициентов вертушки. а также то, что счетчик во все время работы сухой, так как вода поднимаясь в трубке *K* сжимает находящийся в ней воздух и проникнуть в счетную камеру не может. После 3—4 часов работы в камере обнаруживается несколько капелек воды, попавших туда в виде брызг.

Акустические вертушки конструируются обычно для работы на малых глубинах. Для больших глубин применяются плавучие электрические вертушки. На рисунке представлен прибор этого типа. Счетная камера вместо резонатора и молоточка имеет ту же зубчатку и и пружинный контакт, замыкающий ток через определенное число оборотов зубчатки. Счетная камера поставлена прямо на вилку. Число оборотов между двумя сигналами может быть 5, 10 и 25, причем такое изменение достигается переменной счетной камеры целиком, каждый прибор имеет 2—3 счетные камеры и работающий может ставить любую по своему усмотрению.



Сигналы считаются или по звонку или по телефону, который прирепляется над ухом к шляпе работающего. Тяжелый свинцовый груз (20—30 фунтов) удерживает прибор в отвесном положении, а сильный четырехлопастный руль регулирует положение прибора в плоскости горизонтальной и вертикальной. Вертушка и груз укрепляются на металлической планке на осях и вертушка имеет некоторую возможность свободно балансировать в вертикальной плоскости. Опускается прибор на электрическом кабеле, служащем в то же время и троссом; для удобства включения прибора в цепь имеется небольшой штепсель. Вертушки этого типа легко превратить в штанговые электрические вертушки, для чего на вилке имеется нарезка закрытая обычно гайкой.

Оборудование электрических вертушек.

Счет сигналов электрической вертушки производится по электрическому звонку. Схема соединения вертушки со звонком и батареей ясна из рисунка (см. выше) Два „сухих“ или „наливных“ элемента типа Лакланше соединенные „последовательно“ т. е. уголь одного (средний зажим) соединяется проволокой с цинком другого (крайний зажим), дают ток достаточного напряжения для работы. Свободный зажим например уголь одного из элементов соединяется с зажимом звонка, провод от второго зажима, звонка идет к вертушке. Свободный зажим второго элемента (цинка) соединяется проводом с вторым зажимом вертушки. Следует обращать внимание на то, что бы не было металлического соединения между зажимом одного и того же элемента или проводниками, идущими от них. При коротких проводах (1—1 1/2 саж.) достаточно и одного элемента. Перед работой нужно убедиться в исправности батареи, кабеля (проводов), звонка и контактов вертушки. Испытывают каждый элемент звонком включая его короткими проволоками. Истощенный элемент не следует ставить в работу вместе с исправным, так как вследствие большого сопротивления внутри плохого элемента слабеет ток хорошего.

По силе звонка можно судить о исправности элементов. При слабом звуке звонка нужно обратить внимание на исправность самого звонка или испытать элементы вторым звонком. Если в звонке все зажимы и соединительные проволоки целы и не окислились (при окислении их нужно соскоблить ножом) то причиной отказа звонка работать может быть или повреждение обмотки электромагнитов, что при

осторожном обращении случается очень редко, или контакт пружины якоря К перегорел или же, что случается очень часто отошел контактный винт S (Рис. 60). Подвинчивая этот винт регулируют силу звука. Наиболее удобное положение звонка во время работы отвесное — потому что вес якоря А очень велик по сравнению с силой пружины F для того, что бы она могла правильно удерживать якорь при другом положении звонка. При исправности элементов и звонка испытывается кабель, для этого соединяются вместе концы его, идущие к вертушке и наконечник включается вертушка и испытывается исправность всей системы. Сигналы должны быть сильные и без перерыва. Если сигнал прерывается (так что два сигнала следуют быстро один за другим), то следует осмотреть контактную пружину вертушки, она местами окислилась и ее следует очистить. При отсутствии сигнала следует осмотреть и очистить подшипник и штифт колеса — включателя. Контакты вертушек полезно смазывать маслом, это предохраняет их от окисляющего действия примесей воды. После измерения особенно в грязной воде, вертушка должна быть тщательно вычищена и смазана маслом не содержащим смолы (лучше всего костяное или химически чистое парафиновое).

При сильном морозе вертушка при извлечении ее из воды покрывается ледяной коркой, удаление этой корки не должно делать отламыванием, а следует опустить вертушку в воду, где лед растает.

Распространенный тип секундомера имеет на циферблате две стрелки: маленькая указывает минуты, большая секунды и десятые доли. Каждое маленькое деление равно 0,2 секунды, поэтому отсчеты делаются и записываются до одного десятичного знака, причем на глаз возможно отсчитать 0,1 (половину малого деления). Секундомер пускается и останавливается нажимом на рифленую пуговку, после отсчета таким же нажимом стрелки переводятся на нулевые деления. Эта же пуговка служит для завода механизма. Секундомер следует держать либо в чехле-браслете на руке либо привязать шнуром к пуговице костюма. Отсчет по секундомеру должен производиться либо в начале, либо в конце сигнала. Оба приема пригоды при достаточном внимании и обязательном правиле пропустить 4—5 сигналов и только тогда начинать счет. Это нужно для того чтобы дать вертушке принять скорость той струи, в которой она работает.

Поплавок—интегратор.

При отсутствии специальных приборов для измерения скоростей течения возможно применение поплавка-интегратора, дающего среднюю скорость на вертикали.

Принцип такого поплавка основан на следующем:

Всплывающее или тонущее тело имеет постоянную вертикальную скорость (a), зависящую от формы и плотности тела и свойств воды.

В проточной воде это тело будет одновременно всплывать и сноситься вниз по течению. Траектория движения такого тела будет такая-то кривая линия (Рис. 61).

В каждом слое воды (Δh) тело пробудет некоторое время $\Delta t = \frac{\Delta h}{a}$ если поступательная скорость этого слоя равна V , то тело будет снесено на величину $\Delta l = V \Delta t$.

Полный снос будет равен сумме отдельных сносов, т. е.

$$L = \sum \Delta l = \sum V \Delta t = \sum V \frac{\Delta h}{a} = \frac{\sum V \Delta h}{a} = \frac{\omega}{a}$$

Эта величина ω есть площадь скоростей вертикали

$$\omega = \sum V \Delta h$$

или

$$\omega = a L$$

т. е. площадь скоростей равна полному сносу умноженному на вертикальную скорость.

С другой стороны

$$\omega = V_{cp} H$$

отсюда

$$V_{cp} = \frac{a L}{H}$$

Продолжительность всплывания равна $\frac{H}{a} = t$

Отсюда

$$H = at$$

в формуле $V_{cp} = \frac{a L}{H}$ заменим H его значением, получим

$$V_{cp} = \frac{a L}{a t} = \frac{L}{t}$$

т. е. ср. скорость на вертикали равна величине сноса, деленной на время.

Возможна такая конструкция поплавка: На шест, втыкаемый в дно реки надевается кольцо, к которому прикреплен рейка свобод-

но плавающая на поверхности (рис. 62), шнур от наблюдателя, пропущенный через кольца, на обоих концах шеста, удерживает на нитке деревянный шар (диаметром 2—3") у дна. Обрывают нитку шнуром и одновременно пускают секундомер, в момент выхода поплавка на поверхность, останавливают секундомер и отсчитывают по рейке величину сноса. Для облегчения отсчета сноса, на рейку набивают поперечины через 0,10 с. а самый поплавок загружают, набивая в него гвозди, так чтобы он всплывал медленнее.

Возможна и такая комбинация: в шар вбивают гвоздь, на половине длины гвоздя устраивают полочку, загруженную камешками. (Рис. 63). Шар будет тонуть и дойдя до дна упрется в него шляпкой гвоздя, течение наклонит шар в сторону, груз скатится и шар пойдет вверх.

Полная величина сноса равна $L = V_{\text{ср.}} (t_1 + t_2) = V_{\text{ср.}} t$
 ($t_1 + t_2$) время погружения и всплывания;

$V_{\text{ср.}} = \frac{L}{t}$; — величина сноса измеряется от точки погружения до точки выхода поплавка.

Принцип поплавок-интегратора заимствован из отчета Гидрометрической Части за 1910 год и был испытан автором на одной из рек Семиречья. Результаты испытания позволяют сказать, что для рек небольшой глубины с большими скоростями, каково большинство туркестанских рек, этот метод измерения скоростей малопригоден, потому что, например, при глубине 0,35 саж. и средней скорости около 0,6 саж. сек. время всплывания незагруженного поплавка около 0,2 сек. т. е. столько, что хорошо развитые пальцы успевают сделать два последовательных нажима на пуговку секундомера (пуск и остановка), причем крайне трудно заметить и отсчитать по рейке величину сноса, как потому, что рейка на плаву сильно колеблется и заливается водою так и потому, что поплавок моментально исчезает из поля зрения.

Несколько улучшает дело загруженный поплавок, так как увеличивается время всплывания, но условия отсчета по рейке остаются почти прежними. Даже допуская ошибку в отсчете равной диаметру поплавка (чего гарантировать ни в коем случае нельзя), получим средние скорости, значительно отличающимися (до 0,10 с/с.) от скоростей, определенных вертушками.

Такие же результаты, по всей вероятности, получатся и на больших реках.

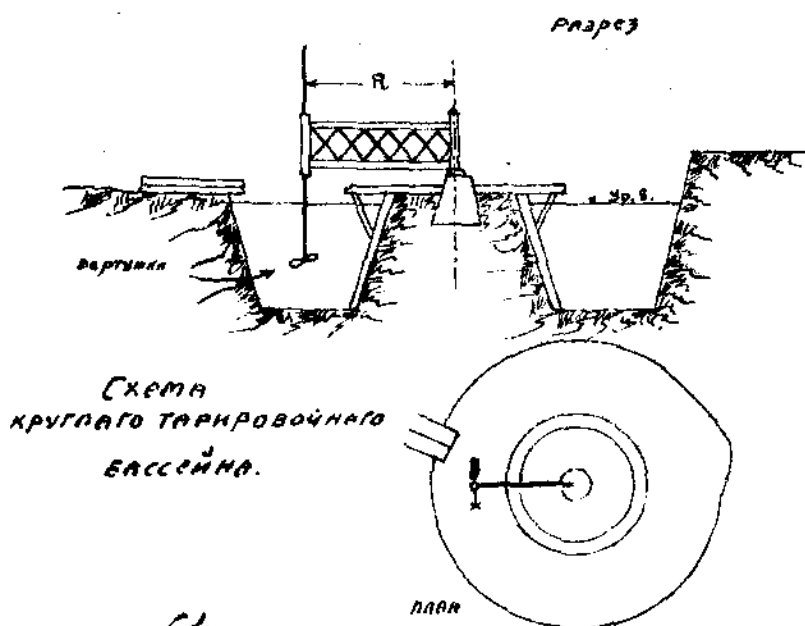
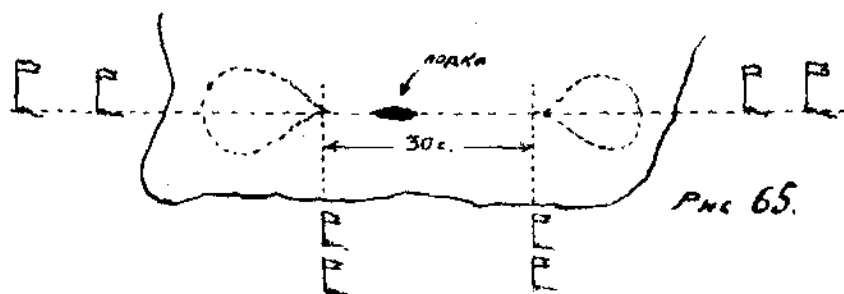
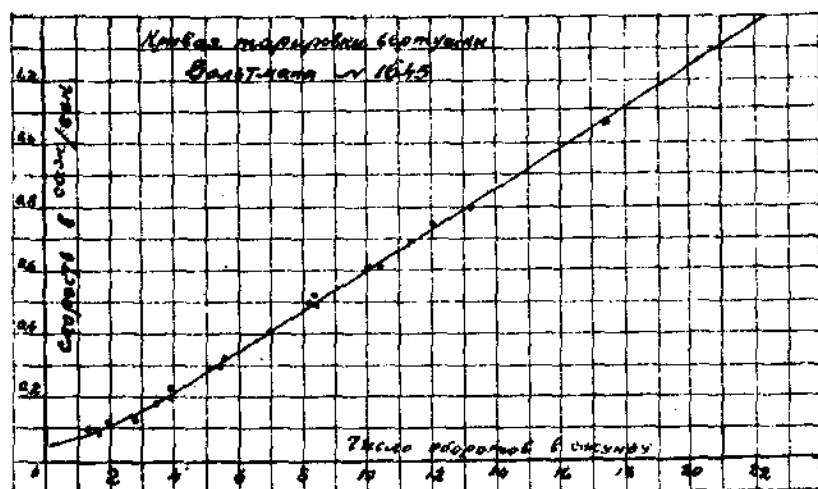


Рис. 64.



Понятие о тарировке вертушек.

Способ тарировки, предложенный Вольтманом, считается основным. Тарировка по этому способу производится на прямолинейных бассейнах, оборудованных необходимыми приспособлениями для равномерного передвижения прибора, автоматической записи скорости перемещения N , времени t , числа оборотов U . В России лучшим бассейном для всяких опытов этого рода считается бассейн Нового Адмиралтейства в Петрограде. Размеры его: длина 390 фут., ширина 22 фут. и глубина 10 фут. Все операции по регистрированию V , t и U производятся автоматически, прибор прикрепляется к вагонетке, двигающейся вдоль канала.

Зная длину пути N и время t , потраченное на прохождение этого пути прибором, получим скорость передвижения в секунду $V = \frac{N}{t}$, а зная число оборотов в секунду (U) на этом же пути, получим длину одного оборота (K). Имея ряд значений V сант./сек. и соответствующих им, U строят в прямоугольных координатах *кривую тарировки*. Для этого в каком-либо масштабе по оси абсцисс откладывают равные части (обороты в сек.), а по оси ординат тоже равные части (скор. в сек.), пользуясь затем имеющимися парами значений V и U как координатами, наносят ряд точек, по которым проводят плавную кривую, по такой кривой легко интерполировать скорость в секунду для любого числа оборотов и долей оборота в секунду. Для практических целей вполне достаточно иметь такую кривую, выражающую графически зависимость между скоростью в секунду и числом оборотов в секунду (рис. 64). Кроме прямолинейных бассейнов, для тарировки гидрометрических приборов устраивают также круглые бассейны; они отличаются более простым оборудованием, но зато и результаты тарировки менее точны. Форма такого бассейна и его разрез показаны на чертеже.

Отметим, что несколько неправильная вытянутая форма придает бассейну для того, чтобы предупредить возможное движение массы воды вслед за движущейся вертушкой. На таких бассейнах вертушка со штангой крепится к коромыслу R , которое свободно вращается на оси P ; коромысло приводится в движение усилием рабочих; скорость движения регулируется метрономом.

Имея число оборотов коромысла M за время t и число оборотов крыльев U за то же время, получим скорость движения вертушки в секунду $V = \frac{2\pi R M}{t}$, здесь $2\pi R$ длина одного оборота коромысла R , а имея число оборотов крыльев (U) за то же время, получим число оборотов крыльев в секунду ($U : t = U_1$).

Протарировать вертушку можно также с лодки (лучше всего моторной, потому что здесь возможно менять скорости и регулировать равномерность движения), в бассейне со стоячей водой, например пруде, в тихую погоду. Для этого намечают ходовую линию, т. е. линию, по которой должна передвигаться лодка. Линию эту выбирают на глубоком и чистом месте саж. в сто и закрепляют ее вехами на обоих берегах, средняя часть этой линии, напр. 30 саж. обозначается створами, (рис. 65) концевые участки служат для разгона и поворотов лодки. В момент, когда лодка проходит первый створ, пускают секундомер и останавливают его при проходе второго створа и в то же время отмечают число оборотов крыльев на рабочем участке и время по секундомеру. Деля 30 саж. на время, потраченное лодкой на прохождение этого участка, находят скорость движения в секунду и определяют число оборотов крыльев в секунду. Чтобы предоставить вертушке возможность работать на свободной воде и исключить влияние подпора лодки, на носу лодки укрепляют особый вынос или стрелу, к которому и крепится штанга с вертушкой.

При всех способах тарировки важным является то, чтобы штанга, на которой тарируется прибор, была одинакова с рабочей штангой, опыты берлинской станции показали, что увеличение диаметра штанги увеличивает подпор ею образуемый, а влияние подпора уменьшает число оборотов крыльев. Важны также размеры бассейна, так как замечено, что на малых бассейнах влияние подпора, создаваемого штангой, сказывается на характере кривой тарировки; на больших бассейнах это влияние не ощущается, по тем же опытам глубина погружения прибора при тарировке в 1 метр наиболее благоприятна.

Разборка вертушки для чистки после работы должна производиться очень осторожно; особенная осторожность требуется при чистке ходовых частей: гнезд оси и установочных винтов, так как изменение их положения вызовет нарушение тех условий, при которых вертушка тарировалась, а стало быть и коэффициенты ее будут

нарушены. Если при вертушке есть запасные крылья, то должна быть и вторая кривая тарировки для этих крыльев.

Обычно вертушки тарируют перед работой и, смотря по условиям, в которых работает прибор, тарировка повторяется более или менее часто.

Измерение скоростей вертушкой.

При работе на реках средней ширины с мостика или троса с люльки по заранее размеченным вертикалям, выбор которых сделан по профилю створа, установка вертушки в ручную не представляет особых затруднений. Работа ведется в следующем порядке: в журнале отмечается время начала наблюдений и показание постовой рейки или номер сваи и показание футштока на ней. Измерив футштоком глубину воды на первой вертикали (при этом полезно ощупать футштоком дно, чтобы убедиться в отсутствии крупных камней, пней и т. п., могущих повредить вертушку) и записав отсчет, вычисляют или берут из таблички глубины, на которых решено вести работу, и заранее заносят эти величины в журнал. Безразлично откуда начинать работу, от дна или от поверхности. Установив вертушку на соответствующем делении штанги и убедившись в правильности сборки и исправности проводников или шнуров, осторожно погружают штангу с вертушкой и устанавливают штангу на дно, как это было указано ранее. Первые 4—5 сигналов следует пропустить, следя лишь за правильностью работы прибора, прислушиваясь к продолжительности сигнала и интервалам между ними. Неправильности в сигналах или неравномерность интервалов указывают на заминки в работе прибора, которые следует устранить, вынув прибор из воды. При удовлетворительной работе одновременно с шестым сигналом пускают секундомер; дождавшись следующего сигнала, вслух считают „раз“; если сигналы даются через 50 оборотов, то отсчитав таким порядком четыре сигнала вместе с четвертым останавливают секундомер. Вертушка сделает 200 оборотов. В журнал заносится число оборотов и время в секундах по секундомеру. Во время работы штангу держит рабочий или сам работающий. На время записи штанга с вертушкой остается в воде и по занесении в журнал результатов первого наблюдения, измерение повторяется; если расхождение между первым и вторым

наблюдениями не превышает 0,2—0,3 секунды то можно, вынув штангу из воды и переставив вертушку на следующую глубину погружения, начинать измерения на другой глубине, если же расходимость более указанной, следует повторить наблюдение. Работающий должен все время следить за правильностью сигналов и равномерностью интервалов между ними. Разница между работой вертушек с механическим счетчиком и электрическим состоит в том, что контролировать работу первых невозможно и неправильности обнаружатся только из сравнения результатов двух полных измерений, тогда как работа вертушек с электрической сигнализацией находится все время под контролем и нет надобности для отсчета поднимать из воды прибор.

Обработав таким порядком одну вертикаль, переходят на следующую. Измерение глубин полезнее делать перед самым измерением скоростей по той причине, что всегда можно ожидать изменений высоты уровня, и если глубины измерены заранее и во время работы произойдет изменение в уровне, то более или менее крупные ошибки в определении глубин, на которых нужно измерить скорости, неизбежны. Вообще работающий, сообразуясь с шириной реки и ее свойствами, должен следить за уровнем или справляясь по рейке или же следя за какими-либо предметами, покрытыми водой, напр., урезом берега, камнями и т. п. Обработав последнюю вертикаль, записывается показание рейки и время конца наблюдений. Состояние погоды отмечается в графе примечаний, напр. „тихо“, „легкий боковой ветер, вверх или вниз по течению“. Изменение силы ветра и его направления отмечается по часам, если это произойдет во время промера. Такие пометки могут быть полезны в дальнейшем, при обработке определения расхода.

Что касается продолжительности измерения скорости в одной точке, то здесь сталкиваются два противоречия: первое—для исключения влияния пульсации необходимо время от 2 до 8 минут; второе—это могущее произойти изменение в уровне или состоянии погоды, требующее возможно скорее сделать все необходимые измерения. Многие авторитеты по этому поводу сходятся на том, что если измерения ведутся только для определения расхода, то время наблюдения в точке может быть сильно сокращено. Все же менее 200 оборотов вертушки на один прием брать нельзя и три таких приема дают результаты удовлетворительные. При скоростях более 1 саж./сек. сле-

дует увеличивать число оборотов на один прием до 600 и брать тоже три приема, соблюдая прежнее правило, допускающее расходимость во времени на пару приемов в 0,2—0,3 секунды.

При специальных исследованиях скоростей с целью, например, определения размахов пульсации струй продолжительность наблюдений в точке имеет решающее значение и устанавливается предварительными наблюдениями и контролированием помощью хронографа, электрического секундомера и др. точных приборов. Такие работы не являются задачей изысканий, преследующих практические цели эксплуатации реки, и здесь не рассматриваются.

Образец полевого журнала

Вертушка Отто № 2148
в начале 0,42.

Число, мес., год 1920 18 мая.

Показание ренки
в конце 0,43.

