

11
551.5

T-99

1698

Музей естественной истории
Института Академии наук
С.-Петербург

✓

Пон

1698
PP-77

1698

1698

1698

7

у

557.5
Т-99

ПРИБОРЫ

ДЛЯ ОПРЕДѢЛЕНІЯ

СКОРОСТЕЙ И РАСХОДОВЪ ВОДЫ

въ

ОТКРЫТЫХЪ РУСЛАХЪ

(РЪКАХЪ И КАНАЛАХЪ).

1698

Императорскій
Институтъ в Кіевѣ

ср

проверено
1896 г.

Н. Д. ТЯПКИНЪ,

Инженеръ путей сообщенія, штатный преподаватель Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища
вѣдомства путей сообщенія.

Т Е К С Т Ъ.

М О С К В А.
Университетская типографія, Страстной бульваръ.
1901.

Печатано съ разрѣшенія Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища
вѣдомства путей сообщенія.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Опредѣленіе скоростей теченія и расходовъ воды въ открытыхъ руслахъ (рѣкахъ и каналахъ); распредѣленіе скоростей по вертикальному и горизонтальному направленіямъ; опредѣленіе поверхностнаго уклона потока; зависимость расходовъ, скоростей, уклоновъ и площадей живого сѣченія какъ между собою, такъ и отъ состоянія горизонтовъ воды; выборъ наиболѣе цѣлесообразнаго, изъ числа употребляемыхъ въ послѣднее время, прибора для измѣренія скоростей; сравненіе между собою наиболѣе заслуживающихъ довѣрія эмпирическихъ формулъ для опредѣленія средней скорости теченія, и выборъ наилучшей изъ нихъ; выясненіе точности работъ по опредѣленію живого сѣченія, скоростей и уклоновъ;—все это—весьма важные вопросы гидротехники, съ правильнымъ рѣшеніемъ которыхъ связаны почти все вѣ встрѣчающіяся въ практикѣ гидротехническія работы.

При рѣшеніи поименованныхъ вопросовъ примѣняется обыкновенно способъ, основанный исключительно на непосредственныхъ измѣреніяхъ, результаты которыхъ представляются подъ видомъ эмпирическихъ формулъ; пользуясь затѣмъ этими формулами и имѣя нѣкоторыя опредѣленные практическія данныя, техникъ можетъ приступить уже къ рѣшенію задачъ, связанныхъ съ предположенными гидротехническими работами. Такимъ образомъ, расчеты гидротехническихъ сооружений могутъ быть основаны только на результатахъ опыта. Сами же результаты будутъ внушать къ себѣ довѣріе только въ томъ случаѣ, если приемы измѣреній основаны на правильныхъ началахъ и работа производится при помощи надежныхъ приборовъ, точность которыхъ вполнѣ извѣстна. обстоятельные и систематическіе труды въ этомъ направленіи пражскаго профессора *Harlacher*'а [39] заслуживаютъ особеннаго вниманія. Подобнаго рода научныя изслѣдованія, безъ сомнѣнія, способствуютъ точному выясненію дѣйствительныхъ законовъ теченія рѣкъ и приближаютъ насъ къ рациональному рѣшенію поставленныхъ задачъ, какъ это было сдѣлано напр. для р. Эльбы [8].

Полное отсутствіе въ русской литературѣ собранныхъ вмѣстѣ систематическихъ свѣдѣній о гидрометрическихъ приборахъ, а также отсутствіе указаній объ успѣхахъ, достигнутыхъ за послѣднее время по одному изъ отдѣловъ рѣчной гидравлики — гидрометрии, побудило насъ заняться изученіемъ относящейся сюда литературы въ видѣ статей въ періодическихъ изданіяхъ и отдѣльныхъ сочиненій. По нѣкоторымъ изъ перечисленныхъ въ началѣ предисловія вопросамъ въ иностранной литературѣ имѣются собранныя свѣдѣнія въ краткомъ изложеніи и главнымъ образомъ описательнаго характера [35; 12; 7; 47]. Критическаго разбора, сравненія и выбора приборовъ для измѣренія скоростей, а также способовъ опредѣленія расходовъ воды въ потокахъ нѣтъ не только въ нашей, но даже и въ иностранной литературѣ. Между тѣмъ, неудачное примѣненіе прибора для измѣренія скорости, формулы средней скорости, способа опредѣленія расхода воды и т. п. легко можетъ повлечь за собой весьма значительныя неточности въ результатѣ. Для избѣжанія такихъ нежелательныхъ послѣдствій тѣхъ или другихъ гидрометрическихъ изслѣдованій крайне необходимо предварительно разобратся въ предлагаемомъ матеріалѣ и выбрать для примѣненія наиболѣе совершенныя приборы и методы наблюденій.

Цѣль настоящаго труда — по возможности удовлетворить этому назрѣвшему требованію и облегчить, насколько возможно, ознакомленіе съ литературой затронутаго предмета. Считаемо это своевременнымъ и особенно важнымъ именно въ данное время, когда имѣются въ виду дополнителныя и новыя оборудованія нашихъ существующихъ и предположенныхъ къ устройству гидрометрическихъ станцій на рѣкахъ.

Въ виду того, что эта книга предназначена главнымъ образомъ какъ пособіе для студентовъ Училища, нѣкоторые отдѣлы написаны довольно подробно, что конечно для лицъ, достаточно знакомыхъ съ разсматриваемымъ вопросомъ, будетъ излишнимъ, но имѣющіеся заголовки каждаго параграфа даютъ возможность легко найти требуемое.

Сравнительно большое число опубликованныхъ и разработанныхъ наблюденій, — подробныхъ описаній работъ и инструментовъ — помѣщено преимущественно въ иностранной литературѣ. Источники, послужившіе матеріаломъ нѣкоторыхъ отдѣловъ этой статьи, а также цифровыми данными для нашихъ выводовъ и заключеній, равно какъ и для составленныхъ нами таблицъ и графиковъ, указаны въ соответственныхъ мѣстахъ текста и примѣчаній въ концѣ книжки. Все, что было до сихъ поръ издано въ Россіи относительно гидрометрическихъ приборовъ и работъ не прошло безъ достаточнаго нашего ознакомленія. Наиболѣе значительныя работы суть слѣдующія.

I. Данныя, добытыя описными партіями Министерства путей сообщенія при изслѣдованіи русскихъ рѣкъ: Ангары, Волхова, Сѣв. Двины,

Зап. Двины, Днѣпра, Дона, Камы, Оки и Суры—изданы Министерствомъ путей сообщенія атласы плана и продольнаго профиля перечисленныхъ рѣкъ съ краткими описаніями способовъ производства гидрометрическихъ работъ.

II. Результаты наблюденій, полученные:

1. На Самарской гидрометрической станціи р. Волги — изданы М-вомъ П. С. подъ редакціей *Н. П. Коломійцева*.
2. На нѣсколькихъ гидрометрическихъ станціяхъ р. Волги—книга проф. *Н. А. Богуславскаго*. „Волга—какъ путь сообщенія“.
3. На рр. Сѣверной Двинѣ и Вагѣ — статья инженера *Юстуса* въ *Ж. М. П. С.*
4. На рр. Сухонѣ и Малой Сѣв. Двинѣ — статья инженера *Гнусина* въ *Ж. М. П. С.*
5. На рр. Днѣпрѣ и Деснѣ — отдѣльныя статьи *Н. С. Лелявскаго* и въ „трудахъ 1-го и 2-го съѣздовъ русскихъ дѣятелей по воднымъ путямъ“.

При этомъ считаемъ необходимымъ указать на работу, почти аналогичную нашей, а именно статью инженера *Д. Д. Гнусина* [94 и 95] помѣщенную въ журналѣ М-ва путей сообщенія. Къ сожалѣнію, съ этой статьей пришлось ознакомиться только тогда, когда уже наша работа была вчернѣ готова и въ программу ея уже были введены нѣкоторые §§, рассмотрѣнные также инженеромъ *Гнусинымъ*. Надо только замѣтить, что предлагаемый трудъ отличается въ очень многомъ отъ работы *Д. Д. Гнусина*, напечатанной 20 лѣтъ тому назадъ, какъ по содержанію, такъ и по заключеніямъ по одному и тому же вопросу; нашъ трудъ обнимаетъ какъ новѣйшія гидрометрическія работы и приборы, такъ и болѣе раннія изслѣдованія. Кромѣ того, для пополненія сего труда и для ознакомленія желающихъ, помѣщено описаніе всѣхъ гидрометровъ русскихъ изобрѣтателей съ сравнительной оцѣнкой этихъ приборовъ, а также описаніе автоматическихъ промѣрныхъ аппаратовъ.

Вотъ вкратцѣ содержаніе этой работы:

Введеніе. Условія, опредѣленія и элементы движенія воды въ открытыхъ руслахъ.

Глава I. Выборъ участка и профиля для измѣренія скорости. Опредѣленіе площади живого сѣченія.

Глава II. Способы производства промѣровъ и приборы, для сего употребляемые.

Глава III. Описаніе приборовъ, служащихъ для измѣренія скорости теченія воды.

Глава IV. Описаніе гидрометровъ русскихъ изобрѣтателей.

Глава V. Способы производства самихъ наблюденій при измѣреніи скоростей вышеописанными приборами.

- Глава VI. Способы тарирования гидрометрических приборовъ.
Глава VII. Новѣйшая формула проф. *Schmidt'a* для вертушекъ.
Глава VIII. Объ ошибкахъ въ опредѣленіи скоростей при измѣ-
реніи ихъ гидрометрическими приборами.
Глава IX. Сравнительныя достоинства наиболѣе употребляемыхъ
гидрометровъ и выборъ лучшаго изъ нихъ.
Глава X. Описаніе и сравненіе способовъ опредѣленія расходовъ
воды въ открытыхъ руслахъ.

Приложенія.

1. Краткія свѣдѣнія изъ теоріи вѣроятностей для подсчета оши-
бокъ при измѣреніяхъ приборами и при вычисленіяхъ.
2. Формы таблицъ и записей при измѣреніяхъ скоростей и опре-
дѣленіи расходовъ воды въ потокахъ.

Въ заключеніе же мы выполняемъ нашъ пріятный долгъ, свидѣ-
тельствуя нашу искреннюю признательность глубокоуважаемому нашему
профессору, нынѣ директору Императорскаго Московскаго Инженернаго
Училища, *Ф. Е. Максименко*, содѣйствовавшему нашему труду своими
указаніями.

Наконецъ, слѣдуетъ обратить вниманіе на нѣкоторую особенность
этой книжки,—примѣчанія и названія источниковъ вынесены въ конецъ
ея. При этомъ, въ примѣчаніяхъ, сгруппированныхъ по главамъ, помѣ-
щены нѣкоторыя дополненія и разъясненія, не введенныя въ текстъ,
чтобы не затемнять существеннаго; указаніе литературы, во избѣжаніе
частаго повторенія одного и того-же заглавія книги или статьи, выдѣ-
лено въ особый перечень. Ссылки на примѣчанія и литературу обо-
значены въ текстѣ цифрами, заключенными въ скобки, а именно:
[25, 10—15]—ссылка на литературу. Первое слѣва число (жирнымъ
шрифтомъ) указываетъ №, подъ которымъ въ перечнѣ при-
ведено названіе источника; числа справа (мелкими циф-
рами) означаютъ страницы его.

¹⁵⁾ — ссылка на № примѣчанія соответственной главы.

В В Е Д Е Н І Е.

Въ этой работѣ будутъ разсматриваться только большіе русла (рѣки и каналы); малые же русла, а именно: заводскіе и водопроводные каналы, ручьи, рѣчки и т. п., какъ требующіе иныхъ способовъ наблюденія, оставлены безъ разсмотрѣнія.

Предварительно припомнимъ главныя, даваемая гидравликой [113; 96; 134] условія, опредѣленія и элементы движенія воды въ открытыхъ руслахъ.

Паденіемъ (абсолютнымъ) h рѣки наз. разность высотъ двухъ точекъ продольнаго профиля потока; отношеніе этой разности высотъ къ горизонтальному разстоянію l разсматриваемыхъ точекъ, т. е. $\frac{h}{l}$ наз. относительнымъ паденіемъ, паденіемъ на единицу длины или поверхностнымъ продольнымъ уклономъ потока; если α —уголъ, составляемый поверхностью воды съ горизонтомъ, то $\frac{h}{l} = \operatorname{tg} \alpha = J$. Продольный профиль рѣчного потока представляетъ собою нѣкоторую ломанную линію или кривую, наклоненіе коей къ горизонту обыкновенно уменьшается отъ верховьевъ къ устью рѣки и опредѣляется для какой-либо точки угломъ, составляемымъ съ нимъ касательной къ этой кривой въ разсматриваемой точкѣ. *При перемѣнѣ горизонта* воды поверхностный уклонъ потока въ одномъ и томъ же мѣстѣ обыкновенно *измѣняется* и притомъ весьма разнообразно для разныхъ участковъ одной и той же рѣки; законы, которымъ подчиняется это измѣненіе, еще не подмѣчены.

Уклонъ дна вообще отличается отъ поверхностнаго уклона потока: при правильномъ и прямолинейномъ участкѣ русла съ одинаковымъ поперечнымъ сѣченіемъ поверхность воды можетъ быть принята параллельною дну канала и тогда къ данному участку могутъ быть примѣнены формулы гидравлики для равномернаго движенія воды въ открытыхъ руслахъ; въ противномъ случаѣ движеніе воды будетъ неравномерное, или однообразное. При этомъ необходимо замѣтить, что (Табл. I,

Фиг. 1) двигательная сила потока, равная $M. g. S \sin \alpha$ зависит только от угла α наклона поверхности воды къ горизонту и совершенно не зависит отъ угла α_1 наклона дна [134, 125—126]. Только въ каналахъ (руслахъ) правильной формы, имѣющихъ по всему протяженію одинаковый уклонъ и одинаковое поперечное сѣченіе, двигательная сила потока равна сопротивленію русла и устанавливается равномерное движеніе.

Средняя скорость воды въ какомъ либо живомъ сѣченіи рѣчного потока можетъ быть разсматриваема какъ функція дѣйствительныхъ скоростей отдѣльныхъ струй и площади живого сѣченія:

$$V_m = \frac{\Sigma. \omega. v}{\Omega},$$

гдѣ v — скорости отдѣльныхъ струй, ω — части площади живого сѣченія, имѣ соотвѣтствующія; Ω — общая площадь живого сѣченія.

Вообще же, скорости въ каждомъ живомъ сѣченіи потока, вслѣдствіе оказываемаго русломъ сопротивленія движенію воды, измѣняются въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіяхъ по нѣкоторымъ кривымъ, увеличиваясь отъ подводнаго периметра русла внутрь потока до динамической оси его, гдѣ имѣютъ наибольшую величину.

Расходомъ воды Q — наз. объемъ воды, протекающей въ одну секунду чрезъ данное поперечное сѣченіе рѣки Ω ; онъ зависитъ: отъ величины и формы площади живого сѣченія, отъ средней скорости V_m воды въ этомъ сѣченіи, а слѣдовательно отъ h — высоты воды, J — поверхностнаго уклона потока передъ (по теченію) сѣченіемъ и отъ степени шероховатости русла.

Обыкновенно, при опредѣленіи расхода воды въ открытыхъ руслахъ избираютъ такіе участки ихъ, чтобы возможно было примѣненіе условій равномернаго движенія, для котораго [113] направленіе скорости отдѣльныхъ водяныхъ струй будетъ перпендикулярно къ площади поперечнаго сѣченія, и тогда $Q = \Omega. V_m$.

Слѣдовательно, для опредѣленія Q необходимо имѣть уже извѣстными величины Ω и V_m .

Расходъ воды въ открытомъ руслѣ обыкновенно опредѣляется помощью вычисленія или измѣренія. Хотя путь вычисленія короче и проще измѣренія, но послѣдній слѣдуетъ предпочитать первому въ виду значительно большей его точности.

а. Способы измѣренія.

1. Расходъ воды *малыхъ* потоковъ — фабричныхъ каналовъ, желобовъ, трубопроводовъ и т. п. — можетъ быть измѣренъ непосредственно; для этого нужно только направить воду въ

измѣрительный сосудъ того или иного устройства и объемъ помѣщающейся въ немъ воды раздѣлить на время t (въ секундахъ), нужное для еѳо наполненія; или же, если это возможно, пропустить воду потока чрезъ обыкновенно употребляемый при водопроводахъ водомѣръ.

2. Для *ручьевъ и рѣкъ* подобный способъ непосредственнаго измѣренія почти нигдѣ не можетъ быть примѣняемъ. Въ этомъ случаѣ способъ измѣренія состоитъ въ томъ, что помощью особыхъ инструментовъ опредѣляютъ въ избранномъ поперечномъ сѣченіи скорости отдѣльныхъ водяныхъ струй или среднія скорости цѣлаго ряда струй одной вертикали и затѣмъ по площади этого живого сѣченія и по полученнымъ скоростямъ вычисляется расходъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ оказывается удобнымъ для опредѣленія расхода небольшихъ рѣчекъ и каналовъ *примѣненіе термометровъ*. Идею употребленія термометровъ для измѣренія скоростей принадлежитъ физику *Leslie* [9, 266 — 267], а затѣмъ многими инженерами рекомендуется для приложенія на практикѣ. Такъ, инженеръ *Ritter* [55; 125; 32, 31] находитъ, что этотъ способъ оказывается особенно полезенъ, когда трудно опредѣлить отдѣльные расходы двухъ сливающихся рѣчекъ, между тѣмъ какъ расходъ потока составившагося изъ соединенія этихъ двухъ рѣчекъ можетъ быть опредѣленъ безъ затрудненій, что бываетъ часто при изслѣдованіи горныхъ рѣчекъ. Разность температуръ воды обѣихъ сливающихся рѣчекъ—непремѣнное условіе примѣненія этого способа; измѣреніе температуры должно конечно производиться одновременно и вблизи мѣста слиянія двухъ потоковъ. Для точности, какъ то дѣлалъ *Ritter*, можно взять термометръ съ небольшимъ шарикомъ, раздѣленный на пятыя доли шкалы Цельсія; при этомъ черточки шкалы удалены одна отъ другой на длину 1м/м и потому еще глазомъ можно опредѣлять 0,05 градуса. Обозначивъ:

для одной рѣчки расходъ воды Q_1 и температуру ея t_1
 „ другой „ „ „ Q_2 „ „ „ t_2
 „ общаго потока „ „ Q „ „ „ t ,

будемъ имѣть:

$$Q_1 t_1 + Q_2 t_2 = Q \cdot t = (Q_1 + Q_2) \cdot t.$$

Отсюда, зная Q , t , t_1 , t_2 , легко опредѣлить Q_1 и Q_2 , а именно:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{t_2 - t}{t - t_1}.$$

Опыты, произведенные инженеромъ *Ritter*'омъ, показали, что разниа между величинами, полученными по этому способу и полученными непосредственнымъ измѣреніемъ не превосходила 6⁰/₀.

в. Способы вычисления.

1. При *малых* руслах расходъ вычисляется прямо по формуламъ гидравлики для разныхъ случаевъ истечения, какъ ~~выс~~ черезъ отверстия въ боковой стѣнкѣ или черезъ водосливы.
2. При *большихъ* руслахъ расходъ опредѣляется:
 - а. при извѣстныхъ—поперечномъ профилѣ Ω и ~~поверхностномъ~~ уклонѣ J —вычисленіемъ по выбранной эмпирической формулѣ средней скорости V_m (случай ~~разнообразнаго~~ движения воды) и затѣмъ умноженіемъ V_m на ~~площадь~~ Ω .
 - б. При извѣстныхъ поперечныхъ профиляхъ и ~~поверхностныхъ~~ уклонахъ безъ вычисленія скорости—случай ~~нормального~~ движения воды.

Результатъ этихъ вычисленій зависитъ прежде всего отъ ~~точности~~ измѣренія, т. е. отъ точной съемки поперечнаго профиля, ~~поверхнаго~~ периметра и поверхностнаго уклона по оси теченія, а также отъ выбора эмпирической формулы для вычисленія скорости.

Обыкновенно среднюю скорость въ разсматриваемомъ ~~живомъ~~ сѣченіи опредѣляютъ непосредственными измѣреніями. Въ предлагаемомъ трудѣ разсматриваются способы опредѣленія расхода воды въ открытыхъ руслахъ лишь при непосредственномъ измѣреніи скоростей и площадей живого сѣченія.

Приводимъ принятыя нижеслѣдующія общія обозначенія:

Ω , ω —площади; Ω —площадь живого сѣченія;

p —смачиваемый периметръ;

B —ширина русла по урѣзу воды;

J —поверхностный уклонъ потока (относительное паденіе);

R —гидравлическій радіусъ $= \frac{\Omega}{p}$;

h —средняя гидравлическая глубина $= \frac{\Omega}{B}$;

Q , q —расходы воды въ секунду; Q —расходъ всего живого сѣченія;

v —скорость вообще;

V_0 —наибольшая скорость у поверхности горизонта воды;

v_0 —скорость у (на) поверхности вообще;

V_m —средняя скорость всего сѣченія;

$V_{m,h}$ —средняя скорость вертикали;

$v_{0,h}$ —скорость на поверхности каждой вертикали;

$v_{x,h}$ —скорость на опредѣленной глубинѣ x вертикали, считая отъ уровня воды;

v_h —скорость по дну;

$v_{h,h}$ —скорость по дну на той же вертикали.

13

Г Л А В А I.

Выборъ участка рѣки и профиля для измѣреній скорости. — Измѣреніе элементовъ живого сѣченія. — Необходимость наблюденій состоянія горизонта воды. — Рабочій и условный горизонты уровня воды. — Вычерчиваніе и опредѣленіе площади живого сѣченія.

[12, 77—78, 159—160; 31, 266—279; 35, 126—131; 36; 37; 39, 32; 52, 3—5; 86, 718—720; 91 (129), 68—74; 94, 159; 137, 29—43].

§ 1. Въ общихъ случаяхъ изслѣдованія рѣкъ измѣреніе расходовъ важно производить въ сѣченіяхъ, наиболѣе характерныхъ; поэтому оно всегда должно исполняться: а) выше и ниже притоковъ, измѣняющихъ условія теченія вслѣдствіе прибавленія новыхъ количествъ воды; б) въ мѣстахъ значительнаго измѣненія рѣчного ложа или уклона. Въ другихъ случаяхъ выборъ мѣста зависитъ отъ условій устройства тѣхъ или иныхъ сооружений, какъ напр., мостовъ, плотинъ, выправительныхъ дамбъ и т. п. Выборъ профилей долженъ быть сдѣланъ съ большою тщательностью.

Выборъ участка рѣки и профиля для измѣреній скорости.

Примѣненіе нижеуказываемыхъ способовъ измѣренія и вычисленія среднихъ скоростей даетъ результаты наиболѣе согласные съ дѣйствительностью, когда теченіе воды на избранномъ участкѣ совершается возможно правильно, въ цѣлой массѣ, а не отдѣльными струями, при чемъ существуетъ постепенный переходъ отъ одной скорости къ другой, т. е. нѣтъ большой разницы между величинами скоростей сосѣднихъ струй. Для этого, кромѣ вышеуказаннаго, необходимо соблюденіе еще слѣдующихъ условій:

1. Участки рѣки, гдѣ будутъ производиться наблюденія, должны избираться прямолинейные на возможно бѣльшей длинѣ, безъ раздѣленія теченія на нѣсколько отдѣльныхъ рукавовъ.
2. Форма послѣдовательныхъ поперечныхъ профилей избраннаго участка должна быть одинаковой, безъ рѣзкихъ измѣненій глубинъ, а слѣдовательно не должно быть мелей, пороговъ или

- отдѣльныхъ камней, дающихъ начало водоворотамъ и разнымъ неправильностямъ теченія; по этой же причинѣ мѣсто наблюдений не слѣдуетъ располагать на перекатѣ.
3. Слѣдуетъ избѣгать выбора профилей *слишкомъ глубокихъ* — въ интересахъ удобства и облегченія наблюдений и избѣжанія вполне возможныхъ неправильностей теченія въ глубокихъ плесахъ.
 4. Необходимо также избѣгать профилей *слишкомъ мелкихъ* (занесенныхъ уже или заносимыхъ) — потому что въ этомъ случаѣ отражается чувствительно на теченіи даже очень малая неправильность дна, мѣстныя его повышенія или пониженія.
 5. Не слѣдуетъ выбирать поперечныхъ сѣченій, въ мѣстахъ, гдѣ русло *значительно суживается или слишкомъ расширяется* какъ напр. у мостовъ, вслѣдствіе существованія водоворотныхъ движеній воды.
 6. При измѣреніяхъ во время половодья слѣдуетъ, по возможности (а при всякомъ другомъ состояніи рѣки безусловно), избѣгать участковъ, гдѣ *рѣка выходитъ изъ береговъ*. Если этого сдѣлать по тѣмъ или инымъ причинамъ нельзя, но все-таки имѣется возможность выбора, то необходимо выбирать такой участокъ, гдѣ движеніе воды въ боковыхъ, болѣе мелкихъ частяхъ того же поперечнаго профиля, имѣло то же направленіе, что и въ главномъ, глубокомъ руслѣ. Въ противномъ случаѣ, особенно при очень волнистой поверхности земли, никакихъ хорошихъ результатовъ достигъ нельзя.
 7. Съ другой стороны не слѣдуетъ для измѣреній выбирать мѣста рѣки *очень суженныя*, но въ изгибахъ, хотя и съ *незатопляемыми берегами*, какъ напр. проф. PR., а тѣмъ болѣе проф. MN. (Табл. I; фиг. 2, 3, 4 и 5), ибо легко можетъ повториться явленіе, подобное бывшему на р. Loire [31, 269; 12, 159—160] между Pertuiset и Saint-Just во время половодья. Поверхность воды въ разсматриваемомъ случаѣ имѣла выпуклую форму въ поперечномъ сѣченіи и волнистый продольный профиль; при чемъ въ поперечномъ профилѣ на оси горизонтъ воды былъ на 2,40 м. выше, чѣмъ у береговъ, а высота волнъ въ продольномъ профилѣ по оси доходила до 2,50 м.

Практика указываетъ, что найти на рѣкѣ участокъ, удовлетворяющій одновременно всѣмъ вышеперечисленнымъ условіямъ, очень трудно. Въ общемъ случаѣ изслѣдованія рѣкъ слѣдуетъ отыскивать мѣсто, удовлетворяющее по крайней мѣрѣ первымъ двумъ условіямъ. При устройствѣ же на рѣкѣ постоянной гидрометрической станціи должны

быть приняты во вниманіе, по возможности, все пункты и кроме того еще слѣдующіе:

1. Уклонъ избраннаго участка долженъ, по возможности, соответствовать среднему уклону рѣки и не представлять рѣзкихъ измѣненій.
2. Если требуется также измѣрять годовое количество водъ, проходящихъ чрезъ избранный профиль, то необходимо, чтобы этотъ профиль находился въ незатопляемыхъ берегахъ и имѣлась возможность измѣренія расхода при всякомъ горизонтѣ.
3. Избранное мѣсто должно быть, по возможности, защищено отъ слишкомъ сильнаго вліянія вѣтра на подъемъ воды или ея стгонъ къ низу и на подъемъ со дна наносовъ.

§ 2. Длина избираемаго участка опредѣляется на основаніи слѣдующихъ соображеній. Выше и ниже избраннаго для наблюденія профиля, на длину отъ 1 до 3 верстъ, смотря по ширинѣ рѣки, не должно быть мелей, крутыхъ поворотовъ и т. п., дабы избѣжать раздѣленія струй, измѣненія ихъ направленій и различныхъ неправильностей теченія.

Необходима
длина
участка.

Такъ, при ширинѣ рѣки ≤ 100 саж. берется 1 верста, при ширинѣ 100—200 саж.—двѣ версты, при 300 саж. и болѣе—три версты.

Выборъ этой длины долженъ удовлетворять еще тому главному условію, чтобы соответствующее ему паденіе, а также измѣненія этого послѣдняго были величинами измѣряемыми.

При опредѣленіи расхода рѣки для даннаго поперечнаго сѣченія нерѣдко довольствуются какъ *minimum* оми, если промѣряемые предъ наблюденіемъ скоростей еще два профиля (одинъ выше, другой ниже по теченію) отстоятъ каждый отъ измѣряемаго на длину, равную одной полной ширинѣ рѣки или по крайней мѣрѣ 50 саж., 50 метр.; такимъ образомъ, длина участка опредѣлится въ двойную ширину рѣки и самое наименьшее въ 100 саж., 100 метр.

§ 3. Все избранное протяженіе рѣки снимаютъ въ масштабѣ 25 саж. въ 0,01 саж., если меженняя ширина рѣки не болѣе 100 саж., и въ масштабѣ 50 саж. въ 0,01 саж., если эта ширина болѣе 100 саж.

Съемка
участка.

Въ зависимости отъ того или другаго назначенія предполагаемыхъ гидрометрическихъ работъ указанный масштаб можетъ быть соответственно измѣняемъ; существующіе предѣлы этихъ масштабовъ = отъ 1:5000 до 1:1000.

Наблюденіе
состояній го-
ризонта воды
за время из-
мѣреній.

§ 4. Съёмка участковъ рѣки, промѣры и нивелировка рѣчныхъ уклоновъ производятся при состояніи воды болѣе или менѣе установившемся. Въ цѣляхъ общаго изслѣдованія рѣки — лучше всего эти работы производить во время судоходной межени (т.-е. лѣтомъ); на рѣкахъ съ большими весенними паводками работы эти начинаютъ лишь по спадѣ весеннихъ водъ до высоты, встрѣчающейся въ лѣтнее время. Но и лѣтній горизонтъ рѣки не представляетъ собою горизонта постояннаго ни для опредѣленнаго мѣста рѣки, ни для времени — онъ мѣняется и часто довольно значительно. Для разныхъ мѣстъ рѣки онъ повышается или понижается также различно, смотря по ширинѣ и глубинѣ русла и долины. Горизонты высокихъ водъ (половодья и паводковъ) измѣняются еще въ болѣе широкихъ предѣлахъ. Всѣ разнообразныя измѣненія горизонтовъ конечно много зависятъ отъ притоковъ, впадающихъ въ главную рѣку, и прибыли воды въ нихъ отъ атмосферныхъ осадковъ.

Итакъ, при какомъ бы состояніи горизонта воды въ рѣкѣ работы ни производились, уровень горизонта воды за время производства промѣровъ, а тѣмъ болѣе за время производства измѣреній скорости въ данномъ поперечномъ сѣченіи измѣняется, особенно при широкихъ и большихъ рѣкахъ.

Поэтому, имѣя въ виду общую связь всѣхъ наблюдаемыхъ и измѣряемыхъ элементовъ, необходимо производить наблюденія надъ измѣненіемъ горизонта воды во все время производства промѣровъ и измѣреній скоростей течения и притомъ не только въ данномъ поперечномъ сѣченіи (т.-е. на обоихъ берегахъ, по концамъ профиля), но и въ начальномъ, и конечномъ пунктахъ (профиляхъ) на обоихъ берегахъ избраннаго участка, ибо мѣняется и уклонъ.

Наблюденія эти производятся помощью реекъ по водомѣрнымъ сваямъ, отмѣтки головъ которыхъ связаны съ реперами магистральной линіи или съ постоянными опредѣленными точками; или же прямо по установленнымъ рейкамъ, связаннымъ съ тѣми же реперами. Для выполненія этихъ требованій реперы и водомѣрныя сваи ставятся на обоихъ берегахъ рѣки по направленію трехъ поперечныхъ профилей, расположенныхъ въ началѣ, срединѣ и концѣ выбраннаго участка рѣки.