Начало наблюден. 9 ч. 40 м. у.

Температура воды. . . °С.

Конец наблюдений 11 ч. 20 м. у.

№№ вертикалей	Расстояние между вертикалями	Глубина вертикалей в саж.	Глубина погружения прибора в саж.	Число оборотов вертушки	Время наблюдения в секундах	Скорости по тарировочной таблице		Примечание
						Среднее на 0,6		
1		0,24	0,05	200	32,1; 32,3.	0,45		„Тихо“.
	1,00		0,14		40,0; 40, ; 40,2.	0,36	0,36	
2			0,19		50,7; 51,0.	0,29		

Река Арыс
Канал . . .
Пост Караспасский
Район Арыс-Таласский
Ширина потока 24,0 саж.

и т. д.

Измерение скоростей на больших реках.

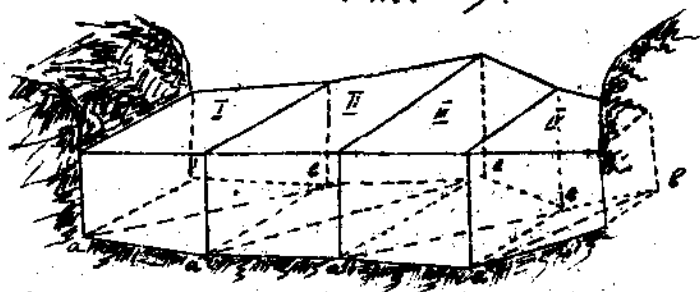
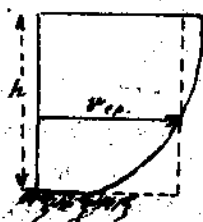
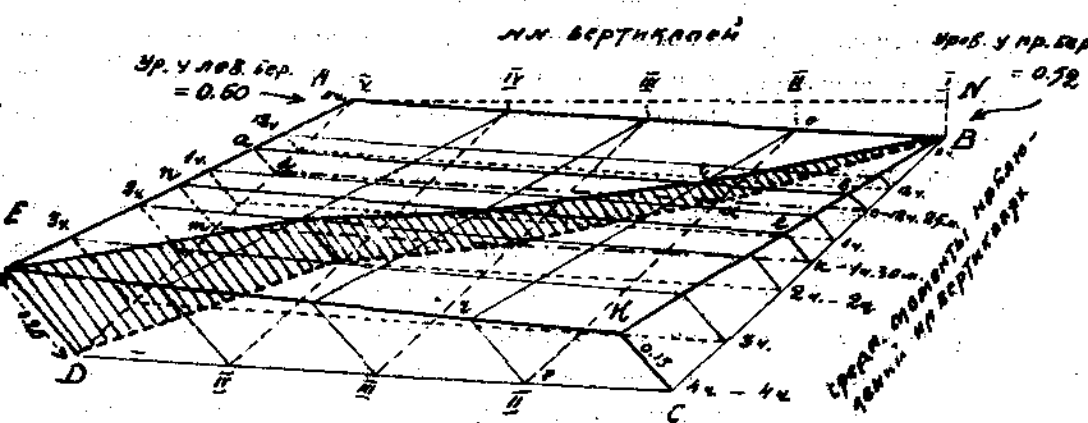
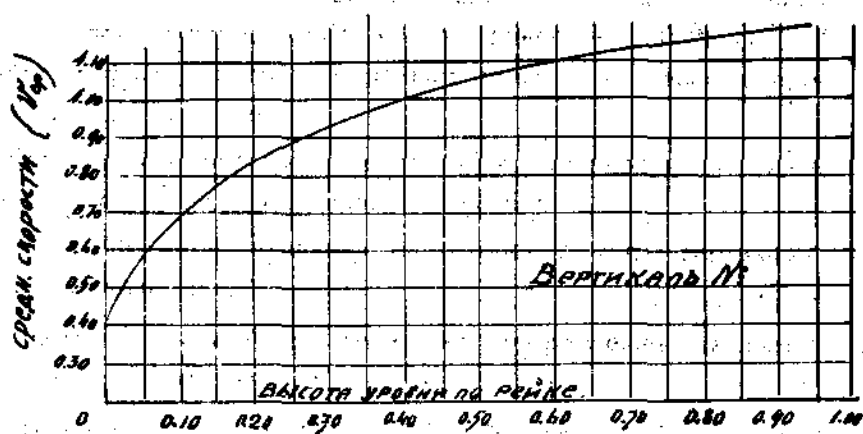
Паромы обычно удерживаются на реке на тросах в $1/2''$ или $3/4''$ в зависимости от ширины реки. Над рабочим тросом натягивают размеченный трос в $1/4''$, по которому и устанавливается паром. Паром должен быть установлен параллельно течению и держаться неподвижно. Это достигается забрасыванием двух боковых и одного кормового якоря; при этом неизбежно более или менее сильное дрожание паромы и дело работающих установить натяжение якорных канатов так, чтобы колебание паромы было наименьшим. Практика отмечает наиболее удовлетворительные результаты в измерении скоростей вертушками на штангах (схема установки приведена выше).

Штанга должна держаться в станине отвесно и повернута так, чтобы ось вертушки занимала положение перпендикулярное плоскости живого сечения. Отвесное положение штанги во все время работы обуславливается рациональным размещением приборов и работающих на пароме и размерами самого паромы. Во время работы на реке, как выше, так и ниже створа, не должно быть крупных судов, плотов и т. п. могущих оказывать влияние на течение реки.

Порядок работы по измерению глубин и скоростей в общем подобен уже приведенному и увеличивается только время наблюдений.

При работе на больших реках следует иметь в виду то, что не всегда бывает возможность закончить промер в один день или при неизменном уровне, поэтому необходимо отмечать высоту уровня у обоих берегов во время промера и при значительных колебаниях уровня определить зависимость средней скорости на каждой вертикали от высоты уровня как при повышении, так и при понижении уровня.

Построение кривой зависимости может быть произведено следующим способом: (рис. 66) данные для кривой получаются из многократных измерений в натуре. По оси абсцисс откладываются показания рейки, а по оси ординат средние скорости; координатами служат соответствующие пары значений $V_{ср.}$ и h . Имея кривые для каждой вертикали, легко определить скорости и расход при любом уровне. Остается только определить среднюю высоту стояния уровня для каждой вертикали за время измерения на ней скоростей. Проще всего это достигается графическим построением.



Предположим, что высота уровня у правого и левого берега неодинакова и за время промера, занявшего пять часов, уровень повысился у левого берега на 0,20, а у правого — на 0,15 саж. и это повышение фиксировалось по рейкам правого и левого берега за время работы ежечасно.

Для простоты чертежа предположим, что нарастание уровня у обоих берегов происходило плавно (рис 67).

Линия AN — горизонтальная, на которой разбиты вертикали створа (разметочный тросс).

Линия AB — поверхность уровня на створе между правым и левым берегом по показаниям реек.

AD и BC (под углом 45° к линии AB) — оси времени с часовыми промежутками.

1-я плоскость $ABCD$ выражает положение уровня во времени в том случае, когда нарастания уровня не происходит. Перпендикуляры $KC = 0,15$ и $ED = 0,20$ (в масштабе) есть линейная величина нарастания уровня у левого и правого берегов за время в 5 часов.

2-я плоскость $ABKE$ выражает поверхность уровня вследствие происшедшего нарастания. По линиям времени нанесем моменты, соответствующие среднему времени наблюдения на вертикалях, и эти точки перпендикулярами переносим на 2-ую плоскость. В четырехугольнике $abde$ высоты ad и be — есть ординаты нарастания уровня у правого и левого берега в момент наблюдения на 2-й вертикали и величина приращения уровня в этот момент может быть получена для любой точки профиля простым измерением высоты четырехугольника, причем положение линии этой высоты tx на гранях соответствующего четырехугольника определяется графически построением треугольника opg , вершины которого лежат в точках o и p на плоскости 1-й, а третья вершина g на оконечности перпендикуляра, выражающего собою высоту нарастания уровня в точке, соответствующей 2-й вертикали в конце работы, т. е. через 5 часов от начала. Прделав такое построение для каждой вертикали и среднего времени наблюдения на ней, определим приращение уровня для каждого наблюдения. Соединяя точки B и E и B и D ломаными линиями, проходящими через ранее определенные высоты (приращения), получим фигуру (заштрихованная полоса), по которой можно найти

приращение уровня для любой точки реки в любой момент за время полного наблюдения.

Имея приращение уровня для каждой вертикали, легко определить сложением начального показания рейки и приращения к нему высоту уровня, а затем, пользуясь, вышеприведенными кривыми зависимости, определить средние скорости каждой вертикали. Средний уровень получится как среднее арифметическое из всех исправленных уровней и к этому среднему уровню следует привести все измеренные глубины живого сечения, уменьшая или увеличивая результаты измерения глубин.

Такой метод одинаково приложим как к измерениям вертушкой так и поплавками.

Образец журнала наблюдений (для больших рек).

[illegible]

Если изменение высоты уровня за время промера незначительно и выражается 2—3 сотыми саж., то без больших погрешностей можно принять среднее арифметическое из высоты уровня в начале и конце наблюдений за средний уровень и к нему отнести полученный расход без поправок. То или иное решение диктуется степенью точности, поставленной в задание при определении расхода.

Вычисление секундного расхода потока.

Работы по измерению глубин и скоростей на вертикалях живого сечения и вывод средних скоростей имеют конечной целью определение секундного расхода реки при уровне, который имел место во время измерений.

Если скорости были измерены поплавками, то, умножив среднюю поверхностную скорость ($V_{\text{пов. ср.}}$) на коэффициент, взятый по кривой или из таблиц в зависимости от гидр. радиуса (R) или средней глубины ($h_{\text{ср.}}$) площади живого сечения (F), получим:

$$V_{\text{пов. ср.}} \times K \times F = Q \text{ кв. единиц/сек.}$$

расход реки в секунду.

Если измерения скоростей делались вертушкой и в силу каких-либо причин были ограничены работой у поверхности, то вводя коэффициент перехода к средней скорости на вертикали (коэффициент берется по кривой или вычисляется по одной из формул, приведенных выше), выводят $V_{\text{ср.}}$ для каждой вертикали.

Если измерения делались на глубинах, то $V_{\text{ср.}}$ получается по одной из формул в зависимости от числа точек, на коих измерены скорости

$$V_{\text{ср.}} = \frac{V_{0,2} + 2V_{0,5} + V_{0,8}}{4};$$

$$V_{\text{ср.}} = \frac{V_0 + 3V_{0,5}}{4};$$

$$V_{\text{ср.}} = V_{0,5};$$

в обоих этих случаях мы можем построить площади скоростей для каждой вертикали; эти площади скоростей можно рассматривать как элементарные расходы воды на вертикали, так как толщину вертикали можно принять равной целой единице очень малого линейного измерения (рис. 68).

$$\text{Пусть } h = 0,4; V_{\text{ср.}} = 0,6 \text{ с/с.}$$

$$\text{пл. ск.} = h \times V_{\text{ср.}} = 0,24 \text{ с}^2/\text{с.}$$

$$\text{эл. расх. } q = 0,24 \text{ с}^2/\text{с.} \times 1 = 0,24 \text{ с}^2/\text{с.}$$

Перемножая h на $V_{\text{ср.}}$ измеренные для каждой вертикали, мы получим столько элементарных расходов (q), сколько имеется вертикалей. Сделав допущение, что диагональ (по дну) ab между каждой

парой смежных площадей скоростей (элементар. расходы) есть прямая линия, мы можем сказать, что все живое сечение разобьется на ряд геометрических тел I, II, III, IV, (рис. 69) ограниченных прямыми плоскостями, вычислить объемы этих тел не представляет особенного труда, очевидно, сумма этих объемов и будет расходом реки в секунду.

Практически работа по вычислению расхода по измеренным глубинам и средним скоростям выполняется способом, относительно которого можно сказать, что он очень прост и дает результаты высокой точности потому, что все вычисления производятся по величинам, измеренным в натуре.

Построив площадь живого сечения, отложим в произвольном масштабе вверх от линии горизонта, на продолжениях линий вертикалей полученные для этих вертикалей V_{cp} и соединим концевые точки плавной кривой или прямыми линиями, получим кривую выражающую закон распределения средней скорости на живом сечении; на этих же вертикальных линиях можно отложить в том же масштабе измеренные скорости у поверхности и тем же порядком получить кривую распределения скоростей у поверхности (см. образец вычисл. расхода).

По этим кривым непосредственным измерением можно получить среднюю или поверхностную скорости на любой вертикали и тем точнее, чем больше было измерено вертикалей и скоростей на них в натуре, потому что кривые тогда ближе подходят будут к истинному распределению скоростей на живом сечении.

Умножив (V_{cp}) на глубину соответствующей вертикали (h), получим элементарный расход q ; эту величину в том же масштабе, что и вертикальный масштаб профиля, отложим, (на этой же вертикали) вниз от горизонта воды; отложенная величина выражает собою элементарный расход, т. е. объем. Проведя это для каждой вертикали и соединив кривой концевые точки, получим кривую расходов, а вычислив площадь, заключающуюся между линией горизонта воды и этой кривой, получим расход, в кубических единицах в секунду. Относительно кривой расходов следует заметить, что ее очертания почти всегда повторяют очертания линии дна. Вычислить площадь можно как аналитически, так и планиметром.

На чертеже концы кривой расходов замкнуты с точками уреза левого и правого берега; это значит, что скорости на урезах приняты

равными нулю; на самом деле это не так, и если можно без больших ошибок принять за нуль скорость на урезе у левого берега, где концевой участок площади живого сечения имеет вид треугольника, то этого нельзя сказать про урез правого берега, т. к. концевой участок живого сечения — трапеция и стало быть у стенки можно ожидать более или менее значительной скорости. Поэтому, когда повышаются требования точности в определении Q и скорости вблизи урезов не измерены, то расходы через концевые участки подсчитываются особо; в таком случае кривые расхода и средних скоростей не смыкают с точками уреза, а доводят до последних крайних вертикалей, так что площадь Q ограничивается слева и справа трапециями.

Расходы через крайние участки живого сечения подсчитываются следующим порядком: вычисляются площади каждого участка (f и f'), а за среднюю скорость принимается скорость для центра тяжести участка по экстраполяции от двух соседних скоростей.

I. Если концевой участок имеет фигуру треугольника, (рис. 70) то

$$V_x = V_2 - Y$$

Линия центра тяжести сечет на $1/3$ сторону C , считая от основания h_1 , поэтому

$$V_x = V_1 - \frac{C}{3h} [V_2 - V_1]$$

Расход через концевой участок =

$$Q_1 = V_x f$$

II. Если концевой участок представляет трапецию (рис. 71) то нужно стремиться к тому, чтобы измерить скорость возможно ближе к стенке русла; если же этого сделать невозможно, то V_{cp} экстраполируется по двум соседним для центра тяжести крайнего участка.

Расстояние до линии центра тяжести трапеции, считая от основания (оси) h_2 , вычисляется по формуле:

$$P_0 = \frac{h_2 + 2h_1}{h_1 + h_2} \cdot \frac{P}{3}$$

скорость $V_x = V_2 - Y$

Получится по формуле $V_x = V_1 - \frac{P_0}{b} [V_2 - V_1]$

Расход через концевой участок = $Q_2 = V_x f'$

Полный расход = $Q = Q_0 + Q_1 + Q_2$

Есть много способов вычисления расходов, но все они уступают приведенному выше либо в точности результатов, либо отличаются сложностью.

Для примера приведем способ Кульмана или вычисление расхода по площадям изотак. (Рис. 72).

Он заключается в следующем:

Пусть мы имеем живое сечение и ряд скоростей на вертикалях: (рис. 73).

Соединяя точки вертикалей, имеющие одинаковые скорости кривыми линиями (изотактами), мы все сечение разобьем на ряд площадей, причем скорости на всем протяжении какой-либо площади между двумя соседними изотактами будут, конечно, одинаковы; умножая каждую площадь на ее скорость, получим ряд частичных расходов, а взяв сумму всех таких расходов, получим полный расход

$$Q = \sum f \cdot V$$

Для концевых участков сечения этот способ дает малонадежные результаты, отличается сложностью вычисления площадей и на практике применяется редко

Полное определение расхода сопровождается определением всех его элементов по измеренным в натуре величинам.

Таковыми элементами будут:

пл. жив. сечения F

ср. скор. для всего сечения $V_{ср.} = Q : F$

ср. глубина профиля $h_{ср.} = F : \sum a$

($\sum a$ = сумме расстояний между вертикалями от уреза до уреза).

смоченный периметр P

гидравлический радиус $R = F : P$

уклон при данном уровне i

коэффициент шероховатости γ

Выводится по формуле Базена для саж. мер

$$\gamma = \left(\frac{60 \sqrt{Ri}}{V_{ср.}} - 1 \right) \sqrt{R}$$

Отметка среднего дна.

Коэффициенты перехода от поверхностных скоростей к средним на вертикалях и средний из всех коэффициентов.

ОБРАЗЕЦ

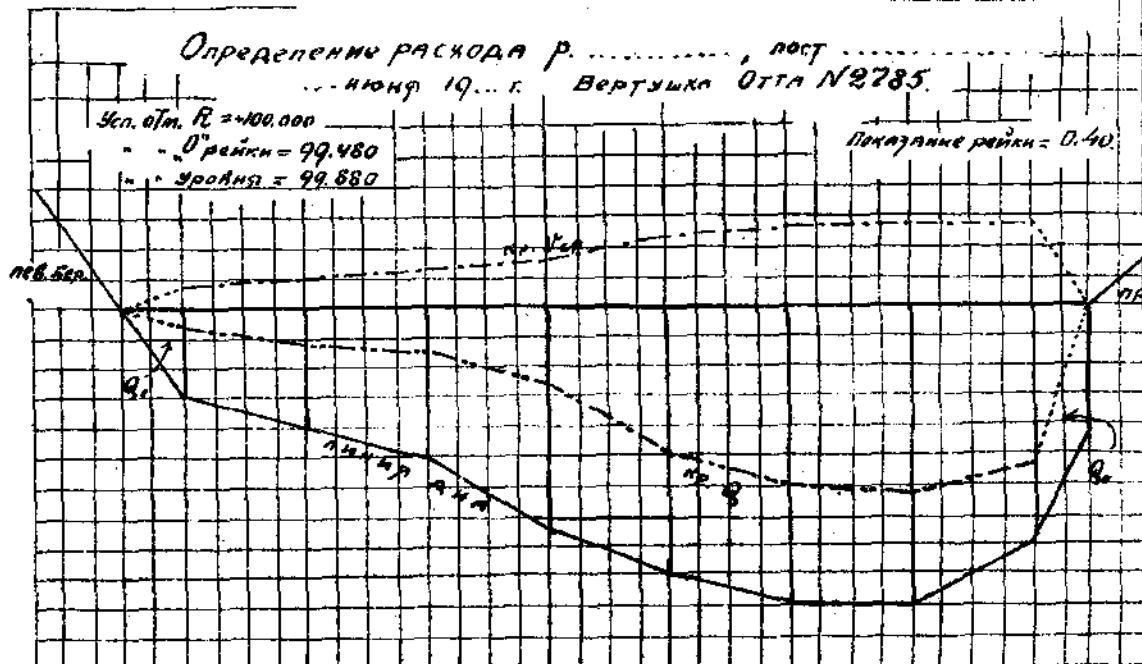
Определение расхода Q , пост
 июня 19... г. Вертушка Отта №2785

Усл. отм. $R = +100.000$

У рейки = 99.480

У родника = 99.880

Показание рейки = 0.40



$h:q$	0.027	0.044	0.073	0.103	0.143	0.170	0.210	0.265
V_{cp}	0.15	0.20	0.25	0.37	0.45	0.50	0.50	0.50
Глубины (h)	0.15	0.20	0.25	0.37	0.45	0.50	0.50	0.50
$U_{нов}$	0.15	0.20	0.25	0.37	0.45	0.50	0.50	0.50
Радиусы (R)	0.50	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50
$U_p: U_{нов} R$	0.30	0.20	0.25	0.37	0.45	0.50	0.50	0.75

$$П.м.с. (F) = \frac{0.15 \cdot 0.5}{2} + \left(\frac{0.15}{2} + 0.20 + 0.25 + 0.37 + 0.45 + 0.50 + 0.50 + \frac{0.50}{2} \right) + \frac{0.40 + 0.20}{2} \cdot 0.5 = 2.733 \text{ с}^2$$

$$Расход (Q) = \left(\frac{0.027 + 0.054 + 0.073 + 0.133 + 0.243 + 0.300 + 0.310 + \frac{1.260}{2}}{2} \right) = 1.260 \text{ с}^3; Q_p = 0.006; Q_n = 0.007$$

$$См. пер. (P) = \sqrt{(0.5)^2 + (1.0)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} + \sqrt{1^2 + (0.5)^2} = 8.25$$

МАСШТАБЫ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Вертик.} - 0.20 \\ \text{Горизонт.} - 1.00 \\ \text{Расход } (Q) - 0.20 \\ \text{Ср. скор. } (V_{cp}) - 1.00 \end{array} \right\} = 0.01 \text{ см.м.}$$

Рис. 70.

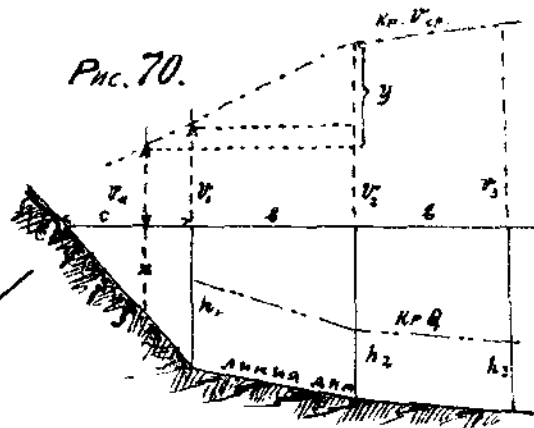
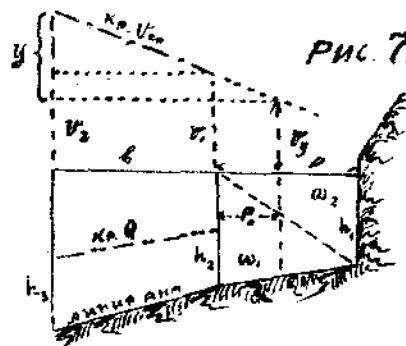


Рис. 71.



$$П.м.с. F = 2.733 \text{ с}^2$$

$$Расход Q = Q_p + Q_n = 1.365 \text{ с}^3/с$$

$$Ср. см. = Q:F = V_{cp} = 0.499 \text{ с/с}$$

$$Ср. глубина = 0.34$$

$$См. пер. P = 8.25$$

$$Гидр. радиус = F:P = R = 0.34$$

$$Уклон I = 0.0045$$

$$\text{Кэф. шерохов. по формуле Базена } \xi = \left(\frac{60 \sqrt{R I}}{V} - 1 \right) \sqrt{R} = 2.103$$

$$\text{Отм. с.р. дна} =$$

$$\text{Ср. коэф. перехода от } V_{нов} \text{ к } V_{cp} \approx K = 0.84$$

По обработке расхода составляется таблица:

Год, месяц и число оп- ределения расхода	Показание рейки	Q куб. саж. сек.	V саж. сек.	F кв. саж.	R гид- рав ради- ус	h сред. глуб.	i уклон	от- метка ср. диа	γ коэф. широ- коста- ности

Данные из этой таблицы впоследствии дадут возможность построить кривые зависимостей расходов средних скоростей и площадей от показаний постовой рейки, построить кривые поправок уровня и т. п.

Вычисление суточного расхода

Выше мы рассмотрели способы определения и вычисления секундного расхода при данном уровне, перейдем к вычислению суточного расхода воды. Следует заметить, что вообще расход воды зависит (есть функция) от высоты уровня, и что при условии неизменности факторов расхода (средняя скорость и площадь живого сечения) при одном и том же уровне—расходы одинаковы. Этот закон верен только до тех пор пока условия течения реки постоянны, вычисление суточного расхода основано на этом законе. Изменение условий течения вызывает нарушение приведенного закона, т. е. при одном и том же уровне расходы могут быть разные, это заставляет вводить в вычисления поправки, получение которых мы рассмотрим в дальнейшем.

Зависимость между расходом и высотой уровня выражают обыкновенно графически кривыми на основании таблиц определений секундных расходов при разных уровнях, для этого за ось ординат принимают показания рейки, а за ось абсцисс соответствующие им секундные расходы, очевидно, что чем больше было определено расходов при разных уровнях, тем точнее выразится зависимость, но по разным причинам редко удается получить достаточно данных, а поэтому эту зависимость контролируют аналогичными построениями зависимостей факторов расхода (V ср. и F) от высоты уровня (показания рейки).

Отношение высоты уровня к площади живого сечения выражается кривою живых сечений. Ширина и глубина или высота уровня

управляют формой и расположением кривой и площадей: если ширина возрастает вместе с уровнем, то кривая имеет вид параболы и выпукла к оси абсцисс, если берега вертикальны, то приращение к площади постоянно и кривая приближается к прямой, если берега нависают над водой—кривая вогнута к оси абсцисс.

Кривую площадей можно построить достаточно точно, определяя площади при тех уровнях, при которых уклоны берегов меняются, что возможно заранее, определить имея профиль живого сечения до наивысшего уровня. При измерении глубин в паводки или на глубоких реках с большими скоростями требуется большая осторожность и внимательность, так как здесь можно ожидать больших ошибок.

При бесконечно малом приращении уровня приращение площади равно произведению ширины на разность уровней, а отсюда ширина равна приращению площади деленному на разность уровней, эта величина как раз равна тангенсу угла образуемого кривой площадей при этом уровне с вертикальной линией. (Рис. 74). Откладывая от вертикали вправо угол, тангенс которого есть ширина при данном уровне—получим направление кривой. Эта кривая искажается при увеличении вертикальной шкалы (показания рейки), поэтому выбирают масштабы ординат и абсцисс так, чтобы верхняя часть кривой шла под углом приблизительно в 45° к осям.

Заметим следующие характеристики подобных кривых: 1) если дно плоско, то кривая сечет ось в начале координат под углом, тангенс которого есть ширина дна.

2) Если берега вертикальны, то приращение площади постоянно и кривая представляет собою прямую линию.

3) Для всех остальных сечений кривая касательна к оси в начале координат.

4) Кривая постоянна в своей форме для всех уровней над той плоскостью, ниже которой дно и берега меняются.

Имея кривую площадей, построенную таким порядком, можно результаты каждого нового промера проверить, накладывая на чертеж точку кривой в соответствующих координатах и проводя через нее касательную к вертикали на высоте данного уровня. Истинное положение кривой должно быть параллельно этим касательным. Расстояния по оси абсцисс между этой кривой и наложенными точками показывают ошибки происходящие от неточности измерений и изменений в русле реки.

Форма кривых площадей живых сечений в зависимости от глубины и ширины.

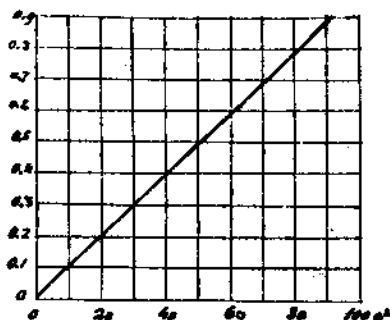
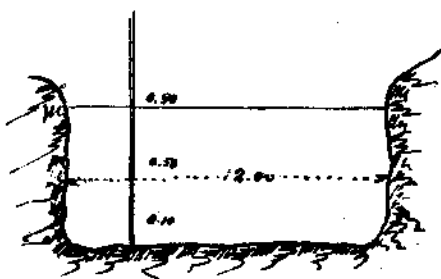
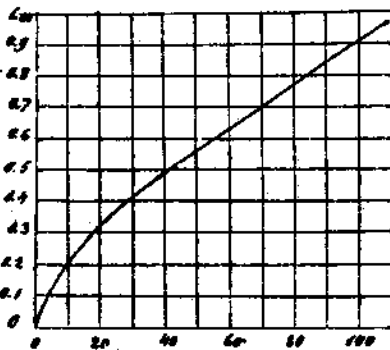
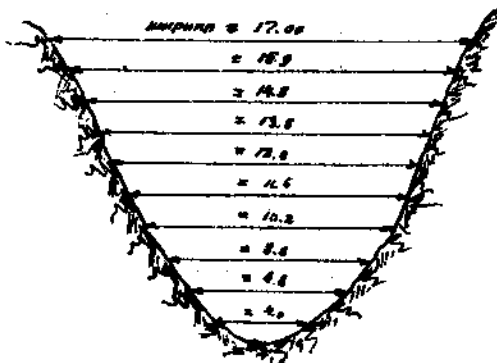
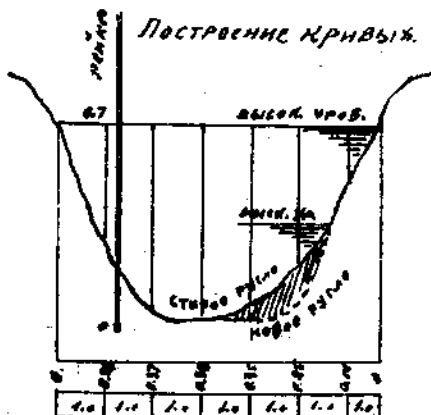


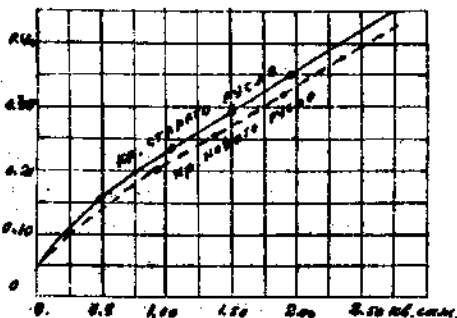
Рис. 75. с вертикальными берегами и плоским дном.



Кривая касательная к оси в начале
координат.



Построение кривых площадей жив. сечений.



Обыкновенно берега реки на водомерном посту не изменяются и если будет обнаружено расхождение кривой с площадями живого сечения, то их нужно искать только под линией наименьшего горизонта воды и, следовательно, изменение кривой в этих пределах будет законно, но в таком случае всю кривую выше этого горизонта нужно перенести вправо или влево по горизонтальному расстоянию в зависимости от того увеличилась или уменьшилась площадь живого сечения. Расстояние по оси абсцисс между старым и новым положением кривой будет величиной постоянной.

Соотношение между высотой горизонта и средней скоростью потока также выражается кривой. Как известно $V_{\text{ср.}}$ зависит главным образом от трех факторов:

поверхностного уклона (1)

неровности русла (2)

гидравлического радиуса (3)

и выражается известной формулой $V = C \sqrt{R i}$, здесь C — коэффициент шероховатости по Куттеру выводится в зависимости от i , R и n . Наибольшую роль в изменении скорости течения играет уклон, если уклон делается постоянным, то причиной изменения $V_{\text{ср.}}$ может быть либо гидравлический радиус, либо неровности русла или то и другое вместе, поэтому, когда требуется построить кривую зависимости по ограниченному числу данных, то полезно сначала построить вспомогательные кривые для R и i , а затем пользуясь величинами с этих кривых и задаваясь коэффициентом шероховатости вычислить $V_{\text{ср.}}$ для тех горизонтов, при которых не было измерений в натуре. Можно также вычислить по имеющимся данным коэффициент шероховатости и построить для него кривую.

В большинстве случаев кривая зависимости $V_{\text{ср.}}$ от высоты уровня по своей форме приближается к параболе. При низких горизонтах кривая выпукла к оси горизонтов, при самых высоких — переходит в прямую; характерным участком кривой является участок соответствующий тем горизонтам, при которых увеличивается уклон потока, а вместе с ним скорость, в этом случае кривая меняет свое направление и опрокидывается выпуклостью к оси скоростей, это особенно резко заметно на кривых для малых речек. Объясняется это тем, что быстрая прибыль воды вызывает быстрое увеличение уклона, это увеличение по мере возрастания уровня ослабевает и кривая, сделав

поворот постепенно переходит в прямую для высоких уровней. Если на участке реки, где производятся наблюдения есть подпруды, то эти свойства кривых V особенно отчетливы, что и понятно, так как скорости до высоты запруды незначительны, и уклон близок к 0, а на высоте гребня запруды быстро увеличивается.

Кривая $V_{\text{ср.}}$ на высоте уровня, при котором средняя скорость равна нулю всегда пересекает вертикальную ось, если этот уровень неизвестен, то найти точку пересечения можно следующим образом: берем последнее определение расхода при наименьшем показании рейки, и среди результатов измерения глубин отыскиваем наименьшую глубину. Например, показание рейки, 0,30, наибольшая глубина 0,20 (рис. 75). Из чертежа видно, скорость будет равна нулю при показании рейки $0,30 - 0,20 = 0,10$ и следовательно, кривая пересечет вертикальную ось на высоте $+0,10$ от начала координат. Если же, наоборот, при наименьшем показании рейки, наприм. 0,25 наибольшая глубина равна 0,35 (рис. 76) то очевидно, что когда по рейке высота уровня будет нуль в русле еще останется проток глубиной $0,35 - 0,25 = 0,10$; допустив, что с уменьшением глубины до нуля, скорость также уменьшится до нуля, мы найдем точку встречи кривой с вертикальной осью на ее продолжении вниз от начала координат на высоте $-0,10$ и при этом механически определим на оси абсцисс среднюю скорость при нулевом показании рейки.

Построив кривые для Q и $V_{\text{ср.}}$ строят кривую зависимости расходов (рис. 77) (Q) от высоты уровня (показаний рейки), проверяя и дополняя точки расходов произведением $V_{\text{ср.}}$ на Q взятым с кривых для тех уровней, при которых измерений не было.

Построение кривой делается на обыкновенной профильной бумаге, масштабы вертикальный и горизонтальный подбираются так, чтобы кривая в верхней части шла под углом в 45° к осям, и чтобы можно было без труда отсчитывать мелкие доли расходов и уровней.

Форма кривой расходов очень близка к параболе, обращенной выпуклостью к оси горизонтов, форма эта не нарушается на всем протяжении кривой.

В виду того, что измерению расходов сопутствуют ошибки всякого рода, точки расходов располагаются на клетчатке обычно либо группами в зависимости от соответствующих высот горизонтов, либо широкою и неправильною полосою, если измерения охватили все

уровни и при том несколько раз. Во всяком случае построение кривой может быть выполнено следующим порядком. Заменяют группу точек одной, координатами которой будут среднее арифметическое из всех относящихся к этой группе уровней и расходов отдельно; проделав эти вычисления для всех групп получают несколько точек заменивших собою отдельные группы и по этим „выправленным“ точкам проводят плавную кривую. Если затруднительно определить группы, то делят ос уровней на равные интервалы, числом столько сколько желают получить выправленных точек и уравнивают каждый интервал указанным способом.

Если попадают точки расходов далеко ушедшие от групп или же дающие для одного и того уровня слишком разные расходы, то следует обратить внимание прежде всего на правильность вычисления такого расхода, а затем исследовать по записям поста состояние уровня в день промера, так как может случиться, что уровень менялся во время самого промера или промер сделан в период нарастания или спада паводка. Эти периоды отличаются следующими свойствами. Наростание уровня во время паводка всегда быстрее спада и в некоторый промежуток времени после прохода гребня паводка может образоваться подпор, сводящий уклон к 0, а это не может не отразиться на скоростях и, следовательно, величине расхода; причиной отклонения точек расхода от кривой может быть и изменение русла реки, что можно установить по графику высот „среднего дна“. Приведенные графические способы построения кривых зависимостей обычно удовлетворяют практическим требованиям предъявляемым к гидрометрическим наблюдениям.

Иногда для больших рек, средняя глубина которых не мене 3,5 фут. при недостаточном числе определений расходов применяют способ построения кривой расхода, дающий не кривую, а прямую линию; ставят расход в зависимость от такой величины, для которой расход приблизительно пропорционален и которую легко получить. Нашли, что такой величиной может служить $F \sqrt{h}$ где F — площадь живого сечения, а h — средняя глубина этого сечения. Отметим, что обычно „средняя глубина“ мало отличается от гидравлического радиуса, особенно для рек с широким руслом и пологими берегами.

По Куттеру $Q = FC \sqrt{R I}$ эту формулу можно представить так $Q = [F \sqrt{R}] [C \sqrt{I}]$ и если $(C \sqrt{I})$ изменяется мало или совсем не

изменяется, а это зависит от состояния уклона i , то Q прямо пропорционален $[F\sqrt{R}]$ а следовательно, если Q и $[F\sqrt{R}]$ или $[F\sqrt{h}]$ (что почти все равно) наносит как координаты, то получим прямую линию. Здесь важно только то, чтобы уклон менялся незначительно при возрастании горизонта, а это наблюдается на больших реках для которых этот способ и возможно применять.

Само построение производится так: имея профиль живого сечения вычисляют площади для высоты горизонта например, через 0,1 саж., вывода среднюю глубину (h) для каждой площади, затем составляется таблица значений $F\sqrt{h}$ для каждой высоты горизонта.

Принимают для оси абсцисс высоты горизонтов, а для оси ординат значения $F\sqrt{h}$; строят кривую $F\sqrt{h}$, затем на этой же бумаге наносят шкалу расходов по оси абсцисс, имея расход, например, 2,5 с.³/с. и высоту горизонта по рейке 0,50, проводят вертикаль от точки шкалы, высот уровней т. е. от 0,50 до пересечения ее с кривой $F\sqrt{h}$, а затем по горизонтали до пересечения с вертикалью, проходящей через 2,5 шкалы расходов, проделав такие построения для всех измеренных расходов получают ряд точек расположенных на прямой линии; полученная прямая линия выразит расходы в зависимости от $F\sqrt{h}$ (рис. 78).

Показан. рейки	Q	F	h	$F\sqrt{h}$
0.800	28.69	25.21	0.96	27.7
0.690	24.81	25.86	0.91	24.6
0.506	16.92	20.22	0.75	15.2
0.358	10.97	16.62	0.66	10.9

К рисунку 78.

Обычно эта прямая не проходит через начало координат, а счет ось приблизительно на высоте соответствующей уровню, при котором h приблизительно равно от 0,15 до 0,30 саж., так как при низких уровнях $C\sqrt{i}$ изменяется, а это делает применение этого способа невозможным.

Сущность иногда применяемых аналитических способов построения кривых заключается в нахождении формулы, выражающей иско- мую зависимость. ($Q=a+bh+ch^2$) Вычисление коэффициентов таких формул производится по способу наименьших квадратов. Аналити- ческие способы, отличаясь сложностью вычислений, хорошо определяют общую форму и направление кривой зависимости но не улавливают вли- яния на отдельные участки кривой вполне законных отклонений точек, а такие отклонения, изменяя форму аналитической кривой, наилучшим образом характеризуют существующую в естественных условиях зависи- мость, это обстоятельство очень часто имеет большое значение в практических расчетах. Обычно на практике применяются графические способы построения кривых зависимостей, как более легкие и вполне удовлетворительные.

Кривая зависимости расходов от высоты уровня (показания рейки) позволяет получить (интерполировать) расход для любого уровня. Обычно составляется таблица суточных расходов для средних суточ- ных показаний рейки. Средние суточные уровни выводятся или как среднее арифметическое из срочных наблюдений, или же вычисля- ются по формуле (проф. Глушков, отчет Г. Ч. за 1911 г.)

$$\frac{y+d+v}{3} + \frac{y-d}{12} = C$$

Здесь y —наблюдение в 7 ч. утра характеризует состояние уровня за время с 12 ч. ночи до 10 ч. утра, период в 10 час.

d —наблюдение в 1 час дня, период от 10 часов утра до 4 ча- сов дня—6 часов.

v —наблюдение в 7 час. вечера, период от 4 часов дня до 12 часов ночи—8 часов.

если принять влияние этих величин на средний уровень пропорци- ональным продолжительности периодов, то получается

$$C = \frac{10y+6d+8v}{24}$$

по упрощении

$$C = \frac{y+d+v}{3} + \frac{y-d}{12}$$

т. е. сред-

ний уровень==среднему арифметическому плюс поправка. Если пост- оборудован самопишущими приборами, то средний суточный уровень определяется по диаграмме прибора.

При составлении таблиц расходов следует иметь в виду, что не всегда при одном и том же уровне по рейке расходы одинаковы или

наоборот: одному и тому же расходу могут сопутствовать разные показания рейки. Причиной такого явления служит состояние русла: имея дело с руслом подверженным изменениям нужно изучить как характер, так и продолжительность и время этих изменений.

Можно наметить три типа речных русел:

- 1) не изменяющееся русло,
- 2) изменяющееся периодически,
- 3) изменяющееся постоянно.

Составление таблиц расходов для русел первого типа не представляет затруднений.

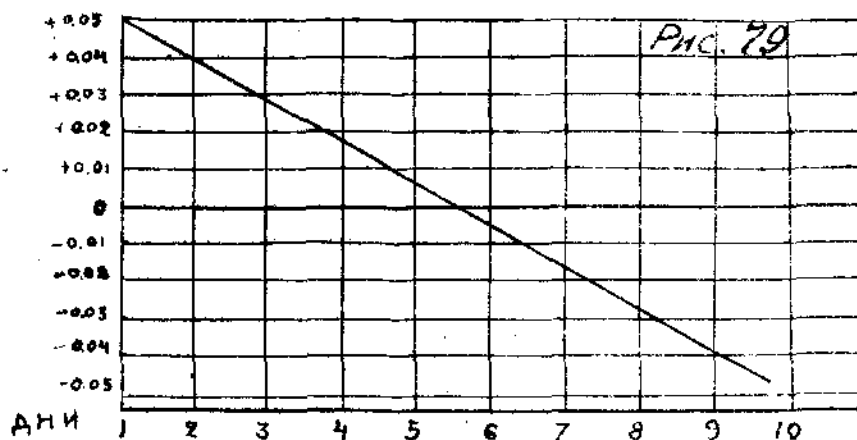
Для периодически меняющихся русел строят кривые зависимостей для отдельных периодов на основании определений расходов в эти периоды.

Для русел постоянно изменяющихся единственным правильным способом точного учета воды будет частое определение расходов, не менее 2 раз в неделю.

Построенные кривые зависимостей по этим измерениям позволяют получить поправки к показаниям реек за те дни, когда измерение расходов не производилось. Способ получения этих поправок предложен Stout'ом.

По способу Stout'a поправки получаются следующим образом: если расход измеренный при каком либо показании рейки не попадает на кривую зависимости на соответствующей ему высоте уровня, то это указывает на то, что в русле произошли изменения, повлекшие за собой неправильное показание рейки.