Поперечная нивелировка рѣки для связи реперовъ и свай обоихъ береговъ производится при значительной ширинѣ рѣки зимою со льда; если же почему-либо такой нивелировки произвести нельзя, то отмѣтки горизонта воды относятъ на каждомъ берегу къ своему условному горизонту.

Для производства самихъ наблюденій особый на каждой сторонѣ наблюдатель обходитъ всѣ водомѣрныя сваи ежедневно, въ одни и тѣ же часы, и записываетъ высоту горизонта воды; наблюденія произво-

дятся по обоимъ берегамъ одновременно и не менѣе 2—3-хъ разъ въ день (7 ч. утра, 1 ч. дня, 9 ч. вечера).

§ 5. При производствѣ промѣровъ отмѣчается время начала и конца измѣреній и соотвѣтственные этимъ временамъ горизонты; средний изъ этихъ горизонтовъ принимается за рабочий, къ коему и относятся всѣ глубины данного профиля. Если производство работъ по изслѣдованію рѣки или по опредѣленію расхода воды продолжается довольно длинный промежутокъ времени или вообще если за время наблюдений горизонтъ воды мѣняется значительно, то для общей связи всѣхъ работъ по рѣкѣ непрѣменно должно быть точно замѣчено время производства работъ измѣренія и затѣмъ всѣ собранныя данныя для выбраннаго участка рѣки или для всей рѣки должны быть приведены къ условной поверхности (горизонту) воды. О выборѣ этой поверхности въ случаяхъ общаго изслѣдованія рѣкъ см. *Богуславскій*.—Геодезія—стр. 730—734.

Промѣрный
рабочій
горизонтъ.Условный
горизонтъ.

субдир

§ 6. Промѣры обыкновенно производятся (Табл. I, фиг. 9) въ поперечныхъ профиляхъ, т.-е. возможно нормальныхъ къ направленію теченія (какъ напр. *AB, CD, EF...*); но для изслѣдованія правильности очертаній ложа избраннаго участка рѣки, а также для выбора гидрометрическихъ шестовъ промѣры приходится производить по направленіямъ, параллельнымъ берегамъ; производятся также промѣры по косымъ направленіямъ (какъ напр. *GH, IK...*), такъ-называемымъ каскамъ, и не полнымъ поперечнымъ профилямъ (Табл. I. фиг. 11) *a, b, c...*.

Направление
промѣрныхъ
профилей.

Промѣрные профили въ цѣляхъ общаго изслѣдованія рѣкъ могутъ быть располагаемы одинъ отъ другого на разстояніи, равномъ одиночной или двойной ширинѣ рѣки, но ни въ какомъ случаѣ не рѣже $\frac{1}{2}$ версты. Въ зависимости отъ характера участка рѣки иногда оказывается необходимымъ располагать ихъ значительно чаще, а именно до 100, 40, 20 метр., какъ то было при изслѣдованіи участка р. Рейна между *Bingen*'омъ и *St. Goar*'омъ [71, 85—86; 100, 175—176]. Въ прямыхъ частяхъ это разстояніе можетъ быть больше, чѣмъ въ кривыхъ.

Разстоянія
между
профилями.

§ 7. Для полученія поперечныхъ профилей русла рѣки, или такъ называемыхъ живыхъ сѣченій необходимо знать въ данномъ мѣстѣ ширину рѣки по урѣзу воды и глубины въ разныхъ точкахъ этого профиля.

Измѣренія
элементовъ
живого сѣче-
нія.

Ширина рѣки по урѣзу воды въ данномъ поперечномъ сѣченіи измѣряется длиной протянутой бичевы (каната) отъ одного берега къ другому и кромѣ того должна быть опредѣлена тригонометрически, способомъ засѣчки или же при помощи бакеновъ и угломѣрныхъ инструментовъ. Разность между этими двумя измѣреніями (невязка) въ

Ширина.

общихъ случаяхъ изслѣдованія рѣки не должна превосходить 10⁰/₀ ширины рѣки; она выправляется тотчасъ же или впоследствии, при составленіи профилей, разложеніемъ поровну на всѣ ширины между промѣрами (вертикалями), причемъ за вѣрную признается ширина, опредѣленная засѣчкой. Если эта разность окажется болѣе 10⁰/₀, то съемка и измѣреніе передѣлываются вновь.

Примѣръ
измѣренія
ширины рѣки.

Такъ, при работахъ профессора *Harlacher*'а на р. Дунай у *Klosterneuburg*'а [39, 33—34] ширина рѣки, опредѣленная тригонометрически (по базису и 3-мъ угламъ треуг-ка), оказалась равной 440,111 метр.; исключивъ отсюда сумму разстояній отъ конечныхъ промѣрныхъ точекъ до береговъ, равную 21,30 метр., находимъ дѣйствительное разстояніе между крайними (съ обѣихъ сторонъ профиля) промѣрными точками $440,111 - 21,30 = 418,81$ метр. Тогда какъ при промѣрахъ по протянутому канату оказалось 59 разстояній по 6,64 метр., а всего 391,65 метр. Поэтому отдѣльныя разстоянія надо считать

$$6,64 \times \frac{418,81}{391,65} = 7,03 \text{ метр.}$$

т. е. невязка около 6⁰/₀.

Точность из-
мѣренія ши-
рины.

Такая большая невязка могла быть оставлена только вслѣдствіе требовавшейся быстроты промѣровъ и затруднительныхъ условий для повторенія ихъ. Вообще же при промѣрахъ съ цѣлью опредѣленія расхода воды допускаемая въ общемъ случаѣ изслѣдованія невязка въ измѣреніи ширины въ 10⁰/₀ должна быть признана нежелательной и по крайней мѣрѣ сокращена наполовину, если болѣе точности почему-либо достигнуть оказывается невозможнымъ.

Глубина.

Глубины въ разныхъ точкахъ профиля опредѣляются посредствомъ такъ-называемыхъ промѣровъ помощью шеста (наметки) или лота, опускаемыхъ до дна въ опредѣленныхъ точкахъ поперечнаго профиля. Способы производства промѣровъ и приспособленія, для сего употребляемыя, описаны въ слѣдующей главѣ. Промѣры профиля производить необходимо непосредственно предъ гидрометрическими работами.

Вычерчиваніе
поперечнаго
профиля.

§ 8. Опредѣливъ полную ширину рѣки по урѣзу воды, разстоянія между точками промѣра (между вертикалями) по линіи профиля, и наконецъ глубины этихъ вертикалей, вычерчиваютъ поперечный профиль. Такимъ образомъ (Табл. I. фиг. 6), вдоль протянутого между точками *A* и *B* промѣрнаго каната въ опредѣленныхъ точкахъ каната (соответственныхъ вертикаляхъ профиля) $a_1, a_2, a_3 \dots a_n$, промѣрами найдены глубины $t_1, t_2, t_3 \dots t_n$; разстоянія $b_1, b_2, b_3 \dots b_{n+1}$ между промѣрными вертикалями берутся равными 5 саж., 5 метр., и т. п.; иногда только въ силу какихъ-либо мѣстныхъ обстоятельствъ эти разстоянія увеличи-

ваются; т. е. такъ или иначе величины b также будутъ извѣстны. Слѣдовательно, результаты измѣреній дадутъ горизонтальныя абсциссы b_1, b_2, \dots и соотвѣтствующія имъ ординаты t_1, t_2, \dots . Выбирая теперь одинъ изъ нижеуказанныхъ масштабовъ, легко вычертить профиль на бумагѣ.

Необходимый для этого масштабъ выбирается смотря по цѣли.

Выборъ
масштаба.

Такъ, для *общей картины русла* вычерчиваютъ поперечные профили на планахъ участковъ рѣкъ; масштабъ выбирается въ данномъ случаѣ въ зависимости отъ масштаба плана; часто встрѣчаются: для ширины (горизонтальныя разстоянія) 1 : 5000, для глубины (вертикальныя разстоянія) 1 : 500.

При вычерчиваніи профиля для *строительныхъ цѣлей* и нанесенія на нихъ сооружений масштабъ можетъ быть взятъ: для ширины 1 : 500 до 1 : 1000 и соотвѣтственно для глубины: 1 : 50 до 1 : 100.

Но если нужно вычертить поперечный профиль *съ цѣлью опредѣленія площади живого сѣченія* подводнаго периметра и т. д., то слѣдуетъ выбрать масштабы: для ширины 1 : 100, для глубины 1 : 10; для большихъ рѣкъ соотвѣтственно: 1 : 1000 и 1 : 100—см. Табл. XXVII и стр. 274.

На каждомъ профилѣ долженъ быть обозначенъ тотъ горизонтъ, при которомъ производились промѣры, если профиль уже отнесенъ къ условному горизонту.

опредѣленіе
площади жи-
вого сѣченія.

I. Для канала съ поперечнымъ профилемъ въ видѣ *правильной* трапеціи (Табл. I, фиг. 13) имѣемъ:

$$\Omega = \frac{b_0 + b}{2} \times t$$

II. Для рѣки и канала съ *неправильнымъ* поперечнымъ профилемъ русла (Табл. I, фиг. 6), что бѣльшую часть и бываетъ, можно примѣнить одинъ изъ слѣдующихъ способовъ:

1. *Приближенный*:

$$\Omega = \left[\frac{t_1 + t_2 + t_3 + \dots + t_n}{n} \right] \times [b_1 + b_2 + b_3 + \dots + b_n + b_{n+1}] = t_m \cdot B,$$

гдѣ t_m —средняя глубина, B —ширина рѣки по урѣзу воды.

2. *Точный*:

а. Разбиваютъ фигуру на рядъ трапеціи съ двумя боковыми треугольниками; опредѣляютъ площадь всей фигуры какъ сумму площадей трапеціи и треугольниковъ. Для общепринятаго способа промѣровъ помощью наметки или лота это самое лучшее и точное.

- в. При производствѣ промѣровъ помощью самодѣйствующихъ и самопишущихъ приборовъ наиболѣе точное опредѣленіе производится помощью полярнаго планиметра *Амслера*.

Формула же *Симпсона*, нерѣдко употребляемая, какъ выведенная для площади ограниченной кривой вида $y=f(x)$, не должна быть примѣняема къ опредѣленію площадей живого сѣченія, такъ какъ кривая очертанія ложа обыкновенно не можетъ быть выражена подобнымъ уравненіемъ.

При примѣненіи планиметра *Амслера* никогда не слѣдуетъ пользоваться готовыми, показанными на инструментѣ, коэффициентами, — необходимо опредѣлить ихъ, для провѣрки, непосредственно при произвольной установкѣ рычага по особымъ квадратамъ въ томъ же масштабѣ и на томъ же листѣ бумаги, на которомъ изображена данная площадь. Коэффициентъ долженъ быть опредѣленъ 2—3 раза для каждаго листа 6—8 кратнымъ обводомъ (3—4 раза въ одну сторону и столько же разъ въ другую) опредѣленнаго квадрата при разныхъ установкахъ инструмента. Затѣмъ, пользуясь этими коэффициентами, уже опредѣлять площадь данной фигуры 4-хъ кратнымъ обводомъ периметра въ разныя стороны. Искомая площадь можетъ быть получена какъ средняя изъ четырехъ.

Расходъ рѣвки составляется изъ произведеній площадей профилей на скорости и потому оба множителя должны быть опредѣлены съ одинаковою степенью точности. Безполезно имѣть величину площади профиля съ точностью до 1%, когда въ скоростяхъ могутъ быть ошибки до 5%, и наоборотъ. Самую же площадь при болѣе или менѣе точныхъ работахъ необходимо опредѣлить двумя разными путями, какъ напр. планиметромъ и вычисленіемъ и затѣмъ сравненіемъ результатовъ найти возможную ошибку.

Г Л А В А II.

Приборы, необходимые для производства промѣровъ. — Обыкновенно употребляемые способы производства промѣровъ. — Промѣры съ помощью автоматическихъ и самопишущихъ приборовъ. — Приборы и производство промѣровъ на очень большихъ рѣкахъ.

Обыкновенно глубина воды въ отдѣльныхъ вертикаляхъ данного поперечнаго профиля измѣряется съ лодки при помощи промѣрнаго шеста или лота. Въ большинствѣ случаевъ промѣры глубины производятся на разстояніяхъ 5 метр., 5 саж., причемъ получается достаточное въ предѣлахъ практики знакомство съ дномъ рѣки. Въ очень широкихъ рѣкахъ довольствуются и меньшимъ количествомъ точекъ для измѣренія глубины воды, смотря по назначенію снимаемаго поперечнаго профиля и по трудностямъ, съ которыми сопряжено измѣреніе.

I. Предметы, необходимые для производства промѣровъ обыкновенно употребляемымъ способомъ.

§ 1. Промѣрный канатъ обыкновенно бываетъ *пеньковый* (бичева, веревка, снасть) или *проволочный* — изъ оцинкованнаго желѣза или литой стали. Толщина каната выбирается въ зависимости отъ ширины промѣряемаго профиля или его части. Такъ, пеньковый канатъ, для ширины около 50 саж., или такъ называемая „тонкая снасть“, имѣетъ въ окружности около $1\frac{1}{2}$ дюйма; для ширины большихъ 120 саж., такъ называемая „бѣльная снасть“, имѣетъ въ окружности $1\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ дюйма; въ общемъ діаметръ пеньковаго каната колеблется отъ 1 до 1,75 с/м. Проволочный канатъ имѣетъ діаметръ отъ 4 до 6 м/м — для большихъ ширины; при промѣрахъ на р. Рейнѣ былъ примѣненъ проволочный канатъ діаметромъ 4,90 м/м. (въ окружности 20 м/м). состоящій изъ 49 оцинкованныхъ проволокъ толщиной каждая 0,55 м/м., по 7 штукъ въ гнѣздѣ; сопротивленіе каната было 1000 килогр. Для удобства въ

Промѣрный канатъ.

работѣ канатъ долженъ быть проченъ, мало изнашиваемъ и не толстѣть, чтобы могъ легко погружаться въ воду. Онъ снабжается марками не болѣе, какъ чрезъ 5 метр., 5 саж. одна отъ другой изъ цвѣтной матеріи, шнурковъ, или кусковъ кожи различной величины и формы, или наконецъ изъ проволоки.

Тотчасъ по покупкѣ снасти кладутъ ее въ воду часовъ на шесть; затѣмъ, выбравъ ее на ровное мѣсто берега и укрѣпивъ одинъ конецъ за якорь, а другой намотавъ на воротъ, выхаживаютъ (натягиваютъ) ее какъ можно прямѣе; въ такомъ положеніи, постоянно подтягивая, надо держать снасть, пока она перестанетъ давать провѣсъ; послѣ этого разбиваютъ ее на пятки, т. е. ослабивъ немного воротъ, вилетаютъ между прядями чрезъ каждыя 5 саж., 5 метр. тонкія веревочки. Не смотря на такую подготовку, пеньковый канатъ при работѣ довольно значительно вытягивается, а при погруженіи въ воду, намокая, укорачивается; вытянуть его до вполне горизонтальнаго положенія нельзя, а слѣдовательно измѣренія при помощи его не точны. Поэтому пеньковый канатъ слѣдуетъ употреблять только для рѣзокъ не очень широкихъ.

Проволочный канатъ при продолжительномъ употребленіи тоже вытягивается, но незначительно; такъ, размѣтка его дѣлается чрезъ 4,975 метр. вмѣсто 5 метр. и это считается вполне достаточнымъ. Проволочные узлы на этомъ канатѣ должны быть изъ той же проволоки, что и канатъ, такъ какъ между гальванизированной проволокой каната и мѣдными или латунными проволоками, какъ прежде употребляли поочередно для облегченія счета, происходитъ подъ влияніемъ воды гальванической процессъ, вслѣдствіе котораго канатъ быстро ржавѣетъ и рвется; въ этомъ случаѣ, для отличія разстояній, канатъ перевязывается въ узлахъ чрезъ 25, 50 и 100 м. разноцвѣтными шнурками.

Бакены.

§ 2. Бакены или буйки; это—бочки или шести (Табл. I, фиг. 12), служащія при очень широкихъ рѣкахъ для провѣшиванія направленія профиля и для обозначенія точекъ измѣренія; они устанавливаются въ направленіи профиля при помощи цѣпи и якоря или иного груза (камня или чугунной болванки).

Наметка.

§ 3. Промѣрная рейка, наметка или футштокъ; это (Табл. I, фиг. 8a)—тонкій, гладкій, деревянный, весь выкрашенный масляной краской шесть круглаго или квадратнаго сѣченія, діаметромъ въ нижнемъ концѣ 30 м/м., въ верхнемъ 40—45 м/м. (=1½ дюйма); длина шести дѣлается отъ 4 до 8 метр. 1) при томъ условіи, конечно, чтобы вѣсъ шести не превосходилъ одного пуда, и съ шестомъ могъ управляться одинъ человекъ.

Назначенныя на рейкъ дѣленія, равныя, напримѣръ, соткамъ сажени, дециметрамъ, футамъ (для озеръ и морей) и т. п., должны быть яено видны, для быстрого и удобнаго чтенія, какой бы стороной къ наблюдателю шестъ ни стоялъ; для этого можно, напримѣръ, каждый дециметръ или сотку сажени, заканчивающіе 0,50 метра, 0,50 саж. отмѣчать красной краской, каждый полный метръ, сажень—черной, протягивая эту полоску вокругъ рейки; дѣленія ведутся снизу, чтобы цифры при считываніи прямо показывали глубину подводной части въ соткахъ сажени, дециметрахъ, футахъ и т. п.; цифры надписываются чрезъ каждыя десять сотокъ сажени, каждый дециметръ (фиг. 8с) и т. п.

Нижній конецъ шеста долженъ быть защищенъ отъ быстрого изнашиванія крѣпкимъ жестянымъ колпакомъ, съ которымъ обыкновенно еще соединенъ желѣзный дискъ (до 1 дециметра діам.), чтобы не допускать шестъ углубляться въ грунтъ дна.

При измѣреніи глубины воды съ лодки шестъ слѣдуетъ держать наклонно противъ теченія, пока онъ достигнетъ дна и затѣмъ, при считываніи глубины, его надо поставить вертикально.

При большой глубинѣ и частыхъ промѣрахъ длиннымъ шестомъ работать утомительно, почему при глубинахъ бѣльшихъ 2 саж. уже стремятся работать лотомъ. Но по примѣрамъ промѣровъ на рѣкахъ Западной Европы [64, 11] и въ моряхъ [122, 113], особенно при сильныхъ теченіяхъ, можно предпочтительно предъ лотомъ примѣнять шесты даже для 8 метр. глубины (длина шеста уже будетъ нѣсколько больше 8 метр.). При этомъ цѣлесообразно увеличить вѣсь штанги, прикрѣпляя внизу тяжелый желѣзный, свинцовый или чугунный наконечникъ въ видѣ башмака, для болѣе быстрого опусканія шеста на дно (фиг. 8б); конечно надо не терять вмѣстѣ съ тѣмъ изъ виду возможность управляться шестомъ одному человѣку.

§ 4. Лоть, это—тонкая пеньковая веревка (лотлинь), на концѣ которой, за ушко, подвѣшенъ грузъ свинцовый или чугунный въ видѣ шара или цилиндра вѣсомъ въ 10, 15 и 20 фунтовъ въ зависимости отъ измѣряемой глубины и скорости теченія. Веревка раздѣлена на десятыя части сажени, метра или на футы—для озеръ и морей (Табл. I, фиг. 16)—особыми кожаными марками съ соотвѣтственнымъ числомъ вырѣзовъ или зубцовъ; цѣлые сажени, метры обозначаются большими кусками кожи, на которыхъ цифры написаны масляною (красною или бѣлою) краскою. Лоть долженъ быть вывѣряемъ часто, такъ какъ со временемъ веревка растягивается. Лоть забрасывается съ лодки или съ парохода вверхъ по теченію, и глубина считывается въ моментъ, когда веревка приметъ вертикальное положеніе; уловить этотъ моментъ можно только при нѣкоторомъ навыкѣ.

Лоть.

Измѣренія лотомъ менѣе точны, чѣмъ измѣренія шестомъ; неточности эти увеличиваются со скоростью воды и не играютъ большой роли лишь при глубинахъ, большихъ 8 метр., составляя небольшой сравнительно $\%$ отъ промѣряемой глубины. Одновременно съ промѣрами всегда слѣдуетъ опредѣлить грунтъ ложа въ избранномъ профилѣ. Это достигается ударами промѣрнаго шеста, а также гири лота о дно; стѣнки имѣющагося съ нижней поверхности въ гирѣ и башмакѣ углубленія (Табл. I, фиг. 7, 16 *b.*), смазываются предварительно саломъ, а къ нимъ уже прилипаютъ частицы находящагося въ данномъ мѣстѣ грунта.

Промѣры по-
мощью прово-
локи.

§ 5. Промѣръ глубины можетъ быть сдѣланъ также помощью проволоки, къ которой подвѣшена вертушка, какъ объ этомъ излагается ниже въ Гл. V. Это и есть настоящій способъ промѣровъ и служить для повѣрки глубины тѣхъ вертикалей, въ которыхъ измѣряются скорости теченія воды.

II. Способы производства промѣровъ помощью наметки и лота.

Установка
створовъ.

§ 6. Для производства промѣровъ въ рѣкѣ на берегу устанавливается створъ изъ двухъ вѣхъ, по возможности, нормально къ направлению русла, при чемъ для бѣльшей точности створныя вѣхи должны быть поставлены на возможно бѣльшемъ разстоянн одна отъ другой.

При ширинѣ рѣки болѣе 200 саж. створы устанавливаются на обоихъ берегахъ.

Линнн створовъ, обозначающн направленн промѣрныхъ поперечныхъ профилей, относятъ къ магистральной линнн *MNP* посредствомъ угломернаго инструмента или нанося на планшеты при мензурной съемкѣ. (Табл. I, фиг. 9).

Рѣки малой
ширины.

§ 7. Перекидывается съ одного берега на другой между крайними точками поперечнаго профиля промѣрная веревка; натягивается по створу вручную за двухъ или трехъ верхковыя дубовыя или березовыя кольца, забитыя въ землю на берегахъ; съ лодки, движущейся вдоль этой веревки, противъ марокъ производятся промѣры глубинъ рейкой.

Для рѣкъ, шириною ≤ 30 метр., при скорости теченн $v \geq 1,50$ метр./сек., промѣры глубинъ могутъ быть сдѣланы съ берега (Табл. I, фиг. 17) помощью веревки съ грузомъ, проходящей чрезъ кольцо, передвигаемое къ точкамъ избранныхъ вертикалей по перекинутому чрезъ рѣку канату [12, 88—89]. Вертикали могутъ быть расположены по желанн часто, и, безъ особыхъ затрудненн, можно получить довольно точный профиль.

Рѣки бѣльшей
ширины, но
менѣе 100 саж.

§ 8. Мѣста промѣровъ опредѣляются посредствомъ промѣрную канату, протянутого по ширинѣ рѣки. Въ этомъ случаѣ канатъ за одинъ конецъ натягивается поперекъ рѣки по створу помощью ворота,

лебедки или полиспада, поставленного на берегу; тогда какъ другой конецъ каната закрѣпляется за свайку или якорь (Табл. I, фиг. 10) (вѣсомъ до 5 пуд.), располагаемыхъ на противоположномъ берегу. Противъ марокъ производятся промѣры глубинъ наметкой или лотомъ.

Если требуется небольшое число точекъ промѣра, то можно употребить *способъ двойныхъ створовъ* (Табл. I, фиг. 14). Для этого разбиваются на берегу въ концахъ профиля, перпендикуляры $A4$ и $B4'$ произвольной, но равной длины, и дѣлятъ ихъ на нужное число частей, въ зависимости отъ числа точекъ профиля. Промѣрщикъ въ лодкѣ направляется по линіи AB и опускаетъ наметку по данному сигналу съ берега, когда будетъ вступать на пересѣченія линіи AB съ линіями 1—4', 2—3', 3—2', 4—1', т. е. въ точки a, b, c, d .

§ 9. При производствѣ промѣровъ на рѣкахъ значительной ширины (100—300 саж.) употребляется также промѣрный канатъ пеньковій (р. Волга) или проволочный (рѣки Эльба, Рейнъ) съ слѣдующими дополнительными приспособленіями [81, 475; 64, 12; 35, 131].

Рѣки значительной ширины.

По провѣшенной створами линіи промѣровъ ab' (Табл. I, фиг. 18) на разстояніяхъ около 40—50 саж., но не болѣе 60 саж., во избѣжаніе значительнаго провѣса каната, устанавливаются на якоряхъ „подвѣсныя лодки“ a, a, a . Эти лодки (Табл. II, фиг. 1) служатъ только для поддержки каната; могутъ быть самой простой конструкціи, возможно легкія, чтобы на каждой можно было только посадить по одному рабочему. Снасть (канатъ) можетъ быть пропущена въ находящіяся посреди бортовъ лодки уключины. Къ носу лодки приврѣпляется веревка, служащая для поддержки каната въ водѣ на нѣкоторой глубинѣ, когда, въ случаѣ необходимости, напр., при проходѣ парохода, приходится сбросить снасть въ рѣку; при этомъ, конечно, можно поднять снасть снова въ лодку безъ затрудненій.

Передача промѣрнаго каната съ одного берега на подвѣсныя лодки и на другой берегъ производится помощью особой „якорной лодки“ (Табл. II, фиг. 2); приспособленія для наматыванія и натягиванія проволочнаго каната могутъ помѣщаться на этой же лодкѣ; такъ, a —направляющій блокъ для каната, по которому движется эта лодка, b —якорный канатъ, c —воротъ, d направляющій блокъ для промѣрнаго каната, e —проволочный канатъ; блокъ a детально изображенъ на фиг. 5. Табл. II; путь движенія этой лодки $AcdeB$ при передачѣ каната находится выше промѣрной линіи.

По приходѣ „якорной лодки“ къ противоположному берегу, она укрѣпляется къ послѣднему помощью якоря у b , устанавливается такъ, чтобы проволочный канатъ приходился точно по промѣрной линіи; затѣмъ канатъ туго натягивается и закрѣпляется.

Промѣры производятся обычнымъ способомъ съ особой такъ называемой „промѣрной шлюпки“ или паровой лодки.

При примѣненіи пеньковаго каната воротъ или лебедка располагаются на берегу; якорная лодка можетъ быть тогда болѣе легкой и служить послѣ перевозки каната вмѣстѣ съ тѣмъ и промѣрной шлюпкой.

Для движенія поперекъ рѣки гребецъ перебирается по снасти руками, которая трется о борта лодки; для достиженія того, чтобы сама снасть не истиралась и не перетирала бортовъ лодки, устраивается вышеуказанный блокъ А или у носа лодки къ бортамъ прибываются особые бруски (табл. II, фиг. 4).

При приближеніи идущаго по рѣкѣ парохода или судна, которыхъ задержать нельзя, промѣрщикъ, если не рассчитываетъ успѣть кончить промѣры до его прохода, прежде всего замѣчаетъ мѣткою (красною ленточкой) ту марку, на которой онъ остановился, а затѣмъ въ рупоръ приказываетъ сдать снасть съ ворота (немного развернуть воротъ), послѣ чего канатъ сбрасывается съ соотвѣтственныхъ лодокъ въ воду; передъ сдачей снасти мѣсто каната, приходящееся какъ разъ надъ урѣзомъ воды, также замѣчается мѣткою, чтобы по проходу судна снова дать снасти ту же натянутость, какую она имѣла при началѣ промѣра, и только тогда продолжать промѣры. Для ускоренія погруженія въ такихъ случаяхъ каната въ воду примѣняются иногда особые грузы (Табл. II, фиг. 3), надѣваемые крючкомъ на канатъ; здѣсь *a* — промѣрный канатъ, *b* — веревка, поддерживающая грузъ.

Когда промѣры въ профилѣ окончены, промѣрщикъ даетъ знать въ рупоръ, чтобы сдали снасть съ ворота; послѣ этого переносятъ ее въ слабо натянутомъ положеніи на слѣдующій профиль, который выбирается и назначается всегда во время выхаживанія снасти на предыдущемъ профилѣ.

Выбирается снасть на берегъ каждый день лишь по окончаніи работъ и на слѣдующій день завозятъ ее снова; нежелательное избраніе снасти можетъ потребоваться въ случаѣ засоренія ея при переносѣ на другой профиль или когда она порвется отъ долгаго употребленія или отъ неосторожности проходящаго судна; такое избраніе каната крайне замедляетъ работу.

Примѣръ
производства
промѣровъ.

§ 10. Подобный способъ промѣра былъ примѣненъ проф. *Harlach*’омъ при работахъ на р. Дунаѣ у *Klosterneuburg*’а [39, 33] при ширинѣ рѣки 440.111 метр. и средней скорости $v=2,016$ метр./сек., а также при наличности только весельныхъ лодокъ и возможности остановки судоходства лишь на 2 часа въ день.

Снятіе съ якоря, передвиженіе къ другому назначенному пункту и новая установка на якорѣ поддерживающей канатъ лодки очень затруднительны и отнимаютъ слишкомъ много времени. Поэтому, во избѣжаніе неудачи и потери цѣлаго дня, было установлено на якоряхъ 14 лодокъ (понтонѡвъ): I, II, III... (Табл. V, фиг. 5 и 6) съ 5 рабочими каждая, при чемъ якоря располагались по линіи *CD* въ 60 шагахъ выше профиля *AB*.

Передача промѣрнаго каната, закрѣпленнаго временно въ нѣкоторой точкѣ *P* и намотаннаго на особомъ барабанѣ, производилась помощью лодки *a* слѣдующимъ образомъ. Понтонѡ I, II, III....., держась уже на якоряхъ, для полученія каната устанавливались вначалѣ не по линіи *MN* (фиг. 5), а ближайшіе къ правому берегу (къ точкѣ *P*) выше, тогда какъ у лѣваго берега—ниже промѣрной линіи. Это дѣлалось съ тою цѣлью, чтобы, дѣйствуя рулемъ, приблизиться насколько возможно навстрѣчу передаточной лодкѣ *a*; затѣмъ, получивъ канатъ, и передвигаясь послѣ этого уже вмѣстѣ, отпустить лодку *a* возможно выше по теченію и тѣмъ облегчить передвиженіе послѣдней къ слѣдующему понтонѡ II и т. д. Дойдя до лѣваго берега, канатъ здѣсь укрѣпляли; послѣ чего производилось выравниваніе понтонѡвъ I, II..... по линіи *MN* и натягиваніе каната съ праваго берега.

Всѣ эти манипуляціи производились очень быстро. Промѣры по линіи *AB* велись съ двухъ лодокъ помощью деревянныхъ реекъ одновременно отъ обоихъ береговъ къ срединѣ рѣки. Не смотря на дождь, на большое число промѣровъ (70) и большую глубину (до 7, 60 метр.), все измѣреніе длилось лишь одинъ часъ при постоянномъ уровнѣ воды.

§ 11. При ширинѣ русла большей 300 саж. и оживленномъ судоходствѣ протягивать канатъ чрезъ всю рѣку нельзя во избѣжаніе стѣсненія судоходства или вслѣдствіе слишкомъ большой ширины. Въ этихъ случаяхъ промѣры профиля могутъ быть произведены: 1, по частямъ—при помощи тонкой или промѣрной снасти; 2, въ мѣстахъ расположенія бакеновъ; 3, въ мѣстахъ, засѣкаемыхъ съ берега.