Предположим, что измерен расход Q при показании рейки 0,40, но по кривой этому расходу соответствует ордината 0,45, следовательно, отсчет по рейке нужно исправить на $+0,05$, если далее, например, через десять дней было повторное измерение расхода Q при показании рейки 0,50, а по кривой ему соответствует высота 0,45, то действительное показание рейки будет $0,50 - 0,05 = 0,45$. Очевидно, что за этот промежуток времени происходил размыв и намыв русла. Для получения поправок в промежуточные дни строят график, принимая за ось абсцисс время, а за ось ординат поправки, откладывая по ординатам величины поправок с их знаками; тогда поправка для восьмого дня будет $-0,03$. (Рис. 79). В основе этого способа лежит предположение, что изменение показания рейки плавно следует изменению



Поправка уровня для нахождения расходов воды по кривой (по стандарту)

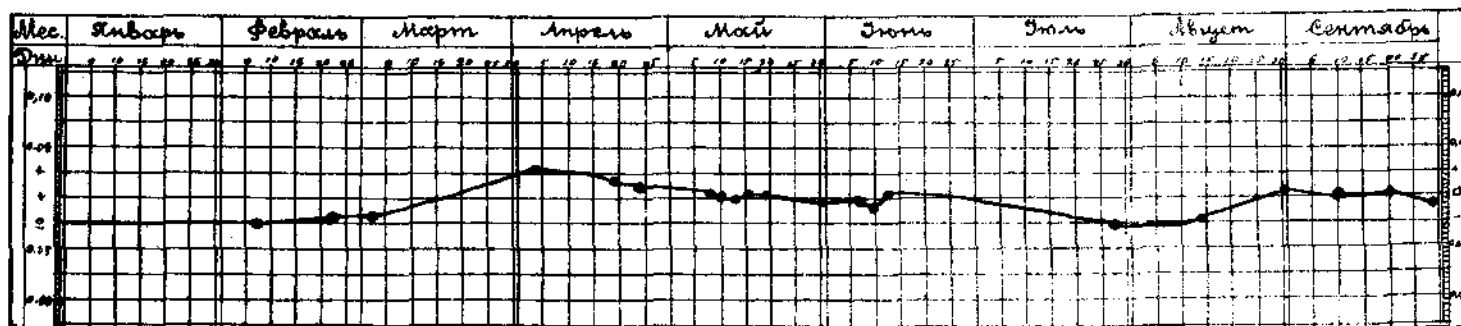
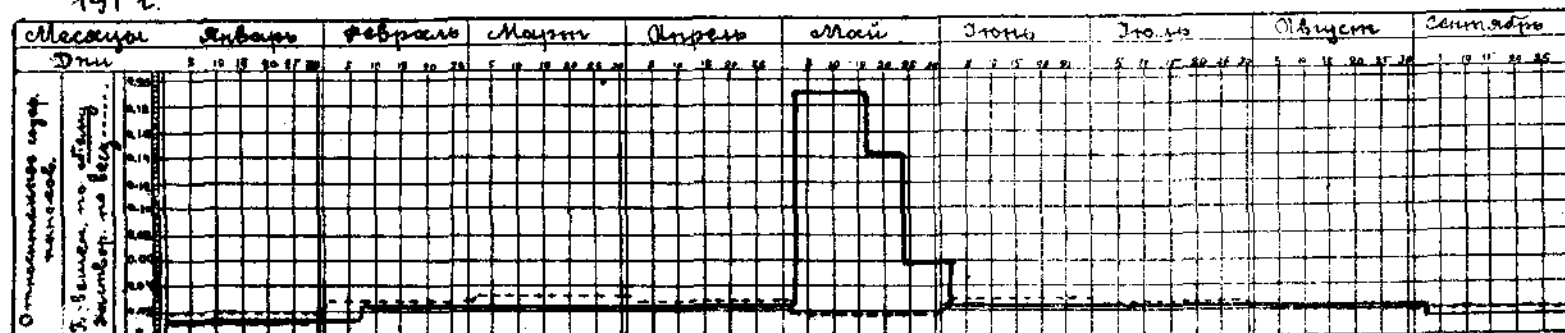


Рис. 107. — К СТР.

График колебания расхода наносов на посту р...

191 г.



русла. Имея ряд поправок для целого периода, например, года, соединяют полученные точки на графике плавной кривой линией.

Этот способ у нас в Туркестане применяется во всех гидрометрических работах и, так сказать узаконен инструкциями Гидрометрической части.

Составление таблиц суточных расходов для зимних месяцев представляет много затруднений, так как само определение расхода реки, покрытой льдом, помимо трудности очень богато всякого рода ошибками; для определения расхода прорубают отверстия во льду и в этих отверстиях измеряют скорости течения и глубины. относя расходы к поверхности воды под льдом, затем строят кривую зависимости расходов от высоты уровня рядом с нормальной кривой и делая сопоставления по обеим кривым, составляют суточные таблицы. На реках с малым уклоном возможны измерения в прорубях, но на горных реках, с огромными уклонами этот способ мало пригоден, так как стоит прорубить отверстие во льду, как вода начинает выступать по верх льда с большой скоростью, в месте где должна работать вертушка, образуются восходящие токи и водовороты, а поэтому результаты работ мало достоверны. В таких случаях сознательно допускают расходимость, интерполируя расходы для периода ледостава по кривой расходов для свободной воды, пользуясь показаниями рейки, приведенными к уровню воды под нижней поверхностью льда.

По составленным таблицам средних суточных величин элементов расхода строятся графики колебаний этих элементов по прилагаемому ниже образцу.

Речной сток.

Словом „сток“ обозначают кубатуру воды или все количество ее, пропущенное рекою и выраженное в кубических единицах за какой либо период времени, напр. поливной период, год и т. п. Подсчет кубатуры производится следующим порядком: составляется ведомость по следующему образцу:

Числа по нов. ст.	Я н в а р ь		и т. д.
	Среднее за сутки		
	Показание рейки	Q из с. с. по кривой	
1			
2			
3			
30			
31			
Сумма . . .			
Среднее . . .			
В к. ф. сек. . .			

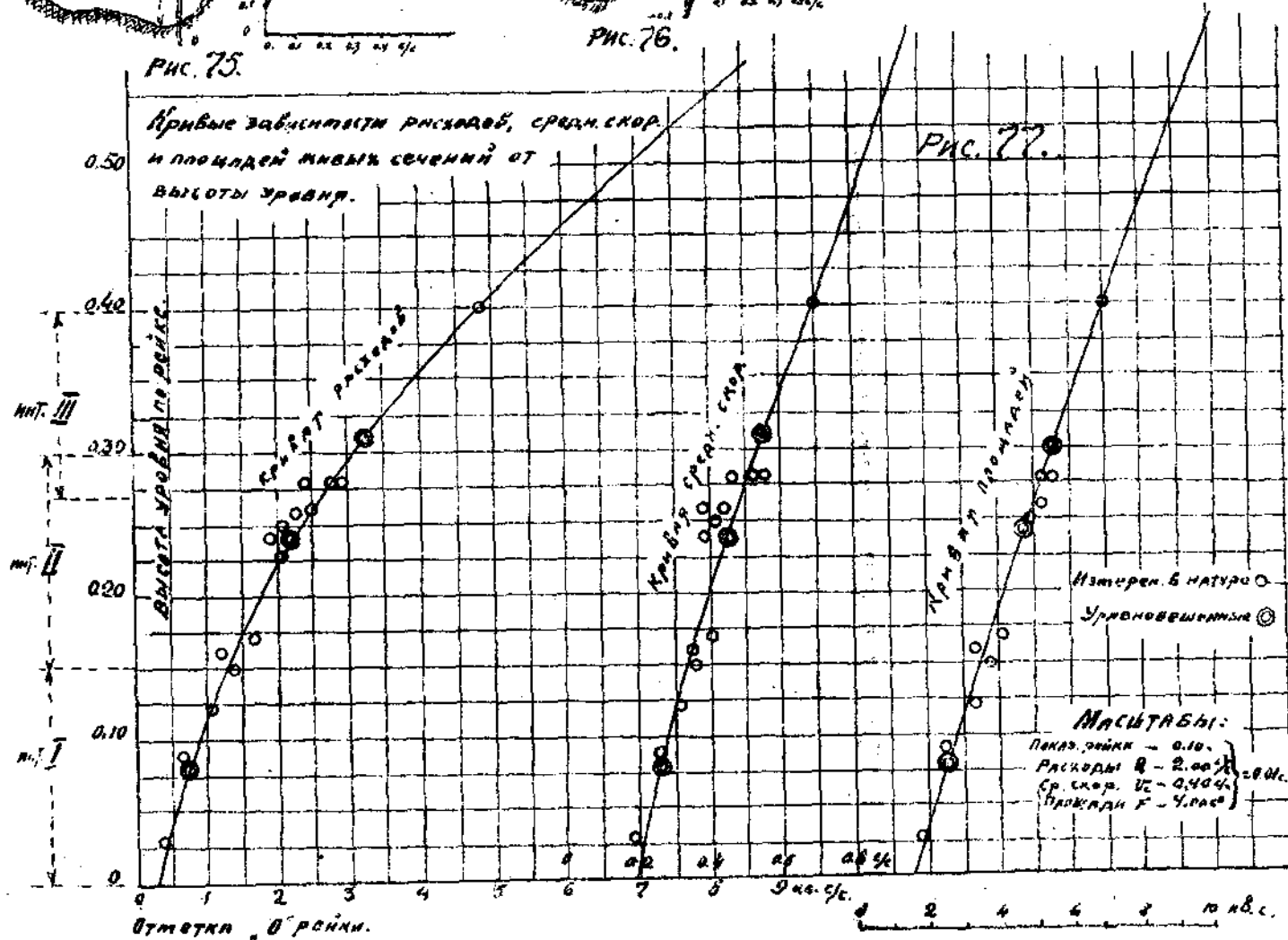
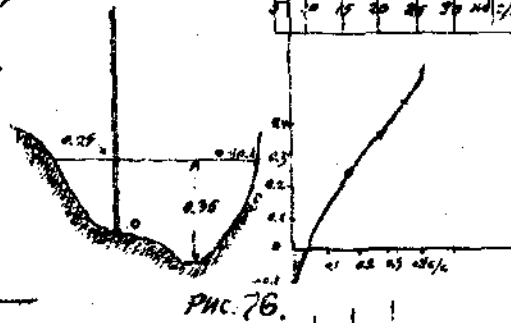
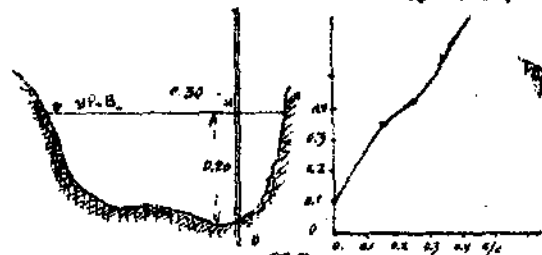
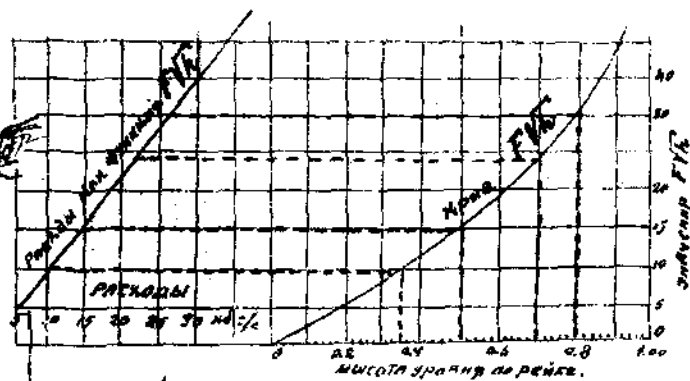
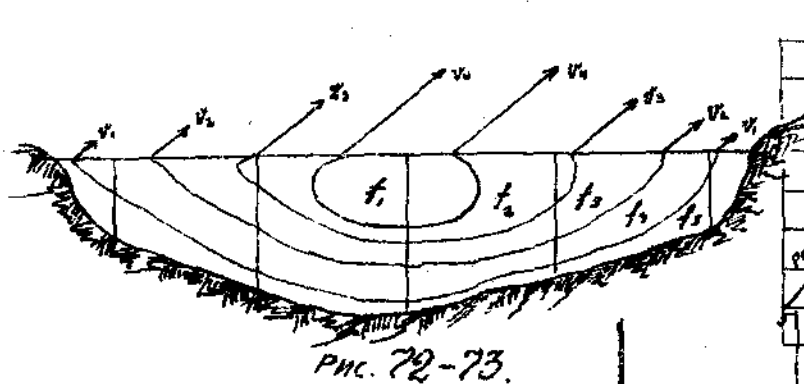
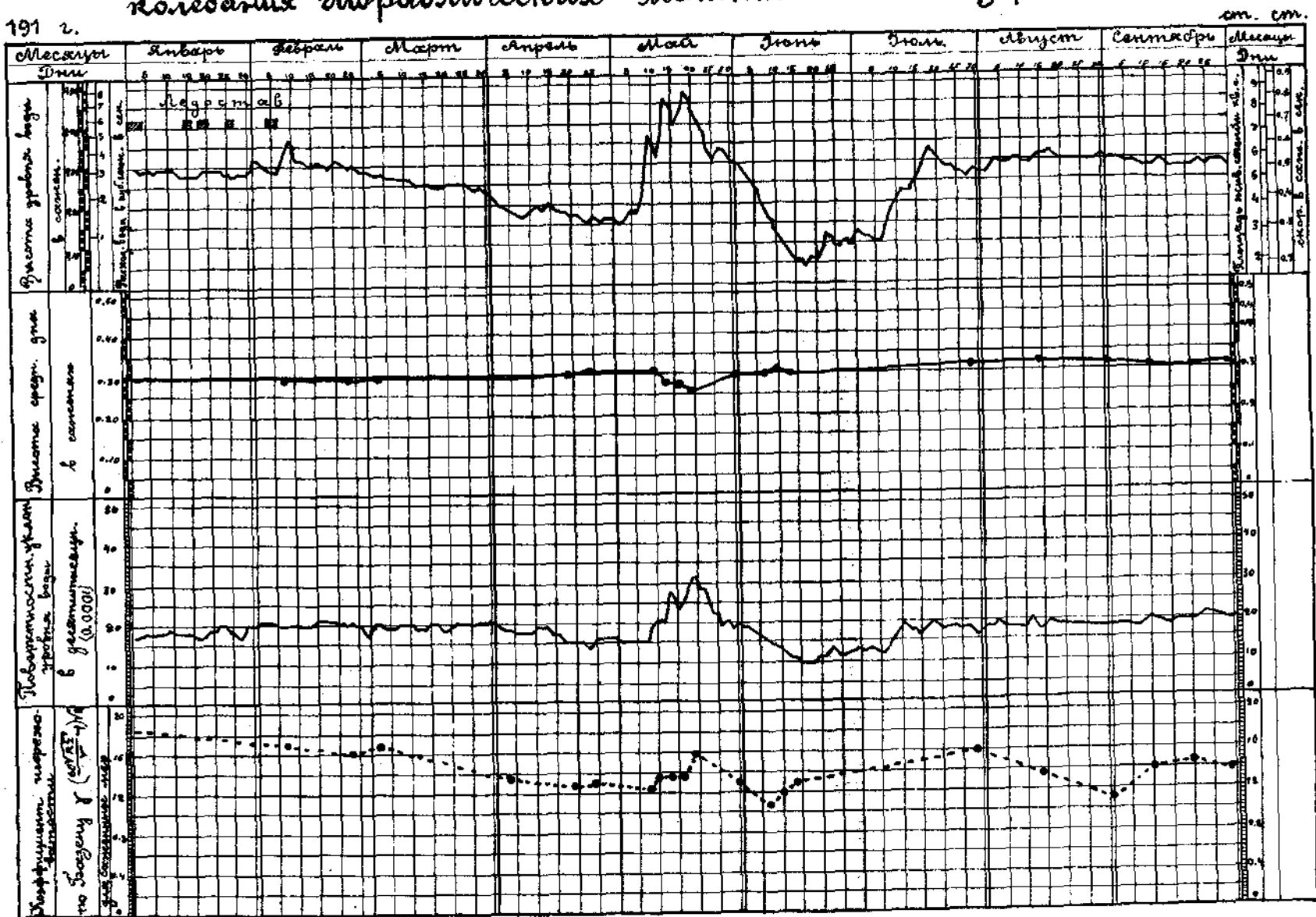


График колебания гидравлических элементов на посту р

191 2.



номерно на всю площадь питающего бассейна и знаменатель отношения, осадки, тоже выражается миллиметрами слоя. Работы многих исследователей показали, что речной сток и коэффициент стока колеблется в довольно больших пределах в разные годы; что для суждения о величине стока по зависимости стока от осадков необходимо иметь данные за очень большие периоды времени и кроме того необходимо учитывать условия впитывания почвами бассейна выпадающей влаги и испарения таковой с поверхности бассейна. Получение всех поправочных коэффициентов представляет чрезвычайные трудности. Таким образом работы этого рода в решении поставленного вопроса пока дают общие приближенные ответы. Изучение зависимости как стока от осадков, так и стока весенних и ливневых вод с данного бассейна имеет большое значение в расчетах искусственных сооружений: мостов, труб, плотин, водосливов и т. п.

Процесс замерзания рек. Образование донного льда.

Явление ледохода и процесс замерзания рек могут идти двумя путями в зависимости от того, обладает ли река спокойным или бурным характером течения. На реках с спокойным течением сохраняется некоторая слоистость и при охлаждении верхнего слоя до 0° и ниже на его поверхности образуются кристаллики льда которые, удерживаясь на поверхности, смерзаются, образуя так назыв. „сало“. Оно промерзает, утолщается задерживается у берегов и постепенно закрывает всю поверхность реки. Этот покров утолщается путем намерзания льда снизу. Толщина льда, образовавшегося за зиму, зависит не столько от зимних морозов, сколько от количества выпавшего снега и времени его выпадения. При сильных морозах вначале и малом снежном покрове образуется лед большой толщины. Если же были обильные осадки, прикрывшие лед толстым снежным покровом, то ледяной покров будет сравнительно тонким.

Способность проводить тепло наименьшая у снега, за ним следует вода и лед. Снежная толща предохраняет лед от дальнейшего промерзания.

Процесс замерзания бурных рек иной. Воды такой реки подвергаются постоянному смещению. Образовавшиеся на поверхности кристаллики льда вытягиваются и увлекаются вглубь вод, здесь они тают и постепенно охлаждают всю массу воды до температуры возможной для существования ледяных кристалликов. Эти кристаллики увлека-

ются течением и оседают на всех встречаемых предметах на дне и боках русла, образуя рыхлую ледяную массу, так назыв. донный лед. При продолжающихся морозах масса эта увеличивается, отрывается и, всплывая, быстро смерзается у берегов и постепенно закрывает всю реку. С образованием сплошного ледяного покрова прекращается образование донного льда. Если же остаются незакрытыми части реки (полыньи), то река снабжается новыми массами льда, уносимыми течением подо льдом.

Для образования донного льда необходимы: смешение водной массы во всю толщину реки от поверхности до дна, открытая поверхность реки, непосредственное соприкосновение с атмосферой и температура воздуха ниже 0° . Как показали наблюдения, донный лед образуется только во время морозов и с наступлением оттепели исчезает. Для сохранения кристалликов донного льда необходима температура воды не выше $-0,1^{\circ}$ С. В воде, имеющей температуру 0° , донный лед не встречается.

В сухую безветренную погоду при сильных морозах на поверхности реки образуется масса льда, прикрывающая ее поверхность. Такое прикрытие, уменьшая площадь охлаждающейся воды, задерживает образование донного льда-наноса. Это явление несколько парализует влияние низкой температуры воздуха на образование донного льда и таким порядком ускоряется процесс замерзания реки с бурным течением.

Гидрометрия грунтовых вод.

Выпавшие на земную поверхность атмосферные осадки частью испаряются, частью идут на пополнение и образование поверхностных водотоков, а частью, просачиваясь в почву, образуют так наз. „подземные воды“.

Несомненно, что количественное распределение атмосферной влаги по трем категориям связано математической зависимостью, но в силу того, что каждая категория в своей жизни подчиняется многочисленным и многообразным условиям, как общего, так и местного характера, проследить и учесть распределение влаги по этим категориям представляется чрезвычайно сложной и трудной задачей. Гидрометрической задачей в решении этих вопросов будет изучение режима подземных вод путем наблюдений над направлением стока, глубиной залегания, колебанием уровня, расходом подземного потока и составом воды.

Подземные воды делятся на две группы:

- 1) Грунтовые воды и
- 2) Воды глубоких слоев.

Грунтовой водой называют воду в первом от поверхности водоносном пласте (горизонте), расположенном на первом же от поверхности водонепроницаемом пласте, следовательно, глубина залегания грунтовых вод может быть разная и в зависимости от глубины залегания водонепроницаемого пласта грунтовые воды могут выходить на дневную поверхность и образовать болота или сливаться с поверхностными водами, если подстилающий пласт находится неглубоко; может быть и так, что между поверхностным и подстилающим водонепроницаемым пластом лежит несколько проницаемых для воды пластов, тогда вода просачивается до непроницаемого пласта, образует подземные водосемы и, следуя по уклонам таких пластов, движется так же, как и в поверхностных водотоках.

Основное свойство грунтовых вод это то, что они находятся под давлением только атмосферы и подыматься вверх самостоятельно не могут, поэтому в колодцах или скважинах уровень не подымается, а остается на той глубине, на которой встречен, если откачать воду из колодца, то она снова подыметсЯ до прежнего уровня.

Воды второй группы разделяются на нисходящие и восходящие или артезианские. Нисходящие воды обладают всеми свойствами грунтовых, но залегают на последующих водонепроницаемых пластах иногда на глубине ниже уровня океана, извлечь такие воды на поверхность можно колодцами и насосами.

Восходящие воды обладают свойством подыматься вверх самостоятельно или, как говорят, находятся под напором. Если предположить, что водоносный пласт залегает между двумя непроницаемыми пластами и притом вся система пластов представляет котловину, то воды в нижней части котловины будут испытывать давление вышележащих масс воды и если пробить скважиной верхний пласт, то вода подыметсЯ по ней вверх на высоту напора.

Глубина залегания грунтовых вод определяется измерениями в колодцах или буровых скважинах; в этих же пунктах производятся наблюдения над колебанием уровня. Уровень грунтовых вод подвержен таким же колебаниям, как и уровень поверхностных вод, но причины вызывающие эти колебания—иные. Колебания уровня грунтовых вод периодичны и зависят от соотношения между количеством атмосферных осадков и испарением. Влияние испарения на грунтовые воды выражается понижением их уровня, найти зависимость высоты уровня грунтовых вод от атмосферных осадков нетрудно простыми наблюдениями и сопоставлением графически таких наблюдений, учет же влияния испарения много труднее потому, что здесь участвует много побочных факторов метеорологических, геологических и др., в частности большое значение для испарения имеет проницаемость почвы для воздуха и степень его влажности. Наилучшим показателем испарения и влажности воздуха является дефицит насыщения воздуха влагою, при изучении режима грунтовых вод рассматривают колебание их уровня, в зависимости от абсолютного количества атмосферных осадков и дефицита насыщения воздуха влагою.

Здесь, говорит проф. Кейльгак, можно установить два типа явлений:

I. Большое абсолютное количество осадков и малый недостаток насыщения (дефицит)—годовые колебания уровня грунтовых вод определяются годовым ходом атмосферных осадков.

II. Малое абсолютное количество осадков и высокий дефицит насыщения—годовые колебания уровня грунтовых вод следуют колебаниям дефицита насыщения.

В общем можно отметить, что влияние атмосферных осадков на грунтовые воды в ближайших к поверхности слоях выражается повышением уровня; это влияние сказывается через 5—30 дней после выпадения осадков, в холодное время скорее, так как испарение меньше, в жаркое время медленнее, так как осадки расходуются на испарение и питание растений. Уровень грунтовых вод этих слоев обнаруживает долготлетние колебания, аналогичные колебаниям атмосферных осадков.

Наблюдения над колебанием уровня грунтовых вод производятся в колодцах или буровых скважинах, закладываемых с таким расчетом, чтобы можно было определить направление стока грунтовых вод, скорость течения и ширину потока. В первую очередь должны быть использованы все имеющиеся колодцы на данной местности, дополняя их скважинами так, чтобы вся местность была покрыта ими равномерно. Число таких точек наблюдений зависит от равномерности падения уровня грунтовых вод.

Обычно на колодцах или трубах делают постоянные и надежные метки, которые связывают тщательной нивелировкой, а затем все измерения глубины залегания уровня производят относительно этих меток.

Способы измерения самые разнообразные и зависят от глубины колодцев. При неглубоких колодцах или скважинах измерить глубину от метки до уровня грунтовых вод можно палкой, нижний конец которой вымазан мелом; по окраске мела смоченного и сухого определяют глубину уровня. Применимы также рулетки, ленты и т. п., в глубоких или узких скважинах применяют лот или гирю на шнуре, прислушиваясь к бульканью воды и измеряя длину, выпущенного шнура, получают глубину.

При постоянных и систематических наблюдениях часто пользуются рейками, опускаемыми в трубу скважины (рис. 80). Такая рейка имеет на нижнем конце поплавков, погруженный песком так, чтобы

нуль рейки был как раз на высоте уреза грунтовых вод; верхний конец рейки проходит через крышку трубы. Трубы обычно опускают до 0.5 с. ниже самого низкого уровня грунтовой воды и на дно, во избежание заилиения, насыпают слой крупного перебраного песка.

При узких трубах, напр. 2—2,5 дюйма, делают измерения помощью тонкой и гибкой металлической трубки, диаметром около 4 м.м. по длине трубки нанесены деления, нулевое деление совпадает с нижним краем тяжелого свинцового стакана, (рис. 81) укрепленного на конце трубки, другой конец трубки сообщается с водяным манометром помощью резиновой трубки. Манометром служит стеклянная изогнутая трубка диаметром 10—12 м. м., один конец трубки запаян, а другой соединен с измерительной трубкой. В манометр налита подкрашенная вода. В трубу колодца опускают стакан прибора на трубке; в момент, когда стакан коснется воды, уровень жидкости в коленях манометра изменится, потому что вода, входя в стакан, сожмет воздух в трубке, это давление передастся в манометр. В этот момент замечают деление на металлической трубке, совпадающей с меткой на обсадной трубе колодца.

При очень глубоких колодцах или скважинах пользуются *водяным свистком* (рис. 82). Это металлический цилиндр с желобками по окружности, расстояние между желобками равно одному сантиметру. Опускается прибор на цепи; в момент погружения в воду раздается свист, на циферблате лебедки читают показание стрелки, соответствующее глубине; к этой величине прибавляется число сухих, ненаполненных водою желобков. Нуль цепи дан на свистке; если бы оказалось, что все желобки наполнены водою, то это укажет на то, что прибор был опущен глубоко, тогда его вытирают насухо и повторяют измерение.

Иногда колодцы обслуживаются самопишущими приборами.

Организовывая наблюдения над грунтовыми водами в имеющихся уже колодцах, следует выяснить, как велико количество воды, откачиваемой из колодцев. Это важно потому, что при сильной откачке воды из колодца может образоваться так называемая „*во* *р* *о* *н* *к* *а* *п* *о* *н* *и* *ж* *е* *н* *и* *я*“.

Сущность этого явления заключается в следующем: если из колодца непрерывно и продолжительное время откачивать воду, то в зависимости от проницаемости водоносного пласта уровень в колодце понизится.

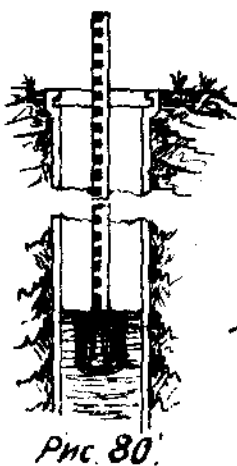


Рис. 80.

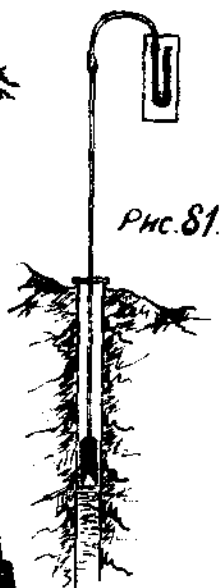


Рис. 81.

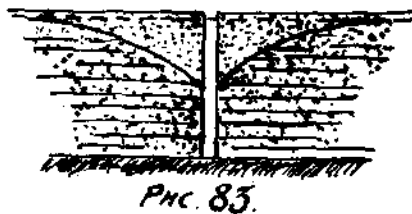


Рис. 83.

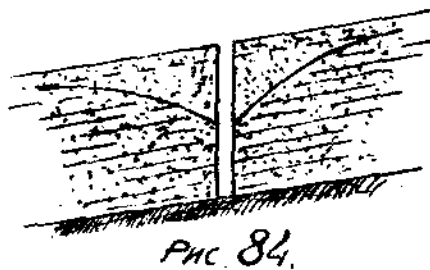


Рис. 84.

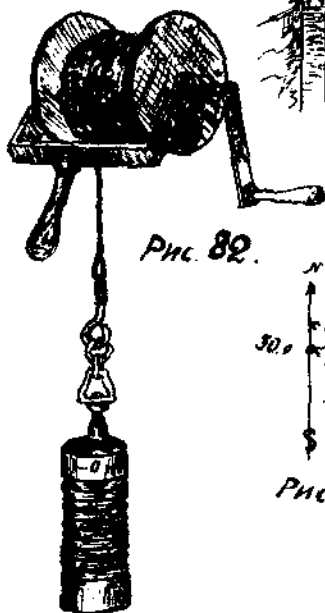


Рис. 82.

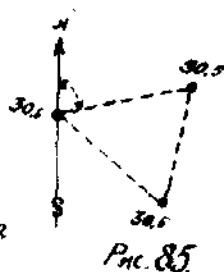


Рис. 85.

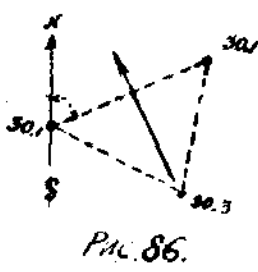


Рис. 86.

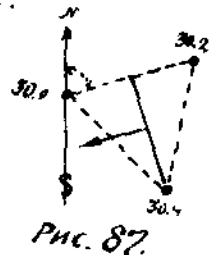


Рис. 87.

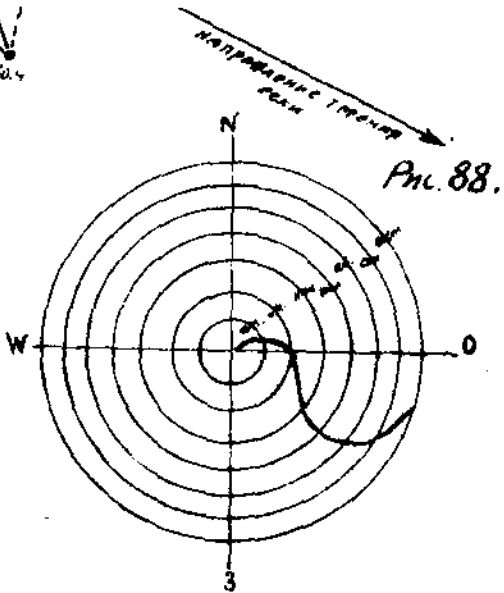


Рис. 88.

Это понижение передается на прилегающую поверхность грунтовых вод. Это понижение или депрессия может сохраняться очень долго, что зависит от продолжительности и силы откачки и количества притекающей грунтовой воды. Крутизной стенок воронки понижения и диаметром самой воронки управляет главным образом водонепроницаемость пласта: Чем беднее водою и непроницаемее пласт, тем стенки круче и диаметр меньше, так как убыль воды медленно восстанавливается. Чертеж (рис. 83) показывает разрез воронки понижения при стоячем подземном водоеме. На чертеже (рис. 84) представлена воронка понижения при большом падении скатерти грунтовых вод. Ведя наблюдения над колебанием уровня и передвижением грунтовых вод, следует иметь в виду и возможность образования воронок понижения при наличии сильной и продолжительной откачки на пунктах наблюдения. Характер и очертания воронок, будучи выражены в горизонталях, получают большую ясность при достаточном числе наблюдательных пунктов.

По измеренным глубинам уровня грунтовых вод во всей сети колодцев вычисляются нивеллирные отметки; по этим отметкам на плане наносят горизонтали; по характеру горизонталей можно судить о направлении стока; сближение горизонталей показывает большое падение скатерти грунтовых вод.

Если обследуемая местность имеет ясно выраженное падение пластов или же размеры ее ограничены, как например в поймах реки, то число пунктов наблюдений может быть уменьшено до трех, расположенных не по прямой. Расстояние между пунктами или скважинами около 5—25 саженей. Эти пункты связываются нивелировкой, определяются углы между направлениями на точки и румбы. По одновременным измерениям глубин во всех трех точках вычисляются отметки высоты уровня грунтовых вод. Может встретиться три случая: 1) отметки во всех трех точках одинаковы, 2) в двух одинаковы, а в третьей нет, 3) во всех трех разные.

В первом случае мы имеем дело с стоячим подземным водоемом. (Рис. 85).

Во втором случае—перпендикуляр к линии, соединяющей точки с одинаковыми отметками, укажет направление падения. (Рис. 86).

В третьем случае—определение направления падения делается так: на линии, соединяющей точки с ближайшими отметками, нахо-

дится точка, соответствующая средней из отметок; эта точка соединяется с третьей точкой. Перпендикуляр к этой новой линии, направленный в сторону точки с меньшей отметкой, укажет направление стока. Зная румбы направлений между скважинами; легко по плану определить румб направления стока. (Рис. 87).

Иногда в задание таких работ входит требование определить влияние поверхностных водотоков, например реки, на состояние уровня грунтовых вод. Частые и точные наблюдения над колебанием уровня, как в реке, так и за уровнем грунтовых вод в наблюдательных пунктах по берегам, дают возможность получить картину взаимного влияния поверхностных и грунтовых вод.

Имея ряд румбов направления стока грунтовых вод, меняющихся в зависимости от времени и высоты уровня в реке, пользуясь полярными координатами, можно построить диаграмму, иллюстрирующую изменение стока во времени. Для этого принимают для времени радиус ($t=r$), а для направления угол (румб). (Рис. 88). Пусть напр. наблюдения в колодцах начаты в Апреле.

1-го Апреля	$t = 0$	Румб	СВ. 89°
1-го Мая	$= 30$	„	ЮВ. 85°
1-го Июня	$= 61$	„	ЮВ. 40°
1-го Июля	$= 92$	„	ЮЗ. 48°
1-го Августа	$= 123$	„	ЮВ. 52°
1-го Сентября	$= 153$	„	ЮВ. 70°
1-го Октября	$= 184$	„	ЮВ. 78°

Сопоставляя высоту и изменение стока грунтовых вод по времени и изменение уровня воды в реке, можно установить зависимость между тем и другим явлением.

Измерение скорости течения грунтовых вод.

Скорость движения воды в грунтах сходна с движением воды в тонких трубках и зависит от размера и формы зерн породы, выражаемых коэффициентом K и уклона установившейся поверхности грунтовых вод— i , так что $u=Ki$ в метрах секунду.

Отношение объема промежутков между зернами породы ко всему объему породы или степень ее пористости выражается коэффициентом ϕ .

Расход воды через сечение F получится из формулы:

$$Q = \varphi F U.$$

Определение коэффициентов K и φ производится опытным путем при помощи особых приборов.

Обычно K принимается равным диаметру зерн породы, выраженному в метрах.

Приведем некоторые значения этих коэффициентов.

Для песка зернами диам.—0,25 м/м.— $= 0.00025$

„ „ „ „ —0,50 „ — $= 0.0005$

„ „ „ „ —1,00 „ — $= 0.001$

„ „ „ „ —2,00 „ — $= 0.002$

Коэффициент пористости φ имеет значение (по Вингенсу).

Для песку крупного речного 0.14—0.25

„ очень крупного песку с гравием 0.38

„ гравия диаметром 4—7 м/м. 0.36—0.37

„ песку диаметр. от 2 м/м. до 1/3 м/м. 0.36—0.42

Пример. Пусть поток грунтовой воды движется по хрящу, для которого K равен 0.01

уклон i равен 0.01

$u = ki = 0.01 \times 0.01 = 0.0001$ м/с.

Ширина пласта хряща 100 м.

Глубина (мощность) = 10 м.

$F = 1000$ кв. м.; $\varphi = 0.25$

живое сечение $= 1000 \times 0.25 = 250$ кв. м.

$Q = 250 \times 0.0001 = 0.025$ куб. м./с.

или в сутки $0.025 \times 86400 = 2160$ куб. м.

Определение коэффициентов K и φ производится опытным путем и нет сомнений в том, что взаимное расположение частиц породы при опыте и в естественных толщах пласта может быть разное, а отсюда возможны значительные расходимости значений коэффициентов, определенных опытом и действительно существующих соотношений. Поэтому стремятся измерить скорости движения грунтовой воды непосредственно. Для этого берут в направлении движения подземного потока две скважины в расстоянии от 5 до 25 саж., смотря по уклону; в верхнюю скважину опускают легко растворяющееся вещество, например, поваренную соль, и замечают время. Соль постепенно растворяется и постепенно уносится водою. Максимум раствора соли постепенно переходит из верхней скважины в нижнюю, из кото-

рой через определенные промежутки времени берут пробы для анализа. Заметив время появления в нижней скважине максимума раствора, получают время, потраченное на прохождение раствором расстояния между скважинами; разделив это расстояние на время получают скорость движения грунтовых вод. Анализ производят титрованием с прибавлением азотно кислого — серебра; если количество серебра есть а, то количество соли х определится из пропорции:

$$a : x = 170 : 58,5$$

$$\text{Отсюда } x = \frac{a \cdot 58,5}{170} = 0,344 a$$

Иногда берут три или четыре колодца или скважины, расположенные так, чтобы две или три из них отстояли от верхнего колодца от 12 до 25 саженей.

Соль можно заменить красящими веществами (флюоресценн). Раствор такого вещества легко обнаруживается даже в миллионных частях раствора, следует только избегать применения этого вещества на болотистых местах, так как здесь может произойти разложение вещества и опыт не удастся. Приведенные способы сопровождаются анализами проб воды и требуют присутствия походной лаборатории и в достаточной степени кропотливы.

4. Шлихтером в 1902 г. предложен новый способ измерения скорости грунтовых вод с помощью электролиза. При этом способе берется также четыре колодца, из них АС на линии направления стока (рис. 89); расстояние между колодцами верхним и нижним при глубине от 25 до 30 фут. = 4 ф., а между ВС и ДС = 2,0 ф.; при глубине до 75 ф. ВС = СД = 2,5 ф.; АС = АД = АВ = 6 ф., расстояния АС = 9—10 ф., а ВС, СД = 4 ф.

Колодцы состоят из железных продырявленных труб с острыми наконечниками (рис. 90). Эти трубы соединяются электрическими проводами. Для этого на верхних концах труб есть медные кольца с зажимами.

Электрическая цепь включает батарею В и амперметр А. В верхний (левый) колодец опускают в особых медных, продырявленных ведерках соль нашатыря, а в нижние колодцы — медные никеллированные электроды-стержни диаметром $\frac{3}{8}$ д., длиной 4 ф. Эти стержни изолированы от стенок колодца каучуковыми кольцами, верхние концы стержней соединены с изолированной проволокой, введенной в электрическую цепь

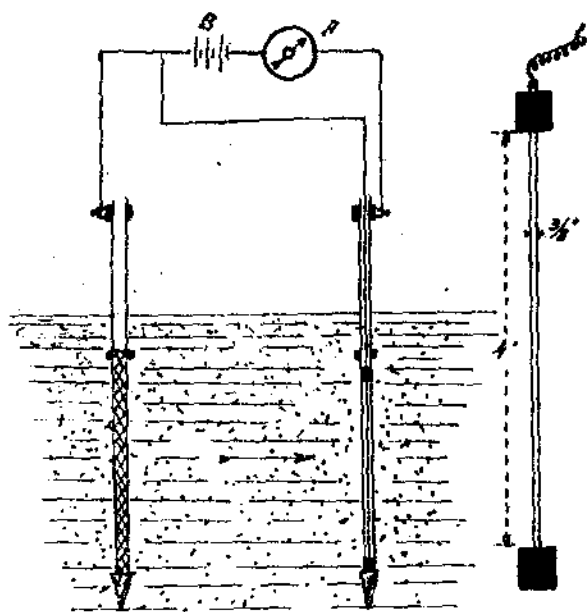


Рис. 90.

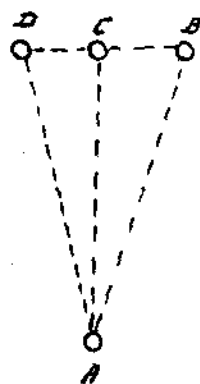


Рис. 89

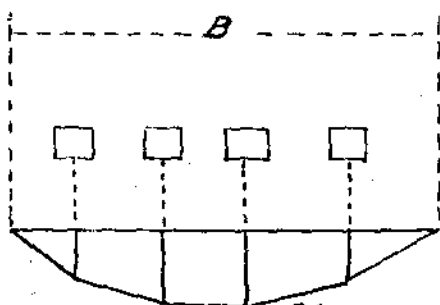


Рис 91

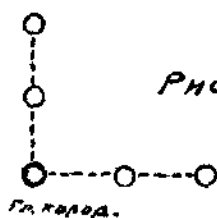


Рис. 92

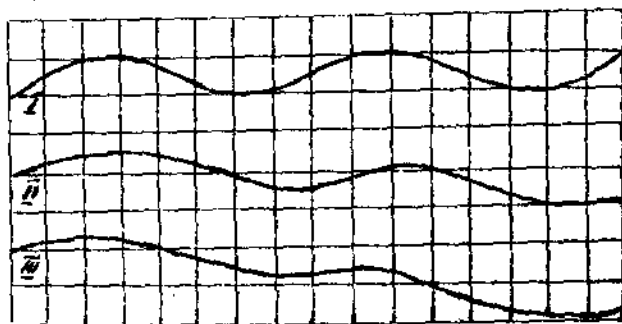


Рис 93.

дится точка, соответствующая средней из отметок; эта точка соединяется с третьей точкой. Перпендикуляр к этой новой линии, направленный в сторону точки с меньшей отметкой, укажет направление стока. Зная румбы направлений между скважинами; легко по плану определить румб направления стока. (Рис. 87).

Иногда в задание таких работ входит требование определить влияние поверхностных водотоков, например реки, на состояние уровня грунтовых вод. Частые и точные наблюдения над колебанием уровня, как в реке, так и за уровнем грунтовых вод в наблюдательных пунктах по берегам, дают возможность получить картину взаимного влияния поверхностных и грунтовых вод.

Имея ряд румбов направления стока грунтовых вод, меняющихся в зависимости от времени и высоты уровня в реке, пользуясь полярными координатами, можно построить диаграмму, иллюстрирующую изменение стока во времени. Для этого принимают для времени радиус ($t=r$), а для направления угол (румб). (Рис. 88). Пусть напр. наблюдения в колодцах начаты в Апреле.

1-го Апреля	$t = 0$	Румб	СВ. 89°
1-го Мая	$= 30$	"	ЮВ. 85°
1-го Июня	$= 61$	"	ЮВ. 40°
1-го Июля	$= 92$	"	ЮВ. 48°
1-го Августа	$= 123$	"	ЮВ. 52°
1-го Сентября	$= 153$	"	ЮВ. 70°
1-го Октября	$= 184$	"	ЮВ. 78°

Сопоставляя высоту и изменение стока грунтовых вод по времени и изменение уровня воды в реке, можно установить зависимость между тем и другим явлением.

Измерение скорости течения грунтовых вод.