При промѣрахъ профиля *по частямъ* и употребленіи *тонкой снасти*, послѣдняя укрѣпляется на берегу за колья; перетягивается съ берега по створу профиля на первую лодку, стоящую на 3—4 якоряхъ въ 50—60 саж. отъ берега; съ этой лодки перетягивается другая такая же снасть по линіи профиля на вторую точно такую же заякоренную лодку. Натягиваніе снасти производится вручную. Промѣры въ этомъ случаѣ дѣлаются противъ марокъ бичевки съ третьей лодки. Когда на всемъ протяженіи между лодками, стоящими на якоряхъ, промѣръ оконченъ, первая лодка снимается съ якорей и устанавливается по створу, въ слѣдующей точкѣ профиля за второй лодкой, а снасть натягивается

Рѣки значительной ширины съ оживленнымъ судоходствомъ.

Примѣненіе тонкой снасти.

между ними вновь; такъ работа продолжается до другого берега. Положенія лодокъ, установленныхъ на якоряхъ, опредѣляются засѣчками съ берега.

Недостатки этого способа: снасть относится теченіемъ, такъ что промѣръ дѣлается не по прямой, а по кривой; много тратится времени на установку лодокъ, такъ какъ, снявшись съ якоря, лодка должна сначала подняться вверхъ по рѣкѣ, чтобы ее не сносило теченіемъ, и, пройдя требуемое разстояніе, снова опуститься на профиль, бросить якорь и выровняться.

Примѣненіе
промѣрной
снасти.

При промѣрахъ профиля *по частямъ* и употребленіи обыкновенной *промѣрной снасти* поступаютъ такъ. На большомъ паромномъ, одиночномъ или двоенномъ, суднѣ, установленномъ посреднѣ рѣки на 3—4 якоряхъ, помѣщаютъ лебедку; на нее наматываютъ снасти, другіе концы которыхъ укрѣпляютъ у береговъ на якоряхъ.

Способъ этотъ не исключаетъ, конечно, подвѣсныхъ лодокъ, но выхаживаніе снасти достигается быстрѣе, ибо лебедка совершеннѣе ворота, рѣка же въ этомъ случаѣ подраздѣляется на двѣ части, и, слѣдовательно, длина каждой изъ снастей составляетъ только половину ширины рѣки.

Пользованіе
бакенами.

Когда совсѣмъ невозможно примѣненіе каната (снасти), точки измѣренія отмѣчаются бакенами, установленными на якоряхъ въ направленіи поперечнаго профиля по створамъ. Положеніе бакеновъ соответствуетъ точкамъ промѣра и опредѣляется засѣчками съ берега.

Засѣчки съ
берега.

При производствѣ промѣровъ рѣки очень большой ширины для опредѣленія положенія точекъ, въ коихъ измѣрена глубина, употребляется, предпочтительно, способъ засѣчекъ (см. слѣд. §) помощью теодолита (табл. I, фигур. 15a,b) или мензулы съ кипрегелемъ (табл. I, фиг. 15c.).

Способы за-
сѣчекъ.

§ 12. Обыкновенно употребляется одинъ изъ слѣдующихъ двухъ способовъ засѣчекъ.

1. Мѣсто промѣрнаго шеста или наметки засѣкаютъ съ берега въ тотъ моментъ, когда съ лодки, идущей по створу профиля, промѣряютъ глубину и поднимаютъ одновременно флагъ. Такъ какъ успѣть засѣкать при каждомъ опусканіи наметки затруднительно, то засѣчки дѣлаютъ черезъ нѣсколько промѣровъ, но не болѣе какъ черезъ пять.

Такое производство промѣровъ наз. *промѣромъ по гребкамъ*, такъ какъ каждый изъ пяти промѣровъ между засѣкаемыми дѣлается черезъ опредѣленное число гребковъ (5—7), для чего первый гребецъ ведетъ ихъ счетъ и, когда скажетъ предѣльное установленное число, то промѣрщикъ опускаетъ наметку или лотъ. Теодолиты ставятся въ точкахъ *O* и *O'* (фиг. 15b),

ибо трудно тогда установить лодку по створамъ. Наблюдатель въ *O* слѣдитъ, чтобы она находилась въ поперечномъ профилѣ, наблюдатель же въ *O'* по данному сигналу опредѣляетъ со- отвѣтственный уголъ.

Промѣры въ этомъ случаѣ (при опредѣленіи точекъ профиля по гребкамъ) производятся такъ: сначала измѣряется разстояніе отъ магистрали до урѣза воды, потомъ отъ урѣза до той глубины, къ которой можетъ подойти лодка, а затѣмъ рабочіе начинаютъ гребти и ведется счетъ гребковъ; тотчасъ при счетѣ предпоследняго гребка наметчикъ рейку заносить, а при счетѣ послѣдняго быстро опускаетъ и опредѣляетъ глубину; у противоположнаго берега точно также измѣряется разстояніе отъ послѣдней глубины, гдѣ еще могла стоять лодка до урѣза воды.

Морской способъ гребковъ быстръ, но слишкомъ не точенъ; при небольшомъ вѣтрѣ даже и въ ясную погоду производить промѣры невозможно.

2. Заранѣ намѣчаютъ на мензулѣ точки, гдѣ должны быть произведены промѣры; устанавливають мензулу на берегу (табл. I, фиг. 15с) и ориентируютъ ее по магистрали или по другой назначенной линіи (базису). Когда (по наблюденіямъ въ трубу кипрегеля) промѣрная лодка, идущая по створу профиля, подходит къ мѣсту, назначенному на мензулѣ, съ берега подаютъ сигналъ, и тогда съ лодки производится промѣръ наметкой или лотомъ.

§ 13. На р. Миссиссипи; вслѣдствіе сильнаго теченія, большой ширины и глубины рѣки, интенсивнаго судо-и плото-ходства промѣры поперечнаго профиля производились слѣдующимъ образомъ [32, 49—50].

Промѣры произведенные на р. Миссиссипи.

По выбранному базису, въ разстояніи 400—1000 фут. другъ отъ друга, располагались два наблюдателя съ теодолитами, при чемъ одинъ былъ въ избранномъ поперечномъ профилѣ; такимъ образомъ опредѣлялся уголъ между базисомъ и линіей отъ 2-го наблюдателя къ мѣсту опусканія лота. Лотъ представлялъ изъ себя свинцовую гирю вѣсомъ 10—20 фунт., подвѣшенную къ легко подвижной, но прочной цѣпи. На промѣрной лодкѣ находились: наблюдатель съ флагомъ, промѣрщикъ и 3 гребца. Лодка не передвигалась по линіи профиля, а опускалась сверху по теченію. Отклоненія промѣряемыхъ глубинъ отъ профиля доходили до нѣсколькихъ футъ.

§ 14. Производство промѣровъ при изысканіяхъ въ большинствѣ случаевъ, за исключеніемъ особенно крупныхъ работъ въ порогахъ, дѣлается почти вездѣ довольно примитивнымъ способомъ: измѣреніемъ глубинъ рейками или лотомъ вдоль натянутого каната или по извѣстному направленію, а иногда со льда.

Недостатки промѣровъ рейками [30; 60; 51; 35, 133; 126].

Такой способ оказывается нераціональнымъ; недостаточнымъ и неадекватнымъ; онъ — недешевъ, неудобенъ для повѣрокъ возможныхъ случайныхъ ошибокъ, медлененъ, неточенъ вообще, а при быстрыхъ теченіяхъ и большихъ глубинахъ въ особенности, такъ какъ шестъ и лотъ относить въ сторону, и даже иногда опасенъ; льдомъ приходится пользоваться лишь въ рѣдкихъ случаяхъ.

Помощью наметки и лота даже при очень маломъ разстояніи, между вертикалями возможно измѣреніе лишь отдѣльныхъ точекъ профиля, и въ результатѣ промѣровъ получается рядъ несвязанныхъ между собою глубинъ. Шестъ (а тѣмъ болѣе гиря лота), имѣющій на своемъ нижнемъ концѣ очень небольшую поверхность, часто попадаетъ въ ямки и минуетъ выдающіяся части; въ промежуткахъ между промѣрными точками ложе рѣки можетъ имѣть неровности того или другого характера, знаніе которыхъ иногда желательно, а во многихъ случаяхъ необходимо; между тѣмъ, для большей точности интересно получить очертаніе дна въ видѣ непрерывной линіи.

Все эти недостатки до известной степени устраняются при помощи самодѣйствующихъ и самопишущихъ измѣрительныхъ аппаратовъ.

Въ виду возможнаго усовершенствованія этихъ приборовъ, желательности ²⁾ болѣе широкаго примѣненія въ практикѣ вообще, а у насъ въ Россіи въ особенности, простыхъ и удобныхъ самодѣйствующихъ и самопишущихъ приборовъ для измѣренія глубинъ, находимъ не лишнимъ ознакомленіе съ имѣвшимися уже въ заграничной практикѣ типами этихъ устройствъ.

III. Самодѣйствующіе и самопишущіе промѣрные аппараты.

§ 15. Промѣрный аппаратъ *Vouret* [51] прикрѣпляется къ концамъ двухъ деревянныхъ скамеекъ *K* и *L* на небольшой лодкѣ (Табл. II фиг. 6). Онъ состоитъ изъ слѣдующихъ частей:

1. направляющей муфты *t* съ роликами, подвѣшенной на концѣ скамейки *L* въ двухъ подшипникахъ *bb* (Табл. II, фиг. 8);
2. промѣрнаго деревяннаго шеста *AG* для глубины воды 3, 30 метр., снабженнаго внизу роликомъ;
3. дуги *ABC* съ подъемомъ въ вертикальной плоскости, состоящей (Табл. II, фиг. 7) изъ желѣзной (полосы) шины *rg* (9м/м × 3с/м); двухъ маленькихъ параллельныхъ между собою рельсъ *ii* и помѣщенной снизу еловой доски *avx* (2, 30 м. × 0, 25 м. × 0, 025 м.), между рельсами *ii* по шинѣ *rg* свободно бѣгаетъ роликъ промѣрной штанги;
4. желѣзной штанги *CD* (Табл. II, фиг. 6), направленной по касательной къ кривой *ABC*;

Приборъ
Вуре.

5. поддержки RS съ вилкообразнымъ концомъ внизу; штанга CD , входящая въ эту вилку, закрѣплена болтомъ (Табл. II, фиг. 6 и 9).

Находящаяся въ водѣ часть прибора должна вытѣснять лишь такой объемъ воды, который вѣситъ на нѣсколько килограммовъ меньше, чѣмъ погруженныя части аппарата съ тою цѣлью, чтобы дуга лежала на днѣ и не сдвигалась бы отъ малѣйшаго толчка. Вслѣдствіе легкости отдѣльныхъ частей прибора удары теченія, большая скорость воды, случайныя препятствія могутъ послужить причиной не только неравильностей въ показаніяхъ, но и поломки аппарата.

Помощью этого прибора можно измѣрять продольные и поперечные профили; въ послѣднемъ случаѣ необходимъ канатъ, протянутый чрезъ рѣку. Лодка можетъ идти поперекъ рѣки, если уклонъ не болѣе 0,004.

§ 16. Промѣрный аппаратъ, служившій для *Строительнаго Управления* р. Эльбы (Табл. III, фиг. 1), отъ котораго не требовалось большой точности, устроенъ былъ въ общемъ слѣдующимъ образомъ [60; 35, 134].

Приборъ,
примѣнявшійся
на р. Эльбѣ.

Къ стѣнкѣ судна прикрѣпленъ вращающійся около точки a желѣзный рычагъ A ; другой конецъ этого рычага вилкой обхватываетъ чугунное колесо b , катящееся по дну при движеніи судна. На ось этого колеса вольно надѣта концомъ желѣзная штанга B , которая помощью муфты c направляется, при своемъ движеніи, по вертикальному направленію. Указатель f штанги B , двигаясь по желѣзной полосѣ d , указываетъ на послѣдней глубину воды до 2, 20 метр. въ дециметрахъ. Система блоковъ h служитъ для подъема и опусканія всего прибора въ началѣ и концѣ работы.

Полученныя этимъ приборомъ свѣдѣнія по точности превосходятъ результаты дорогихъ и трудныхъ измѣреній по обыкновенно употребляемому способу, не смотря на простоту самого устройства аппарата.

§ 17. Промѣрный аппаратъ *Kirschstein'a* (Табл. III, фиг. 3) устроенъ слѣдующимъ образомъ [41].

Приборъ
Кирштейна.

Къ гребной лодкѣ подвѣшена вилкообразная штанга AB , имѣющая возможность вращаться около точки A . При движеніи лодки нижняя часть этой штанги, имѣющая форму ложки, скользитъ по дну, а конецъ ея B описываетъ дугу, центральный уголъ которой CAB то увеличивается, то уменьшается. Къ ушку ложки въ B прикрѣпленъ шнуръ BCD , который въ C огибаетъ установленный на кормѣ направляющій блокъ. Вслѣдствіе измѣненія угла CAB часть BC шнура то удлиняется, то укорачивается.

Шнуръ BCD намотанъ въ D (табл. III, фиг. 2а, б, в) на барабанъ a съ осью x . Въ зависимости отъ направленія движенія штанги вызывается соответственно наматываніе или разматываніе шнура на этотъ барабанъ; это достигается дѣйствіемъ противовѣса p , прикрѣпленнаго на шкивъ валика b . Вращеніе отъ оси x передается валу b при помощи зубчатыхъ колесъ.

На другомъ концѣ валика b имѣется шестерня съ 8 зубцами, сѣпляющаяся съ зубчатой полосой c ; эта полоса движется по вертикальному направленію одновременно со штангой AB и притомъ въ сторону движенія послѣдней. Къ полосѣ c прикрѣплена металлическая муфта d съ помѣщеннымъ внутри пиущимъ штифтомъ; къ муфтѣ присоединена стрѣлка (фиг. 2а) на одной высотѣ съ карандашемъ, указывающая по масштабной линейкѣ kh глубину воды. Муфта прижимается спиральной пружиной къ деревянному цилиндру f . Рядомъ съ f стоитъ еще цилиндръ g ; оба цилиндра заключены въ жестяной ящикъ съ соответственнымъ прорѣзомъ для карандаша и наблюденія за правильной его работой.

На цилиндрахъ f и g помѣщена полоса бумаги, шириною въ 20 см., движущаяся пропорціонально длинѣ пройденнаго пути или промежутку протекшаго времени. Сообразно этому, цилиндръ g приводится въ движеніе или помощью особаго часового механизма, или отъ лопастного колеса, спущеннаго у борта лодки въ воду, помощью безконечнаго винта и колеса, а затѣмъ шестерень n и o ; соответственнымъ положеніемъ рычага r шестерни n и o включаются или разобщаются.

Передъ измѣреніемъ ложка B устанавливается точно на уровнѣ горизонта воды, что соответствуетъ положенію стрѣлки на нулевомъ дѣленіи масштаба. Въ началѣ и концѣ поперечнаго профиля при этомъ положеніи прибора лодка проходитъ нѣкоторый путь, и на бумагѣ получаютъ горизонтальныя черты, соответствующія уровню воды при началѣ и концѣ измѣреній. Затѣмъ, при поступательномъ движеніи аппарата, карандашъ даетъ ординаты, а абсциссы берутся по опредѣленіи протяженія пути лодки при одномъ оборотѣ лопастного колеса или скорости движенія лодки.

Описанный аппаратъ построенъ (на р. Memel'ѣ) лишь для опредѣленія глубинъ до 6 метр.

Приборъ
Шмидта.

§ 18. Промѣрный аппаратъ *Schmid'a* ³⁾ имѣетъ скользящую штангу, подвѣшенную между двумя скрѣпленными лодками; штанга для сохраненія приблизительно одинаковаго давленія снабжена сверху противовѣсомъ.

Движенія этой штанги передаются на горизонтальный рычагъ, колебанія котораго относятся къ измѣненіямъ глубины какъ 1 : 20.

Дальнѣйшая передача движенія отъ рычага къ пишущему прибору совершается при помощи зубчатой передачи и штангъ; получается одновременно изображеніе линій дна профиля и горизонта воды.

Въ Баваріи этотъ приборъ употреблялся нѣсколько лѣтъ и былъ примененъ въ 1883 г. съ хорошими результатами для промѣра фарватера р. Дуная отъ Ulm'a до Passau; участокъ въ 386 километр. былъ пройденъ въ теченіе 5 дней.

§ 19. Самопишущій промѣрный аппаратъ *Stecher'a* лучше всего Самопишущій приборъ Штехера. отвѣчаетъ въ данное время требованіямъ правильнаго очертанія дна при одновременномъ измѣненіи продольнаго масштаба. Этотъ приборъ ⁴⁾ состоитъ изъ слѣдующихъ частей (табл. III, фиг. 4 и 5):

1. скользящей по дну измѣрительной рамы *a*, укрѣпленной поковкою изъ уголкового желѣза;
2. расположеннаго въ лодкѣ горизонтальнаго вала *b*, вращающагося въ подшипникахъ, установленныхъ на бортахъ лодки;
3. ящика *d*, содержащаго часовой механизмъ и пишущій аппаратъ съ бумагой и двумя цилиндрами.

Все устройство помѣщено на двухъ связанныхъ между собою лодкахъ, которыя могутъ служить и для измѣреній скорости, при чемъ тогда уже вмѣсто короткихъ балокъ *l* кладутся болѣе длинныя, такъ что разстояніе между лодками дѣлается въ 2,50 метр.

При движеніи лодки по водѣ рама, скользя по дну и подымаясь и опускаясь надъ неровностями дна, вращаетъ при этомъ валъ *b*, на которомъ наглухо насаженъ секторъ *c*. На дугѣ сектора, (табл. IV, фиг. 1 и 2) имѣется реборда *s* шириною 0,03 — 0,04 метр.; къ этой послѣдней прикрѣплена стальная гибкая лента *i*, удерживаемая постоянно въ натянутомъ положеніи спиральною пружиной, помѣщенной въ коробкѣ *t*. Съ лентой *i* соединена движущаяся горизонтально желѣзная обойма *k* съ карандашемъ *m*. Кнопка *p* и вырѣзь на свободномъ концѣ ленты служатъ для удобнаго надѣванія ея на выступъ сектора; *q* — ключъ для завода часоваго механизма.

Дуга *fg*. рамы *a* (табл. III, фиг. 4 и 6) представляетъ развертывающую окружности; центръ ея совпадаетъ съ осью вала *b*; радиусъ окружности равенъ длинѣ прямолинейной части рамы $bf=R$ (фиг. 6.) Изъ свойствъ развертки круга слѣдуетъ, что вся ордината отъ *A* до дна равна дугѣ *AE*; также какъ *AB* равна дугѣ *AD*, а потому ордината отъ точки *B* до дна равна дугѣ *DE*. Эта ордината и есть искомаемая глубина *T*.

Въ то время какъ рама опустится на *T*, т. е. точка *D* движется къ *E*, стальная лента *i* навернется на ободъ сектора *c* на величину

FG и одновременно съ этимъ карандашъ m подвинется отъ J къ K , на разстояніе L , отмѣчаемое на бумажной лентѣ.

Если радиусъ шкива s обозначимъ чрезъ r , то будетъ:

$$FG : DE = r : R$$

или:

$$L : T = r : R$$

откуда:

$$T = L \cdot \frac{R}{r}$$

Такимъ образомъ, для опредѣленія глубины воды T , надо измѣрить пройденный карандашемъ m путь L въ масштабѣ отношенія $\frac{r}{R}$ натуральной величины. Для этого къ желѣзной обоймѣ K , (фиг. 1, табл. IV), поддерживающей карандашъ, прикрѣплена стрѣлка, скользящая вдоль масштабной линейки, по которой и можно читать прямо глубины воды.

Одновременно съ этимъ записывающій серебряный штифтъ соприкасается съ особенно приготовленной бумажной полосой (15 с/м. ширины); послѣдняя движется при помощи часового механизма, расположеннаго въ хорошо защищенной внутренности барабана. Штифтъ m при движеніи лодки чертитъ на лентѣ профиль дна, по которому скользять дуга рамы. Кромѣ того, имѣется еще штифтъ, который устанавливается въ нулевомъ положеніи при началѣ опыта; онъ чертитъ на той же бумажной лентѣ прямую, соответствующую высотѣ горизонта воды во время производства промѣровъ. Такимъ образомъ, *ордината между двумя полученными линиями дастъ глубину.*

Наконецъ, третій карандашъ, прикрѣпленный къ пружинѣ такимъ образомъ, что при нажатіи на него рукою получается на лентѣ поперечный штрихъ, служитъ для отмѣтки разстояній (километровъ) и замѣчательныхъ точекъ (буны, моста....), мимо которыхъ лодка проходитъ.

До начала измѣреній точно устанавливается нулевое дѣленіе масштаба, въ зависимости отъ высоты H (=около 0,50 метр.) оси b надъ горизонтомъ воды, а также и штифтъ, чертящій линію горизонта воды. Рекомендуется эту работу производить въ мѣстѣ съ спокойной водой и твердымъ дномъ.

Описанный здѣсь приборъ примѣнялся по почину проф. *Harlacher*'а уже много (съ 1881 г.) лѣтъ при измѣреніяхъ фарватера р. Эльбы у Магдебурга съ большою пользою ⁵⁾. Онъ устроенъ для глубинъ до 6 метр.; длина R взята въ 6 метр., а радиусъ сектора s въ 0,12 м., такъ что вычерчиваніе производится въ масштабѣ 1 : 50. Это промѣрное судно, точно направляемое по фарватеру, осторожно бук-

сируется небольшимъ паровымъ баркасомъ (10 м. длины и 2 м. ширины) на канатѣ, въ разстояніи отъ него 10—15 метр.

Путемъ опыта установлено, что наиболѣе удобная скорость для съемки профиля дна помощью этого прибора составляетъ отъ 6 до 10 километровъ въ часъ, — при такомъ ходѣ рама равномерно скользитъ по дну; при скорости меньшей (при движеніи безъ парового судна) и при мелкомъ строеніи грунта ложа рама погружается въ дно; при скорости болѣе рама совсѣмъ не касается дна, — т. е. въ обоихъ послѣднихъ случаяхъ измѣреніе получается не точное.

Въ среднемъ, съ этимъ приборомъ промѣряли въ день 48 километровъ участка рѣки, а въ 1883 г. — участокъ въ 121 килом. прошли въ 16 часовъ. Стоимость всего устройства (безъ лодокъ) составляла 700 марокъ (325 руб.).

§ 20. Для полученія одновременно двухъ-трехъ параллельныхъ продольныхъ профилей русла, на разстояніи одинъ отъ другого 1—2 ширины судна, устройство аппарата нѣсколько видоизмѣняется (Табл. III, фиг. 7).

Приспособленія для промѣра временно нѣсколькихъ профилей.

На наружныхъ бортахъ лодокъ надо помѣстить 1—2 лишнія измѣрительныя рамы (I, II, III...) и каждую изъ нихъ снабдить особымъ валомъ ($c_1, c_2, c_3...$), шкивомъ, стальной лентой и карандашомъ; при этомъ записываніе можетъ производиться на одной бумагѣ.

§ 21. Для участковъ рѣки съ болѣе глубокой (отъ 6 до 12 метр.) приборъ этотъ⁶⁾, во избѣжаніе очень большой длины промѣрной рамы (при глубинѣ въ 11 метр. длина рамы 19 метр.), можетъ быть устроенъ иначе [66; 126].

Видоизмѣненія въ приборѣ Штекера для промѣра большихъ глубинъ.

Въ этомъ случаѣ (Табл. V, фиг. I) рама однимъ концомъ, изогнутымъ по кривой (діаметръ окружности = $12\frac{1}{2}$ метр.) скользитъ по дну, а другой конецъ ея можетъ вращаться на оси e , устанавливаемой на глубинѣ $5\frac{1}{2}$ метр. подъ водою, при длинѣ самой рамы около $9\frac{1}{2}$ метр. Шарниръ s принадлежитъ параллелограмму, стержень котораго cd удерживается непременно въ вертикальномъ положеніи наклонными снастями ac и bc , идущими отъ носа и середины лодки. Короткій стержень параллелограмма, параллельный положенію промѣрной рамы неизмѣнно связанъ со шкивомъ f .

Такимъ образомъ, вращеніе промѣрнаго стержня, при передвиженіи лодки и прохожденіи ея надъ мѣстами различной глубины, точно передается шкивомъ f , помѣщеннымъ въ лодкѣ, при чемъ определенному возвышенію дна соответствуетъ поворотъ шкива на определенный уголъ. Колебанія шкива отмѣчаются помощью пишущаго штифта на безконечной лентѣ, которая сматывается съ вертикальнаго цилиндра.

дра. Такъ какъ по закону параллелограмма вращеніе шкива совершенно соотвѣтствуетъ вращенію промѣрной рамы вокругъ точки *c*, то и графическая передача движенія такъ устраивается, что на бумажной лентѣ получается непосредственно и совершенно точно профиль дна.

Приборъ
Мунта съ
электриче-
ской переда-
чей.

§ 22. Автоматическій промѣрный аппаратъ *Мунта* [138], проектъ котораго былъ сообщенъ изобрѣтателемъ V Съѣзду русскихъ дѣятелей по водянымъ путямъ, имѣетъ цѣлью указывать проходимую судномъ малую глубину фарватера. Устройство его основано на отклоненіи рычага на опредѣленные углы, соотвѣтствующіе высотѣ уклоненій дна фарватера отъ горизонтальной линіи. Своимъ отклоненіемъ рычагъ замыкаетъ токъ въ контактахъ электрической передачи обыкновеннаго устройства, поставленной въ любомъ желаемомъ мѣстѣ судна, при чемъ выпадающіе номера указываютъ глубину фарватера подъ килемъ судна въ принятыхъ единицахъ измѣренія; контакты могутъ быть разбиты по желанію на любыя весьма мелкія дѣленія.

Аппаратъ (Табл. V, фиг. 3) состоитъ изъ двухъ рычаговъ *A* и *B*, соединенныхъ шарниромъ *D*; стержня *C*, соединеннаго шарниромъ, *E* съ рычагомъ *B*; буфера *aa*, соединеннаго съ пружиной *F* и входящаго въ гильзу съ контактами электрической передачи. На заднемъ ребрѣ рычага *A* помѣщается кулакъ *b*, на который надавливаетъ роликъ буфера *aa*. Сила буфера рассчитана на максимальное сопротивленіе воды, дѣйствующее на рычагъ *A* при самомъ быстромъ ходѣ судна, вслѣдствіе чего рычагъ, разсѣвая воду, сохраняетъ все время вертикальное положеніе. Какъ только на пути слѣдованія встрѣчается большее сопротивленіе (мель, камень...), рычагъ отклоняется на уголъ, соотвѣтствующій высотѣ встрѣченнаго препятствія, что и отмѣчается моментально замыканіемъ тока въ соотвѣтствующихъ контактахъ. Пройдя же препятствіе, рычагъ снова возвращается въ первоначальное свое положеніе.

Самому прибору, въ мѣстахъ прикрѣпленія къ борту лодки, придана необходимая подвижность около вертикальной оси и по вертикальному направленію—для устраненія возможности поломокъ аппарата. Разъ аппаратъ установленъ и правильно урегулированъ, то онъ, работая вполнѣ автоматически при всѣхъ движеніяхъ судна и при всевозможныхъ уклоненіяхъ профиля дна отъ горизонтальной линіи, даетъ всегда правильную сигнализацию проходимой глубины и не требуетъ за собой никакого ухода, кромѣ обыкновеннаго періодическаго переснаженія батареей.

Техническій Отдѣлъ Съѣзда нашелъ приборъ *Мунта* заслуживающимъ большаго вниманія и призналъ желательнымъ практическое его испытаніе въ примѣненіи къ судамъ внутренняго плаванія въ теченіе не менѣе одной навигаціи.

§ 23. Такимъ образомъ, помощью вышеописанныхъ приборовъ, Заключеніе
объ автома-
тическихъ
промѣрныхъ
аппаратахъ. измѣренныя глубины заносятся графически непрерывной кривой, и получается полная картина очертанія рѣчного дна. Глубины измѣряются точнѣе, нежели промѣрами наметкой или лотомъ.

Всѣ эти приборы, къ сожалѣнію, мало пригодны для измѣренія *поперечныхъ профилей* (при сильныхъ теченіяхъ и большихъ глубинахъ; при этомъ не только можетъ испортиться самъ аппаратъ, но и вмѣстѣ съ тѣмъ движеніе лодки совершается не по прямой линіи поперечнаго профиля, какъ нужно бы было, а зигзагами.

Менѣе неудобствъ этотъ способъ промѣровъ представляетъ при измѣреніи *продольнаго профиля* рѣчного русла, но и при этомъ имѣются неточности, мѣшающія его распространенію, а именно:

1. Продольный масштаб занесенной графически линіи дна не сводится къ одной величинѣ, но зависитъ отъ часто измѣняющихся скоростей движенія лодки и теченія воды.
2. Путь, опредѣляемый изъ числа оборотовъ лопастного колеса, будетъ пропорціоналенъ этому послѣднему (или что тоже скорости движенія лодки) только при работѣ въ неподвижной водѣ. При движеніи лодки въ текущей водѣ этого не будетъ, такъ какъ число оборотовъ колеса зависитъ здѣсь отъ отношенія дѣйствительной скорости хода лодки къ скорости теченія и отъ направленія этого теченія.
3. Продольныя разстоянія можно установить лишь приблизительно съ лодки по отмѣткамъ на берегу.

Тѣмъ не менѣе въ случаяхъ, когда предполагается производить точныя изслѣдованія рѣки, *приборы, подобныя Штехеровскому, безусловно должны быть рекомендованы* для опредѣленія не только продольныхъ, но и поперечныхъ профилей русла. Указанные выше недостатки автоматическихъ промѣрныхъ аппаратовъ конечно уменьшаютъ совершенную точность показаній; вслѣдствіе этого къ нимъ предъявляется еще большая требовательность въ достиженіи точности промѣровъ; но вѣдь и то, что дано этими приборами, превосходитъ точностью и даже дешевизной въ работѣ обыкновенно употребляемый способъ промѣровъ наметкой и лотомъ.

Безъ сомнѣнія, желательны дальнѣйшія усовершенствованія, упрощенія въ конструкціи, а затѣмъ и уменьшеніе стоимости этихъ приборовъ. Примѣненіе электричества, приданіе нѣкоторой подвижности самому прибору въ мѣстѣ прикрѣпленія его къ борту судна, подобно устройству новѣйшаго аппарата *Мунта*, составятъ уже начало осуществленія перваго желанія.

Надо полагать, что только отсутствием спроса объясняется немнѣніе въ продажѣ простыхъ, но въ то же время точныхъ и удобныхъ самопишущихъ промѣрныхъ приборовъ, а также не разработаны способы точно прямолинейнаго передвиженія этихъ приборовъ въ поперечномъ профилѣ.

Примѣненіе
прибора
Stecher's a
въ Россіи.