Скорость движения воды в грунтах сходна с движением воды в тонких трубках и зависит от размера и формы зерн породы, выражаемых коэффициентом K и уклона установившейся поверхности грунтовых вод— i , так что $u=Ki$ в метрах секунду.

Отношение объема промежутков между зернами породы ко всему объему породы или степень ее пористости выражается коэффициентом φ .

Расход воды через сечение F получится из формулы:

$$Q = \varphi F U.$$

Определение коэффициентов K и φ производится опытным путем при помощи особых приборов.

Обычно K принимается равным диаметру зерн породы, выраженному в метрах.

Приведем некоторые значения этих коэффициентов.

Для песка зернами диам.—0,25 м/м.— $= 0.00025$

" " " " —0,50 " — $= 0.0005$

" " " " —1,00 " — $= 0.001$

" " " " —2,00 " — $= 0.002$

Коэффициент пористости φ имеет значение (по Винтгенсу).

Для песку крупного речного 0.14—0.25

" очень крупного песку с гравием 0.38

" гравия диаметром 4—7 м/м. 0.36—0.37

" песку диаметр. от 2 м/м. до 1/3 м/м. 0.36—0.42

Пример. Пусть поток грунтовой воды движется по хрящу, для которого K равен 0.01

уклон i равен 0.01

$u = ki = 0.01 \times 0.01 = 0.0001$ м/с.

Ширина пласта хряща 100 м.

Глубина (мощность) = 10 м.

$F = 1000$ кв. м.; $\varphi = 0.25$

живое сечение $= 1000 \times 0.25 = 250$ кв. м.

$Q = 250 \times 0.0001 = 0.025$ куб. м./с.

или в сутки $0.025 \times 86400 = 2160$ куб. м.

Определение коэффициентов K и φ производится опытным путем и нет сомнений в том, что взаимное расположение частиц породы при опыте и в естественных толщах пласта может быть разное, а отсюда возможны значительные расхождимости значений коэффициентов, определенных опытом и действительно существующих соотношений. Поэтому стремятся измерить скорости движения грунтовой воды непосредственно. Для этого берут в направлении движения подземного потока две скважины в расстоянии от 5 до 25 саж., смотря по уклону; в верхнюю скважину опускают легко растворяющееся вещество, например, поваренную соль, и замечают время. Соль постепенно растворяется и постепенно уносится водою. Максимум раствора соли постепенно переходит из верхней скважины в нижнюю, из кото-

Соль нашатыря растворяется в воде и передвигается вместе с ней к нижним колодцам. Раствор нашатыря, как известно, хороший проводник тока.

Раствор соли, достигнув нижних колодцев, замкнет цепь между трубою колодца и электродом (стержнем), стрелка гальваноскопа сразу отклонится в сторону. Время между опусканием ведерок и отклонением стрелки гальваноскопа есть время движения грунтовых вод между двумя колодцами.

Количество нашатыря для опыта в колодцах средней глубины равно приблизительно 7—8 ф. Опускается соль порциями по 2 через 10—20 м., иногда опускают два ведерка одно над другим. При мелких колодцах можно сыпать соль прямо в колодец, но при глубоких предпочтительно опускать в ведерках, так как раствор соли медленно опускается до дна колодца, а это задерживает опыт. Оборудование опыта может быть дополнено самопишущим прибором с контактными часами, дающими контакт через определенный промежуток времени. Если известна площадь сечения пропускающего грунтовую воду и есть основание предполагать однородность материала, составляющего водоносный пласт, то определенные по одному из приведенных способов скорости движения грунтовых вод на разных точках площади дадут возможность подсчитать расход грунтовых вод или мощность подземного потока.

Существуют и другие методы определения расхода потока грунтовых вод; рассмотрим те из них, которые наиболее подходящи, как по точности и полноте результата, так и по применимости в обстановке иногда предварительных изысканий.

По методу, предложенному инж. Кочериным *) в водоносном пласте пробивается шурф шириною (в). Наличие шурфа при установившемся течении грунтовых вод и постоянном уровне воды в шурфе не должно и не может оказывать значительного влияния на расход потока грунтовых вод и можно допустить, что на ширине шурфа (в) расход не изменится.

В шурф вливают раствор поваренной соли или нашатыря и перемешивают воду в шурфе. Таким образом в начале опыта (время t_1) в шурфе есть раствор определенной крепости и концентрации P (граммов на литр или на 1 куб. метр). В конце опыта после повтор-

*) Материалы по водным изысканиям в Крыму. 1916 г.

ного перемешивания (время t_2) анализом обнаруживается концентрация q . Вследствие того, что за время опыта в шурф будет входить некоторое количество чистой воды и столько же выходить, концентрация раствора будет непрерывно падать, при условии конечно, что уровень воды в шурфе, а следовательно и объем не изменяется за время опыта. Расход воды в единицу времени для ширины шурфа (b) получается из формулы:

$$Q = 2,3 \frac{\omega h}{T} \lg \left(\frac{P}{q} \right)$$

Здесь: Q расход; ω горизонтальная площадь сечения шурфа; h глубина воды в шурфе; T время продолжительности опыта; P первоначальная концентрация раствора; q концентрация в конце опыта; 2,3—модуль натуральных логарифмов; $\lg$ десятичный логарифм дроби; a на единицу ширины подземного потока по формуле:

$$Q = 2,3 \frac{\omega h}{bT} \lg \left(\frac{P}{q} \right)$$

Если ширина водоносного горизонта значительна, то определение Q можно сделать для нескольких шурфов, заложенных по линии, перпендикулярной направлению течения грунтовых вод.

Тогда полный расход на ширине B (рис. 91) получится таким же порядком, как и для открытых водотоков, т. е. расходы $Q_1, Q_2 \dots Q_n$ откладываются от горизонтальной линии, соответствующей ширине водоносного горизонта; отложенные точки соединяются кривой линией. Полученная площадь выразит расход Q на всем горизонте B .

Формулы, дающие расход при этом методе требуют постоянства расхода и неизменности горизонта воды в шурфе за время опыта. Следует также избегать по возможности крепления стенок шурфа, могущих задерживать как вынос раствора, так и приток чистой воды.

Определить запас воды в пласте или его производительность можно также откачкой воды из скважины или колодца. Предположим, что откачка производится насосом; естественно, что уровень воды в колодце будет понижаться более или менее сильно в зависимости от количества притекающей грунтовой воды и силы насоса.

Допустим, что в некоторый промежуток времени вода будет выкачена вся; тогда, имея площадь колодца, зная время появления воды вне и время его наполнения до высоты прежнего уровня, получим приток воды в единицу времени на единицу площади.

Может случиться, что приток воды в колодец настолько силен, что выкачать всю воду невозможно; тогда сильной и продолжительной откачкой создают воронку понижения, тщательно наблюдая за уровнем в колодце и контрольных скважинах, если таковые имеются. Обычно контрольные скважины располагаются по двум перпендикулярным линиям; одна из них совпадает с направлением стока грунтовых вод; точка пересечения этих линий приходится на главном колодце; расстояние контрольных скважин от колодца 10—50 саж. (Рис. 92). В результате откачки должно наступить равновесие между количествами отнимаемой и притекающей воды, следовательно, зеркало грунтовых вод в районе колодца примет некоторое новое устойчивое положение. Наблюдения за высотой уровня укажут время наступления такого равновесия. Зная количество откачиваемой воды и время потраченное на эту работу, можно получить приток на единицу площади в единицу времени.

В буровых скважинах определение притока воды можно сделать откачкой при помощи желонки, если нет насоса. Для этого заделывают дно желонки глиняной пробкой и откачав из скважины несколько желонков понижают в ней уровень воды. Например: откачка начата при постоянном уровне N саж. от верхнего края трубы и после откачки высота уровня равна N_1 . Начинают откачку, опуская желонку до глубины N_1 ; так как вода все время поступает в скважину, то уровень ее достигнет верхнего отверстия желонки и последняя начнет наполняться; объем желонки, конечно, будет уменьшать внутренний объем трубы. В момент наполнения желонки пускают секундомер и вытаскивают желонку; по опорожнении она снова опускается до прежней глубины N_1 ; вода, накопившаяся в скважине, будет наполнять желонку. В момент вторичного наполнения желонки останавливают секундомер и желонку вытаскивают и опорожняют. Время в секундах между двумя моментами наполнения желонки будет известно; будет также известен и объем откаченной воды — объем желонки; если потребуется определить приток в минуту, то разделив 60 на промежуток между двумя моментами, выраженный в секундах, получают приток в минуту, причем частное дает число желонков. Таким образом приток скважины будет определен на глубине N_1 от верхнего края трубы, или на $N_1 - (N + h)$ от постоянного уровня или, иными словами, под напором величина которого равна $N_1 - (N + h)$. Здесь h есть высота столба воды, которая получится после извлечения желонки; эта

вода была вытеснена желонкой и находилась между ею и обсадной трубой.

Момент наполнения желонки определяется по замирающему звуку бульканья, вливающейся в желонку воды. Если бы случилось вытащить желонку ранее наполнения, то ее следует снова погрузить до прежней глубины. Важным является погружение желонки на одну и ту же глубину. Для этого на веревке, удерживающей желонку на высоте верхнего края трубы, делается метка.

Если после откачки уровень в колодце быстро поднимается, то это указывает на богатство водою водоносного пласта, если же уровень будет непрерывно падать во время откачки, то это указывает, что поток больше теряет, чем получает или же имеется подземное озеро. Откачкой пользуются также в тех случаях, когда требуется установить какое отношение будут иметь поверхностные водотоки к грунтовым водам, если по каким-либо причинам потребуется искусственно понизить уровень грунтовых вод. Для этого опыта закладывают, по соседству с рекой, по двум перпендикулярным линиям колодцы или буровые скважины. Одна из линий должна быть перпендикулярна к реке. На пересечении этих линий находится главный колодец, из которого будет производиться откачка; остальные служат наблюдательными или контрольными. Глубина скважин должна быть такова, что бы уровень грунтовых вод был выше дна на значительную глубину (5—10 саж.). Сильной и продолжительной откачкой понижают уровень грунтовых вод, поддерживая такое понижение в течение нескольких недель. При этом тщательно следят за состоянием уровня во всех скважинах, производя измерения два раза в день с обязательным измерением температуры воды в скважинах и в реке. Термометры Цельсия с точностью в $0,1^{\circ}$, имеются особой конструкции для таких измерений.

По отметкам высот уровня в скважинах строят план в горизонталях, позволяющий судить о размерах образовавшейся воронки понижения, а периодическое корректирование горизонталей по повторным наблюдениям дает возможность судить о развитии воронки в сторону реки, а отсюда возможны выводы о проницаемости ложа реки.

Для каждой скважины можно построить график колебания уровня. (Рис. 93). Кривая 1 характеризует периодическое понижение и повышение уровня до прежней высоты, вывод - убыль, вызванная от-

качкой, восстанавливается за счет притока грунтовых вод, или речных или тех и других вместе и отсутствие искусственного понижения уровня. Кривые II и III указывают, что откачкой достигается понижение уровня более или менее сильное.

Грунтовые воды имеют температуру равномерную и притом летом более низкую, а зимою более высокую, чем в реке, поэтому по измеренным температурам можно судить о притоке к скважинам речной воды. Кроме того, по температурным наблюдениям путем вычислений можно получить величину притока как грунтовых, так и речных вод пополняющих убыль, вызванную откачкой.

Если Q — объем откаченной воды с температурой — t

Q_1 — объем приходящейся сюда речной воды — t_1

Q_2 — объем приходящейся сюда грунтовой воды — t_2

то $Q = Q_1 + Q_2$ и $t = t_1 Q_1 + t_2 Q_2$

отсюда $Q_1 = \frac{Q(t - t_2)}{t_1 - t_2}$ и $Q_2 = \frac{Q(t_1 - t)}{t_1 - t_2}$

Предположив, что масса откаченной воды (Q) равна 100 получим Q_1 и Q_2 сразу в процентах общей массы.

Например: $Q=100$, $t=6^\circ$ (откаченная)

вода речная $t_1=2^\circ$

вода скважины $t_2=9^\circ$

$$\left. \begin{aligned} Q_1 &= \frac{100(6-9)}{2-9} = \frac{300}{7} = 42.8\% \\ Q_2 &= \frac{(100-2-6)}{2-9} = \frac{400}{7} = 57.2\% \end{aligned} \right\} = 100\%$$

Определение расхода (дебита) подземных вод, выходящих на дневную поверхность, не представляет особых затруднений. В большинстве случаев грунтовые воды выходят на поверхность в виде ключей; небольшими канавками собирают стекающую воду в одно русло и здесь определяют расход, измеряя живое сечение и скорости.

Расход очень малых ручейков возможно измерить каким-либо сосудом, замечая время наполнения сосуда. Обычно в таких случаях перепруживают поток стенкой, в которую вделан желобок. Расход определяют, применяя так называемое „нормальное ведро“ и секундомер (1 куб. саж. = 789,6 ведра; 1 ведро = 12,3 литра; 1 литр = 0,08 ведра). По определению инженера Кочерина измерение источников с расходом до 60.000 ведер в сутки при периоде наполнения ведра в 3" и при трехкратном измерении наибольшая ошибка определения расхода равна приблизительно 4%.

Существуют и более сложные приспособления, носящие название „водяных дюймов“. Под этим названием подразумевают количество воды, пропускаемое в 24 часа отверстием, диаметром в 1 дюйм, в тонкой вертикальной стенке, при наименьшем напоре, т. е. высоте уровня над центром отверстия. Конструкция таких приборов очень разнообразна. Для примера приведем водяной дюйм Борнемана (рис. 94). Это большой деревянный ящик, разделенный перегородками на три отделения.

Отделение I и II служит для успокоения воды и отложения мути. В стенке III-го отделения сделано семь отверстий разного диаметра, расположенных по одной прямой симметрично относительно среднего отверстия (I).

Диаметр отверстий:

- 1—26 м/м.
- 2—19,08 „
- 3— 6,54 „
- 4— 3,37 „

Если открыть все семь отверстий, то расход при высоте напора в 26,15 м/м. будет равен 69, 2 м.³ в сутки. Высоту напора регулируют, открывая или закрывая некоторые отверстия.

Если расход потока больше 60.000 ведер в сутки (около 0,3 куб. ф/с.) и его нельзя разделить на несколько отдельных струй для измерения ведром по частям, то применяют другие способы измерений.

Расходы от 60.000 до 200.000 ведер в сутки (1 куб. ф/сек) возможно измерить водосливными рамками. Такие приспособления бывают переносные и постоянные.

Переносная водосливная рамка изготавливается из листового железа толщиной в 1½—2 м/м.; (рис. 95) для придания жесткости к ней приклепаны железные полоски. Прямоугольный вырез (водосливное отверстие) 0,2×0,2 метра имеет острые края; вдоль вертикальных ребер нанесены деления в миллиметрах.

„О“ шкал совпадает с нижним ребром отверстия.

Для измерения расхода ручья рамку вдавливают поперек русла перпендикулярно течению, так, чтобы нижний край отверстия, служа порогом, образовал небольшой перепад. При этом сохраняется приблизительная горизонтальность нижнего ребра; неточность устраняется тем, что добиваются одинаковых отсчетов по обеим шкалам по уров-

ню переливающейся воды. Для такого типа переносных рамонамечается измерение высота напора над порогом на самом пороге (по шкалам).

Расход вычисляется по формуле для водослива Понсле (прямоугольный):

$$Q \text{ м.}^3/\text{с.} = \frac{2}{3} \mu \text{ в } h \sqrt{2g h} = \frac{2}{3} \mu \text{ в } h^{3/2} \sqrt{2g}$$

Здесь в — длина порога, h — напор над порогом; оба в метрах.

Коэффициент μ для длины порога = 0.20 м., по опытам Леб ро, равен:

При h в метр.	= 0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.14	0.18	0.20
μ	= 0.417	0.407	0.401	0.397	0.395	0.393	0.392	0.390

При постоянных измерениях расхода выгоднее установить водослив Чиполетти, как дающий результаты высокой точности и имеющий коэффициент расхода постоянным. Отверстие этого водослива трапециoidalной формы (угол $\alpha = 75^\circ 30'$, уклон ребра 1:4) (рис. 96). Расход при постоянном μ пропорционален длине восливного ребра

$$\mu = 0.623$$

$$Q \text{ м.}^3/\text{с.} = 0.623 \times \frac{2}{3} \times \text{в} \times h \sqrt{2g h} = 1.86 \text{ в } h^{3/2} \sqrt{h} = 1.86 \text{ в } h^{3/2}$$

или $0.43 \text{ в } h \sqrt{2g h}$

Здесь в — длина порога, h — напор; оба в метрах.

$$Q \text{ ф.}^3/\text{с.} = 3.4 \text{ в } h^{3/2}$$

Здесь в — длина порога и h — напор в дюймах (англ.). Напор измеряется на расстоянии неменьшем 1—2 метров от щита и с возможной точностью. Приведенные коэффициенты для водослива Чиполетти могут быть приняты для порога длиною от 3 до 9 фут. и напора от 3 до 24 дюймов.

Водосливы Чиполетти дают высокую точность при соблюдении следующих условий:

- 1) Края отверстия достаточно остры,
- 2) Позади отверстия должен быть отстойный бассейн с почти стоячей водой, причем при заполнении бассейна наносами определения теряют значительную часть точности.
- 3) Под струю должен быть доступ воздуха, а это достигается уширением русла ниже стенки водослива.
- 4) Порог водослива должен быть поставлен строго горизонтально по уровню.
- 5) Нуль рейки, по которой отсчитываются напоры, должен быть на одной высоте с порогом (проверяется уровнем).

6) Водослив работает правильно только тогда, когда напор (толщина переливающейся воды) меньше $\frac{1}{3}$ длины порога.

7) Если длину порога (b) и напор h выразить в сотках сажени, а расход в кубыточных (0,001 кв. с. = 10 русск. секундолитрам = 1000 кв. соток = 9,712 метр. литрам = 0,343 кв. фут. = 0,789 ведра), то $Q = 0,0128$ в $h^{3/2}$, если же Q желательно выразить в русских секундолитрах, то $Q = 0,128$ в $h^{3/2}$.

Постоянное μ и длина порога (b) позволяют составить таблицу расходов в зависимости от h для данного водослива или построить кривую зависимости Q от h . Напор на водосливе Чиполетти может меняться, потому что зависит от количества идущей через него воды, а потому необходимо непрерывно фиксировать напор помощью самопишущего прибора или непосредственным наблюдением, по рейке.

Самопишущий прибор конструкции Гидромодульной части состоит из вращающегося барабана А с часовым механизмом; барабан делает полный оборот в продолжении 12 часов (рис. 97). В цилиндре Е помещается поплавок В, несущий штангу со стрелкой Г; стрелка закреплена на штанге винтом. Стрелка имеет не одном конце ролики, скользящие по направляющей Д, а на другом конце карандаш или особое перо с чернилами прилегающим к бумаге обернутой около барабана. При подъеме или опускании поплавок перемещается в вертикальном направлении и штанга со стрелкой. Клетчатая соточная бумага на барабане движется в одном направлении со скоростью, как сказано, одного оборота в 12 часов и таким образом автоматически вычерчивается кривая колебания напора. Снизу в цилиндр Б ввинчена изогнутая свинцовая трубка, открытый конец трубки лежит горизонтально против течения; назначение этой трубки исключить влияние сжатия струи в том случае, когда прибор будет помещен на самом водосливе. Дно цилиндра Б устанавливается на 1—2 сотки ниже порога водослива и за нуль горизонта считается положение, при котором вода только готовится переливаться через порог водослива. Прибор крепится вилкою Е на борту водослива и заклинивается деревянной прокладкой Н.

Самопишущие приборы подобной конструкции или как их называют лимниграфы могут фиксировать колебание уровня в натуральную величину и в пределах ограниченных высотой бумаги на барабане. Существуют лимниграфы в которых вертикальное перемещение поплавка путем применения зубчаток или шкивов уменьшается в не-



Рис. 94

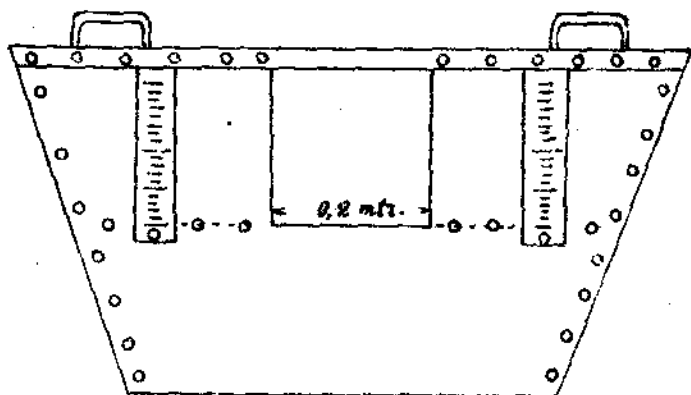


Рис. 95

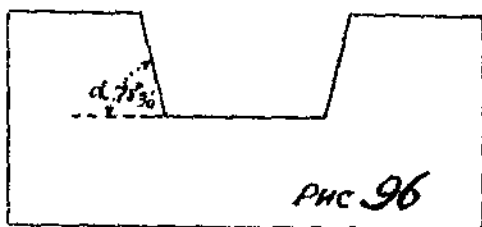


Рис. 96

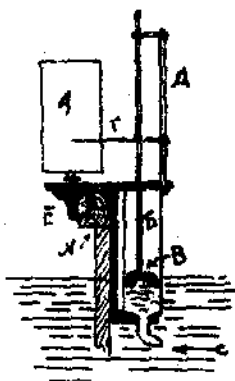


Рис. 97

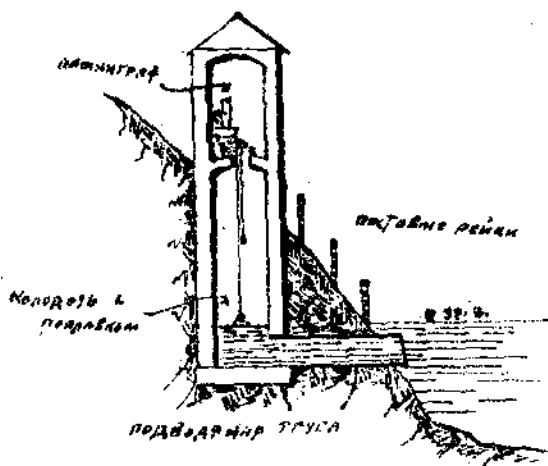


Рис. 98 Схема установки линейного графа.