§ 24. Въ Россіи имѣется всего одинъ только такой приборъ (*Stecher's a*), а именно въ Рижскомъ портѣ съ 1886 г. [118]. Вотъ нѣкоторыя отличительныя черты этого устройства отъ вышеописаннаго 7)

Аппаратъ (табл. IV, фиг. 1 и 2) помѣщается на одиночномъ желѣзномъ понтонѣ (33 фут.×9 фут.×3 фут.); стальной валъ *b* (діам. 2") поддерживается двумя подшипниками *d*, укрѣпленными на дубовой скамьѣ. Промѣрный шестъ, изъ углового желѣза съ деревянными связями, прикрѣпленъ къ концу вала *b*, сбоку понтона; прямолинейная часть шеста длиною 25 фут. (=7,62 метр.) и это есть вмѣстѣ съ тѣмъ наибольшая глубина, при которой аппаратъ можетъ работать. Радиусъ сектора 6", — такъ что масштабъ глубинъ = 1 : 50; при скорости буксируемаго паровымъ баркасомъ понтона въ 6 верстѣ въ часъ, для горизонтальныхъ разстояній получается масштабъ 1 : 1500; такимъ образомъ, въ вычерчиваемомъ приборомъ профилѣ отношеніе горизонтальныхъ разстояній къ глубинамъ = 1 : 30. На латунномъ масштабѣ имѣются дѣленія на футы, $\frac{1}{2}$ футы, $\frac{1}{4}$ футы; на немъ свободно движется скоба, автоматически указывающая наименьшую глубину пройденнаго приборомъ участка.

Этотъ приборъ примѣняется тамъ для полученія продольныхъ профилей дна р. Зап. Двины въ предѣлахъ порта, профилей въ мѣстахъ проектированныхъ дамбъ, профилей на барѣ, и у подошвъ выправительныхъ сооружений — съ цѣлью слѣдить за возможнымъ ихъ подмывомъ. Разстоянія отъ берега опредѣляются помощью дальномѣра самой простой конструкціи (дальномѣръ — ружье). Аппаратъ оказался очень удобнымъ по быстротѣ и результатамъ во всѣхъ перечисленныхъ работахъ. Самъ приборъ съ таможенными расходами обошелся въ 441 р. кредитн., желѣзный понтонъ сдѣланъ на заводѣ въ Ригѣ за 575 руб.; такъ что общая стоимость всего устройства составляетъ 1016 руб.

IV. Приборы и производство промѣровъ на очень большихъ рѣкахъ.

Для полученія возможно бѣльшаго числа промѣрныхъ точекъ, а при нѣкоторыхъ дополненіяхъ въ устройствѣ и для полученія профиля дна въ видѣ непрерывной кривой на большихъ, глубокихъ и быстрыхъ рѣкахъ, каковы Рейнъ, Дунай, Миссиссипи и т. п. промѣры могутъ быть произведены съ помощью особо устроенныхъ плотовъ и рамъ. Общее устройство такихъ приспособленій ниже описывается.

§ 25. На Рейнѣ [71, 75—85; 127], при производствѣ промѣровъ въ скалистыхъ участкахъ, между Bingen'омъ и St. Goar'омъ, были приняты всѣ мѣры къ тому, чтобы не пропустить ни одной возвышающейся надъ проектнымъ дномъ точки; для этой цѣли были употреблены особыя усовершенствованныя приспособленія въ видѣ промѣрныхъ плотовъ⁸⁾.

Такой плотъ (табл. V, фиг. 2) составленъ изъ двухъ желѣзныхъ лодокъ длиною въ 20 метр., связанныхъ взаимно поперечными желѣзными балками, расположенными въ разстояніи 4 метр. одна отъ другой. На балкахъ настилагся досчатый полъ, въ которомъ сдѣланы 9 продольныхъ прорѣзовъ; прорѣзы, длиною нѣсколько болѣе 10 метр., расположены въ разстояніи 1 метра другъ отъ друга; при чемъ четыре изъ нихъ приходятся надъ лодками (по два надъ каждой), въ которыхъ и продѣланы соответственныя отверстія. Черезъ каждый изъ прорѣзовъ можно опускать промѣрный шестъ гдѣ угодно.

Промѣрный
плотъ.

Подобныя же плоты употреблялись для промѣровъ на р. Дунаѣ при регулированіи «Желѣзныхъ Воротъ» [76]. Но въ дунайскихъ порогахъ теченіе значительно сильнѣе, чѣмъ на Рейнѣ и кромѣ того приходилось работать при болѣе высокихъ горизонтахъ воды; поэтому промѣрные шесты были замѣнены прочными желѣзными трубами, опускаемыми вертикально на дно между направляющими роликами. Такимъ приспособленіемъ достигнуто безъ сомнѣнія улучшеніе аппарата и болѣшая точность промѣровъ.

Плотъ укрѣпляется на мѣстѣ помощью якорныхъ канатовъ, навиваемыхъ на лебедки; изъ нихъ одинъ—становой канатъ, въ носовой части и по два по сторонамъ для бокового папильонажа. Точная установка плотовъ надъ мѣстомъ измѣреній достигается помощью вѣхъ, устанавливаемыхъ какъ на плоту, такъ и по профилямъ на берегахъ, примѣняя проволочный промѣрный канатъ для измѣренія разстоянія отъ берега.

При каждой установкѣ производится промѣры на площади длиною и шириною въ 10 метровъ, причемъ глубины измѣряются чрезъ метръ. По окончаніи каждаго промѣра переводятъ плотъ на 10 метр. далѣе отъ берега или внизъ по теченію.

Для помѣщенія десятника и рабочихъ, а также для храненія инструментовъ устраиваются на кормѣ будки.

§ 26. Съ тою же цѣлью на р. Рейнѣ примѣнялся [71; 127] аппаратъ съ промѣрной рамой, имѣющій слѣдующее устройство (табл. V, фиг. 7 и 8).

Плотъ съ
промѣрной
рамой.

Такъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, два желѣзныя судна (лодки) связываются желѣзными балками, на которыхъ насланъ досча-

тый полъ. Лодки, длиною 16 м. и шириною 1,7 м., расположены въ разстояніи 2 м. одна отъ другой. На этомъ плавучемъ помостѣ установлены желѣзныя подмости изъ четырехъ козелъ *i*, соединенныхъ другъ съ другомъ горизонтальными и наклонными желѣзными связями. Къ подмостямъ подвѣшена такъ наз. промѣрная рама *S* на тонкихъ стальныхъ тросахъ *l*.

Рама состоитъ изъ горизонтальной желѣзной балки *S* коробчатого сѣченія и трехъ трубчатыхъ подвѣсокъ *r*. Поддерживающіе раму стальные тросы перекинута черезъ ролики *k*, установленные въ кормовой части плота, и тамъ прикрѣплены къ противовѣсамъ *Q*, могущимъ подниматься и опускаться въ коробкѣ *h*. Такимъ образомъ, рама находится на вѣсу и, при вѣсѣ ея въ 600 килогр., ее можетъ свободно поднимать и опускать одинъ рабочій. Для возможной установки рамы на уровнѣ нормальнаго дна при измѣненіяхъ горизонта воды, на всѣхъ подвѣскахъ находятся обоймы *o*, которыя можно передвигать и закрѣплять помощью винтовъ въ какомъ угодно положеніи. Обоймы покоятся на деревянныхъ колодкахъ *p*, укрѣпленныхъ на досчатомъ помостѣ, такъ что рама свободно на нихъ качается. Низъ рамы поддерживается цѣпью *w* препятствующей отклоненію рамы силою теченія. Для удобства установки обоймъ, на подвѣскахъ нанесены дѣленія.

Вслѣдствіе значительной тяжести рама сохраняетъ отвѣсное положеніе и не гнется; работа оказывается точной; производить промѣры можно и при высокой водѣ.

Весь снарядъ передвигается поперекъ рѣки; рама при этомъ движеніи наталкивается на всѣ неровности, возвышающіяся надъ нормальнымъ уровнемъ дна, и малѣйшіе выступы могутъ быть при этомъ отмѣчены и измѣрены. Для передвиженія и установки всего снаряда служатъ рули и три лебедки: *c* — для каната главнаго или станового, закрѣпляемаго вверху по теченію, и *d*, *d'* — двѣ боковыя — для боковой установки. Для измѣренія разстоянія промѣрнаго плота отъ берега употребляются вышеописанные проволочные промѣрные канаты.

Г Л А В А III.

Определение скорости воды непосредственнымъ измѣреніемъ. — Описание устройства измѣрительныхъ приборовъ.

Приборы для измѣренія скорости устроены такимъ образомъ, что помощью ихъ опредѣляютъ скорость v лишь въ одной данной точкѣ профиля или, что то же, скорость $v_{x,h}$ въ точкѣ данной вертикали, глубиною h , на разстояніи x отъ поверхности; нѣкоторые приборы даютъ возможность однимъ измѣреніемъ опредѣлить среднюю скорость $V_{m,h}$ всей вертикали. Различныя устройства этихъ инструментовъ разсматриваются въ настоящей главѣ, подраздѣляя всѣ гидрометрическіе приборы на три большія группы: 1) поплавки, 2) гидрометрическія трубки и 3) вертушки.

А. Поплавки.

§ 1. Къ самымъ простымъ приборамъ для измѣренія скоростей воды могутъ быть отнесены *поплавки*—поверхностныя и глубинныя, и гидрометрической *шестъ* [5, 43—44; 7; 9, 267—270; 12; 13; 17; 22, 317—320; 326—328; 24; 29; 31, т. II, 211—215; 32, 30—31; 47; 54; 61; 64, 17—20; 67; 70; 72; 80; 91; 96, 230—239; 120; 134, 192—214].

Идея примѣненія поплавковъ.

Употребленіе ихъ основано на томъ предположеніи, что плавающее въ водѣ тѣло, небольшихъ размѣровъ и вѣса, имѣющее вначалѣ движенія, вслѣдствіе инерціи, скорость меньшую, принимаетъ въ скоромъ времени ту же скорость, какъ и текущая вода. Большія и тяжелыя тѣла, какъ напр., лодки, суда и т. п., находясь на поверхности воды, какъ на наклонной плоскости, въ силу своей тяжести, получаютъ ускореніе и движутся быстрѣе воды; ихъ скорость движенія будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ болѣе ихъ вѣсъ и уклонъ поверхности воды. Такъ, инженеръ *Логгинъ* [112, 336—339] замѣтилъ на р. Чусовой, что сплавныя суда движутся со скоростью, на 20—30% превосходящею скорость текущей воды. Разность же въ скоростяхъ полавка и воды всегда

будетъ чрезвычайно мала ¹⁾, если только поплавокъ, при употребляемыхъ въ практикѣ размѣрахъ, будетъ имѣть значительную поверхность въ сравненіи съ его вѣсомъ (полый внутри), что и подтверждается рядомъ точныхъ наблюденій, о которыхъ рѣчь будетъ ниже.

Поверхност-
ный попла-
вокъ.

§ 2. Поверхностный поплавокъ служитъ для опредѣленія скорости v_0 на поверхности (или, вѣрнѣе, у поверхности) потока. Онъ представляетъ собою, въ большинствѣ случаевъ, сплошной деревянный или полый внутри жестяной или мѣдный шаръ (Табл. VI, фиг. 1), діаметромъ 10—30 с/м. [29, 48; 35, 140—141; 80, 247—248; 134, 197].

Кромѣ этого общаго типа, въ *большихъ руслахъ* поправки устраиваются (Табл. VI, фиг. 2) изъ двухъ врубленныхъ накрестъ однодюймовыхъ дощечекъ длиною въ 3 фута и шириною 6 дм., поставленныхъ на ребро; посрединѣ утверждается металлическій стержень, снабженный вверху шарикомъ, окрашеннымъ въ яркій цвѣтъ [122, 43—44]. Употребляютъ, въ этомъ случаѣ, также для поплавокъ стеклянные или жестяные бутылки (Табл. VI, фиг. 4); обрубки дерева (дуба)—стволы, 20—40 с/м. длиною и 4—5 с/м. діаметромъ (Табл. VI, фиг. 5), къ нижнему концу которыхъ для удержанія ихъ въ вертикальномъ положеніи привязываютъ камни.

Для *небольшихъ рѣкъ и ручьевъ* достаточны деревянные кружки (Табл. VI, фиг. 7), діаметромъ 5—10 с/м. и 2—3 с/м. толщиною ²⁾; нерѣдко примѣняютъ диски—деревянные или пробковые, діаметромъ 25—30 м/м. и толщиною 3—6 м/м.

Поплавки, употреблявшіеся инж. *Леляевскимъ* при измѣреніяхъ на р. Днѣпрѣ, описаны въ главѣ IV, § 12 (Табл. XVII, фиг. 4, 5).

Съ цѣлью погруженія поправка въ воду на большую часть его объема нерѣдко требуется увеличивать вѣсъ имѣющихся поплавокъ. При деревянныхъ шарахъ (діам. 10—12 с/м.) это достигается вбиваемыми въ него желѣзными гвоздями или вливаемымъ въ углубленіе свинцомъ; при деревянныхъ кружкахъ и дискахъ — прикрѣпленнымъ снизу свинцовымъ кружкомъ (фиг. 7). Металлическіе шары съ тою же цѣлью наполняются пескомъ, дробью или водой чрезъ находящееся внизу отверстіе *a* (фиг. 1), снабженное завинчивающейся пробкой. Вверху этихъ послѣднихъ поплавокъ имѣется небольшой металлическій конусъ *b* съ кольцомъ, выступающій изъ воды и служащій для болѣе точнаго наблюденія съ берега за шаромъ при его движеніи.

Поверхность поплавокъ окрашивается яркой масляной суриковой или бѣлой краской.

Условія
примѣненія
поплавокъ.

При измѣреніяхъ скоростей воды поплавокъ нужно устранить не только скорость самого шара при погруженіи его въ воду, но и всякое теченіе воздуха или вѣтеръ, замедляющіе или ускоряющіе движеніе шара.

Для выполнения этих требований:

- a) измѣреній во время вѣтра производить не слѣдуетъ;
- b) части шара, подверженной вѣтру, нужно придавать возможно малые, хотя и замѣтные для глаза съ берега, размѣры;
- c) шару даютъ такой вѣсъ, чтобы онъ погрузился въ воду доверху (не менѣе $\frac{3}{4}$ своей вмѣстимости);
- d) всѣ части поплавок должны имѣть такую форму, чтобы представлять постоянную поверхность какъ для вѣтра, такъ и для воды, несмотря на круговое вращеніе прибора во время его движенія;
- e) погруженная часть поплавок также должна имѣть возможно меньшій объемъ, чтобы не производить никакихъ возмущеній въ естественномъ движеніи воды; тогда при достаточно малыхъ размѣрахъ поплавок можно вполне принимать скорость его равною скорости потока;
- f) шаръ погружаютъ въ воду по крайней мѣрѣ за 10 метр. выше (по теченію) мѣста наблюденія;
- g) всѣ части должны изготовляться изъ матеріаловъ, на которые мало вліяютъ сухость или влага.

Такимъ образомъ, воздухъ на шаръ будетъ вліять настолько, насколько онъ вліяетъ на верхніе слои воды, и шаръ, пройдя 10 метр., будетъ уже имѣть скорость воды.

§ 3. Глубинный поплавокъ даетъ возможность опредѣлить скорость въ точкѣ, расположенной на произвольной глубинѣ. Идея устройства этого поплавокъ принадлежитъ (1643 г.) *Leonardo-da-Vinci*; первое употребленіе (1684 г.)—*Mariotte*'у.

Глубинный
(двойной)
поплавокъ.

Двойной поплавокъ (Табл. VI, фиг. 6 и 9) состоитъ изъ двухъ твердыхъ тѣлъ *A* и *B*, соединенныхъ гибкой нитью (шнуромъ или пѣпочкой). Одно изъ этихъ тѣлъ, остающееся всегда на поверхности воды, представляетъ собственно поверхностный поплавокъ; другое, дѣлаемое обыкновенно тяжелѣе воды, погружается въ воду, поддерживаемое первымъ помощью нити. Расположеніе нижняго тѣла на требуемой глубинѣ опредѣляется въ зависимости отъ длины нити.

Этотъ приборъ можетъ имѣть двѣ различныя формы:

- a. Поверхностный поплавокъ *A* можетъ быть сдѣланъ очень малымъ (Табл. VI, фиг. 6, 8, 10), и нить изъ тонкаго шелка, пропитанная растительнымъ масломъ, такъ что дѣйствіе потока на него и нить можетъ быть пренебрегаемо; такимъ образомъ въ этомъ случаѣ получается непосредственно скорость на глубинѣ нижняго поплавокъ ³⁾.

Двѣ формы
глубиннаго
поплавокъ.

б. Оба поплавка *A* и *B* (Табл. VI, фиг. 9) представляют полые внутри шары, объемы коих находятся въ определенномъ отношеніи (большою частью равны). Нижний шаръ *B* весь наполняется водою; тогда какъ соединенный съ нимъ шнуркомъ или цѣпочкою ⁴⁾ поверхностный шаръ *A* наполняется лишь настолько, чтобы *B* былъ на требуемой глубинѣ, а отъ *A* выходилъ изъ воды только его конусъ *b* (Табл. VI, фиг. 1).

Въ послѣднемъ случаѣ дѣйствіе потока на шаръ *A* можетъ быть исключено слѣдующимъ способомъ. Прежде всего одиночнымъ шаромъ *A* опредѣляется скорость воды у поверхности v_0 ; затѣмъ соединенными шарами—средняя ихъ скорость— v ; тогда скорость v_x на глубинѣ x шара *B* можетъ быть найдена изъ равенства горизонтальныхъ реакцій потока на верхній и нижній поплавокъ, существующаго при какомъ угодно распредѣленіи скоростей по вертикали.

При шарахъ одинаковаго объема для разсматриваемаго случая послѣдовательно имѣемъ:

$$v_0 - v = v - v_x; \quad v = \frac{v_0 + v_x}{2}; \quad v_x = 2v - v_0$$

Двойной поплавокъ, примененный на р. Миссисипи.

При измѣреніи расхода воды въ большой рѣкѣ, какъ Миссисипи ($Q \cong 17.000$ куб. метр. въ сек.) въ Америкѣ [32, 50—51; 45, 448—450; 134, 199—200], былъ примененъ двойной поплавокъ слѣдующаго устройства (Табл. VI, фиг. 10). Верхній поплавокъ представляетъ квадратную доску, въ сторонѣ $0_{,20}$ м. и толщиною $0_{,075}$ м. (можетъ быть шаръ діам. $0_{,20}$ м.), съ воткнутымъ въ нее сверху на проволоку (высотю $0_{,30}$ м.) краснымъ флажкомъ; нижняя часть этого поплавокъ имѣетъ ввернутую желѣзную петлю. Посредствомъ шнура толщиною 5 м/м. верхній поплавокъ соединенъ съ нижнимъ, представляющимъ собою боченокъ, діаметромъ $0_{,25}$ м. и высотой $0_{,35}$ м., нагруженный дробью. Глубины вертикалей при измѣреніяхъ доходили до 43 метр. (140 фут.).

Гидрометрический шестъ.

§ 4. Среднюю скорость части или всей вертикали можно опредѣлить хотя и приближенно, но все-таки болѣе точно [13, 222—246 и Табл. VII—XXVIII; 23; 12, 96—98; 29; 32], нежели двойнымъ поплавкомъ, помощью гидрометрическаго шеста (Табл. VI, фиг. 11, 13, 14, 15). Идея примененія шестовъ очень проста и практична и впервые была приложена къ практикѣ болѣе 2-хъ столѣтій тому назадъ *Büffon*'омъ [31, t. II, 212; 32, 17—28] при измѣреніяхъ на р. *Tibre*; *Krayenhoff*'омъ на рѣкахъ Голландіи—1812 году; итальянскіе инженеры примѣняютъ шесты для всѣхъ рѣкъ какъ приборы, дающіе достаточно точные результаты; *Lombardini*—на р. По,—1840 г.; *Destrem*, *Francis* и другіе; *Semrad*—на р. *Etsch*—1877 г.; *Excillé*—на р. *Saône*; англійскіе инже-

неры — на каналахъ Индiи (*Cunningham*⁵) [13, 226—228 и Табл. XXIV] и р. Igawady (*Gordon*); американскiе инженеры (*Humphreys and Abbot*) на р. Миссисипи; *Graëff* — на р. Loire и ея притокахъ; нѣмецкiе инженеры на р. Эльбѣ и т. д. Такимъ образомъ, шесты получаютъ все большее и большее распространенiе и, какъ увидимъ ниже, вполне основательно.

Шестъ можетъ быть сплошной деревянный (изъ дуба), покрытый лакомъ (Фиг. 13), или свинчиваемый изъ нѣсколькихъ (смотря по глубинѣ потока) жестяныхъ трубокъ (Фиг. 14 и 15) съ дномъ и крышкою: всегда цилиндрической, возможно тоньше, диаметромъ не болѣе 0,02—0,06 метр. Онъ въ нижнемъ своемъ концѣ нагружается дробью или свинцомъ, чтобы перенести центръ тяжести его возможно ниже, и погрузить приблизительно на ($7/8—0,94$) глубины вертикали⁶), для которой ищется средняя скорость; выступаетъ онъ надъ водой не болѣе 0,05 метр. При небольшихъ глубинахъ иногда, для приблизительнаго опредѣленiя, погружаютъ поплавокъ (Фиг. 11) на $2/3$ глубины⁶) потока, и найденную скорость такого шеста принимаютъ за среднюю скорость для данной вертикали.

Шестъ въ стоячей водѣ принимаетъ вертикальное положенiе; въ текущей же всегда нѣсколько наклоненъ влѣдствiе разности скоростей воды, дѣйствующей на него вверху и внизу (двигаясь со скоростью среднюю, промежуточную между ними), почему его длина l не равна глубинѣ h вертикали. Но разность $l—h$ и уголъ наклона къ вертикали могутъ быть значительно уменьшены (настолько, что можно этимъ пренебречь) увеличенiемъ вѣса его и расположенiемъ центра тяжести — возможно ниже.

В. Гидрометрическiя трубки.

Опишемъ теперь гидрометрическiя трубки, измѣряющiя скорость наиболѣе простымъ способомъ или въ различныхъ, произвольно выбранныхъ по глубинѣ, пунктахъ одной вертикали, или сразу для всей вертикали, и притомъ въ обоихъ случаяхъ независимо отъ опредѣленiя времени [5, 44—51, 63—70; 7; 9, 273—274; 12; 22, 320—322; 24; 29; 31, т. II, 215—216; 224—227; 32; 47; 54; 61; 64, 17—18; 67; 72; 80; 91; 96, 230—239; 120; 134, 192—214]. Такъ какъ эти трубки на практикѣ примѣняются рѣдко, то въ дальнѣйшемъ изложенiи остановимся болѣе подробно только на наиболѣе употребительныхъ или новѣйшихъ изъ нихъ, иномъ

§ 5. Трубка *Pitot* представляетъ собою (Табл. VI, фиг. 16, 17, 18) Трубка *Pitot*. собственно первоначальный (1732 г.) типъ гидрометровъ этого рода и на практикѣ въ данное время не примѣняется. Но въ виду того, что она входитъ какъ необходимая часть въ употребляемые нынѣ усовер-

шенствованные приборы, а слѣдовательно примѣнена въ нихъ и идея опредѣленія ею скорости течения; то, по нашему мнѣнію, оказывается необходимымъ разсмотрѣть устройство, теорію и свойства этой трубки.

Приборъ *Pitot* состоитъ изъ стеклянной трубки, изогнутой подъ прямымъ угломъ на два неравные колѣна и открытой съ обоихъ концовъ. Если эту трубку погрузить въ текущую воду до произвольной глубины такъ, чтобы короткое (горизонтальное) ея колѣно было обращено прямо противъ течения, то въ вертикальномъ колѣнѣ вода поднимется выше уровня ея въ рѣкѣ на нѣкоторую высоту h . По имѣющейся на трубкѣ шкалѣ можно прочесть эту высоту h , а въ зависимости отъ нея опредѣлить и скорость v_x въ данной точкѣ x вертикали слѣдующимъ образомъ.

Пусть будутъ:

ω —площадь отверстия втеканія воды у горизонтальнаго колѣна трубки;

p —единичное давленіе жидкости для этой площадки;

Δ —вѣсъ единицы объема воды;

g —ускореніе силы тяжести;

k —опытный коэффициентъ.

Уравненіе равновѣсія жидкости, находящейся съ обѣихъ сторонъ сѣченія приѣмнаго отверстия трубки составитъ [82; 96; 98; 113; 134] такъ:

$$p \cdot \omega = \Delta \cdot \omega \cdot (x+h) = \Delta \cdot \omega \cdot x + k \cdot \Delta \cdot \omega \cdot \frac{v_x^2}{2g}$$

Отсюда:

$$\Delta \cdot \omega \cdot h = k \cdot \Delta \cdot \omega \cdot \frac{v_x^2}{2g}; \quad v_x = \sqrt{\frac{1}{k} \cdot 2gh}$$

Свойства и
недостатки
простѣйшей
трубки *Pitot*.
[15, 543—547;
5, 44—49;
9, 273—274].

§ 6. По наблюденіямъ *Darcy* и *Voissey* оказалось, что высота ch (Табл. VI, фиг. 19), на которую вода поднимается надъ уровнемъ вслѣдствіе дѣйствія текущей воды, въ дѣйствительности меньше той, которая соотвѣтствовала бы скорости v_x ; входящія въ трубку частицы жидкости располагаются по *конoidalной* поверхности aob , а не по плоскости; затѣмъ, вслѣдствіе измѣняющагося сжатія струи при входѣ воды въ трубку, замѣчаются колебанія уровня столба ch въ трубкѣ (толчек).

Какъ показали опыты *Darcy*, введенная въ потокъ трубка нарушаетъ движеніе струй жидкости и вызываетъ этимъ замѣтную *потерю въ высоту, соотвѣтствующую давленію воды*. Особенно хорошо это на-

блюдается для трубок прямой AB и изогнутой CD , но направленной своимъ нижнимъ отверстіемъ внизъ по теченію (Табл. VI, фиг. 20). Эта потеря высоты (пониженіе уровня воды въ трубкѣ), равная mn или pq , пропорціональна члену: $\frac{v_x^2}{2g}$, т.-е. высотѣ, соответствующей скорости v_x въ разсматриваемой точкѣ на глубинѣ x отъ поверхности воды.

Такимъ образомъ имѣемъ (Фиг. 20, Табл. VI):

1. Вода въ трубкѣ EF стоитъ выше уровня воды въ рѣкѣ на высоту $rt=h'$. Зависимость между v_x и h' будетъ:

$$\frac{v_x^2}{2g} = \alpha \cdot h' \dots \dots \dots (1)$$

2. Вода въ трубкѣ CD стоитъ ниже уровня воды въ рѣкѣ на высоту $pq=h''$. Имѣемъ:

$$\frac{v_x^2}{2g} = \alpha' \cdot h'' \dots \dots \dots (2)$$

3. Вода въ трубкѣ AB стоитъ ниже уровня воды въ рѣкѣ на высоту $mn=h'''$. Имѣемъ:

$$\frac{v_x^2}{2g} = \alpha'' \cdot h''' \dots \dots \dots (3)$$

Потеря высоты для трубки EF изогнутой, но направленной своимъ нижнимъ отверстіемъ противъ течения, — приблизительно равна mn или pq , вѣриѣе $\frac{mn+pq}{2}$; слѣдовательно, къ наблюдаемой въ этой трубкѣ высотѣ rt надо прибавить указанную величину потери въ высотѣ, т.-е. за h надо принять $rt+mn$, или $rt+pq$, или, наконецъ, $rt + \frac{mn+pq}{2}$.

Комбинируя вышеприведенныя выраженія для скорости (1) съ (2) и (1) съ (3), найдемъ величину скорости:

$$v_x = \sqrt{\frac{\alpha \cdot \alpha'}{\alpha + \alpha'}} \cdot \sqrt{2g(h' + h'')} = \varphi \cdot \sqrt{2g(h' + h'')}$$

или

$$v_x = \sqrt{\frac{\alpha \alpha''}{\alpha + \alpha''}} \cdot \sqrt{2g(h' + h''')} = \varphi \cdot \sqrt{2g(h' + h''')}$$

Отыскивая теперь, по заранѣ составленнымъ таблицамъ, скорости v' и v'' , соответствующія высотамъ: $(h' + h'')$ и $(h' + h''')$, получимъ:

$$v_x = \varphi \cdot v'$$

$$v_x = \varphi' \cdot v''$$

Образованіе мениска вследствие капиллярности трубки вводитъ еще новыя и нерѣдко значительныя ошибки въ опредѣленіе высоты столба.

Поэтому предположенное *Pitot* существованіе точнаго равенства $h = \frac{v_x^2}{2g}$ оказалось такимъ образомъ неправильнымъ и необходимо всегда вводить въ выраженіе для скорости предложенный *Darcy* иѣкоторый коэффициентъ ϕ поправки [15. 543—547; 5. 44—49; 31, t. II, 224—226]. Этотъ коэффициентъ, какъ мы видѣли выше, равенъ

$$\sqrt{\frac{\alpha\alpha'}{\alpha+\alpha'}} \quad \text{или} \quad \sqrt{\frac{\alpha\alpha''}{\alpha+\alpha''}}$$

и зависитъ, кромѣ того, еще отъ свойствъ самой трубки; онъ опредѣляется изъ опытовъ.

Такимъ образомъ, для опредѣленія скорости v_x помощью трубки *Pitot* получимъ слѣдующее выраженіе:

$$v_x = \phi \cdot \sqrt{\frac{1}{k}} \cdot \sqrt{2gh} = \phi \cdot \sqrt{\frac{1}{k}} \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{h} = \phi \cdot k_1 \cdot m \cdot \sqrt{h} = \mu \cdot \sqrt{h},$$

гдѣ $\mu = \phi \cdot k_1 \cdot m$ — наз. коэффициентомъ даннаго прибора.

Коэффициентъ μ опредѣляется измѣреніемъ тѣхъ же скоростей v_x различными другими, заранѣе вывѣренными приборами.

Устройство трубокъ съ расширеніемъ нижнимъ устьемъ (фиг. 17), для полученія большаго числа струй съ цѣлью уменьшенія вышеуказанныхъ недостатковъ, на самомъ дѣлѣ лишь увеличило толчею въ трубкѣ, препятствующую чтенію высотъ, въ особенности при слабыхъ скоростяхъ теченія; слѣланное затѣмъ дальнѣйшее расширеніе вертикальной части трубки только до иѣкоторой степени уменьшило эти колебанія.

Усовершенствованіе трубки *Pitot*, предложенное *Voisani*. [9, 274—276].

§ 7. Для болѣе точнаго опредѣленія высоты столба жидкости въ трубкѣ *Pitot*, *Voisani* предложилъ сдѣлать слѣдующія дополненія.

Трубка (Табл. VI, фиг. 23) заканчивается вверху цилиндрическимъ (двойнымъ) резервуаромъ *R*, погружаемымъ нѣсколько въ воду. Спокойный уровень воды, соответствующій гидростатическому, будетъ *Oe* на линіи *AB* (между стѣнками резервуара *R*). Дѣйствіемъ текущей воды на сѣченіе *ab* пріемнаго отверстія уровень въ цилиндрѣ (внутреннемъ) повышается надъ *Oe*. Закрываютъ помощью крана сообщеніе резер-

вуара R съ трубкой $abcd$ и через другой край сливаютъ полученный излишекъ воды до уровня Oe въ особый измѣрительный сосудъ. Повторяютъ эти дѣйствія нѣсколько разъ; затѣмъ измѣряютъ общій объемъ Q ; раздѣляя его на поперечную площадь внутренняго цилиндра, получаютъ искомую величину h .

Тогда, если ω —площадь поперечнаго сѣченія внутренняго резервуара R ; y —высота столба жидкости, соответствующая точно скорости въ ab ; $q_1, q_2, q_3 \dots q_n$ —объемы жидкости для каждой изъ n отдѣльныхъ операций; $d_1, d_2 \dots d_n$ —возможныя ошибки въ q при опредѣленіи точно положенія уровня Oe послѣ каждого сливанія жидкости q , имѣемъ:

$$\omega \cdot y = q_1 \pm d_1$$

$$\omega \cdot y = q_2 \pm d_2$$

$$\omega \cdot y = q_3 \pm d_3$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\omega \cdot y = q_n \pm d_n.$$

Суммируя обѣ части, получимъ:

$$n \cdot \omega \cdot y = \sum_{i=1}^{i=n} q_i \pm \sum_{i=1}^{i=n} d_i = Q \pm d_0.$$

Откуда:

$$y = \frac{Q}{n \cdot \omega} \pm \frac{d_0}{n \cdot \omega}.$$

Отношеніе $\frac{Q}{n\omega}$ и есть искомая высота h . Ошибка, равная d_0 , вообще незначительна и будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше діаметръ резервуара R ; она можетъ быть сдѣлана очень малою при большомъ n .

Это приспособленіе даетъ, по мнѣнію *Boileau*, настолько точные результаты, что его можно сравнить съ физическими и геодезическими инструментами. Спроектированный на этомъ основаніи *Boileau* приборъ довольно громоздкій и сложный, почему вѣроятно и не получилъ распространенія.

Интересующихся этимъ устройствомъ отсылаемъ къ сочиненію *Boileau* [9, 276—278].

§ 8. *Pitot*, послѣ вышеуказанныхъ опытовъ *Darcy*, сталъ примѣнять двѣ трубки (Табл. VI, фиг. 21)—изогнутую AB и прямую CD и за h въ указанной выше формулѣ принималъ величину $nq = mn + mq$. При этомъ уже обѣ трубки не могутъ быть названы гидростатическими, какъ ихъ называлъ ранѣе *Pitot*,—обѣ будутъ гидравлическія.

Усовершенствованная трубка *Pitot*.

Недостатки прибора:

- 1) ограниченность глубины, на которой может быть произведено наблюдение, потому что верхний конец трубки должен постоянно находиться вѣ воды;
- 2) діаметръ приемныхъ отверстій остался тотъ же, т. е. равный діаметру трубки, а слѣдовательно ошибки, являющіяся слѣдствіемъ толчеи (колебаній), не избѣгнуты.

Но зато инструментъ этотъ имѣетъ то *преимущество*, что употребленіе его весьма просто, и онъ можетъ примѣняться въ мелкихъ мѣстахъ рѣки и небольшихъ канавахъ.

Трубка
Darcy.

§ 9. Усовершенствованія трубки *Pitot*, введенныя *Darcy*, даютъ возможность примѣнять этотъ приборъ для болѣе точныхъ изслѣдованій ⁸⁾).

Устройствомъ двухъ трубокъ одинаковаго діаметра устранено вліяніе волосности на показанія прибора. Малымъ діаметромъ (1—1₃₀ м/м.) приемныхъ отверстій (тогда какъ сама трубка діаметромъ 1 см.) почти совершенно устранено колебаніе уровнейъ воды въ трубкахъ; колебаніе же уровня снаружи прибора при двухъ трубкахъ не имѣетъ значенія [15; 5; 31; 12, 118—121; 7; 47; 29; 35; 67; 72; 64; 91].

Описаніе.

Въ усовершенствованномъ видѣ она (Табл. VI, фиг. 22) состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ *a* и *b*, прочно прикрѣпленныхъ къ дубовой доскѣ *gg*. Вверху и внизу эти трубки прочно впаяны въ мѣдныя соединители *d* и *e*, которые снабжены кранами *Z* и *F*. Шаровой кранъ *Z* приводится въ дѣйствіе сверху двумя шнурами (веревками) *m*; онъ отдѣляетъ внутреннее пространство трубокъ отъ воды. Кранъ *F* отдѣляетъ ихъ отъ вѣшняго воздуха. Ниже обдѣлки *e* стеклянныя трубки *a* и *b* переходятъ въ мѣдныя, изогнутыя затѣмъ подъ прямымъ угломъ, *a*₁ и *b*₁; концы послѣднихъ отстаютъ отъ доски достаточно далеко, чтобы отверстія *a*₁ и *b*₁ не были подъ вліяніемъ производимаго приборомъ подпора. Поперечное сѣченіе отверстія *a*₁ располагается нормально къ теченію, и трубка такимъ образомъ направлена устьемъ противъ теченія; устье трубки *b*₁ параллельно теченію.

Производство
наблюденій.

Для производства наблюденій прикрѣпляютъ весь приборъ къ желѣзному шесту *AB* помощью муфтъ *m*, *i*, *k* такимъ образомъ, что *m* опирается на привинчиваемое, переставляемое смотря по надобности, кольцо *l*, такъ что весь приборъ можетъ свободно вращаться вокругъ шеста *AB*. Слѣдовательно, отверстія *a*₁ и *b*₁ могутъ быть установлены на желаемой глубинѣ. Помощью руля *M* доска *gg* всегда устанавливается такъ, что отверстія *a*₁ и *b*₁ совпадаютъ съ направлениемъ теченія, указаннымъ стрѣлками.

Когда приборъ погруженъ въ воду и установленъ, какъ показано на чертѣжѣ, открываютъ при помощи одного изъ шнуровъ n кранъ Z . Тогда вода въ обѣихъ стеклянныхъ трубкахъ по прошествіи нѣкотораго времени ⁹⁾ займетъ высоту yy , соответствующую скорости теченія и наружному уровню воды, причемъ уровень воды въ трубкѣ a будетъ всегда выше, чѣмъ въ b . Затѣмъ, когда высоты yy сдѣлаются постоянными, высасываютъ воздушнымъ насосомъ (а при небольшихъ размѣрахъ прямо ртомъ) чрезъ каучуковую трубку p изъ трубокъ воздухъ и такимъ образомъ поднимаютъ оба столба воды до нѣкоторой, удобной для наблюденія высоты $y'y'$. Послѣ этого закрываютъ кранъ F и, какъ только оба столба успокоятся, закрываютъ помощью второго шнура n кранъ Z . Теперь остается только на миллиметровыхъ дѣленіяхъ металлической шкалы (Табл. VI, фиг. 12, 22, 24) прочесть съ помощью передвижныхъ нониусовъ высоты столбовъ h_1 и h_2 . При этомъ приборъ не долженъ измѣнять отвѣснаго положенія, — иначе водяные столбы будутъ увеличены, что повлечетъ къ ошибочнымъ результатамъ.

Расположеніе наблюдателя и его помощника, держащаго трубку Руслы въ строго вертикальномъ положеніи, въ случаѣ русель небольшой ширины, представлено на фиг. 1, Табл. VII.

Когда нужно дѣлать измѣренія на сравнительно большихъ глубинахъ, требующихъ погруженія всего прибора, или при измѣреніи такихъ большихъ скоростей, при которыхъ для превышенія водяного столба не хватаетъ имѣющейся трубки, является неудобство въ необходимости имѣть весьма длинныя трубки. Въ этихъ случаяхъ *Darcy* предлагаетъ чрезъ кранъ F накачивать воздухъ въ трубки (вмѣсто высасыванія) и такъ какъ обѣ трубки сообщаются, то разность уровней будетъ такая же, какъ и при отсутствіи давленія сверху.

§ 10. Проф. *Giseler* въ Воннѣ [124; 65] предложилъ пространство внутри обѣихъ стеклянныхъ трубокъ прибора *Darcy* наполнять несмѣшивающейся съ водою и нерастворимой въ ней жидкостью, удѣльный вѣсъ которой меньше удѣльнаго вѣса воды. Въ зависимости отъ относительнаго вѣса обѣихъ жидкостей уровень въ трубкѣ поднимается въ одномъ колѣнѣ и опускается въ другомъ значительно больше, нежели при прежнемъ устройствѣ. Такой удобной жидкостью оказался керосинъ, такъ какъ при этомъ наблюдаемая при одной и той же скорости разность уровней почти въ 10 разъ больше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда пространство надъ водою внутри трубокъ наполнено воздухомъ. Керосинъ для облегченія наблюденій можетъ быть подкрашенъ въ красный цвѣтъ.

Руслы небольшой ширины.

Приспособленіе для большихъ глубинъ

Усовершенствованіе трубки *Darcy*, предложенное *Giseler* омъ.

Трубка *Darcy*, приспособленная къ измѣренію скорости хода судна.

Приборъ для измѣренія скорости хода судна [121; 18], патентованный недавно въ Германіи, представляетъ собою нѣсколько видоизмѣненную трубку *Darcy* съ подкрашеннымъ керосиномъ внутри обѣихъ стеклянныхъ трубокъ; онъ можетъ съ одинаковымъ успѣхомъ служить и какъ гидрометрическая трубка.

Этотъ приборъ, въ зависимости отъ способа показаній скорости, можетъ быть устроенъ двояко:

1. Приборъ для постояннаго наблюденія за измѣненіями скорости во время хода судна (Табл. VII, фиг. 2) состоитъ изъ вертикальной двухколѣнной трубки, оба колѣна которой b и b_1 въ верхней своей части сдѣланы изъ стекла. Нижніе концы a и a_1 обѣихъ трубокъ загнуты подъ прямымъ угломъ въ противоположныя стороны. Вверху, въ мѣстѣ соединенія обѣихъ вѣтвей, расположенъ край f , а надъ нимъ полый шаръ k съ кранами p и g . Край g служитъ для сообщенія съ воздушнымъ всасывающимъ насосомъ; черезъ край p наливаютъ керосинъ. На протяженіи стеклянной части, трубки снабжены шкалою, дѣленія которой опредѣляются опытами.

2. Приборъ для передачи показаній скорости хода судна на разстояніе. Устройство его представлено на фиг. 3, Табл. VII; тѣми же буквами обозначены однородныя части. Темная жидкость здѣсь изображаетъ ртуть. Въ стѣнкѣ трубки на разныхъ высотахъ впаяны проволоки, до которыхъ подымается столбикъ ртути, и электрической токъ замыкается, когда скорость достигнетъ извѣстной величины; пріемляется столько паръ проволокъ, сколько различныхъ скоростей желаютъ показать. Въ этомъ случаѣ помощью электричества передаются извѣщенія объ опредѣленныхъ скоростяхъ. Кроме того, возможно воспроизвести при замыканіи каждаго тока знаки на бумажной полосѣ, приводимой въ движеніе часовымъ механизмомъ и такимъ образомъ имѣть приборъ, записывающій скорости автоматически.

Трубка *Ritter*'а.

§ 11. Трубка *Ritter*'а (Табл. VII, фиг. 6) есть видоизмѣненная трубка *Darcy*—тоже для малыхъ (до 1,80 метр.) глубинъ [56; 12, 121—127; 7; 47]; но, какъ самъ изобрѣтатель указываетъ, ее можно приспособить и для глубинъ даже большихъ 3 метр.

Особенности этого устройства:

- 1) Манометръ N (шкала) можетъ быть помѣщаемъ на любой высотѣ, независимо отъ положенія прибора, пользуясь соединительными каучуковыми трубками.
- 2) Динамическая трубка A —прямая и направлена, какъ и въ приборѣ *Darcy*, отверстиемъ противъ теченія; діаметромъ 4—8 м/м. и длиной 0,10—0,15 метр.; внутренній діаметръ входнаго отверстия 2 м/м.; она сообщается съ трубкой ST , внутри штанги.
- 3) Статическая трубка B , длиной 0,1 метр. и внутреннимъ діаметромъ 0,01 метр., въ данномъ случаѣ параллельна главной (динамической) трубкѣ A ; она открыта съ обѣихъ концовъ для свободнаго прохода воды, съ пріемнымъ отверстиемъ, направленнымъ, какъ и у A , противъ теченія; отверстие O вверху ея, посрединѣ длины, діаметромъ (1—2) м/м. сообщается съ трубкой $S'T'$, внутри штанги, чрезъ что получается возможность

болѣе точно установить положеніе уровня статическаго въ манометрѣ.

- 4) Внутри полой штанги, діаметромъ 0,024 метр., имѣются двѣ трубчатые полости ST и $S'T'$, сообщающіяся въ F и F' съ каучуковыми трубками и принимающія воду соответственно изъ трубокъ A и B .

Остальные обозначенія на фигурѣ 6: M —руль, P —балка помоста, H, H, H —передвижныя по штангѣ муфты, G, G' —краны, сообщающіе внутреннія полости штанги съ воздухомъ.

§ 12. Измѣритель скорости воды у поверхности (*Tachymètre de surface*) Ritter'a (Табл. VII, фиг. 5) есть усовершенствованная трубка Darcy, въ которой между нижнимъ концомъ каждой трубки a, a' и соотвѣтствующею передаточною трубкою $cd, c'd'$, сообщающеюся съ манометромъ N , вставлена горизонтальная капиллярная (волосная) трубка bb , діаметромъ 5,50 м/м. и длиною 1,20 метр., свернутая спирально для помѣщенія въ металлическомъ футлярѣ [57; 7; 29; 47; 101].

Поверхностный тахиметръ Ritter'a.

Вода, вступающая въ эти трубки, наполненная воздухомъ, играетъ роль поршня, производящаго опредѣленное давленіе, передаваемое манометру, находящемуся около наблюдателя; это даетъ возможность удлинить разстояніе до манометра и оперировать съ высоты мостовъ. Соединеніе спиральной трубки съ манометромъ производится помощью вертикальныхъ металлическихъ трубокъ cc (діаметромъ 12—15 м/м.) и каучуковыхъ— dd (внутреннимъ діаметромъ 4 м/м.). Манометръ N регулируется кранами A, B и C ; онъ имѣетъ подвижную шкалу съ двумя родами дѣленій, такъ что можно непосредственно читать какъ высоту въ миллиметрахъ, такъ и скорость въ метр./сек. См. также фиг. 15, 19, Табл. VII А.

M —руль, вращающій весь приборъ около подвѣсной штанги ee ; грузъ hh служитъ для отвѣсной установки штанги прибора, а значить для установки трубокъ a, a' въ строго горизонтальномъ положеніи. Штанга подвѣшивается къ проволочному канату g , спускаемому съ моста, устоя плотины и т. п.; канатъ (веревка) долженъ быть такой длины, чтобы можно было погрузить приборъ на 0,10—0,15 метр. подъ поверхностью воды.

§ 13. Инженеръ Ritter [139] при дальнѣйшихъ своихъ работахъ стремился изобрѣсти общій типъ гидрометрической трубки для разныхъ глубинъ, дѣйствующей при различныхъ состояніяхъ воды, съ возможно упрощенной конструкціей. Спроектированный наконецъ имъ приборъ онъ назвалъ гидротаксиметромъ (*hydrotachymètre*); видоизмѣняя нѣсколько общее устройство, онъ приспособилъ эту новую трубку къ слѣдующимъ тремъ возможнымъ случаямъ практики:

Новѣйшіе гидротаксиметры Ritter'a.

1. Наблюдатель может помѣститься близъ поверхности потока; глубина воды не болѣе 2 метр., такъ что возможно примѣненіе шеста или штанги съ прочными поддержками.
2. Наблюдатель можетъ производить измѣренія только съ моста, ограничиваясь опредѣленіемъ лишь скоростей у самой поверхности потока; простой канатъ достаточенъ тогда для поддержанія инструмента.
3. Наблюдатель долженъ произвести измѣренія скоростей на большую глубину потока, помѣтившись самъ на мосту или вообще на нѣкоторой высотѣ надъ водой; для этихъ условій необходимо примѣненіе подвѣснаго каната и короткой колѣчатой штанги.

Видоизмѣненный соотвѣтственно этимъ тремъ случаямъ приборъ получилъ и различныя названія:

1. Hydrotachymètre *plongeur* (погружаемый).
2. Hydrotachymètre *flotteur* (плавающий).
3. Hydrotachymètre *sondeur* (глубинный).

Идея устройства гидрометра.

§ 14. Идея устройства *hydromètre*'а ясна воишь изъ нижеслѣдующаго. Если (Фиг. 1, Табл. VII А) въ бассейнъ стоячей воды *AB* погрузить резервуаръ (колоколъ) *C*, наполненный воздухомъ, открытый внизу и сообщающійся вверху помощью трубки *bd* съ манометромъ *M*, то жидкость входитъ въ резервуаръ до нѣкоторой высоты *z* надъ входнымъ отверстіемъ *a*. Сжатіе воздуха въ колоколѣ передается манометру и выразится тамъ разностью $p - z$ высотъ обоихъ столбовъ жидкости, равную разности уровней воды снаружи и внутри колокола.

Для обыкновенныхъ случаевъ практики принимаютъ высоту $p - z$ на манометрѣ за глубину *p* погруженія нижняго отверстія колокола (принципъ *Lecoudun*'а [139, 809]).

Идея устройства гидрометра.

Hydrotachymètre можетъ быть полученъ соединеніемъ двухъ такихъ гидрометровъ (Табл. VII А, фиг. 2).

На представленной фигурѣ обозначены *C* и *C'* двѣ соединенныя другъ съ другомъ воздушныя камеры; *a* и *a'*—пріемники входящей въ резервуары *C* и *C'* воды; отверстія этихъ пріемниковъ расположены, согласно указаніямъ стрѣлками, подобно прибору *Darcy*; трубки *bd* и *b'd'* соединяютъ резервуары *C* и *C'* съ манометромъ *MM'*.

Погружая такой приборъ въ текущую воду, при непремѣнномъ условіи горизонтальности пріемниковъ *a* и *a'*, замѣтимъ перемѣщеніе жидкости въ манометрѣ; измѣряемая высота *h* соотвѣтствуетъ скорости потока въ рассматриваемомъ пунктѣ.

Точность показаній этого прибора больше, чѣмъ простаго гидрометра, ибо принимать во вниманіе уже надо разность $z - z'$, а не одно *z*;

съ теоретической точки зрѣнія этотъ приборъ нельзя считать вполне точнымъ, но на практикѣ достигаемая имъ точность вполне достаточна.

Въ общемъ видѣ гидротахиметръ *Ritter*'а состоитъ изъ слѣдующихъ общихъ частей (Табл. VII А, фиг. 3):

Общая схема гидротахиметра.

- 1) погружаемой въ воду части *A* (*plongeur*) съ воздушными камерами *b*, приемниками *a*, *a'*, рулемъ *B*;
- 2) поддержки (*support*)—шеста или каната *CDE* съ желѣзнымъ пруткомъ *s* внизу, къ которому подвѣшена и около котораго можетъ вращаться вся нижняя часть *A* прибора;
- 3) манометра *M*, состоящаго изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ;
- 4) передаточныхъ (соединительныхъ) трубокъ: мѣдныхъ *T*, *T'* и каучуковыхъ *t*, *t'*—внизу и *t*₁, *t*_{1'}—вверху.

Въ дальнѣйшемъ изложеніи рассмотримъ подробно все эти части примѣнительно къ каждому типу гидрометра.

§ 15. *Hydrotachymètre plongeur Ritter*'а детально представленъ на фиг. 4, 5, 6, 7, Табл. VII А. [139, 811—818].

Гидротахиметръ *Ritter*'а для малыхъ глубинъ.

Погружаемая въ воду приемная часть прибора (Фиг. 5, 6) образована изъ двухъ воздушныхъ камеръ—*b*, *b'*, снабженныхъ при посредствѣ трубокъ *c*, *c'* каждая своимъ приемникомъ *a*, *a'*. Все эти части укрѣплены вмѣстѣ на особой рамѣ *H*, *H'*, къ которой сзади придѣланъ руль *B* и непосредственно отъ которой идутъ уже передаточныя каучуковыя трубки *t*, *t'*.

Воздушныя камеры.

Приемники *a* и *a'* расположены совершенно такъ же, какъ и въ трубкѣ *Darcy*, т. е. одна трубка (*a'*) получаетъ давленіе, производимое потокомъ $\left(\frac{v^2}{2g}\right)$ плюсъ давленіе статическое, соответствующее глубинѣ *p*, другая (*a*), проткнутая сбоку, получаетъ лишь давленіе статическое, соответствующее той же глубинѣ *p*; такимъ образомъ, разность $\frac{v^2}{2g}$

Приемники.

двухъ давленій измѣряетъ скорость *v* потока въ данной точкѣ. Приемныя трубки имѣютъ внутренній діаметръ только 3—4 м/м.; слѣдовательно онѣ—капиллярны ¹⁰⁾. Трубки *d*, *d'*, входящія въ камеры *b*, *b'*, внутреннимъ діаметромъ 8—10 м/м., имѣютъ дно нѣсколько ниже входныхъ отверстій трубокъ *c*, *c'*, образуя какъ бы колодець (*puisard*).

Приемники должны быть обыкновенно наполнены водой;—вслѣдствіе этого не будетъ наблюдаться капиллярнаго неравнобѣрнаго дѣйствія на показаніе манометра ¹¹⁾; кромѣ того, полученный гидравлическій затворъ прекращаетъ возможность выхода воздуха изъ камеръ, если горизонтальное положеніе послѣднихъ будетъ случайно нарушено.

Штанга.

Приборъ удерживается на опредѣленной глубинѣ помощью сплошного деревяннаго шеста *CDE* (Фиг. 3, Табл. VII А) или трубчатой металлической штанги *KK, LL* (Фиг. 4, Табл. VII А). Эта штанга состоитъ изъ части *KK, CD*, длиною 1,50—2,00 метр.,—погружаемой въ воду; остальная же часть *EE, LL* служить лишь продолженіемъ и доходить до мѣста расположенія наблюдателя; имѣющіяся на шестѣ дѣленія показываютъ глубину погруженія инструмента.

Манометръ.

Манометръ (Фиг. 7) устроенъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ *mn, m'n'*, прикрѣпленныхъ къ доскѣ *pq* со шкалой, раздѣленной по высотѣ на м/м.; прикрѣпляющія кольца обхватываютъ трубки свободно и даютъ возможность передвинуть послѣднія выше, если должны быть измѣрены разности уровней, большія длины самихъ трубокъ. Внизу эти трубки соединены другъ съ другомъ каучуковой трубкой *rr*; сверху—къ нимъ подходятъ передаточныя отъ воздушныхъ камеръ трубки *t₁t₁'*. Въ *S* помѣщенъ зажимъ для регулированія сѣченія трубки *rr* и, въ случаѣ надобности, изолированія столбовъ жидкости одинъ отъ другого.

Преимущества этого манометра передъ трубкою *Darcy* заключаются въ томъ, что положеніе нуля манометра здѣсь не зависитъ отъ давленія и надо слѣдить за положеніемъ только одного столба воды, потому что общая длина обоихъ столбовъ жидкости—постоянная.

Передаточныя трубки.

Передаточныя (отъ камеръ къ манометру) трубки (Фиг. 4): *T* и *T'*—мѣдныя, внутрен. діам. 6—7 м/м., на протяженіи всей погружаемой въ воду части шеста *KK*; *t, t'*—каучуковыя, служатъ для соединенія мѣдныхъ трубокъ внизу съ воздушными камерами; *t₁, t₁'*—каучуковыя—для соединенія тѣхъ же мѣдныхъ трубокъ сверху съ манометромъ. Диаметръ каучуковыхъ трубокъ *t, t'* берется тотъ же, что и для мѣдныхъ трубокъ; трубкамъ же *t₁, t₁'* можетъ быть приданъ діаметръ до 4 м/м., при условіи конечно тщательнаго регулированія сѣченія зажимомъ *S* (Фиг. 7).

Руль.

Руль *B* (Фиг. 5, 6) долженъ имѣть нижнюю грань нѣсколько ниже дна колодезѣ *dd'*, чтобы избѣжать установки прибора въ направленіи, противоположномъ желаемому. Такой фактъ вполне возможенъ въ потокахъ съ большими скоростями и при производствѣ наблюденій съ большой высоты надъ водой. Исправленіе затѣмъ невѣрнаго направленія уже опущенныхъ въ воду приемныхъ трубокъ—почти невозможно.

Гидротаксиметръ *Ritter'a* для измѣренія скорости только на поверхности потока.

§ 16. *Hydrotachymètre flotteur Ritter'a* (Фиг. 8, 9, 5, 6, Табл. VII А) очень малымъ отличается отъ его поверхностнаго тахиметра (*tachymètre de surface*), выше (§ 12) описаннаго [139, 818—819].

Погружаемая въ воду приемная часть *A* прибора устроена съ воздушными камерами (Фиг. 5, 6), какъ и въ предыдущемъ случаѣ (§ 15), вмѣсто прежнихъ спиральныхъ воздушнокапиллярныхъ трубокъ (§ 12).

Металлическій пруть (стержень) s (Фиг. 8, 9) подвѣшивается кольцомъ f къ веревкѣ (канату), идущей отъ мѣста нахождения наблюдателя (съ моста, устоя...); другой же конецъ его g закрѣпляется въ коробкѣ погружаемой части A прибора, образуя для послѣдняго вертикальную ось вращения.

Для погруженія прибора на глубину 0,10 метр. и удержанія приемниковъ aa' въ горизонтальномъ положеніи, на пруть s , выѣ воды, надѣвается грузъ P вѣсомъ 2—10 килогр.

Манометръ того же устройства, что и въ первомъ случаѣ (§ 15).

Передающія трубки tt' , t_1t_1' , какъ неподвергающіяся внутреннему давленію и непогружаемая въ воду, могутъ быть простыя каучуковые, внутрен. діам. 4 м/м.

Веревка (канатъ) fh , поддерживающая весь приборъ, должна быть плетеная, чтобы не могла скручиваться при вращеніи инструмента. Передающія каучуковыя трубки чрезъ нѣкоторыя промежутки по высотѣ прикрѣпляются къ подвѣсной веревкѣ. Стоимость ¹²⁾ этого прибора 200 франк. (75 руб.).

§ 17. *Hydrotachymètre sondeur Ritter*'a (Фиг. 10—15, 19, Табл. VII A) имѣетъ слѣдующія отличительныя черты устройства [139, 819—830].

Гидротах-
метръ *Ritter*'a для
большихъ
глубинъ.

Воздушныя камеры и приемники оставлены тѣ же (Фиг. 11, 12, 13); только во избѣжаніе того, чтобы камеры не были залиты на всю ихъ высоту водой, въ нихъ вводятъ, время отъ времени, помощью насоса, сжатый воздухъ.

Воздушныя
камеры и при-
емники.

Манометръ *MM* (Фиг. 15, 19) въ данномъ случаѣ уже представляетъ довольно солидную конструкцію; стеклянныя трубки оканчиваются, каждая, мѣдными коротенькими трубочками. Главныя трубки mn , $m'n'$, изогнутыя, какъ показано на фигурѣ, имѣютъ общій кранъ A , ниже котораго къ нимъ присоединяются передающія трубки t_1 , t_1' . Кранъ A сообщаетъ или разобщаетъ манометръ съ воздушными камерами; краны C и C' служатъ для введенія воздуха отъ насоса; кранъ B регулируетъ правильность движенія жидкости въ трубкахъ pq , $p'q'$ манометра и можетъ разъединять сообщеніе этихъ трубокъ другъ съ другомъ.

Манометръ.

Описанный манометръ *MM* снабженъ еще вверху металлическимъ манометромъ *FF* со стрѣлкой l и циферблатомъ; по приведеніи въ сообщеніе этого манометра съ приемникомъ статическаго давленія, на циферблатѣ указывается давленіе на отверстіе этого приемника, а слѣдовательно глубина погруженія инструмента, почему этотъ дополнительный манометръ носитъ названіе—*Bathymètre* (измѣритель глубины). Кромѣ

Bathymètre

того, металлическій манометръ *FF* можетъ служить для указанія того момента, когда помощью сжатого воздуха, вводимого чрезъ *C* или *C'*, выгоняется изъ всей вѣтви чрезъ приемникъ вода, — тогда стрѣлка, не смотря на новыя вводимыя количества воздуха, остается на мѣстѣ; при этомъ кранъ *B* изолируетъ оба столба жидкости манометра другъ отъ друга и открытъ также одинъ только кранъ *D* или *D'*. вмѣстѣ съ тѣмъ металлическій манометръ при очень большихъ скоростяхъ, когда не хватаетъ имѣющейся длины стеклянныхъ трубокъ, можетъ служить и для измѣренія скоростей: для этого ставятъ его въ сообщеніе попеременно съ каждымъ изъ двухъ приемниковъ и опредѣляютъ разность давленій, наблюдаемыхъ на манометрѣ.

Донный сигналъ.

Моментъ достиженія приборомъ дна ложа можетъ быть наблюдаемъ на томъ же манометрѣ *FF*, ибо стрѣлка его, въ этомъ случаѣ, не смотря на опусканіе каната, остается на мѣстѣ, показывая одно и то же давленіе. Можно ввести и электрической указатель подобно такому же устройству въ вертушкѣ *Amsler'a*, ниже описываемому.

Горизонтальное положеніе приемниковъ.

Горизонтальное положеніе приемниковъ на всѣхъ глубинахъ — составляетъ необходимое условіе хорошаго дѣйствія прибора. Для достиженія этого вся приемная часть прибора помѣщена въ цинковую обертку сферической формы (Фиг. 11, 12, 13): внутри, въ нижней своей части, этотъ шаръ нагруженъ свинцомъ. Все это устройство подвѣшивается къ особому, изогнутому на двѣ вѣтви, металлическому пруту *abcdefgh*, образующему въ мѣстахъ *a* и *h* общую горизонтальную ось вращенія для прибора. Нагрузка внутри такъ расположена, что при опусканіи прибора въ воду приемники остаются въ горизонтальномъ положеніи, наклоняется лишь подвѣшенный пруть (Фиг. 14). Сферическая форма придана кожуху съ цѣлью достигнуть возможнаго равновѣсія прибора независимо отъ глубины погруженія инструмента и скорости потока.

Руль.

Во избѣжаніе нарушенія этого равновѣсія руль (Фиг. 10, 14) прикрѣпленъ не къ шару, а къ стержню наглухо такъ, что поворачивается, подъ вліяніемъ течения, вмѣстѣ съ шаромъ. Мѣдныя кольца (числомъ 3—5), составляющія часть подвѣснаго прута, позволяютъ безъ большого тренія вращаться прибору около вертикальной оси.

Передачонныя трубки. Подвѣсный канатъ.

Передачонныя трубки и подвѣсный канатъ (канатъ) заключены въ особый футляръ изъ холста и каучука (Фиг. 16.)

Приборъ *Ritter'a* для малыхъ свѣченій русла.

§ 18. Гидротахиметръ *Ritter'a* для малыхъ свѣченій потока, названный имъ карманнымъ (*Pitot de poche*) детально представленъ на фиг. 17, 18, Табл. VII А и, послѣ приведенныхъ описаній (§§ 15—17), объясненій въ конетрукціи не требуетъ [139.830—833]. Стоимость его 80 франк. (30 руб.)*.

*) Этотъ приборъ выписанъ нами для гидравлической лабораторіи Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища.

На Фиг. 4, Табл. VII представленъ приборъ *Ritter'a*, служащій для опре- Приборъ *Rit-*
дѣленія расхода газомъ для скоростей больше 2—2,5 метр./сек. Онъ предста- *ter'a* для из-
вляетъ собою трубку *Darcy* съ приемникомъ системы *Ritter'a*. Манометръ устро- мѣренія рас-
енъ въ видѣ наклонной стеклянной трубки, нижній конецъ которой соединенъ хода газомъ.
гуттаперчевой трубкой съ воздушнымъ резервуаромъ и приемникомъ динамиче-
скимъ, а верхній открытый—съ приемникомъ статическимъ. Внутри стеклянной
трубки вмѣсто воды рекомендуется примѣнять окрашенный спиртъ.