сколько (10 или 100) раз и таким образом кривая колебания уровня вычерчивается в соответственно уменьшенном масштабе. Барабан, несущий бумагу делает один оборот в зависимости от часового механизма в неделю или месяц. Для установки таких приборов строятся специальные лимниграфные будки (рис. 98)

Детальное рассмотрение приборов этого класса мы опускаем потому, что применение их в обстановке изысканий слишком затруднительно и на практике почти не встречается. Постоянно работающие лимниграфы находятся в ведении и на попечении специальных Гидрометрических Учреждений, имеющих для их установки и надзора механиков-специалистов.

Расходы воды через водосливы Чиполетти (а=ширина отверстия).

Напор воды в тысячных саженях	Расходы воды Q в русс. сек.-литрах.			
	при а=10 сот.	при а=15 сот.	при а=30 сот.	при а=40 сот.
2,5	0,16	0,24	0,48	0,64
5,0	0,44	0,67	1,33	1,80
7,5	0,82	1,23	2,48	3,30
10,0	1,27	1,90	3,81	5,08
12,5	1,78	2,66	5,32	7,10
15,0	2,33	3,49	7,00	9,33
17,5	2,94	4,38	8,81	11,75
20,0	3,59	5,39	10,77	14,37
22,5	4,29	6,43	12,86	17,15
25,0	5,02	7,52	15,06	20,08
27,5	5,79	8,70	17,37	23,08
30,0	6,59	9,90	19,80	26,40
32,5	7,44	11,10	22,31	29,75
35,0		12,47	24,94	33,25
37,5		13,83	27,66	36,88
40,0		15,24	30,48	40,64
42,5		16,50	33,37	44,50
45,0		18,18	36,36	48,49
47,5		19,72	39,43	52,58
50,0		21,30	42,66	56,79
52,5			45,83	60,10
55,0			49,14	65,52
57,5			52,51	70,02
60,0			55,98	74,65
62,5			59,53	79,38
65,0			63,13	84,17
67,5			66,81	89,08
70,0			70,54	94,06
72,5			74,36	99,15
75,0			78,24	104,32
77,5			83,17	109,57
80,0			86,20	114,98
82,5			90,27	120,37
85,0			94,40	125,87
87,5			98,61	131,48
90,0			102,97	137,16
92,5			107,17	142,90
95,0			111,55	148,74
97,5			115,97	154,63
100,0			120,47	160,63

Учет речных наносов.

Воды потоков в естественном состоянии обычно насыщены в разной степени различными веществами. Некоторые вещества, как например соли, газы, кислоты находятся в воде в растворенном состоянии и могут быть обнаружены путем выпаривания определенного объема воды и затем взвешены на весах. Другая часть веществ состоит из твердых частиц нерастворяющихся или не успевших раствориться, вымываемых водою или попадающих в нее вместе с пылью из воздуха и проносится потоками в взвешенном состоянии. Поток транспортирующий эти вещества откладывает их по дну, берегам и у стенок искусственных сооружений или выносит через оросительную сеть на поля. В разнообразных гидротехнических работах приходится учитывать количество и качество таких веществ или наносов.

Правильный учет явления возможен тогда, когда известны условия возникновения и развития этого явления. Изучение условий передвижения мелких речных наносов приводят к заключению, что причиной этого явления служит взаимодействие между движущейся водою и частицами твердых веществ. Постоянные физические свойства всякой частицы—вес, форма и плотность. Скорость падения частицы вниз в какой-либо неподвижной среде будет зависеть от физических свойств частицы и таких же свойств среды. Сила тяжести, увлекающая частицу вниз встретит уравновешивающее сопротивление среды, падение будет равномерным с некоторою скоростью.

Скорость падения и вес частицы характеризуют взаимодействие между средой и частицей.

Вес частиц при падении будет выражать действующую силу, способную произвести какую-то работу и если в потоке обнаруживается масса всевозможных частиц в взвешенном состоянии, то очевидно потоку приходится затрачивать энергию, развивая работу взвешивания массы насыщающих его твердых тел. Величина этой работы равна работе свободного падения частиц, но направлена снизу вверх.

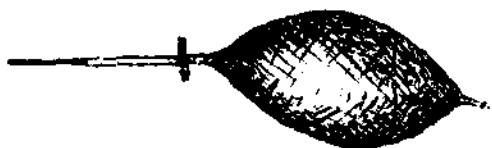
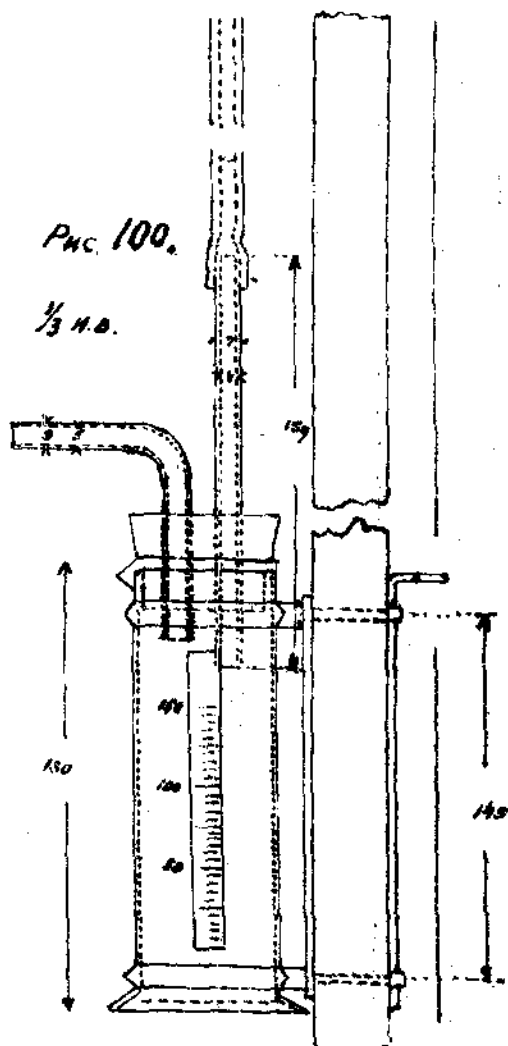
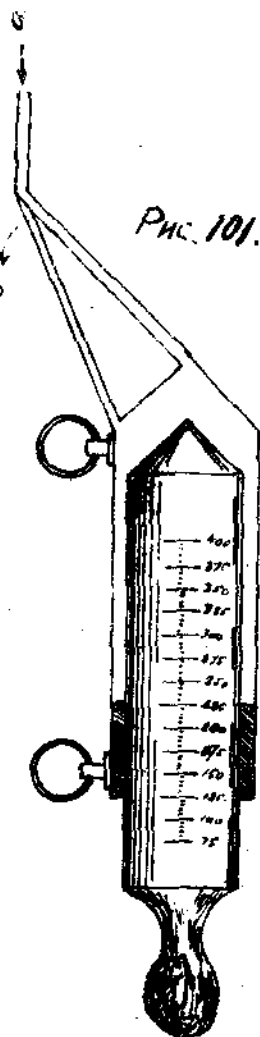
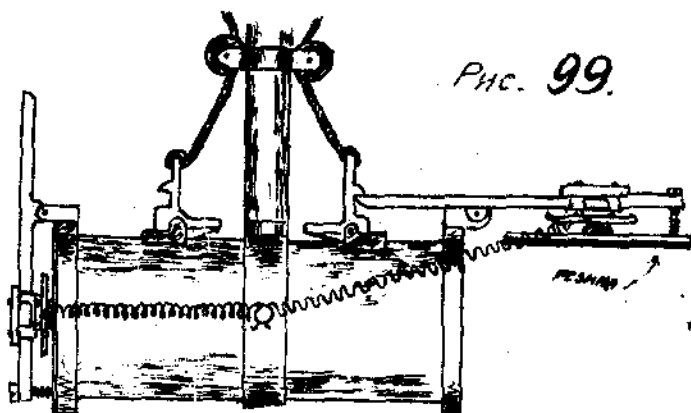


Рис. 102 Складной
Батометр-тахиметр
проф. Глушкова.

Таким образом установлено, что скорость соседания частиц наибольшей крупности вызывает равную ей вертикальную силу сопротивления воды и что эта вертикальная составляющая течения должна возникать периодически падая до нуля и развиваясь до некоторой предельной величины. Из тех же опытов следует, что на работу взвешивания поток тратит от 1 до 3% всей вырабатываемой им энергии при данном уклоне, это уменьшает среднюю скорость течения то же на 1—3%.

Непосредственно измерить скорость оседания частиц или величину вертикальной составляющей течения пока не представляется возможным за отсутствием соответствующих приборов, но путем лабораторного и математического анализа взятых проб воды с наносами можно определить крупность и скорость оседания частиц и сделать выводы о возможном распределении количества мути по глубине в связи со скоростями течения и таким образом дать огромной важности указания практикам на каких глубинах и какими приборами брать пробы воды для учета количества и качества наносов. На основании таких исследований выработаны два метода учета: весовой и объемный и рекомендованы приборы для взятия проб воды.

Приборы для набора проб воды батометры должны удовлетворять основному требованию: брать пробу с определенного места и не нарушать естественного характера течения. Батометр конструкции инженера Жуковского берет мгновенную пробу (рис. 99).

Он состоит из медного цилиндра с крышками; внутренние размеры цилиндра: диаметр 10 сант. высота 20 снт. Прибор опускается на требуемую глубину на градуированной штанге с открытыми крышками и при том так, что бы продольная ось прибора была параллельна течению; дергая за шнур освобождают рычаги крышек от удерживающих их собачек и до того растянутые пружины крышек быстро и плотно закупоривают цилиндр, взявший часть струи со всеми содержащимися наносами.

Батометры длительного наполнения берут пробу за некоторый промежуток времени, причем имея время наполнения и зная объем пробы можно вычислить скорость течения, более или менее точно. К этому классу приборов относятся:

Батометры с регулировкой объема; батометр-тахиметр проф. Глушкова.

Мензурка-батометр

Стеклянный градуированный на кубические сантиметры цилиндр плотно закупоренный резиновой пробкой через которую пропущены две стеклянные или металлические трубки. Одна из них изогнутая имеет постоянную установку, так, что конец ее внутри цилиндра приходится выше последнего наибольшего деления шкалы. Наружный конец трубки направлен навстречу течению. Внутренний диаметр этой забирающей воду трубки 5 мм. (рис. 100).

Назначение второй прямой трубки выводить воздух, вытесняемый поступающей в цилиндр водою. Эта трубка может быть установлена нижним концом на высоте того деления шкалы до которого желают набрать пробу воды. Как только цилиндр наполнится настолько, что конец выводящей трубки закроется водой, поступление ее через заборную трубку в цилиндр прекратится. Притоку воды будет препятствовать сжатый воздух в свободной верхней части цилиндра. Выводная трубка имеет внутренний диаметр в 4 мм. и оканчивается резиновой же трубкой достаточной длины для работы прибора на требуемой глубине погружения. Цилиндр опускается на штанге на которой крепится особой задвижкой проходящей чрез отростки обойм, охватывающих цилиндр; эти отростки пропускаются в отверстия на штанге.

Прибор приведенный на рисунке (рис. 101) относится к тому же типу батометров длительного наполнения, объем пробы регулируется пробкой с делениями. Носок (а) забирает воду, трубка с отверстием (в) служит для вывода воздуха.

Батометр-тахиметр проф. Г л у ш к о в а представляет собою резиновый складывающийся баллон емкостью около 900 куб. см. в баллон вделана трубка диаметром 6 мм. (рис. 102) и длиною 20 см. при малых скоростях работает 6 мм. трубка, при больших — вставляется трубка диаметром в 4 мм. Назначение батометра брать пробы и измерять скорость течения. По объему взятой пробы, времени наполнения баллона и соответствующих данных тарировки можно судить о скорости течения. По исследованиям Гидр. Отд. Крымских водных изысканий этот прибор на малых потоках по мере наполнения значительно нарушает естественное течение потока, а на бурных больших потоках при сильной пульсации струй дает малонадежные результаты потому что время наполнения ограничено полезным объемом баллона так

например: при малой трубке при $v = 0,75$ с/с.	$1,00$ с/с.	$1,80$ с/с.	$1,80$ с/с.
время $t =$	55"	40"	25"

при таких скоростях время для определения скорости с исключением влияния пульсации требуется от 2—6 мин. Автор указанных исследований по точности результатов работы этого прибора отводит ему место между трубками П и т о и вертушками.

Весовой учет.

Наиболее полные ответы на целый ряд вопросов по изучению условий движения и распределения наносов по живому сечению может дать весовой учет на основании проб воды взятых на нескольких точках каждой вертикали данного живого сечения. Если известен расход воды за какой-либо срок и среднее за тот же срок количество примесей в единице объема воды, то произведение из объема воды на относительное количество примесей дает абсолютное количество наносов, пронесенных рекою за этот период времени. Абсолютное содержание наносов в реке следует колебаниям расходов воды. Ливневые или весенние паводки смывая с берегов частицы породы увеличивают количество наносов, в периоды спада паводковых вод происходит сильное отложение наносов. Исследователь должен захватить все характерные колебания расхода воды и произвести возможно полный учет наносов, кроме того инструкция Гидрометрической Части в Туркестане (редакция 1914 г.) требует производить учет наносов летом не реже 2-х раз в месяц и зимою 1 раз в 2 месяца. Число вертикалей на которых берутся пробы зависит от ширины реки, характера русла и колебаний мутности. Обычно после полного (на каждой вертикали) учета намечают для постоянной работы те точки или вертикали на которых результаты учета дают более близкие величины к полному определению количества наносов. По той же инструкции для больших рек и неправильных русел наименьшее число вертикалей—пять, для малых рек и правильных русел—три. Кроме того берется по одной пробе у обоих берегов. На каждой вертикали пробы берутся на тех же точках, на которых измеряются скорости т. е. на 0,2; 0,6; 0,8; глубины от поверхности и у дна. На каждой точке тотчас же после набора пробы измеряется скорость вертушкой.

Количество воды в пробе не должно быть менее 500 куб. саж. (1½ боржомной бутылки) каждая проба сливается в отдельную бутылку, закупоривается, снабжается ярлыком с указанием: реки, поста,

года, месяца, числа, № полевой книжки для измерения расхода, № вертушки, глубина взятия пробы №№ бутылки (пробы). Партия таких проб с одною живого сечения отсылается в лабораторию возможно скорее при описи бутылок.

Лаборатория общепринятыми методами определяет количество мути в каждой пробе, выражая относительную мутность P_{Δ} в граммах на литр.

По этим данным подсчитывается расход наносов следующим порядком: относительную мутность пересчитывают в граммы на 0,0001 куб. с.

Расход воды через элементарную площадку центр тяжести которой совпадает с точкой, в которой взята проба и измерена скорость течения представит собою призму, имеющую высоту равной, измеренной скорости и основанием бесконечно малую площадку, которую мы примем равной единице, так, что:

$$q^{cu}/c = v \text{ л или } q = v.$$

Расход наносов P в граммах в секунду через ту же площадку будет равен произведению из расхода воды на относительную мутность

$$P_{гр./сек.} = \frac{P_{\Delta} q}{0.0001} = P_{\Delta} q \cdot 10000$$

или

$$P_{гр./сек.} = P_{\Delta} v \cdot 10000.$$

Вычислив расходы мути (P) для всех точек вертикали строят кривую распределения расходов мути на вертикали для этого (рис. 103) на оси ординат откладывают глубины, а по оси абсцисс соответствующие этим глубинам величины P . площадь полученной диаграммы выразит собою элементарный расход мути или наносов на вертикали P_t , а средний расход получается делением этой площади на глубину вертикали.

С некоторой небольшою ошибкой подсчет можно вести таким путем: строим кривую распределения относительной мутности на вертикали откладывая по оси ординат глубины, а по оси абсцисс P_{Δ} , (рис. 104) средняя мутность $P_{\Delta} \text{ ср.}$ получится делением площади диаграммы на глубину вертикали; умножая $P_{\Delta} \text{ ср.}$ на площадь скоростей (элементарный расход) этой вертикали получим расход мути P через данную вертикаль.

Для определения расхода наносов через живое сечение P_w строится кривая распределения наносов по живому сечению. Для этого, на чертеже (рис. 105) живого сечения, вверх от линии горизонта на

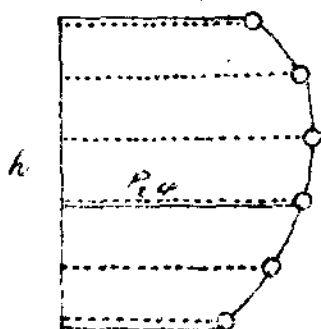


Рис. 103

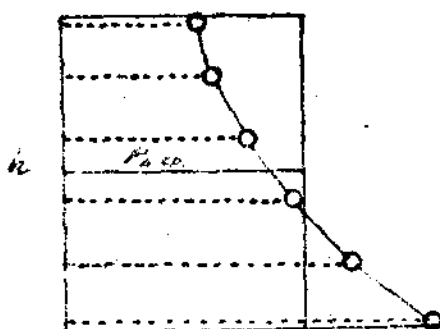


Рис. 104

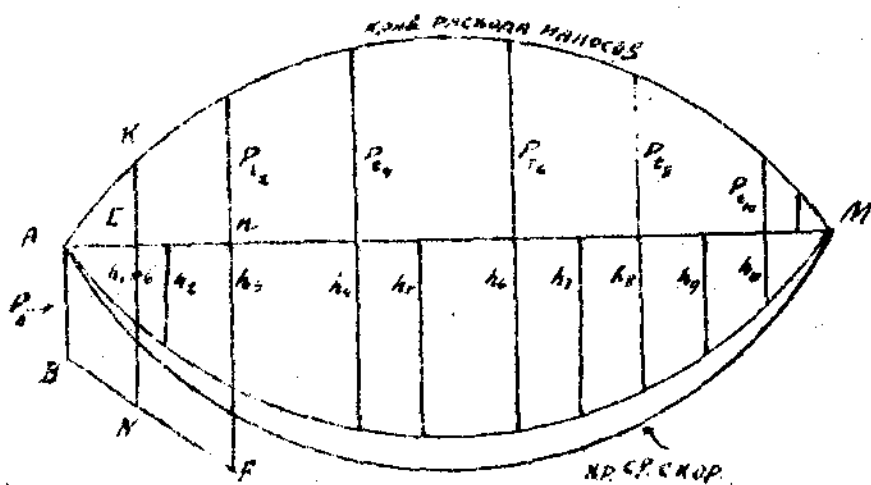


Рис. 105

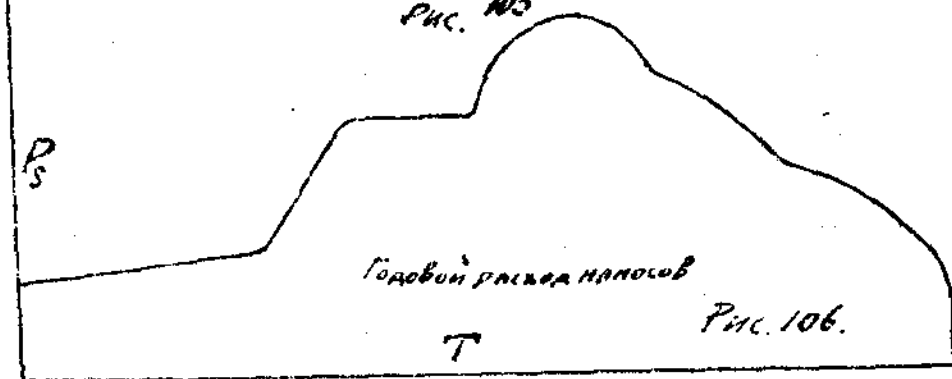


Рис. 106.

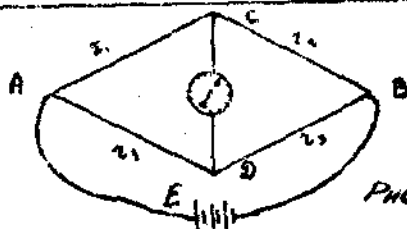


Рис. 108.

соответствующих вертикалях, в масштабе откладывают величины P_t через полученные точки проводится плавная кривая линия. Для концевых участков живого сечения P_t определяется так: от точки А откладывают вниз величины P_{Δ} (относит. мутность) полученные для пробы взятой у этого берега, затем от точки Д, вниз откладывается величина P_{Δ} ср. для вертикали Из полученные точки В и Е, соединяют прямой. Определяют центр тяжести концевой фигуры живого сечения (на чертеже точка в) линия EN от линии горизонта до линии ВЕ, проведенная через точку (в)—будет средней мутностью для этой вертикали. Элементарный расход наносов P через эту вертикаль получится из произведения площади скоростей этой вертикали на P_{Δ} или $P_t = P_{\Delta} \cdot V_{ср} \cdot h$ т. е. P_{Δ} полученное интерполяцией умножается на $V_{ср}$ и глубину вертикали; эта величина откладывается вверх и через точку К кривая смыкается с точкой А уреза.