§ 19. Приборъ *Frank'a* на поплавкахъ служитъ для измѣренія скорости воды у поверхности. Онъ основанъ на принципѣ трубки *Pitot* и имѣетъ то достоинство, что плаваетъ самостоятельно, и нѣтъ надобности прикрѣплять его къ лодкѣ или неподвижному предмету [71, 85—87; 100].

Трубка
Frank'a на
поплавкахъ.

Устройство прибора (Табл. VII, фиг. 8) заключается въ слѣдующемъ. Два цилиндрическихъ поплавка *A, A*, изъ тонкой жести (тонкаго листового желѣза), связаны другъ съ другомъ тремя желѣзными полосами *B, B, B*. На средней полосѣ установлена вертикально стеклянная трубка *C*, продолженіе которой внизъ представляетъ мѣдная трубка *D*; какъ та, такъ и другая трубки укрѣплены къ плавающему приспособленію помощью четырехъ натянутыхъ проволокъ *b* и *d*.

Мѣдная трубка погружается въ воду на 40 с/м. Она имѣетъ со стороны теченія рядъ малыхъ отверстій, чрезъ которыя проникаетъ внутрь трубки вода; послѣдняя, вѣдствие давленія текущей противъ отверстій жидкости, поднимается затѣмъ въ стеклянную трубку на большую или меньшую высоту въ зависимости отъ скорости теченія. На помѣщенной сбоку стеклянной трубки желѣзной полоскѣ *E* нанесены дѣленія (Табл. VII, фиг. 8, 9), по которымъ можно непосредственно читать величины скорости, опредѣляемыя высотой уровня воды въ трубкѣ. Для облегченія чтенія, на поверхности воды въ трубкѣ плаваетъ красный пробковый шарикъ.

Напоромъ теченія стеклянная трубка часто ломается въ мѣстѣ прикрѣпленія къ связи *B* поплавковъ, поэтому между нею и мѣдною трубкою обыкновенно вставляется еще промежуточная каучуковая трубка *).

§ 20. Приборъ *Frank'a* для измѣренія однимъ наблюденіемъ средней скорости всей вертикали потока основанъ на принципѣ измѣренія среднего гидравлическаго давленія и для небольшихъ глубинъ, въ первоначальномъ своемъ устройствѣ, представленъ на фиг. 7, Табл. VII [35, 147; 27].

Трубка
Frank'a съ
металличе-
скимъ манометромъ.

Приборъ состоитъ изъ опускаемой въ воду до дна трубки R_1 съ узкимъ продольнымъ прорѣзомъ во всю длину ея, трубки R_2 , доходящей до наблюдателя, и прикрѣпленнаго къ послѣдней манометра *M*. Трубка R_2 имѣетъ внизу цилиндрическое уширеніе *c*, въ которое вдвигается трубка R_1 ; муфта *k* даетъ возможность установить трубку R_2

*) Этотъ приборъ выписанъ нами для гидравлической лабораторіи Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища.

на любой высотѣ, дѣйствуя тяжами b_1 и b_2 . Вверху трубки R_2 имѣется кранъ a для выпуска заключеннаго въ ней воздуха. Для прочной установки прибора на днѣ, трубка R_1 снабжена внизу дискомъ e .

Производ-
ство наблю-
денія.

Передъ наблюденіемъ выдвинутая трубка R_1 опускается до дна русла, трубка R_2 съ цилиндромъ e —до уровня воды; въ такомъ положеніи трубы закрѣпляются, такъ что муфта k погружается на 8—10 с/м. подъ поверхность воды. Затѣмъ весь приборъ устанавливается такъ, чтобы продольный прорѣзъ былъ почти перпендикуляренъ къ направленію теченія (около 80°) при открытомъ кранѣ a ; проникающая въ трубку R_2 вода стоитъ на уровнѣ наружнаго горизонта воды. Послѣ этого запираютъ кранъ a и поворачиваютъ приборъ прорѣзомъ точно противъ теченія; гидравлическое давленіе въ трубкѣ R_1 , соответственное имѣющейся скорости теченія, поднимаетъ уровень жидкости въ трубкѣ R_1 , а затѣмъ и R_2 ; воздухъ въ послѣдней сжимается и передается на манометръ, гдѣ стрѣлка, стоявшая прежде на нулѣ, показываетъ уже среднюю скорость воды для всей данной вертикали въ метр./сек. Для полученія большаго точности рекомендуется возможно частая проверка манометра.

Стоимость этого прибора 70 м. (32⁵⁰ руб.).

Усовершен-
ствованная
трубка
Frank'a.

§ 21. Усовершенствованная трубка *Frank'a* для измѣренія средней скорости всей вертикали изображена въ общемъ видѣ на фиг. 1 и 2 и въ деталяхъ на фиг. 3 и 4, Табл. VIII [21; 29; 54; 67, 51—52].

Здѣсь на трубкѣ R_1 вмѣсто прорѣза сдѣланы по всей высотѣ ея мелкія отверстія. По трубкѣ R_1 передвигается короткій оттрубъ R_2 (*mm*), который въ своей нижней части плотно прилегаетъ къ R_1 при помощи винтовой муфты l . Этотъ оттрубъ, послѣ установки прибора въ потокѣ, закрѣпляется при помощи рычага S и зажимнаго кольца i такимъ образомъ, что муфта l находится на 8—10 с/м. ниже горизонта воды. Особый руль M , прикрѣпленный какъ разъ позади отверстій, удерживаетъ послѣднія противъ теченія.

Вода, поднимающаяся внутри R_1 выше наружнаго горизонта воды, поступаетъ (фиг. 3) чрезъ отверстія трубки R_1 въ промежутокъ между стѣнками трубокъ R_1 и R_2 и затѣмъ въ соединенную съ послѣднимъ трубочку R_3 до нѣкотораго уровня w_2 . По другую сторону оттруба R_2 помѣщена трубка R_4 съ 4-мя продольными прорѣзами въ нижней ея части t : въ этой трубкѣ вода устанавливается на уровнѣ внѣшняго горизонта w_1 . Оба уровня воды w_1 —въ R_4 и w_2 —въ R_3 , т. е. гидростатическій и гидродинамическій, поднимаются вверхъ по каучуковымъ трубкамъ E_1 и E_2 (фиг. 1, 2, 3) посредствомъ выкачиванія воздуха изъ манометра B , гдѣ разность уровней и измѣряется.

Манометръ *B* (фиг. 4) состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ *G* и *g*, помѣщенныхъ одна въ другой, причемъ внутренняя *g* — соединена съ трубкой *E*₁, а слѣдовательно съ *R*₃, *R*₂ и *R*₁; а наружная, т. е. пространство между обѣими стеклянными трубками, — съ *E*₂ и *R*₁. Во внутренней стеклянной трубкѣ *gg* помѣщена еще тонкая стеклянная или алюминиевая трубочка *pp'*, которая, будучи запаянной съ обоихъ концовъ, представляетъ поплавокъ со шкалой. Поплавокъ нагруженъ съ такимъ расчетомъ, что нулевое дѣленіе, расположенное *вверху*, совпадаетъ съ уровнемъ воды *w*₂*w*₂. По мѣрѣ всасыванія обонхъ уровнейъ воды, поплавокъ поднимается вмѣстѣ съ внутреннимъ (вышимъ) *w*₂*w*₂ и слѣдуетъ всѣмъ его колебаніямъ въ то время, какъ *внѣшній* (низшій) уровень *w*₁*w*₁ показываетъ на шкалѣ разницу обонхъ уровней, т. е. *среднюю скорость*, выраженную въ метр./сек.

Прикрѣпляемый къ трубкамъ манометръ допускаетъ прямое чтеніе скоростей отъ 0,10 до 2,20 метра въ секунду; при большихъ скоростяхъ теченія нуженъ болѣе длинный манометръ, устанавливаемый сбоку на особомъ треножникѣ съ удлиненными соединительными рукавами *E*₁ и *E*₂.

Въ гидравлической лабораторіи *Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища* имѣется приборъ № 2 (см. ниже таблицу). Общая длина трубы *R*₁ = 5 метр.; діаметръ ея = 30 м/м.; діаметръ отверстій для входа въ трубку воды 2 м/м.; разстояніе между этими отверстиями по высотѣ 25 м/м.

Свѣдѣнія о имѣющихся въ продажѣ такихъ приборахъ сгруппированы въ нижепомѣщаемой таблицѣ ¹³⁾.

№№ трубокъ.	Общая длина трубы <i>R</i> ₁ метр.	Число звеньевъ.	Для глубины потока до... метр.	Материалъ трубы <i>R</i> ₁ .	Материалъ трубокъ и поплавка.	Цена на мѣстѣ ^{***)} .		Примѣчанія.
						Марокъ.	Рублей.	
1	4,0	2	3,0	прочная желтая мѣдь діам. 30 м.м.	Стеклоиная трубка <i>Jenauer</i> скаго сплава. Поплавокъ изъ алюминія.	170	79	*) Для сильныхъ течений. **) Трубки для большихъ глубинъ по особому заказу. ***) Включая сюда манометръ, рукава, руль, ручной насосъ, лицки для переноски, а для трубокъ №№ 3, 4, 5, кромѣ того, сильный механизмъ для передвижки.
2	5,0	3	3,5			180	83	
3*	6,0	3	4,5	сталь; труба діам. 45 м/м.		350	162	
4*	7,0	4	5,0	сталь; труба діаметр. 55 м/м.		400	185	
5*	8,0	4	6,0**			450	208	

При болѣе длинномъ манометрѣ съ треножникомъ вызывается увеличеніе стоимости прибора на 40 м. (18,50 р.) на каждый ¹⁴⁾.

С. Вертунки.

Гидрометрическія вертушки (крылья мельницы) служатъ также для опредѣленія скоростей въ любой точкѣ вертикали, а съ нѣкоторыми приспособленіями и для опредѣленія среднихъ скоростей вертикали [1; 7; 9, 270—273; 12; 22, 322—324; 28; 29; 31, т. II, 216—223; 35; 39; 47; 48; 50; 54; 64, 18—19; 67, 52—56; 69; 70; 72; 75; 80; 86; 91; 94, 406—420; 96; 120; 134]. Этотъ приборъ, какъ будетъ видно ниже, въ нѣкоторыхъ случаяхъ рѣшаетъ задачу съ такою точностью, которая недостижима ни для одного изъ описанныхъ выше приборовъ. Вертушки примѣняются для скоростей отъ 0,10 до 4,00 метр./сек. и болѣе, и для глубинъ отъ 0,10 до 10,00 и болѣе метровъ.

Крыльчатое
(лопастное)
колесо.

§ 22. Идея крыльчатого колеса очень древняя [9, 265—266]. Толчкомъ къ его изобрѣтенію послужило обыкновенное водяное колесо, каковое при своихъ измѣреніяхъ употреблялъ еще *Dubuat*. По его наблюденіямъ для потоковъ непрямолинейныхъ и при скорости въ нихъ непостоянной такое колесо давало лучшіе результаты, чѣмъ поплавокъ.

Boileau уже устроилъ специальное *гидрометрическое колесо* (Табл. VIII, фиг. 5) и на основаніи своихъ наблюденій нашелъ, что число оборотовъ колеса нельзя принимать пропорціональнымъ скорости потока; чѣмъ эта послѣдняя больше, тѣмъ зависимость сложнѣе [9, 290—291].

Изобрѣтеніе
вертунскъ.

Первый изобрѣтатель вертушки неизвѣстенъ. Директоръ водяныхъ сооружений въ Гамбургѣ *Woltmann* въ 1790 г. ввелъ въ старую вертушку нѣкоторыя измѣненія, выдвинувшія этотъ приборъ на видъ, послѣ чего по почину *Baumgarten*'а [4] начались и дальнѣйшія усовершенствованія прибора. Первый простѣйшій употребительный типъ вертушки, дошедшій до насъ, это—приборъ *Woltmann*'а, почему многіе считаютъ его и первымъ изобрѣтателемъ вертушки.

Идея устрой-
ства верту-
шкы.

Идея устройства этихъ приборовъ состоитъ въ слѣдующемъ. (Табл. VIII, фиг. 6а). Движущаяся въ рѣкѣ вода приводитъ въ движеніе 2 или 4 трапециoidalнаго вида мѣдныя пластинки Π , расположенныя нормально къ теченію; онѣ насажены наглухо на горизонтальную ось e , параллельную главной струѣ, указанной стрѣлкой, и неизмѣняющую своего положенія. Очевидно, что приобретаемая пластинками Π и осью e скорость вращенія зависитъ отъ скорости теченія воды и, если не принимать во вниманіе треніе, можно сказать, что первая пропорціональна второй. Вслѣдствіе этого по скорости вращенія крыльцевъ можно судить о скорости теченія воды.

Угловая скорость вращенія ω оси e выражается нѣкими оборотами ея числомъ n въ секунду, т. е. $\omega = n \cdot 2\pi$.

Если центр тяжести пластинки отстоит от центра оси на r , то скорость движения центра тяжести пластинки $v_1 = n \cdot 2\pi \cdot r$; она же будет пропорциональна скорости v воды.

Если крылья будут устроены по винтовой линии, то высота хода винта $h = r \cdot 2\pi$, поэтому $v = h \cdot n$ и $n = \frac{v}{h}$, т. е. вода пройдет путь h за время одного оборота крыла и точка, скорость которой соответствует скорости воды, будет в расстоянии $r = \frac{h}{2\pi}$.

При заданной форме крыльев длина r или h будет известна, надо только знать n и тогда определится v . Для определения числа оборотов крыльев в известный промежуток времени применяют особый счетный аппарат, находящийся в связи с горизонтальной осью, на которой насажены крылья.

Все нижеупомянутые вертушки, отличаясь друг от друга в подробностях своих устройств, одинаковы по идее. Мы подробно остановимся на наиболее употребительных из них, упоминая несколько из некоторых, представляющих тот или другой общий интерес.

§ 23. Вертушка *Woltmann*'а в несколько улучшенной форме, употребляемой часто и в настоящее время при небольших руслах, показана на фиг. 6а, Табл. VIII.

Вертушка
Woltmann'а.

Собственно прибор состоит из плоских крыльев ff , поддержки dd для оси e и руля M .

Пластинки крыльев квадратной, прямоугольной иногда трапециевидальной формы, 0,025 метр. в сторону, и расположены в расстоянии 0,05 метр. от оси вращения крыльев; эти пластинки наклонены к направлению потока под углом $\alpha = 15^\circ - 35^\circ - 45^\circ - 55^\circ$. Число крыльев обыкновенно для малой скорости — четыре, для большой скорости достаточно двух. При малых скоростях воды применяются крылья с большим углом α и с большими лопастями с целью увеличения силы удара воды и скорости вращения оси e ; при больших скоростях поступают наоборот с целью уменьшения силы удара воды и уменьшения скорости вращения крыльев ff и оси e .

Весь прибор муфтой a свободно надевается на измерительную штангу AA , опираясь на зажимное кольцо b ; последнее может быть укрѣпляемо на любой высоте штанги, для чего штанга раздѣлена на дециметры или болѣе мелкія дѣленія, и прибор вѣзетъ со штангой опускается на желаемую глубину. Штанга может быть сплошная *деревянная*, длиной 3—4 и болѣе метр. и толщиной 5—6 с/м., или трубчатая *металлическая* (газовая труба), внутренним діаметромъ 20 м/м., свинченная изъ отдѣльныхъ колѣвъ, число которыхъ опредѣ-

ляется глубиной измѣряемой вертикали профиля. Вверху штанги можетъ быть укрѣпленъ *визирь* для установки штанги въ плоскости профиля; самъ же приборъ устанавливается по направленію теченія помощью руля, свободно вращаясь муфтою *a* около шеста *АА*.

Горизонтальная ось прибора *e* съ безконечнымъ винтомъ *g* и переключина (рычагъ) *q* съ помѣщенными въ послѣдней осями зубчатыхъ колесъ r_1 , r_2 и h , составляющихъ счетчикъ, опираются на поддержку *dd*. При натягиваніи шнура *k* рычагъ *q*, вращаясь около точки *o*, поднимается, зубцы колеса r_1 войдутъ въ нарѣзку безконечнаго винта *g* и счетчикъ будетъ отмѣчать число оборотовъ оси *e* и крыльцевъ *ff*; при освобожденіи шнура переключина *q* подъ дѣйствіемъ спиральной пружины *m* удалится отъ винта, и дѣйствіе счетчика прекратится.

Для того, чтобы не держать все время за шнуръ, пока вертушка работаетъ, а затѣмъ и для болѣе увѣренности въ произведенномъ замыканіи или размыканіи счетчика съ безконечнымъ винтомъ, дѣлается слѣдующее приспособленіе (Табл. VIII, фиг. 6b). Два шнура *k* и *k'* прикрѣпляются въ точкахъ *a* и *b* къ двуплечему кулачку *acb*, вращающемуся около точки *c*; ось вращения *e* помѣщена въ консоли *mnp*, укрѣпленной къ поддержкѣ *dd* двумя шурупами. Переключина *q* особымъ штифтомъ *g* попадаетъ въ то или другое углубленіе кулачка, смотря по тому за какой шнуръ потянули, и такимъ образомъ шестерня r_1 удерживается въ замкнутомъ или разомкнутомъ съ винтомъ положеніи (фиг. 6a), пока не дернуть за другой шнуръ.

Полный оборотъ крыльцевъ или винта соотвѣтствуетъ повороту колеса r_1 на одинъ зубецъ. Колеса r_1 и r_2 имѣютъ по 100 зубцовъ, шестерня h —10 или 20 зубцовъ, т. е. при одномъ оборотѣ колеса r_1 колесо r_2 сдѣлаетъ $\frac{1}{10}$ или $\frac{1}{3}$ оборота (передача 1:10 или 1:3), а цѣлый оборотъ колеса r_2 соотвѣтствуетъ 10 или 3 оборотамъ колеса r_1 , т. е. 1000 или 300 оборотамъ крыльцевъ. Для отсчитыванія по колесамъ r_1 (десятки и единицы) и r_2 (сотни) служатъ указатели p_1 и p_2 , укрѣпленные на подставкѣ *dd*.

Недостатки этого прибора:

- а) потеря времени на подъемъ прибора для прочитыванія показаній счетчика;
- б) при очень сильномъ и слабомъ теченіяхъ включеніе и выключеніе счетчика происходитъ не совсѣмъ безукоризненно;
- в) вслѣдствіе сильнаго нажатія развивается между винтомъ и колесомъ значительное треніе, которое можетъ разнообразить число оборотовъ въ различной степени, что нерѣдко служило ошибками однообразными, вполнѣ установившимися;

д) при сильномъ теченіи вслѣдствіе недостаточнаго вѣса крыльевъ приборъ подверженъ вертикальнымъ колебаніямъ, что конечно вліяетъ на точность измѣренія.

§ 24. Вертушка, устроенная въ 1845 г. по идеѣ *Laignel*'я и усовершенствованная [9, 272—273] *Boileau* (фиг. 1, Табл. IX), отличаясь нижеуказываемыми деталями отъ вертушки *Woltmann*'а, обладаетъ, по опытамъ *Boileau*, значительно бѣльшею чувствительностью¹⁵⁾.

Вертушка
Boileau.

Особенности ея заключаются въ слѣдующемъ:

1. Собственно вертушка, помѣщенная въ особую коробку *MPQR*, укрѣпляется въ рамѣ *mn*; эта рама, соединенная съ муфтою *SS* помощью особой консоли *ppr'*, вынесена въ сторону отъ шеста, для избѣжанія подпора, производимаго шестомъ, на разстояніе 0,08—0,10 метр.; муфта *SS* имѣетъ то же назначеніе, что и въ вертушкѣ *Woltmann*'а.
2. Колесные счетчики, во избѣжаніе засореній и неточности показаній зубцовъ, замѣнены мѣднымъ синтомъ діаметромъ 5 м/м., длиною 0,325 метр. и ходомъ въ 1 м/м., такъ что въ случаѣ самой большой скорости можно продолжительность опыта ограничить въ 25—30 секундъ; винтъ, масштабная линейка и подвижной по винту указатель *асв* помѣщены внутри коробки *MPQR*.
3. Крылья *A* вертушки, также для избѣжанія подпора, вынесены впередъ ящика на 0,10 метр. отъ обоймы *MR*.

Указанный на фиг. 1 приборъ служитъ для большихъ и среднихъ скоростей; для слабыхъ скоростей необходимо имѣть особую вертушку съ винтомъ болѣе тонкимъ и короткимъ.

§ 25. Дальнѣйшія изобрѣтенія подобныхъ вертушекъ вызывались исключительно желаніемъ избѣжать тѣхъ или другихъ недостатковъ, присущихъ вышеописанному прибору.

Улучшенія, вводившіяся постепенно *Amsler*'омъ, заключаются въ слѣдующемъ.

Вертушка
Amsler'а—
Laffon'а.

Для включенія и выключенія счетчика [1] примѣнена шестизубчатая шестерня (храповикъ) *r*, вращающаяся на оси *a*, и двѣ собачки *q* и *q*₁, съ общей осью вращенія *b* на рычагѣ *M'L'N* (Фиг. 2а, 2б, Табл. IX). Натягивая шнуръ *S*,—наружный, или *S'*, помѣщенный внутри трубы и проходящій вверху чрезъ блокъ *H*, вращаютъ рычагъ *M'N* около точки *N*; ось вращенія *b* собачекъ, а слѣдовательно и сами собачки *q* и *q*₁ поднимаются вверхъ; при этомъ всегда одна изъ собачекъ при каждомъ подъемѣ попеременно зацѣпляетъ зубецъ храповичка *r*;

Замѣна кулачка шестерней.

длинная—устанавливает шестерню такъ, что зубецъ ея, упираясь въ штифтъ x , отдаляетъ перекладину со счетными колесами отъ безконечнаго винта D —счетчикъ выключается; короткая собачка поворачиваетъ шестерню выемкой къ штифту x , перекладина притягивается къ винту пружины n —счетчикъ включается.

Устройство
электриче-
ской сигна-
лизации

Для устранения необходимости вынимать приборъ изъ воды для прочтенія на счетчикѣ числа оборотовъ примененъ электрической сигнальный аппаратъ. Въ приборѣ имѣется заостренный контактъ p (фиг. 2а, Табл. IX), который чрезъ каждые 100 оборотовъ оси вертушки, или при каждомъ полномъ оборотѣ колеса z_1 , соприкасается съ помѣщеннымъ на внутренней, боковой поверхности послѣдняго металлическимъ штифтомъ s ; въ слѣдствіе этого замыкается токъ и раздается звонокъ въ особомъ ящикѣ. Электромагнитный счетчикъ состоитъ изъ гальванической батареи (фиг. 2с) въ два элемента (*Лекланше*), изъ электромагнита m и звонка n съ прикасающимся къ нему молоточкомъ; все это помѣщается въ особомъ ящикѣ E , стоящемъ вверху, вблизи наблюдателя. Проводники R и R_1 (фиг. 2а) прикрѣпляются однимъ концомъ въ T (къ поддержкѣ B) и T' (къ газовой трубѣ, служащей здѣсь вмѣсто деревянной штанги); оба другіе конца этихъ проволокъ, помѣщаемыхъ иногда въ общую гуттаперчевую трубку, соединяются при g съ ящикомъ E . Желѣзная штанга составляетъ сама часть проводника. Когда вертушка собрана и введена въ электрическую цѣпь, то *чрезъ каждые 100 оборотовъ* оси вертушки гальванический токъ замыкается и *получается звонокъ*. Этотъ приборъ можетъ применяться и безъ электрическаго показателя по описанному выше способу простымъ считываніемъ сдѣланнаго въ 1 мин. числа оборотовъ.

Примѣненіе
хронографа

Особенность другой *новѣйшей* вертушки *Amsler'a* (фиг. 3, Табл. IX), т. е. прибора съ электрическимъ показателемъ, заключается въ томъ, что ею *опредѣляется число секундъ*, нужныхъ для известнаго числа оборотовъ (50—100), *а не число оборотовъ* въ известный промежутокъ времени. Достигается это тѣмъ, что въ счетномъ аппаратѣ, закрытомъ отъ воды, чрезъ каждые 50 оборотовъ замыкается токъ и вверху, около наблюдателя, раздается звонокъ, продолжающійся нѣкоторое время. Число секундъ или ихъ частей между каждыми двумя послѣдующими звонками точно отмѣчается хронографомъ.

Усовершен-
ствованная
форма крыль-
евъ вер-
тушки.

Эта же вертушка (фиг. 3) имѣетъ *крылья*, выполненныя *по формѣ косыхъ поверхностей*, болѣе практичной, такъ же какъ и болѣе *лучшую форму руля*. Дальнѣйшее усовершенствованіе сдѣлано *Baumgarten'омъ* (фиг. 4, Табл. IX), устройствомъ крылья *въ формѣ винтовыхъ (гемисоидальныхъ) лопастей* (показано пунктиромъ), заключенныхъ въ цилин-

дрическомъ кожухѣ діам. 0,08 м. и шириною (высотю) 0,02 м. Этимъ устройствомъ достигается *большая чувствительность* вертушки; она дѣйствуетъ при скоростяхъ 0,30 оборота/сек., тогда какъ *Woltmann*'ская вертушка при скорости 2 обор./сек. уже не дѣйствуетъ. Кожухъ увеличиваетъ прочность колеса и предохраняетъ крылья отъ боковыхъ теченій.

При малыхъ скоростяхъ наблюденіе между каждыми двумя звонками длится довольно долго. Для выгоды времени, а также для наблюденія правильности движенія крыльевъ на большой глубинѣ *Amsler* применилъ телефонъ, который каждое отдѣльное движеніе крыльевъ отмѣчаетъ истиннымъ ударомъ. Съ тою же цѣлью можетъ быть примененъ *электрический счетчикъ*, помѣщаемый на лодкѣ близъ наблюдателя; въ этомъ послѣднемъ случаѣ одна изъ стрѣлокъ счетчика передвигается на одно дѣленіе циферблата въ то время, какъ лопасть вертушки дѣлаетъ одинъ оборотъ. При этомъ *контактъ* располагается на оси вертушки, а не на колесѣ счетчика ¹⁶⁾.

Приспособленія въ устройствѣ вертушки для измѣренія малыхъ скоростей.

Такъ какъ для установки аппарата на известной глубинѣ всегда приходилось его предварительно вынимать при всѣхъ ранѣе описанныхъ устройствахъ, то для ряда послѣдовательныхъ измѣреній на различныхъ глубинахъ одной вертикали въ кратчайшее время и безъ выниманія аппарата *Amsler* снабдилъ движущуюся по штангѣ *mm* вертушку (фиг. 6, Табл. IX) *вертикально скользящими салазками SS на роликахъ*, входящихъ въ продольные желобки штанги. Весь аппаратъ и телѣжка подвѣшиваются къ тонкому проволочному канату изъ алюминіевой бронзы, который навертывается на воротъ *H*, укрѣпляемый помощью зажимного кольца *F* на штангѣ *mm*. По длинѣ каната, намотаннаго на барабанъ ворота или разматаннаго, можно во всякое время знать глубину погруженія оси вертушки подъ уровнемъ воды. Втулка *g* прибора служитъ для обыкновенной работы вертушки.

Приспособленія для установки вертушки на любой глубинѣ подъ водою.

При очень большихъ скоростяхъ теченія и глубинахъ болѣе 4 метр. управление приборомъ и удерживаніе тяжелой желѣзной штанги въ вертикальномъ положеніи слишкомъ затруднительны. Въ такихъ случаяхъ, по почину *Baumgarten*'а, приборъ подвѣшиваютъ къ тонкому проволочному канату (фиг. 3, 4, Табл. X) свободно, при помощи сопряженія *Cardano* (шарнира *Hooke*'а) *ABC* ¹⁷⁾.

Приспособленія для производства измѣреній на большихъ глубинахъ. Подвѣшенный канатъ.

Для натяженія каната, внизу къ прибору подвѣшивается чечевицеобразный ¹⁸⁾ чугунный грузъ (линза) *X* вѣсомъ 35—40 килогр.

Линза.

Канатъ наматывается на барабанъ небольшой лебедки съ храповымъ колесомъ, установленной неподвижно и выдвинутой надъ лодками,

Лебедка.

или же, (фиг. 1, 3, Табл. X) такъ выдвигается только направляющій блокъ *D*, а сама лебедка *V* и батарея *Q* отнесены за бортъ лодки. Барабанъ лебедки имѣетъ циферблатъ *b* и стрѣлку, служащія для опредѣленія длины выпущенной проволоки, а слѣдовательно глубины погруженія вертушки; на циферблатѣ показаны метры и дециметры, а на тормозномъ (храповомъ) колесѣ—сантиметры. Слѣдовательно, во время измѣренія скоростей по всей вертикали, этотъ приборъ вынимать для установки на новой глубинѣ той же вертикали нѣтъ надобности.

Измѣреніе
глубины.

Кромѣ того, одновременно могутъ вестись и промеры глубинъ, особенно если положеніе профиля задано. Для измѣренія полной глубины вертикали къ показаніямъ циферблата лебедки, когда линза опущена на дно, надо еще прибавить 0,30—0,50 метр.—разстояніе оси вертушки отъ низайшей точки линзы.

Электриче-
скій шупа-
тель.

Для опредѣленія момента соприкосновенія линзы съ дномъ къ ней прикрѣпленъ электрической шупатель *E*; онъ состоитъ (фиг. 2, 4, Табл. X) изъ двухъ телескопическихъ трубокъ съ контактами, разведенныхъ въ нормальномъ состояніи сильной спиральной пружины. Какъ только нижняя расширенная часть одной трубки коснется дна, линза своей тяжестью проталкиваетъ прикрѣпленную къ ней другую трубку; контакты (платиновыя пластинки) соприкасаются и раздается звонокъ, продолжающійся до тѣхъ поръ, пока линзу не поднимутъ; поэтому этотъ звонокъ легко отличить отъ періодическихъ звонковъ, раздающихся чрезъ каждые 50—100 оборотовъ крыльевъ вертушки при опусканіи прибора.

Руль.

Руль *M* уже не можетъ быть плоскимъ, какъ выше, а дѣлается (фиг. 4) коническимъ (*a*) или крестообразнаго сѣченія пирамидальный (*b*).

Приборъ
Lapointe's.

§ 26. При измѣреніи расхода воды небольшихъ и средней величины потоковъ какъ при постоянномъ, такъ и при переменномъ уровнѣ, *Lapointe* [46: 45, 473—474; 134, 210—211] помѣщаетъ (Табл. IX, фиг. 5) вертушку *Woltmann's* *A* внутри трубы (цилиндра) *B* опредѣленнаго діаметра. Счетчикъ *C* находится внѣ трубы и вращеніе оси вертушки передается безконечному винту счетчика парю коническихъ зубчатыхъ колесъ. Труба обыкновенно укрѣпляется въ перемычкѣ, запруживающей данный потокъ; рѣшетка въ устьѣ трубы удерживаетъ постороннія тѣла.

Расходъ воды въ этомъ случаѣ опредѣляется формулой:

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot v = \frac{\pi D^2}{4} (a + \beta n) = (a + \beta n) D^2.$$

гдѣ α и β — обыкновенные коэффициенты вертушки, a и b — коэффициенты данного прибора, определяемые тарированіемъ его; n — число оборотовъ вертушки въ секунду; D — діаметръ цилиндра.

Изобрѣтатель употреблялъ при своихъ измѣреніяхъ два цилиндра, діам. 0,46 м. и 0,70 м. Изъ его сравнительныхъ опредѣленій оказалось, что этотъ способъ измѣренія даетъ лучшіе результаты, нежели вычисленіе расхода по водосливу или отверстию въ тонкой стѣнкѣ.

§ 27. Приборъ *Harlacher'a*¹⁹⁾, которому изобрѣтатель далъ названіе: „электрической интеграторъ“, — заключаетъ значительныя усовершенствованія въ разсматриваемомъ классѣ приборовъ, вводившіяся постепенно, начиная съ 1872 г. Эта вертушка можетъ быть примѣняема для большихъ глубинъ и скоростей, а также для опредѣленія средней скорости для всей вертикали [39; 29; 12, 103 и далѣе; 47; 35, 153—157; 45, 472—478; 67, 53—56; 43; 105; 136].

Вертушка
Harlacher'a.
(Табл. XI).

Общій видъ этого устройства представленъ на фиг. 1—4, табл. XI, начиная отъ простѣйшаго, для малыхъ глубинъ (фиг. 1), и кончая собственно интеграторомъ (фиг. 4) — употребляемымъ при измѣреніяхъ на большихъ потокахъ.

Собственно вертушка (фиг. 4, 7, 11) *B* (*флувиометръ*) съ 2-мя геликоидальными крыльями (лопастями) соединена съ цилиндрической муфтой *a*, свободно обхватывающей желѣзную штангу (трубу) *A*. Въ послѣдней (фиг. 5) имѣется прорѣзь *c* по всей высотѣ, служащій направляющей для движенія прилива *g* отъ муфты *a*. Подвѣсннй шнуръ (канатъ), прикрѣпленный къ *g*, помѣщается внутри трубы, гдѣ на него не вліяетъ теченіе. Штанга не снабжена внизу дискомъ, какъ это дѣлается обыкновенно; но уходитъ въ землю насколько позволяетъ грунтъ (фиг. 2, 4) и въ такомъ положеніи остается до окончанія работъ на одной вертикали.

Для точности измѣреній ось вертушки *MN* (фиг. 5) всегда должна сохранять нормальное положеніе къ площади поперечнаго профиля *PQ*, для чего прорѣзь *c* долженъ быть обращенъ внизъ по теченію, а визиры *pp* (фиг. 1—4, 8) должны находиться въ профилѣ живого сѣченія, направленные по линіи береговыхъ створовъ; направленіе теченія отъ *M* къ *N* (фиг. 5). Это приспособленіе даетъ возможность точной установки вертушки нормально къ сѣченію профиля и въ данной точкѣ вертикали, такъ какъ приборъ свободно можетъ двигаться и то только поступательно въ вертикальномъ направленіи; независимыя движенія (качанія) оси вертушки ни по горизонтальному, ни по вертикальному направленіямъ невозможны. Въ виду того, что дѣйствительное направленіе струй не нормально къ сѣченію, а наклонно и кромѣ того без-

прерывно мѣняется, какъ мы это увидимъ ниже, продольная ось вѣхъ вышеописанныхъ вертушекъ постоянно мѣняетъ свое направленіе.

Съ муфтой *a* (фиг. 7, 11) соединенъ внизу дискъ *тт*, предохраняющій флувиометръ отъ наталкиванія о дно; муфта съ дискомъ кромѣ того замѣняетъ грузъ, служащій для облегченія спуска прибора; *возвышеніе оси вертушки надъ дномъ вполнѣ определенное* и равно разстоянію оси отъ нижняго края диска, т. е. 0,15 и 0,20 метр. Для уменьшенія тренія между трубой и муфтой у послѣдней имѣются 6 каточковъ (роликовъ) *bb*, изъ которыхъ два лежатъ въ пружинныхъ эластичныхъ подшипникахъ.

Канатъ идетъ чрезъ направляющій блокъ *D* (фиг. 4) къ барабану лебедки *E* съ рукояткой и тормознымъ-храповымъ колесомъ. Вращая равномерно, поворотами рукоятки, барабанъ въ ту или другую сторону, можно флувиометръ двигать по штангѣ съ нѣкоторой постоянной скоростью вверхъ или внизъ. Это послѣднее приспособленіе даетъ возможность опредѣлить непосредственно *среднюю скорость всей вертикали*, не вычисляя ея на основаніи измѣренныхъ скоростей во многихъ точкахъ этой вертикали. Для достиженія равномерности движенія, съ лебедкой соединяется регуляторъ въ видѣ напр. вѣтряныхъ крыльевъ. Барабанъ лебедки *E* снабженъ циферблатомъ и стрѣлкой для *опредѣленія глубины погруженія* оси вертушки подъ поверхностью воды, что дѣлается съ точностью до 1 сантиметра.

Имѣющійся у прибора *руль M* играетъ исключительно роль противовѣса и, если только было бы возможно, слѣдовало бы отказаться отъ примѣненія руля въ этомъ приборѣ, такъ какъ онъ вызываетъ постоянное, хотя и незначительное, боковое колебаніе прибора, не принося пользы и для направленія оси вертушки.

Счетный механизмъ можетъ быть устроенъ различно. Такъ (фиг. 9), безконечный винтъ *x* на оси вертушки приводитъ въ движеніе колесо *z*. Штифтикъ *c* колеса *z* послѣ каждыхъ 50—100 оборотовъ вертушки прижимается къ пружинѣ *f*, соединенной металлически съ зажимомъ *k*₁; пружина изолирована отъ зажима *k*₂. Въ *k*₁ и *k*₂ зажаты двѣ мѣдныя изолированныя проволоки, заключенныя въ одну оболочку; проволоки другими своими концами соединяются съ гальванической батареей, причемъ одна изъ нихъ проходитъ чрезъ звонокъ ²⁰). Такъ какъ вода—хорошій проводникъ электричества, то можно употреблять только слабые токи. Вся часть вертушки, гдѣ помѣщается счетный механизмъ, закрыта съ боковъ легко сжимающимися пластинками.

При нѣкоторомъ измѣненіи устройства счетчика можно получить время cadaго оборота. Для этого на ось вертушки *a* (фиг. 10) вмѣсто безконечнаго винта и колеса насаживается эксцентрикъ *b*, на который нажимаетъ пружина *f*₁; звонокъ замѣняютъ *пишущимъ приборомъ Morse'a*;

остальные детали не измѣняются. Карандашъ изобразить на лентѣ прерывную линію, каждая часть которой соотвѣтствуетъ одному обороту вертушки. Зная длину вышедшей изъ аппарата ленты за извѣстный промежутокъ времени, можно опредѣлить время каждого оборота и скорость, ему соотвѣтствующую.

Въ виду затруднительности подсчитыванія числа оборотовъ по лентѣ, въ цѣль можно ввести *электрической счетчикъ*, стрѣлка котораго, слѣдя быстротѣ вращенія оси, показываетъ каждый отдѣльный оборотъ. Употреблявшійся *Harlach'er*'омъ [39, 8—10] счетчикъ *Hipp*'а въ общемъ имѣетъ видъ коробки (фиг. 12, табл. XI) и устроенъ очень точно. Проводники включаются у *A* и *B*; винтъ *C*—служитъ для регулировки главной пружины, соединенной съ якоремъ, въ зависимости отъ силы тока; коммутаторъ *D*—включаетъ и выключаетъ приборъ. При каждомъ замыканіи тока, т. е. при каждомъ оборотѣ вертушки, особый электромагнитъ, вокругъ котораго проходитъ токъ, притягиваетъ якорь. Якорь посредствомъ рычага дѣйствуетъ на систему зубчатыхъ колесъ такимъ образомъ, что стрѣлка на первомъ циферблатѣ перемѣщается на одно дѣленіе при каждомъ оборотѣ, тогда какъ стрѣлка второго циферблата передвигается на одно дѣленіе послѣ 10 оборотовъ оси вертушки. Во время хода счетчика ясно слышны удары якоря.

Но все-таки запись оборотовъ весьма желательна, число знаковъ на бумагѣ, а слѣдовательно и число оборотовъ можетъ быть дома точно установлено; почему цѣлесообразно одновременное включеніе аппарата *Morse*'а и электрическаго счетчика оборотовъ. Кромѣ того, вмѣсто прибора *Morse*'а можно ввести аппаратъ съ болѣе равномернымъ движеніемъ, какъ напр. *хронографъ*. Этотъ послѣдній дѣйствуетъ на два чернильныхъ пера, опирающихся на бумажную полоску, передвигающуюся постоянно съ одинаковой скоростью = 10—30 м/м. въ сек. Вычерчиваются двѣ ломанныя линіи, при чемъ по одной можно судить о протекшемъ числѣ секундъ, а по другой какъ о числѣ оборотовъ, такъ и о быстротѣ этихъ послѣднихъ; такимъ образомъ точно устанавливается скорость ($\frac{1}{2}$ —1) оборота, ибо замыканіе тока происходитъ чрезъ каждые $\frac{1}{2}$ оборота. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ конструкція счетчика еще болѣе упрощается; всѣ отдѣльные приспособленія могутъ быть по желанію включаемы и выключаемы изъ цѣпи электрическаго тока.

§ 28. Нынѣ покойный проф. *A. R. Harlach'er* поручилъ въ 1881 г. изготовленіе своего инструмента фирмѣ *Albert Ott* въ *Kempen*'ѣ ²¹⁾. *A. Ott* сначала по указаніямъ проф. *Harlach'er*'а, а затѣмъ и самостоятельно постепенно улучшалъ эту конструкцію съ цѣлью увеличить

Новѣйшія усовершенствованія въ вертушкѣ *Harlach'er*'а.

чувствительность вертушки и приспособить этот точный приборъ для различныхъ цѣлей. Эти улучшенные приборы нашли себѣ примѣненіе при измѣреніяхъ на большихъ рѣкахъ Германіи и Австріи (Эльба, Рейнъ, Дунай, Одеръ, Висла).

Усовершенствованія заключаются въ слѣдующемъ, не отступая однако въ основѣ отъ принципа крыльчатого колеса съ винтообразными лопастями:

Размѣры употребляемыхъ штангъ.

Штанги въ настоящее время изготовляются діаметромъ 50,60 и 75 м/м и до 14 м. длины, тогда какъ прежняя штанга имѣла діаметръ 26, 32 и 45 м/м., длину же не превосходила 6—8 метр.

Замѣна направляющей щели выступомъ.

Улучшеніе, введенное за послѣдніе годы,—прежняя штанга—газовая труба со щелью во всю высоту ея—замѣнена *Mannesmann'овской* вытянутой стальной полированной гладкой трубой безъ щели, а съ направляющимъ выступомъ, привинченнымъ снаружи (фиг. 6, 7, Табл. X; фиг. 1, 4, 5, 6, Табл. XII). Такая штанга обладаетъ значительною прочностью и для примѣненія на большихъ глубинахъ можетъ быть составлена изъ большого числа звеньевъ; тогда какъ штанга *Harlacher'a* не можетъ быть составлена даже изъ двухъ частей. Направляющій выступъ штанги имѣетъ дѣленія на сантиметры, такъ что приборъ можетъ быть точно установленъ на любой глубинѣ подъ поверхностью воды.

Приспособленія для автоматической установки прибора по высотѣ.

Для приборомъ съ электрической сигнализацией, когда не желаютъ пользоваться лебедкой, имѣется устройство, дающее возможность автоматической по вертикали установки флувиометра. Для этого по всей высотѣ штанги сбоку сдѣланы отверстія черезъ каждыя 10 с/м. Въ эти отверстія входитъ штифтъ (стерженекъ), прикрѣпленный къ муфтѣ прибора на пружинной пластинкѣ. Поперечный рычагъ помощью идущаго къ нему сверху шнура можетъ, отогнувъ пружинную пластинку, выдвинуть штифтъ изъ отверстія; въ такомъ положеніи приборъ можетъ быть перемѣщенъ вверхъ на 10, 20, 30... с/м., пока этотъ шнуръ не будетъ ослабленъ, тогда рычагъ собственною тяжестью опустится, а слѣдовательно и штифтъ войдетъ въ предназначаемое отверстіе. Для правильной работы лучше сначала опустить приборъ на дно, а затѣмъ уже для наблюденій поднимать на требуемую высоту.

Примѣненіе въ подшипникахъ для оси вертушки шариковыхъ вкладышей.

Обыкновенные подшипники для шиповъ оси вертушки оставляются только при инструментахъ, служащихъ для измѣреній, не нуждающихся въ особой точности. Для точныхъ же наблюденій, въ особенности при вертушкахъ бѣльшаго размѣра, ось располагается на вкладышахъ — шарикахъ изъ агатового камня, закаленной стали или, какъ оказалось лучше всего, очень прочнаго *никелеваго сплава*, исключаящаго возможность ржавчины. Введеніемъ шариковыхъ вкладышей треніе доводится

до minimum'a, такъ что даже большими и тяжелыми лопастями измѣряются скорости въ 0,04—0,05 м. съ достаточной точностью. Агатовые шарики оказались въ употребленіи непрактичными, такъ какъ они не достаточно округлы и неодинаковой величины. Шарики послѣ каждаго употребленія легко вынимаются изъ подшипника, сохраняются въ маслѣ или сухими и помѣщаются на мѣсто лишь предъ самымъ измѣреніемъ. Изнашиваніе шариковъ почти незамѣтно.

Лучшее устройство получается въ томъ случаѣ, когда ось спереди, со стороны лопастей, поддерживается на шарикахъ (никелеваго сплава), сзади же (хвостъ) остриемъ упирается на агаты.

Съ обыкновенными подшипниками приборы фирмы *Ott'a* могутъ измѣрять скорости:

1. отъ 0,1 до 1,0 $\frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$	5. отъ 0,3 до 2,0 $\frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$	9. отъ 0,2 до 2,0 $\frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$
2. " 0,2 " 1,0 "	6. " 0,1 " 2,0 "	10. " 0,5 " 2,5 "
3. " 0,2 " 2,0 "	7. " 0,2 " 2,5 "	11. " 0,5 " 4,0 "
4. " 0,3 " 2,0 "	8. " 0,2 " 2,5 "	12. " 3,0 " 8,0 "

Въ этомъ перечнѣ порядковые нумера 1—12 указываютъ типъ устройства по отношенію формы, размѣровъ и числа лопастей, почему нѣкоторые предѣлы измѣряемыхъ ими скоростей—повторяются. Тѣ же самые приборы, но съ устройствомъ въ нихъ шариковыхъ вкладышей могутъ измѣрять скорости въ $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{3}$ вышеуказанныхъ величинъ.

На фиг. 2, Табл. XII показана въ разрѣзѣ большая гидрометрическая вертушка. Ось ея покоится съ одной стороны въ подшипникѣ съ вкладышами изъ 8 полированныхъ стальныхъ шариковъ; съ другой же стороны—хвостъ ея—въ агатовомъ подшипникѣ.

Примѣръ
устройства съ
шариковыми
вкладышами.

Дальнѣйшее усовершенствованіе этого устройства, съ цѣлю по возможности избѣжать бокового давленія, состоитъ въ такомъ удлинненіи оси, ~~такъ~~ чтобы точка опоры была возможно ближе къ штангѣ.

Такой приборъ съ улучшенной формой муфты выписанъ нами въ данное время для гидравлической лабораторіи *Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища*.

Для избѣжанія довольно значительнаго обратнаго подпора воды, улучшенная форма муфты прибора. вліяющаго на правильность вращенія лопастей колеса и происходящаго отъ близъ находящагося сплошнаго поддона *mm* муфты *aa* (фиг. 7, Табл. X, фиг. 1, 4, Табл. XII), дискъ *mm* (фиг. 2, 5, Табл. XII) былъ прежде всего сдѣланъ рѣшетчатымъ (сквознымъ) и наконецъ, въ самое послѣднее время, на основаніи ряда работъ и наблюденій, этотъ дискъ *совсѣмъ снятъ* за счетъ нѣкотораго общаго утолщенія муфты *aa* прибора (фиг. 6, Табл. XII). Кромѣ того, для облегченія и правильности вертикальнаго

передвижения прибора по штангѣ, *внутри муфты помещены два ролика*, идущіе при движеніи вдоль выступа (порожка) штанги.

Подвѣсная
вертушка
безъ линзы и
штанги.

При большихъ скоростяхъ течения и большихъ глубинахъ примѣняется подвѣсная (плавающая) вертушка (фиг. 5, Табл. X; Фиг. 8, Табл. XII А). Особенность ея заключается въ отсутствіи подвѣснаго чечевицеобразнаго груза (линзы). Въ этомъ случаѣ *руль* (весло) *СМ* дѣлается въ сравненіи съ самимъ крыломъ очень длиннымъ, изъ трубы *С* діаметромъ 40—50 м/м, и приборъ при помощи стального проволочнаго каната *А*, содержащаго въ срединѣ двѣ изолированныя мѣдныя проволоки, подвѣшивается на короткомъ вращающемся колѣнѣ *Д*. Длинный руль, полый внутри, заливъ свинцомъ на заднемъ концѣ и подъ точкой подвѣса, почему вертушка при всякой скорости становится точно горизонтально и въ линіи течения. На фигурѣ 5 показана такъ наз. корзина *abcdef* изъ стали, предохраняющая лопасти *В* вертушки отъ поломокъ³⁰⁾.

Вѣсъ всего прибора таковъ, что при спокойной водѣ можно производить измѣренія на различныхъ глубинахъ безъ подвѣшивания какого бы то ни было дополнительнаго груза *).

Замѣна штанги кабелемъ при измѣреніи скоростей на большихъ глубинахъ.

При очень большихъ глубинахъ, когда примѣненіе штанги и только что описанной конструкціи подвѣсной вертушки оказывается невозможнымъ, пользуются кабелемъ (якорнымъ канатомъ) съ тяжелымъ грузомъ на концѣ, который помощью ворота или крана спускаютъ до дна; затѣмъ кабель туго натягиваютъ, но такъ, чтобы грузъ не поднимался. По этому кабелю флувиометръ передвигается такъ же, какъ и по штангѣ. Легкое выгибаніе кабеля при измѣреніи не имѣетъ большого значенія. Ось при этомъ способѣ измѣренія становится горизонтально, на любой высотѣ по вертикали и направлена всегда по линіи течения воды.

Вертушка для измѣренія скоростей у дна и береговъ.

Для опредѣленія скоростей близко около дна и береговъ (до 3 с/м.) употребляется электрическая вертушка (фиг. 6, Табл. X), имѣющая ось и лопасти изъ алюминія. Ось расположена между остріями агатоваго камня; діам. колеса=4 с/м.; четыре, какъ указано на фигурѣ, лучше же три виштообразныя лопасти, идущія непосредственно отъ оси (безъ ручекъ); площадь ихъ=16,7 (сант.)². Колесо и ось вѣсятъ вмѣстѣ 27 грам. Электрической сигналъ дается послѣ каждаго 50-ти оборотовъ. При этомъ $v_0 = a = 0,06$ метр.

Вертушки, примѣняющіяся въ Америкѣ.

§ 29. Общепринятую въ Америкѣ вертушку (фиг. 2 и 3, Табл. XII А.) съ обыкновеннымъ колеснымъ счетнымъ механизмомъ изобрѣлъ и ввелъ въ практику инженеръ *Farrand Henry* [22, 326]. При многочисленныхъ измѣреніяхъ въ широкихъ и быстрыхъ потокахъ, а также и въ половодье на рѣкахъ Сѣв. Америки, этотъ приборъ оказался

*) Такой приборъ, только безъ предохранительной корзины (по фиг. 8), выписанъ нами для гидравлической лабораторіи И. М. И. У.

очень удобнымъ и точнымъ. Собственно вертушка устроена, какъ видно изъ фигуръ 2, 3 и 6, по типу *Baumgarten*'овской и опускается въ воду на желаемую глубину вмѣстѣ со штангой, подобно вертушкѣ *Woltmann*'а.

Приборъ *Henry* получилъ еще большее распространѣніе съ устройствомъ въ немъ *электрической сигнализации* и примѣненіемъ электрическаго счетчика (фиг. 6. Табл. XII А.). Приставка *M* къ рулю съ нижней его стороны имѣетъ дѣлю служить для правильной, по теченію, установки прибора до момента погруженія въ воду крыльевъ вертушки; такимъ образомъ, приборъ сразу получаетъ давленіе воды въ направленіи теченія, не подвергаясь большимъ колебаніямъ въ горизонтальной плоскости.

Вертушка (фиг. 5) инженера *A. Fteley* въ *Boston*'ѣ съ электрическимъ счетчикомъ (фиг. 4) также является приборомъ употребительнымъ и рекомендуемымъ [22, 326]. Приборъ прикрѣпляется къ концу штанги и опускается вмѣстѣ съ послѣднею до желаемой глубины.

Отличительныя черты этого устройства заключаются въ слѣдующемъ. Лопастное колесо вертушки заключено, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, въ металлическій, цилиндрической открытой съ обоихъ концовъ формы, кожухъ; ось этого цилиндра, или, что то же, ось вертушки укрѣплена въ вертикальныхъ ребрахъ особой металлической рамки; ребра рамки имѣютъ малую толщину, представляютъ весьма малую площадь, подверженную удару текущей воды, а слѣдовательно почти не образуютъ никакого подпора предъ приборомъ; штанга, оканчиваясь у верхняго горизонтальнаго ребра рамы, также не влечетъ за собою подпора, вредно вліяющаго на правильность вращенія лопастного колеса.

Инженеръ *J. Fanning*, пользовался вертушкою *W. Price*'а (фиг. 1 Табл. XII А.), устроенной на подобіе анемометра *Robinson*'а съ полыми внутри чашками на горизонтальныхъ спицахъ, прикрѣпленныхъ къ вертикальной оси вращенія; для счета числа оборотовъ оси вертушки устроена электрическая сигнализация. Такъ же почти устроена и вертушка *Brèquet*'а, какъ увидимъ ниже. *Fanning* примѣнялъ вертушку „*Price*“ при своихъ измѣреніяхъ въ быстрыхъ и глубокихъ потокахъ. Полученные результаты дали ему возможность сдѣлать выводъ объ этомъ приборѣ, какъ о вертушкѣ, соединяющей въ своемъ устройствѣ лучшія стороны существующихъ подобныхъ приборовъ [22, 326].

Наконецъ, одно изъ послѣднихъ устройствъ, это — вертушка *E. Haskell*'я [75, 54; 20]. Она представляетъ (фиг. 7, Табл. XII) собою приборъ съ видоизмѣненной формой лопастей — переходъ къ винту съ большими лопастями на подобіе земляного бура.)

§ 30. Вышеописанныя вертушки при большихъ скоростяхъ теченія обладаютъ слѣдующимъ большимъ недостаткомъ. Всѣ, даже гелисоидальныя, крылья обрѣзаются по плоскости, перпендикулярной направле- Недостатокъ, присущій всѣмъ прежнимъ формамъ лопастей.

нію струи воды, что даетъ двѣ или три грани (ребра) — *ab* и *cd* (фиг. 7, Табл. XXIII), ширина которыхъ зависитъ отъ толщины крыла. Переднія ребра лопастей и стержни крыльевъ при своемъ движеніи образу-

ють нѣкоторую поверхность, преграждающую движение воды, которая упирается какъ бы въ дно цилиндра. Это особенно замѣчается именно при большихъ скоростяхъ теченія; тогда какъ при слабомъ теченіи остановленные на мгновеніе струйки, послѣ легкаго отклоненія, могутъ продолжать свой путь. Вслѣдствіе вышеуказаннаго прегражденія, передъ вертушкой образуется коническая масса воды, частицы которой подвигаются со скоростью значительно меньшею, чѣмъ та, которая имъ приписывается согласно ходу вертушки. Это конечно не можетъ не отозваться вредно на точности опредѣленія скорости.

Вертушка
Hajos'a.

Венгерскій инженеръ *S. Hajos (Hirschfeld)* [34; 116] устроилъ въ 1892 г. вертушку (фиг. 3, Табл. XII), безъ только что указаннаго недостатка въ формѣ лопастей. Онъ придаль новой вертушкѣ форму *бурава*, лопасти котораго во время вращенія образуютъ *параболы*; нерабочія части, подпирающія воду при вышеописанныхъ типахъ, здѣсь совершенно устранены.

Такое очертаніе лопастей сдѣлано было изобрѣтателемъ на основаніи заключенія венгерскаго инженера *E. Kvassay* [42], что „для правильности работы крыльевъ вертушки лопасти должны быть построены по параболѣ, при условіи увеличенія шага винта вмѣстѣ съ радиусомъ“. Но этотъ выводъ, какъ извѣстно, оказался невѣренъ, ибо формула

E. Kvassay: $\frac{\operatorname{tga}}{\operatorname{tga}_1} = \frac{r}{r_1}$, переписанная такъ:

$$r_1 \cdot \operatorname{Cotga}_1 = r \cdot \operatorname{Cotga}, \text{ или: } 2 \cdot \pi r_1 \cdot \operatorname{Cotga}_1 = 2 \pi r \cdot \operatorname{Cotga} = \operatorname{Const} = h,$$

выражаетъ, напротивъ, постоянство шага h на любомъ разстояніи отъ оси, — извѣстное свойство винтовой поверхности.

Поэтому проф. *Schmidt* въ Мюнхенѣ предложилъ въ 1899—1900 гг. устройство вертушки въ формѣ *трехъ-лопастнаго винтового* *) *бура* (фиг. 7, Табл. XII A.), см. подробности въ гл. IX, стр. 225.

Движущаяся вода непосредственно дѣйствуетъ на крылья A ; ось B изъ металла дельта помѣщается въ трубкѣ діам. 3 см.; головка оси вращается на стальныхъ шарикахъ, а хвостъ на стальномъ остріѣ. Въ трубкѣ, прикрывающей ось, имѣются боковыя щели, въ которыхъ укрѣпляется зубчатое колесо безконечнаго винта и пружина s , передающая электрическій токъ. Руль M имѣеть ту же форму креста и то же назначеніе, что и въ улучшенной вертушкѣ *Amsler*'а. При опусканіи вертушки на канатъ пользуются двойнымъ крюкомъ HH , по снятіи котораго флувиометръ можно прикрѣплять къ шесту.

Пользуясь удобнымъ укрѣпленіемъ крыльевъ на оси, можно ихъ смѣнять для того, чтобы въ мѣстахъ съ различными скоростями (до 2 м. и болѣе 2 м. въ секунду) употреблять на томъ же приборѣ крылья съ различнымъ шагомъ.

*) Въ настоящее время (1905 г.) *S. Hajos* выполняетъ лопасти своей вертушки также по винтовой поверхности при томъ же способѣ укрѣпленія на оси.

Уравненіе вращенія ($v = \alpha + \beta n$) прибора изображается прямой на большемъ протяженіи, чѣмъ для какой-либо другой вертушки, слѣдовательно, ходъ его болѣе правиленъ и спокоенъ; части, не участвующія въ движеніи, устроены просто; травы и корни, плавающіе въ водѣ (особенно во время паводковъ) не прицѣпляются къ оси и крыльямъ и не мѣшаютъ работѣ инструмента.

Хронографъ (фиг. 9, табл. XII А), примѣнявшійся *Hajòs'*омъ, имѣетъ устройство, подобное телеграфному аппарату *Morse'a*, но только валики *cc*, выдвигающіе бумажную ленту, приводятся въ движеніе не часовымъ механизмомъ или электрическимъ двигателемъ, а лебедкой, при помощи которой опускается вертушка. Вращеніе отъ барабана лебедки передается колесу *A* хронографа помощью цѣпи и зубчатого колеса; помощью зубчатыхъ колесъ r_1, r_2, r_3, r_4 колесо *A* приводитъ въ движеніе валики. Также имѣется приспособленіе, дающее возможность той же бумажной лентѣ продолжать разворачиваться и при обратномъ движеніи лебедки, т. е. при подъемѣ вертушки. Барабанъ лебедки имѣетъ окружность въ 1 метр., валики—окружность въ 10 с/м.; т. е. когда вертушка опустится на 1 метръ, хронографъ проведетъ подъ перьями бумажную полосу на длину 10 с/м.; передача=1:10.

Хронографъ,
примѣнявшійся
*Hajòs'*омъ.

§ 31. Вертушка *Brèquet'a* [12, 107—109] имѣетъ слѣдующія особенности:

Вертушка
Brèquet'a.

1. Сама вертушка устроена подобно анемометру *Robinson'a* съ вертикальной осью вращенія и съ горизонтальными вѣтвями, несущими полушаровыя чашки.
2. Подвѣшенная (фиг. 2, табл. XIII) къ проволочному канату (съ грузомъ) вертушка *C* помощью электрическихъ проводовъ соединяется съ берегами потока, гдѣ помѣщаются счетчикъ *A* и элементы *B*, такъ что можно производить измѣренія, оставаясь на берегу.
3. Со счетчикомъ оборотовъ соединенъ хронометръ, снабженный приспособленіями для установки стрѣлокъ на нуль и приведенія его въ дѣйствіе; причѣмъ помощью электрическихъ проводовъ достигается одновременно и начало дѣйствія счетчика.

§ 32. Вертушка *Ritter'a* [12, 109—116; 2; 64] имѣетъ преимущественное назначеніе измѣрять скорости при расположеніи наблюдателя на мосту. Крылья вертушки тѣ же, что сдѣланы *Baumgarten'*омъ, числомъ 4, заключены въ цилиндрической кожухъ діам. 0,08 м. и шириною 0,02 м., представляютъ въ общемъ винтъ съ шагомъ въ 0,08 м. (фиг. 1 и 3, Табл. XIII). Полученное такимъ образомъ колесо *c* помѣщено въ мѣдный открытый съ обоихъ концовъ цилиндръ *G*, длиною

Вертушка
Ritter'a.

0,20 м. и діам. 0,086 м., у одного изъ его концовъ (въ разстояніи около 0,03 м.); тогда какъ на другомъ концѣ цилиндра *G* надѣтъ хомутъ *F* съ зажимными винтами *b* и съ прикрѣпленнымъ къ нему рулемъ *M*. Зазоръ между колесомъ *c* и цилиндромъ *G* внутри закрытъ для прохода воды вставнымъ кольцомъ *d* съ наклонной внутренней поверхностью для постепеннаго сжатія и направленія воды въ колесо. Назначеніе цилиндра—предохранять вертушку отъ толчковъ и боковых теченій. Счетъ числа оборотовъ вертушки производится при помощи электрической сигнализациі, съ звонкомъ чрезъ каждые 50 оборотовъ.

Статическіе
измѣрители
скорости.

§ 33. Для полноты описанія слѣдуетъ еще упомянуть о нѣкоторыхъ приборахъ, имѣющихъ болѣе историческое значеніе, но не вошедшихъ въ употребленіе или вслѣдствіе своей громоздкости, или слишкомъ большой неточности. Таковы такъ-наз. статическіе измѣрители, о которыхъ подробныя свѣдѣнія можно получить въ указываемой ниже литературѣ. Въ этого рода приборахъ скорость потока опредѣляется по силѣ удара (величинѣ давленія) воды о неподвижную поверхность. Такъ, напримѣръ:

*Гидродинамометръ Perrodil'*я [12, 132—134; 140, 467; 35, 161], въ которомъ давленіе воды опредѣляется степенью упругаго скручиванія подвѣшеннаго металлическаго шеста.