В том же порядке определяется расход наносов через концевой участок другого берега. Площадь ограниченная кривой расхода наносов и линией уровня выразит расход наносов P_w через живое сечение в граммах в секунду Этот результат переводят в килограммы и тонны в секунду Если принять с заведомой ошибкой, полученный таким путем секунднй расход P_w за постоянный для данных суток, то суточный расход в тоннах будет равен:

$$P_s \text{ килгр./сек.} = P_w \text{ гр./сек.} : 1000$$

$$\text{и} \quad \frac{P_s \cdot 86400}{1000} = P_s \text{ тон/сутки}$$

Правильнее будет построить кривую зависимости расходов наносов от высоты уровня и затем интерполировать расходы для средней высоты уровня за сутки. В дальнейшем строят график расхода наносов, откладывая по оси абсцисс время T в сутках и по оси ординат соответствующие P_s . Площадь графика выразит годовой расход взвешенных наносов в тоннах (рис. 106).

Объемный учет.

Во всех случаях при весовом учете обязательно берутся ежедневные пробы в одной точке для объемного учета. Эта точка должна лежать на быстром проточном течении, свободном от местных загрязнений, обвалов и т. п. На основании опытов весового учета мутность близкая к действительной средней всего течения лежит на $1/5$ ширины реки и 0,6 глубины от поверхности в этой точке. Объемный

учет может дать приблизительные величины и применяется обычно для предварительных заключений о мутности реки.

Для набора ежедневной пробы годится один из любых приборов, берущий пробу объемом в 250 куб. сант. в том случае, когда кривой зависимости расходов, воды от показаний рейки нет или же исследуется проток с постоянным расходом, как например канал (в таком случае способ учета называют условно словом „канал“). Если же имеется кривая зависимости, то объем пробы назначается пропорциональным наличному расходу. На каждую кубическую сажень воды берется всегда одно и то же число куб. сант.(K). Величина K устанавливается такой чтобы в низкую воду объем пробы был равен 250 куб. сант. т. е. $K = \frac{250}{Q}$. Для наблюдателя составляется таблица величин объема пробы по показаниям рейки. Этот способ называется словом „река“.

Как при способе „канал“ так и при способе „река“ ежедневно собираемые пробы сливаются с каждого 1-го числа нового месяца в прокалиброванную бутыль предварительно прежде очень чисто вымытую, на дно которой нужно капнуть 12 капель формалина из присланного лабораторией пузырька-капельника. При заполнении бутылки берут следующую новую, 1-го же числа каждого месяца всегда начинают новую бутылку, хотя бы предыдущая была не наполнена.

Бутылки употребляемые для сливания проб, подготавливаются следующим образом. Из листа клетчатой соточной бумаги вырезаются две полоски, шириною в одну сотку и длиною во всю высоту бутылки, каждое сотое деление полосок нумеруется числами, начиная от нуля (0) и идя вверх. Такие полоски наклеиваются отвесно на бутылку с двух противоположных сторон, так чтобы нуль их совпадал с низом доньшка бутылки. После этого места десятой и двадцатой сотки отмечаются на стекле на случай отклейки полосок и необходимости их возобновления. Также отмечается на бутылке ее номер. Затем ставят бутылку на горизонтальную площадку и калибруют, или вымеряют емкость ее мензуркой: отмерив мензуркой 250 куб. сантиметров воды, следует вылить ее в бутылку и записать в особую калибровочную таблицу объем налитой воды и то деление бумажных шкал (в тысячных долях) до которого доходит при этом уровень воды. После этого доливают еще 250 кубических сантиметров, записывают объем и со-

ответствующие деления шкал и продолжают так через каждые 250 куб. сант. до наполнения бутыли.

Номер опыта, номер бутыли, время собирания пробы и объем собранной в бутыли массы воды записываются в журнал учета наносов, объем записывается двояко: 1) сумма записанных в полевой книжке объемов отдельных проб за все дни записывается в графу приблизительный объем пробы и 2) по графе «высота воды в бутыле» и по калибровочной таблице находится „точный объем пробы“.

Давши воде в бутыли отстояться до прозрачности приблизительно одну неделю, ее следует осторожно слить прочь (лучше с помощью сифона). Оставшийся в бутыли осадок или муть следует взболтнуть и перелить через воронку в отдельный для каждой бутыли мерный стакан (мензурку) с делениями через 1 куб. см., номер мензурки записывается в журнал против номера соответствующего опыта и номера бутыли. Остаток на стенках бутыли и воронки после этого тщательно всполаскивается слитой чистой водой из той же бутыли и выливается тоже в мензурку, которую прикрывают или закупоривают чистой пробкой. Отсчитав высоту стоящей в ней воды, записывают подсчет в журнал и ставят мензурку на целый месяц в спокойное место для отстаивания до окончательного уплотнения осадка, причем для более быстрого уплотнения осадка, мензурку по временам подвергают легкому встряхиванию.

По истечении месячного срока стояния мензурки производится отсчет объема полученного осадка с точностью до $1/2$ куб. см. а также отсчет высоты стояния воды, которые записываются в журнал в соответствующие графы.

После этого надлежит чистую воду сверху слить из мензурки прочь, а осадок (грязь) по возможности весь, осторожно вытрясти из мензурки на кусок чистой пергаментной бумаги, обращая особое внимание, чтобы в осадок не попало посторонней пыли. Обсохший осадок тщательно упаковывается и отсылается в Химическую Лабораторию, предварительно отметив на обертке пакетика название реки и поста, № опыта по журналу, время собирания пробы и объем осадка.

Относительное содержание наносов по объему в ‰ (мутность)

$$X = \frac{s}{q} \cdot 100, \text{ где } s \text{ — объем уплотнившегося осадка, а } q \text{ — объем воды в}$$

бутыли. Зная мутность соответствующую времени наполнения бутылки и расход воды за этот период можно вычислить объем пронесенных рекою наносов.

Растворенные в воде вещества.

Пробы воды должны браться ежедневно на участке реки свободном от местного случайного загрязнения или осветления, происходящего от впадения вблизи притока, от размыва или обвала берега, или от отстаивания воды в тихой заводи, следовательно, пробы воды должны браться в районе быстрого проточного течения вдали от берега и на некоторой глубине, где лучше происходит перемешивание всей массы воды.

Для взятия проб воды применяются следующие приборы и посуды:

а) Мензурка или градуированная склянка с приспособлениями для взятия определенного объема проб.

б) Воронки.

в) Хорошо вымытые и закупоренные бутылки с красным ярлыком и белым.

В бутылках с белым ярлыком налита дистиллированная вода (100 куб. см.) с хлороформом ($1\frac{1}{2}$ куб. см.) для предохранения проб от порчи: в бутылках с красным ярлыком дистиллированная вода (95 куб. см. слабой серной кислоты) для проб на окисляемость. Эту воду из бутылок выливать отнюдь не следует.

г) Бумажные фильтры для фильтрования проб воды. Объем ежедневных проб должен быть постоянный, равный 100 куб. см. Проба воды берется мензуркой или другим прибором, предварительно три раза вымытым водою на месте взятия пробы. Прибор устанавливается на 100 куб. см. и погружается на некоторую глубину в воду. Если получится излишек воды (больше 100 куб. см.) то она отливается, если получится менее 100 куб. см., то берется новая проба в 100 куб. см. Принеся воду с реки фильтруют ее через бумажный (каждый раз новый) фильтр в бутылку с белым ярлыком.

Каждая бутылка закупоривается лишь тогда, когда до нея дойдет очередь.

Каждый новый месяц (с 1-го числа) нужно начинать новую бутылку хотя бы последняя бутылка предыдущего месяца была еще не полной. Причем с первого октября каждого года нумерация бутылок начинается сначала, т. е. номера первого.

Бутылку открывать следует только на время фильтрования и по окончании его снова плотно закрывать пробкой; по наполнении бутылки тщательно закупориваются, присланными из лаборатории пробками, запечатываются сургучем и на приклеенном и привязанном ярлыке пишется номер бутылки, название реки и поста, год и месяц, время собирания проб и подпись наблюдателя.

Кроме того 1-го числа каждого месяца тем же способом берется специальная проба на окисляемость объемом в 500 куб. см. эта проба не фильтруется, а прямо вливается в бутылку с красным ярлыком. Бутылка закупоривается и запечатывается, как обыкновенно, а на ярлыке пишется название реки и поста, год и месяц взятия проб.

Бутылки с пробами воды до откупорки хранить по возможности в прохладном и темном месте, а для отправки их следует тщательно упаковать в ящик (желательно партиями за каждый месяц) и отослать по назначению.

Одновременно с пробами воды особым пакетом высылается опись положенных в ящик бутылок.

Помимо описанных выше регулярных проб воды, при рекогносцировочных исследованиях берутся отдельные пробы из рек, озер, ключей, колодцев и минеральных источников, если таковые почему нибудь интересны. Объем проб должен быть не менее 2-х боржомных бутылок. Эти пробы воды не фильтруя наливают в лабораторные бутылки с хлороформом *) (белый ярлык), запечатывают и надписывают на ярлыках название реки или источника, время взятия пробы и причину взятия (в примечании). Бутылки нумеруются по порядку.

Если на каком либо посту выйдет запас лабораторных бутылок, то собирание регулярных проб воды отнюдь не должно прерываться и пробы собираются в обыкновенные чистые бутылки, предварительно 3 раза всполоснутые той же водою; если выйдет запас фильтров, то пробы воды выливают в бутылки не фильтруя.

Учет проносимых рекою взвешенных и растворенных наносов иллюстрируется графиком (см. образец рис. 107) на котором показывается колебание количества (расхода) наносов в % по объему или по весу в тоннах в зависимости от способа по которому производился учет.

*) За неимением лабораторных бутылок употребляются обыкновенные чисто вымытые и всполоснутые такой же водою бутылки.

Таблица значений коэффициентов $K = \frac{V_{\text{ср.}}}{V_{\text{пов.}}}$ в зависимости от
средней глубины $h_{\text{ср.}} = \frac{F}{a}$ или R

h	K	h	K	h	K	h	K	h	K	h	K	h	K	h	K	h	K
0,050	0,576	0,130	0,678	0,200	0,716	0,270	0,742	0,340	0,757	0,410	0,769	0,480	0,779	0,550	0,780	0,620	0,781
55	568	135	682	205	718	275	743	345	758	415	769	485	780	555	781	625	782
60	599	140	685	10	720	280	745	350	759	420	770	490	781	560	782	630	783
65	607	145	688	215	723	285	746	355	760	425	771	495	782	565	783	635	784
70	615	150	692	220	725	290	747	360	761	430	772	500	783	570	784	640	785
75	622	155	695	225	727	295	748	365	762	435	772	505	784	575	785	645	786
80	629	160	698	230	729	0,300	750	370	762	440	773	510	785	580	786	650	787
85	635	165	0,700	235	731	305	751	375	763	445	774	515	786	585	787	655	788
90	641	170	703	240	732	310	752	380	764	450	774	520	787	590	788	660	789
95	646	175	705	245	734	315	753	385	765	455	775	525	789	595	790	665	791
0,100	651	180	708	250	736	320	754	390	766	460	776	530	790	600	791	670	792
15	665	185	710	255	738	325	755	395	766	465	776	540	791	605	792	675	793
20	669	190	712	260	739	330	756	0,400	767	470	777	545	792	610	793	680	794
25	674	195	714	265	741	335	757	405	768	475	778	550	793	615	794	685	795

ПРИМЕЧАНИЕ: h выражено в саженях.

В е л и ч и н а К в с л у ч а е .

Гидравлич. радиус в мет- рах	Гладкого це- мента или стро- ган. досок	Щереховатого цемента или тесан. камня или кирпича или нестроган. досок	Неправильной каменной клад- ки	Земляного русла
0,1	0,879	0,839	0,747	0,564
0,2	0,886	0,858	0,792	0,644
0,3	0,890	0,865	0,82	0,686
0,4	0,89	0,868	0,822	0,7
0,5	0,893	0,871	0,830	0,730
0,6	0,894	0,873	0,835	0,745
0,7	0,894	0,874	0,838	0,755
0,8	0,894	0,874	0,84	0,763
0,9	0,895	0,875	0,843	0,771
1,0	0,895	0,876	0,845	0,777
1,2	0,895	0,876	0,847	0,787
1,4	0,895	0,877	0,850	0,794

Заметка о туземных оросительных единицах

Кроме гидрометрии, как прикладной науки, имеющей во всех ирригационных странах свои измерительные единицы, обязательные и понятные как техникам, так и заинтересованному населению, у нас в Туркестане действует вместе с, так сказать, казенной ирригационной гидрометрией еще туземная оросительная гидрометрия. Измерительные единицы этой гидрометрии „кулак“ и „тегерман“ представляют собою величины, не имеющие такого точного значения, как секундо-фут или секундо-литр. „Тегерман“ (мельница) количество воды, приводящее в движение однопоставную туземную мельницу. Само собою понятно, что такая единица не постоянна, зависит от высоты падения воды, размера жернова, конструкции и исправности механизма и т. д. Тегерман приблизительно равен от 5 до 10 куб. фуг. в секунду.

Оставляя в стороне исследование о происхождении слова „кулак“ приведем его числовое значение как оросительной единицы *), имеющей для разных областей Туркестана различную величину. Так например, по Шефферу Таласский кулак (Аулиеатинский уезд Сыр-Дарьинской Обл.) может быть представлен или в виде водоема с количеством воды в 390 куб. саж. или в виде потока, доставляющего в течение суток такое же количество воды. Секундный „расход“ такого потока будет равен:

$$390 : 86400 = 0.0045 \text{ к. с/с.} = 1.543 \text{ кб. фуг./сек.}$$

По другим исследованиям кулаки:

Сыр-Дарьинский 1.480 к. ф./с. = 375 кб. сж/сутки

„ „ 1.300 „ „ „ — 328 „ „ „

Ташкентский 1.228 „ „ „ — 309 „ „ „

Хивинский 1.190 „ „ „ — 300 „ „ „

Аму-Дарьинский 1.134 „ „ „ — 286 „ „ „

Все расчеты поливов делаются по площадям поливаемых земель. Но на вопрос о количестве земли, подлежащей поливу, можно получить несколько ответов, в зависимости от того, в какой области будет задан вопрос и к какой национальности относится спрашиваемый.

Русский поселянин будет считать казенными десятинами в 2400 кв. саж., сарты считают по танапам. Танап—квадрат со сторонами в 20, 25 или 30 сж.

*) Данные заимствованы из доклада Турк. Отд. Русск. Тех. Общ. 12 Января 1911 г. Шеффером.

Обыкновенный танап — 400 кв. саж. — $\frac{1}{4}$ десятины.

Самаркандский „ — 625 „ „ — $\frac{1}{4}$ „

Аму-Дарьинский „ — 900 „ „ — $\frac{3}{8}$ „

Кочевники считают по весу высеваемых семян, причем вес выражают в „батманах“. Батман в разных местах имеет различную величину, отсюда — различные земельные единицы. Если принять в среднем, что на казенную десятину высевается 8 пуд. пшеницы, то можно перевести местные весовые значения „батманов“ в единицы площадей (десятины).

Принимая во внимание: 1) что для основательной поливки казенной десятины требуется (как показывает опыт) 130 кв. саж. воды или $\frac{1}{8}$ таласского кулака, и 2) местные весовые значения батмана, Шеффер приводит следующую таблицу.

Батман равняется:

В Ходженте 4 п. — $\frac{1}{2}$ дес. орошается $\frac{1}{6}$ кулака.

„ Маргелане и Коканде 5 „ — $\frac{2}{3}$ „ „ $\frac{2}{3}$ „

„ Самарканде и Джизаке 8 „ — 1 „ „ $\frac{1}{3}$ „

В Ташкенте и Чимкенте 11 п. — $1\frac{1}{2}$ „ „ $\frac{1}{2}$ „

„ Аулиеатинский у. . 12 „ — $1\frac{1}{2}$ „ „ $\frac{5}{8}$ „

„ Ура-Тюба и Заамине 16 „ — 2 „ „ $\frac{2}{3}$ „

Ограничивая заметку этими краткими сведениями из оросительной туземной гидрометрии, отсылаю интересующихся вообще вопросами оросительной практики к специальным трудам Гидромульной Части и Курсам Орошения.

Понятие о химическом методе измерения расхода потока.

Сущность этого метода заключается в том, что в речной поток вводится раствор какой либо соли, чаще всего поваренной, а затем ниже по течению берется проба воды и определяется содержание в ней введенной в поток соли.

Существует зависимость:

$$Q \cdot c = q \cdot C \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (I)$$

Q — искомый расход;

C — степень концентрации раствора соли;

q — расход в единицу времени раствора соли вводимого в поток;

c — степень концентрации раствора во взятой пробе.

В виду того, что речная вода, содержит некоторое количество поваренной соли формула (I) видоизменится так:

$$Q (c_1 - c_2) = q \cdot C$$

Отсюда

$$Q = q \frac{C}{c_1 - c_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (II)$$

Здесь

c_1 — содержание соли в пробе

c_2 — содержание соли в речной воде.

Определение расхода реки распадается на три операции: введение в реку раствора, взятие проб воды и определение концентраций.

Для успеха работы требуется, чтобы раствор выпускался в реку постоянным расходом. Это достигается помощью особого двойного сосуда, состоящего из бака где растворяется соль, отсюда раствор через водослив поступает во второй сосуд с выходным отверстием в реку. Водослив поддерживает напор над выходным отверстием на одном и том же уровне во все время работы, это делает расход раствора $\left(q \frac{\text{литр}}{\text{сек.}} \right)$ постоянным. Расход раствора регулируется краном на вы-

ходном отверстии. Моменты пуска раствора и остановка замечаются по секундомеру. Объем вытекшей жидкости (по первому сосуду) деленный на время дает секундный расход раствора. Во время операции выпуска раствора берется из бака проба для определения концентрации раствора $C_{\frac{\text{грам.}}{\text{литр.}}}$.

Точность определения расхода химическим методом в сильнейшей степени зависит от характера течения потока. Наиболее благоприятные условия на реках порожистых, бурных, где массы воды сильно перемешиваются и, следовательно, введенный раствор распределяется по всему сечению более или менее равномерно. На потоках с течением спокойным можно ожидать, что раствор пойдет на разных точках сечения различной концентрации. Отсюда следует, что набор проб для определения концентрации раствора необходимо принаравливать к характерным скоростям для данного сечения. В конечном итоге получается целая серия проб речной воды; для определения концентрации каждой пробы химическим методом требуется очень много времени. Поэтому определяют степень концентрации растворов в реке по электропроводности раствора.

Изменение электропроводности раствора соли разбавленного речной водой прямо пропорционально изменению концентрации соли. Следовательно, измеряя увеличение электропроводности подсоленной воды в реке, измеряют величину пропорциональную изменению концентрации соли.

Определение электропроводности делается при помощи приборов построенных на принципе измерения сопротивления мостиком Витстона.

Мост Витстона построен на основании теоремы о разветвлении токов. Схема моста представлена на рис. 108. От батареи Е идут проволоки разветвляющиеся в точках А и В так, что эти точки оказываются соединенными двумя проволоками АСВ и АDB. Две точки С и D этих проволок соединены проводником CD в который включен гальванометр, показывающий сопротивление в омах. Проводник CD в этой схеме будет мостом.

Сопротивление четырех ветвей АС, СВ, AD и DB, обозначим теми же буквами. Теория показывает, что сила тока в мосте равна нулю, тогда, когда сопротивления ветвей удовлетворяют условию:

$$\frac{AC}{CB} = \frac{AD}{DB}$$

При таком условии стрелка гальванометра будет держаться на нуле шкалы.

Разрежим одну из ветвей, например АС и разрезанные концы соединим проводниками с двумя медными, никелированными пластинками, поставленными параллельно, на некотором расстоянии друг от друга на изоляторе. Если опустить пластинки в поток, воды которого свободны от соляного раствора и подобрать сопротивление остальных трех ветвей моста такими, чтобы приведенное ранее условие сохранялось, то стрелка гальванометра будет снова на нуле. Когда же раствор соли, выпущенный в поток выше по течению придет к пластинкам и они очутятся в разбавленном растворе, то между пластинками будет жидкость способная проводить электрический ток лучше речной воды и следовательно сопротивление ветви АС моста изменится и величина этого изменения будет указана стрелкой прибора. Отсюда уже не трудно перейти к степени концентрации раствора.

В момент когда степень концентрации делается постоянной берут пробу воды для определения концентрации лабораторным химическим методом.

При химическом методе определения расходов необходимо определить расстояние места взятия проб от точки где производится выпуск раствора, а также время (продолжительность) выпуска, температуру речной воды и раствора. Это является важным потому, что раствор транспортируемый потоком мало по малу растягивается и рассасывается.

Так например в работах инженера Н. М. Бернадского у Верхневолжского бейшлота, определение концентрации в 2-х верстах от точки выпуска раствора, времени выпуска 46'55" дало расход потока с ошибкою в +9,3% против вертушечного определения расхода, а при увеличении времени выпуска до 90'6" на том же расстоянии расходимость равнялась +0,3%. При взятии проб в 4-х верстах и времени выпуска 22'30"—расходимость + 38,3%. На том же расстоянии и времени выпуска 55'16" расходимость + 11, 3%. Уменьшение расстояния менее 2-х верст показало ошибку около +13%. Приведенные результаты получены при выпуске с е м и пудов соли на 1 саж.³/сек. расхода потока.

Процент ошибки зависит также от конструкции приборов изме-

ряющих электропроводность и обстановки лабораторных работ по определению концентрации проб.

Необходимость иметь под руками лабораторию, хорошо подготовленный персонал, сложные приборы, значительные запасы соли, пару — другую вертушечных определений для контроля, делают этот метод малоприменимым в обстановке изысканий и пока единственным надежным прибором для определения расходов потоков остается вертушка.