Тахометръ (реометръ, гидрометрическій безмѣнъ) *Brünnings'a* [12, 134; 45, 480; 96, 233], въ которомъ давленіе воды на плоскую дощечку передается помощью шеста и тонкаго каната на короткое плечо горизонтальнаго неравноплечаго рычага; это давленіе опредѣляется вѣсомъ груза, надѣваемаго на длинное плечо рычага и уравнивающаго послѣдній.

Гидрометрическій маятникъ, или, что тоже, рѣчной квадрантъ [12, 134—135; 80, 249—252; 134, 201; 96, 232—233; 45, 480], въ которомъ давленіе воды опредѣляется угломъ отклоненія отъ вертикали шелкового шнура; къ послѣднему привѣшенъ металлическій, полый внутри, или слоновой кости шарикъ; на деревянной или мѣдной дугѣ (квадрантѣ), раздѣленной на 90°, можно непосредственно прочесть величину угла отклоненія; шнурокъ укрѣпляется въ центрѣ дуги.

Кромѣ вышеперечисленныхъ существуютъ еще приборы того же рода:

1. [12, 135; 9, 278—282] *Boileau, Grandi, Castelli*;
2. [35, 161; 134, 202] *Czerwenka, Fennel'a, Frank'a, Shaw* и друг.

Гидрометрическій шнуръ
Williams'a.

§ 34. Къ той же группѣ приборовъ слѣдуетъ отнести изобрѣтенный въ послѣднее время гидрометрическій троссъ (шнуръ, веревка) *Williams'a* [53, 455—456; 88]. Этотъ приборъ можетъ служить для из-

измѣренія средней скорости потока, главнымъ же образомъ средней скорости у поверхности.

Все приспособленіе состоитъ изъ слѣдующихъ частей (фиг. 8—11, табл. X):

- a) двѣ пустотѣлыя стальные штанги R (фиг. 8,9), поддерживающія шнуръ, высокою каждая 2,50 м., діаметромъ 34 м/м., при толщинѣ стѣнокъ 1 м/м.;
- b) два деревянныхъ квадранта Q (фиг. 10, 11) съ латунными шарнирами a и подвижными роликами b изъ алюминія; дуга AB квадранта раздѣлена на градусы; посредствомъ ушка ac квадрантъ надѣвается на штангу (фиг. 8);
- c) двѣ латунныя муфты A (фиг. 8), которыя могутъ быть закрѣплены на штангѣ въ любой точкѣ; къ муфтѣ на шарнирѣ прикрѣпленъ крючекъ, поддерживающій динамометръ F ;
- d) два динамометра F (фиг. 8), каждый для измѣренія силы въ 25 килограмм.;
- e) два ролика r (изъ алюминія), подвѣшенные каждый на стремени къ динамометру;
- f) два зажима s (фиг. 8) съ пружиной и винтомъ съ гайкой для закрѣпленія шнура;
- g) смоляной шнуръ соответственной достаточной длины.

По натяженію веревки, длинѣ изогнутаго шнура и ширинѣ рѣки можетъ быть опредѣлена скорость v въ данной горизонтали.

Приборомъ *Williams'a* было сдѣлано много измѣреній на рѣкахъ *Pleisse'ѣ* и *Elster'ѣ* при ширинѣ рѣки, измѣнявшейся отъ 7 до 45 метр. Длина веревки достигала въ нѣкоторыхъ случаяхъ до 60 метр. За отсутствіемъ числовыхъ данныхъ произведенныхъ измѣреній нельзя сдѣлать и точнаго заключенія о пригодности прибора для точныхъ измѣреній. Видно только, что примѣненіе его возможно на рѣкахъ небольшой ширины и малаго движенія судовъ. Но во всякомъ случаѣ этотъ способъ измѣренія представляетъ *новизну, оригинальность и заслуживаетъ вниманія.*

Пределы примѣненія прибора.

Измѣреніе скорости течения помощью шнура *Williams'a* производится слѣдующимъ образомъ. На каждомъ изъ береговъ рѣки, по концамъ выбраннаго поперечнаго профиля (фиг. 9, 10), устанавливають вертикально штанги, надѣвъ на нихъ предварительно квадранты. Последніе укрѣпляются у самой поверхности воды или на нѣсколько сантиметровъ ниже уровня воды такимъ образомъ, чтобы одно ребро квадранта находилось въ вертикальной плоскости выбраннаго профиля, и въ такомъ положеніи зажимаются винтомъ c (фиг. 11). На известной высотѣ штанги закрѣпляютъ муфту A , поддерживающую динамометръ F съ его роликомъ r . Веревка погружается въ потокъ; каждый изъ ея концовъ проводится подъ квадрантомъ, огибая подвижной роликъ b ; далѣе веревка поднимается вертикально до ролика r динамометра, огибая его; спускаю-

Производство измѣреній скорости.

щийся конец веревки скрѣпляется съ протянутой веревкой помощью пружиннаго зажима *S* (фиг. 8).

Дѣйствию теченія веревка натягивается (фиг. 10) и принимаетъ въ планѣ форму дуги *l*, хорда которой будетъ *a*. Для вычисленія средней скорости на поверхности, замѣчаютъ показаніе каждаго изъ динамометровъ, которые даютъ въ килограмм. натяженіе веревки, передаваемое къ каждому изъ ея концовъ въ водѣ. Кромѣ того, на каждомъ изъ квадратовъ замѣчаютъ уголъ, образуемый веревкой съ ребромъ квадранта, прилежающимъ къ берегу. Можно тогда построить параллелограммъ силъ, такъ какъ натяженія пропорціональны длинамъ z_1 и z_2 , а равнодѣйствующая *R* обоихъ натяженій равна меньшей діагонали параллелограмма.

Инженеръ *Williams* даетъ для средней скорости въ метр./сек. слѣдующую формулу:

$$v = \frac{k}{a} \cdot \sqrt{R' \cdot l.}$$

Здѣсь *R'* представляетъ собою перпендикулярную къ поперечному профилю составляющую равнодѣйствующей *R*; *k*—есть постоянный коэффициентъ, зависящій для каждой веревки отъ ея діаметра и жесткости; *l*—длина шнура; *a*—хорда, равная ширинѣ рѣки.

Нѣкоторые
данныя о сто-
имости вы-
шеописан-
ныхъ верту-
шекъ.

§ 35. Въ заключеніе предыдущихъ §§ считаемъ не лишнимъ привести цѣны нѣкоторыхъ изъ вышеуказанныхъ усовершенствованныхъ вертушекъ и ихъ составныхъ частей.

I. Для небольшихъ глубинъ и скоростей — примѣненіе колесныхъ счетчиковъ.

№№ вертушекъ.	№№ отдѣльн. частей.	Наименованіе прибора и частей.	Марокъ.	Рублей.
1		Вертушка <i>Wolmann'a</i> 22).		
	a	Наименьшій размѣръ прибора, для 800 оборотовъ, съ футляромъ (безъ штанги, можно прикрѣплять къ палкѣ).	70	32
	b	Къ ней штанга, стальная труба безъ щели, длиной 3—4 метра, изъ 2—3 частей.....	15—20	7—9
		Итого...	85—90	39—41
2	a	Вертушка для большихъ 23) глубинъ, системы <i>Harlacher'a</i> , (фиг. 7, Табл. X) для 1000 оборотовъ, ось въ шариковомъ и агатовомъ подшипникахъ, наблюденіе точно до полуоборотовъ, со счетчикомъ въ металлическомъ кожухѣ, имѣющемъ отверстие, закрытое стекломъ для чтенія числа оборотовъ, съ блокомъ и зажимомъ для вертикальнаго движенія.....	200	93

№№ вертушекъ.	№№ отдѣльн. частей.	Наименованіе прибора и частей.	Марокъ.	Рублей.
	b	Въ 4 метра длиной, изъ двухъ отдѣльн. частей, стальная трубчатая штанга безъ щели, діаметромъ 26м/м. съ направляющимъ выступомъ и грунтовымъ дискомъ.	40	19
	c	Вертушка, приспособленная къ штангѣ діаметромъ 32 м/м.	220	102
	d	Такая же штанга, но діаметромъ 32м/м.	50	23
	e	Запасныя лопасти	25	12
<i>Общая стоимость полной вертушки</i>			265—295	124—137

II. Для большихъ глубинъ и широкихъ руселъ — при примѣненіи электрической сигнализациі.

№№ вертушекъ.	№№ отдѣльн. частей.	Наименованіе прибора и частей.	Марокъ.	Рублей.
1	a	Вертушка малыхъ размѣровъ ²¹⁾ съ сигналомъ для 25 оборотовъ, ось на агатовыхъ и новаго серебра остріяхъ....	110	51
	b	Та же вертушка, но съ осью на шариковомъ и агатовомъ подшипникахъ..	130	60
	c	Запасныя лопасти	22	10
	d	Штанга длиной 4 м., діам. 26 м/м., изъ двухъ частей, съ наконечникомъ и дискомъ	20	9
	e	Блокъ и зажимы для вертикальнаго движенія.....	30	14
	f	Электрическій звонокъ и батарея изъ 2-хъ сухихъ элементовъ въ одномъ ящикѣ.....	20	9
<i>Общая стоимость...</i>			202—222	94—103
2	—	Вертушка <i>Amsler</i> 'а по фиг. 1—3, Табл. X, со всѣми перечисленными въ § 20, гл. III усовершенствованіями....	Франковъ. 600	225
3	a	Электрическая вертушка ²³⁾ большихъ размѣровъ, интеграторъ <i>Hartacher</i> 'а (фиг. 1, 2, 6, Табл. XII), съ торпедо-видной контактной камерой для одного и каждаго 20 оборотовъ; шариковый и агатовый подшипники, съ блокомъ и зажимомъ для вертикальнаго движенія...	Марокъ. 300—350	140—162
	b	Штанга діам. 45 м/м., длиной 6 метр., изъ 2-хъ частей, съ направляющимъ выступомъ, дискомъ и наконечникомъ....	90	42
	c	Каждый слѣдующій добавочный метръ	12	6
	d	Штанга большаго діаметра, смотря по длинѣ	120—220	56—102

№№ верту- шекъ.	№№ отдѣльн. частей.	Наименованіе прибора и частей.	Марокъ.	Рублей.
	e	Батарея изъ 4 элементовъ и звонокъ въ собств. ящикѣ.....	35	16
	f	Электрической счетчикъ оборотовъ вертушки съ большимъ эмалированнымъ циферблатомъ на 1000 оборотовъ.....	100	46
	g	Такой же для счета оборотовъ барабана лебедки (для интеграціи).....	100	46
	h	Лебедка (барабанъ) отъ 1/2 до 1 метр. окружностію, съ регулирующимъ приспособленіемъ.....	180—300	93—140
	i	Телефонъ для каждаго оборота при медленной скорости.....	12	6
	k	Хроноскопъ, дающій 1/3 секунды....	45	21
	l	Гальваноскопъ.....	20—30	9—14
	m	Часы съ приспособленіемъ для самостоятельнаго прекращенія электрическаго тока послѣ опредѣленнаго промежутка времени ²⁶⁾	250	116
	n	Подвѣшенный кабель за погонный метръ	0,60	0,24
	o	Визирь съ диоптрами.....	25—35	12—16
		Такимъ образомъ, полный приборъ со всеми приспособленіями для точныхъ работъ ²⁷⁾ стоитъ.....	1000—1300	463—602
		Но если ограничиться только частями, необходимыми и достаточными для обыкновенныхъ измѣреній, то стоимость этого прибора составитъ.....	500—900	232—417
4	—	Подвѣсная вертушка ²⁸⁾ по фиг. 8, Табл. ХІА безъ вспомогательныхъ аппаратовъ и безъ предохранительной корзины.....	210	97
5	a	Вертушка ²⁹⁾ съ алюминиевыми осью и лопастями. (Фиг. 6, Табл. X).....	75	35
	b	Штанга изъ газовой трубы, дл. 4 м..	20	9
	c	Стальная штанга, 4 м. дл.....	40	19
	d	Батарея въ 2 элемента со звонкомъ.	20	9
		Итого...	115—135	53—63

ГЛАВА IV.

Гидрометрические приборы русских изобрѣтателей. — Результаты работ инженера *Деляскаго* надъ расположеніемъ рѣчныхъ струй.

Въ виду полного отсутствія въ литературѣ систематически собранныхъ данныхъ о гидрометрахъ русскихъ изобрѣтателей несомнѣнно интересно прослѣдить, что сдѣлано и у насъ въ Россіи по такому важному вопросу, какъ опредѣленіе скоростей и расходовъ воды и распределеніе скоростей по величинѣ и направленію въ поперечныхъ сѣченіяхъ русла. Помѣщеніе описаній приборовъ, особенно не вошедшихъ въ употребленіе, объясняется исключительно желаніемъ дать полную картину того или другого устройства. Въ иностранной литературѣ отыскать отдѣльныя разбросанныя статьи о приборахъ оказалось, по нашему собственному опыту, легче, чѣмъ въ русскихъ періодическихъ изданіяхъ. О работахъ временныхъ гидрометрическихъ станцій описанныхъ партій, изслѣдовавшихъ русскія рѣки, указано было выше въ предисловіи и въ соответственныхъ мѣстахъ нѣсколькихъ отдѣловъ сей книжки.

§ I. Аппаратъ *Моссаковскаго* представляетъ, собственно говоря, вертушку *Baumgarten'a*, но безъ механическаго счетчика, а съ примѣненіемъ электрической передачи. Описаніе этого прибора и чертежи были представлены въ гидрографической департаментъ Морского Министерства въ началѣ 1880 года, въ печати же появилось въ Ж. М-ва п. с. лишь въ 1883 г. Неизвѣстно, — была ли эта вертушка устроена, а если и была, то ничего неизвѣстно о работахъ съ нею. Появленіе въ печати описанія прибора вызвано именно тѣмъ, что ходатайство *Моссаковскаго* о разрѣшеніи выполненія вертушки въ инструментальной мастерской Морского М-ва осталось безъ послѣдствій. По всей вѣроятности въ данномъ случаѣ, какъ и во многихъ, прежде бывшихъ, пришлось встрѣтиться съ почти всеобщимъ недоумѣніемъ къ своимъ си-

Электрическая вертушка *Моссаковскаго*. Судьба этого прибора.

ламъ, къ русскимъ открытіямъ и изобрѣтеніямъ¹⁾, а потому съ нежела-
ніемъ войти въ сущность дѣла и помочь, по мѣрѣ силъ и возможности.

Оказывается, что въ Россіи — инженеръ *Моссаковский*, а въ Гер-
мани — проф. *Harlacher*, одновременно и независимо одинъ отъ другого,
задались идеей улучшить вертушку *Amsler*'а (притомъ почти по одной
программѣ) съ цѣлю:

- 1) примѣненія электричества для пользованія вертушкой на воз-
можно большихъ глубинахъ;
- 2) упрощенія подводнаго механизма, т. е. уменьшенія числа то-
чекъ тренія, а слѣдовательно и величины всего сопротивленія
отъ тренія, такъ какъ вертушка *Baumgarten*'а со счетчикомъ
имѣеть 7 точекъ тренія; вертушка *Amsler*'а имѣеть еще одной
болѣе, — въ мѣстѣ смыканія тока;
- 3) увеличенія чувствительности этихъ приборовъ даже совершен-
нымъ удаленіемъ сложныхъ подводныхъ зубчатыхъ механизмовъ
счетчика и замѣною ихъ однимъ контактомъ;
- 4) полученія возможности во время производства наблюденій,
т. е. когда вертушка опущена на глубину, узнавать, не под-
верглась ли она случайному незначительному засоренію, вре-
менно замедлившему ея вращеніе и тѣмъ, конечно, увеличить
довѣріе къ показаніямъ вертушки (электрической счетчикъ);
- 5) болѣе точнаго наблюденія времени, соотвѣтствующаго опре-
дѣленному числу оборотовъ вертушки, для чего смыканіе и
размыканіе электрическаго счетчика и секундомѣра, помѣщаю-
щихся около наблюдателя на одной доскѣ, должны произво-
диться всегда одновременно.

Судя по вышеописаннымъ нами усовершенствованіямъ, введеннымъ
проф. *Harlacher*'омъ, а затѣмъ *A. Ott*'омъ, выполненіе этой программы
приведено къ концу и добавлены еще многія улучшенія. Тамъ даны
были средства и возможность для выполненія изобрѣтенія, его про-
вѣрки, примѣненія и дальнѣйшихъ улучшеній прибора, доведшихъ вер-
тушку дѣйствительно до замѣчательной точности показаній. Идея же
Моссаковского такъ и осталась одной идеей и потому никакихъ по-
слѣдующихъ улучшеній въ это дѣло не было внесено.

§ 2. Приборъ *Моссаковского* [117] состоитъ изъ 3-хъ частей:

- Описаніе
устройства
вертушки
Моссаковска-
го.
- 1) собственно вертушки; 2) особаго счетчика съ секундомѣромъ и
 - 3) проволочнаго каната (линя) произвольной длины (фиг. 5—9,
табл. XIII).

Собственно
вертушка.

Въ мѣдное кольцо *aa* (фиг. 7) входитъ вертлюгъ *AA'*, свинчи-
вающійся изъ двухъ частей *A* и *A'*, къ верхнему очку котораго при-

крѣпляется лотлинь, а къ нижнему — грузъ Q , какъ и у вертушки *Amsler*'а. Кольцо aa свободно вращается на вертикальной оси вертлюга AA' и имѣетъ двѣ горизонтальныя оси, которыя, входя въ гнѣзда небольшого цилиндра bb (фиг. 6 и 7), даютъ ему, а значить и оси вертушки возможность качаться и въ вертикальной плоскости около горизонтальной оси. Къ цилиндру bb придѣланы руль M и коробка D съ вертушкой E , устроенной совершенно одинаково съ приборомъ *Baumgarten*'а. Коробка D (фиг. 7 и 8) состоитъ изъ мѣднаго ящика ff' съ стеклянной крышкою gg , въ серединѣ которой придѣлана стойка k , заканчивающаяся внизу штифтикомъ съ свободно двигающимся по нему кубикомъ m . На оси OO вертушки, прямо подъ кубикомъ m , навинченъ небольшой двойной цилиндрикъ $ihhi$; верхняя стеклянная (или фарфоровая) часть ii имѣетъ прорѣзь, въ который входитъ втулка нижняго мѣднаго цилиндра hh ; небольшие выступы по краямъ стекляннаго цилиндра ii препятствуютъ паденію кубика m въ сторону при вращеніи оси OO . Боковая крышка dd коробки D служить для свободнаго выниманія оси вертушки и приведенія въ исправность (чистки) внутреннихъ ея частей.

Очевидно, что пущенный чрезъ вертлюгъ A электрическій токъ достигнетъ стойки k только въ то время, когда втулка цилиндра $ihhi$ коснется кубика m , т. е. одинъ разъ при каждомъ оборотѣ вертушки E около своей оси (фиг. 8).

Счетчикъ и секундомѣръ представлены на фиг. 5 и 9; причемъ Счетчикъ и секундомѣръ. фиг. 5 представляетъ весь механизмъ счетчика въ коробкѣ закрытымъ, а фиг. 9—открытымъ въ то время, когда возбужденный электрическій токъ сомкнуть. Для возбужденія электрическаго тока во всемъ снарядѣ имѣется одинъ переносный элементъ, который помѣщается въ нижней части ящика счетчика. Токъ отъ элемента входитъ чрезъ J въ коробку a и по мѣдной полосѣ выходитъ изъ нея въ J' ; отсюда токъ идетъ далѣе по изолированному проводнику лотлиня къ вертушкѣ. Въ моментъ соприкосновенія мѣдной втулки цилиндра $ihhi$ (фиг. 8) съ кубикомъ m токъ двинется обратно по другому изолированному проводнику лотлиня чрезъ стойку k и войдетъ въ коробку счетчика чрезъ L (фиг. 9); пройдя затѣмъ по передвижной пластинкѣ W' , онъ достигнетъ электромагнита EE' , возбудитъ въ немъ магнетизмъ и соединится снова чрезъ L' съ элементомъ. Возбужденный въ электромагнитѣ магнетизмъ притянетъ желѣзный якорь FF' который въ F' толкнетъ вилкообразный рычагъ Mm , вращающійся около точки M . Слѣдствіемъ этого толчка будетъ передвиженіе зубчатаго колеса N на одно дѣленіе; шестерня, находящаяся на той же оси, повернетъ колесо PP' также на одно дѣленіе; стрѣлка, насаженная на оси послѣдняго колеса пере-

двинется по циферблату, находящемуся на наружной сторонѣ коробки счетчика (фиг. 5).

Въ тотъ моментъ, когда вслѣдствіе вращенія вертушки электрической токъ будетъ разомкнуть у цилиндра *ihhi* (фиг. 7, 8), т. е. когда мѣдная втулка не будетъ касаться кубика *m* стойки *k*, электромагнитъ размагнитится и якорь *FF'* (фиг. 9) оттянется посредствомъ спиральной пружины *S*; вслѣдствіе этого рычагъ *Mm* приметъ новое положеніе, при которомъ зубчатое колесо *N*, а слѣдовательно и стрѣлка циферблата не будутъ въ состояніи двинуться обратно.

Въ наружной коробкѣ счетчика находится также и *секундомѣръ*, механизмъ котораго показанъ въ *VV* (фиг. 9). Устройство этого механизма совершенно одинаково съ обыкновенными секундными часами, но только вызваніе и прекращеніе въ немъ движенія непосредственно связаны съ смыканіемъ и размыканіемъ электрическаго тока во всемъ счетчикѣ и вертушкѣ. Съ этою цѣлью къ подвижной полосѣ *U'* (фиг. 9) придѣлана костяная пластинка *r*, а къ рамѣ секундомѣра—стойка *r'* съ пружиною *rr'* между ними. Пуговка *R*, передвигая полосу *U'*, будетъ разобщать электрической токъ въ *l* и одновременно надавливать пружиной *rr'* на маятникъ секундомѣра, останавливая тѣмъ его движеніе. При обратномъ движеніи пуговки *R* электрической токъ будетъ сомкнутымъ и пружина *rr'*, отдѣлившись отъ маятника секундомѣра, заставитъ его двигаться. Пуговицы *T* и *T'* (фиг. 5) служатъ для передвиженія стрѣлокъ секундомѣра и счетчика на нули дѣленія циферблатовъ.

Каналь.

Проводниками электрическаго тока, отъ вертушки къ наружной коробкѣ счетчика, а слѣдовательно и къ элементу, служить лѣнь, на которомъ опускается вертушка. Устройство его таково, что токъ, пущенный по двумъ взаимнопротивоположнымъ направленіямъ, вполне изолированъ. Съ этою цѣлью двѣ проволоки изъ мягкой мѣди покрыты толстымъ слоемъ резины или каучука (на подобіе проволокъ подводныхъ телеграфовъ) и сплетены вмѣстѣ съ двумя пеньковыми прядями, образуя такимъ образомъ одинъ общій цѣлый лотлинь. Оконечность одного изъ проводниковъ, изготовленнаго такимъ образомъ лотлиня, укрѣплена у вертлюга *A* (фиг. 6, 7); оконечность же другого — у стойки *k*.

Гидрографъ
Котляревскаго.

§ 3. Гидрографъ инженера *Котляревскаго* [106] представляетъ приборъ для измѣренія скоростей теченія воды въ рѣкахъ и каналахъ какъ на поверхности, такъ и на различныхъ глубинахъ, а также для опредѣленія скорости движенія судна.

Устройство
прибора.

Устройство его основано на примѣненіи гидрометрическаго маятника и заключается въ слѣдующемъ (фиг. 1, Табл. XIV). Твердый и

тяжелый брусок AB подвѣшивается вертикально на проволоку или дѣпи C съ прикрѣпленной внизу свинцовой плиткой 5—6 фунт. вѣсомъ. На укрѣпленной къ бруску горизонтальной короткой оси вращения b насаженъ неравноплечій колѣнчатый рычагъ cbd ; длинное его плечо bd несетъ полый внутри шаръ; короткое плечо рычага (кривошипъ) соединено шатуномъ ce со стержнемъ (указателемъ) ef , передвигающимся вертикально вдоль бруска AB . Конецъ стержня ef снабженъ стальнымъ карандашемъ, чертящимъ линіи на аспидной доскѣ gg . Эта доска закрѣплена въ мѣдной рамкѣ и соединена съ салазками, перемѣщающимися помощью микрометричнаго винта hh вдоль другой большой рамы въ направленіи, перпендикулярномъ движенію указателя. Микрометричный винтъ вращается отъ дѣйствія воды на лопатки колеса D , отъ оси котораго сдѣлана передача парю зубчатыхъ колесъ. Руль EF устанавливаетъ шаръ въ должномъ положеніи, и послѣдній подъ дѣйствіемъ движущейся воды отклоняется отъ отвѣснаго направленія на нѣкоторый уголъ α въ сторону движенія воды. Съ перемѣщеніемъ шара измѣняется свое положеніе и стальной карандашъ, встрѣчая приэтомъ пластинку, передвигающуюся противъ теченія; такимъ образомъ, каждое положеніе карандаша отмѣчается на пластинкѣ.

Разстояніе этой отмѣтки до оси абсциссъ дасть ординату y , измѣренную въ той или другой единицѣ длины, а затѣмъ уже скорость опредѣляется вычисленіемъ. При опусканіи и выниманіи прибора, на доскѣ получается длинная вертикальная черта и такимъ образомъ выдѣляется каждый періодъ наблюденія въ данной точкѣ. Слѣдовательно, легко опредѣлить для каждой точки наблюденія maximum'альную, minimum'альную и среднюю ординаты. Формула для скорости, данная изобрѣтателемъ, имѣетъ видъ:

Опредѣленіе скорости теченія воды.

$$v^2 = \frac{M}{\sqrt{\left(\frac{r}{y}\right)^2 - 1}}$$

или проще:

$$v^2 = M \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

гдѣ:

$$y = r \cdot \operatorname{Sin} \alpha; \quad M = \frac{N}{\delta}; \quad N = \frac{P \cdot 8g}{\pi \cdot d^2 m}$$

r —длина короткаго плеча bc рычага; δ —плотность воды, P —вѣсъ шара въ водѣ (въ фунтахъ); g —ускореніе силы тяжести (въ футахъ); d —діаметръ шара (въ дюймахъ); m —коэффициентъ давленія воды на шаръ, принимаемый изобрѣтателемъ постояннымъ и равнымъ 1.55.

Для уменьшенія быстроты передвиженія пластинки подь карандашемъ при большихъ скоростяхъ течения или устанавливаютъ лопатки колеса D подь бѣльшимъ угломъ къ плоскости колеса, или снимаютъ двѣ противоположныя лопатки. Въ предѣлахъ поперечнаго сѣченія шара, скорости движенія отдѣльныхъ струекъ предполагаются одинаковыми; передвиженіе пластинки, въ теченіе нѣсколькихъ минутъ, принимается за равномерное.

Достоинства
и недостатки
прибора.

Приборъ этотъ, по мнѣнію изобрѣтателя, обладаетъ слѣдующими достоинствами:

- 1) не требуетъ точнаго опредѣленія времени наблюденія;
- 2) можетъ быть употребляемъ во всякое время года, даже въ сильныя морозы;
- 3) можетъ служить для опредѣленія скорости течения воды въ различныхъ точкахъ горизонтальной линіи;
- 4) можетъ быть примененъ для опредѣленія скорости хода судна;
- 5) тоже—для опредѣленія скорости вѣтра.

Стоимость этого прибора на мѣстѣ, въ С.-Петербургѣ, назначена въ 100 рублей.

Приборъ этотъ, хотя и не заслуживаетъ того вниманія, какъ вышеописанный аппаратъ *Моссаковскаго*, былъ замѣченъ специалистами и вызвалъ печатный отзывъ Совѣта Техническаго Отдѣла Собранія инженеровъ путей сообщенія [123] и критическую статью инженера *Бастамова* [78]. Оба заключенія были не въ пользу прибора какъ относительно устройства и дѣйствія аппарата, такъ и построенія формулы для скорости. Печатные отвѣты изобрѣтателя на отзывъ Совѣта нельзя признать удачными и обоснованными. Тѣмъ не менѣе, окончательное о приборѣ сужденіе оставлено до полученія данныхъ изъ практики.

Но, повидимому, и самъ изобрѣтатель согласился впоследствии если не со всѣми, то съ нѣкоторыми вполне справедливыми доводами и перешелъ затѣмъ къ изобрѣтенію другихъ болѣе простыхъ, легкихъ и дешевыхъ приборовъ того же назначенія.

Гидроиндикаторъ
Котляревскаго.

§ 4. Гидроиндикаторъ инженера *Котляревскаго* [107] служить для опредѣленія наибольшаго давленія воды въ данномъ пунктѣ; по величинѣ этого давленія простымъ вычисленіемъ опредѣляется затѣмъ скорость движенія воды или судна ²⁾).

Приборъ, подвѣшиваемый на канатѣ e , состоитъ (фиг. 7, Табл. XIV) изъ мѣднаго цилиндра A со стержнемъ и пружиною въ немъ. Стержень снабженъ на одномъ концѣ дугою abc ; другимъ же концомъ онъ сочлененъ съ системою рычаговъ, помѣщенныхъ въ E . Послѣдній изъ этихъ рычаговъ можетъ передвигать стрѣлку на циферблатѣ, помѣщенномъ въ мѣдной

коробкѣ *B*. Стрѣлка устанавливается на нуль рукою и сама по себѣ передвигаться не можетъ. Къ дугѣ *abc* прикрѣпляются на шарнирахъ въ *a* и *c* стержни *d, d*. съ шарами *C, C*. на концахъ; шары внутри пустые и такого вѣса, что, будучи спущены въ воду, почти теряютъ въ ней весь свой вѣсъ. Для правильной установки прибора въ потокѣ имѣется руль *D, D*; противовѣсомъ ему, шарамъ и цилиндру служить часть *E* съ помѣщенными въ ней рычагами и коробкой счетчика. Въ виду того, что весь приборъ вѣситъ около 25 фунтовъ на воздухѣ, то при скоростяхъ больше $2\frac{1}{2}$ фут./сек. нуженъ привѣсный грузъ *f* изъ свинцовыхъ плитокъ вѣсомъ не менѣе 40 фунтовъ и шары меньшаго (до 2") діаметра. Для скоростей, меньшихъ 0,50 фут./сек., приборъ этотъ не годится.

Необходимо опускать приборъ въ воду и вынимать изъ нея возможно скоро, чтобы, при проходѣ прибора чрезъ мѣста съ болѣею скоростью, новаго показанія стрѣлка не дала (въ чемъ можно сомнѣваться); въ воздухѣ же опускать и поднимать приборъ слѣдуетъ медленно.

Формула для опредѣленія скорости, предложенная изобрѣтателемъ:

$$v = \frac{m \cdot \sqrt{p}}{d},$$

гдѣ *v*—скорость въ секунду (въ футахъ). *p* показаніе стрѣлки на дугѣ (въ русскихъ фунтахъ до $\frac{1}{8}$ = 0,125 фунта); *d*—діаметръ шаровъ (обыкновенно = 4 дм.); *m*—коэффициентъ прибора, равный отъ 7,786 до 8,000.

Для упрощенія вычисленій, къ прибору приложена таблица вычисленныхъ *v* при *m* = 7,8 для *d* = 4" и 2" и для показаній прибора отъ $\frac{1}{8}$ ф. (*d* = 4", *v* = 0,689; *d* = 2", *v* = 1,378 фут./сек.) до 5 фунт. (*d* = 4", *v* = 4,36; *d* = 2", *v* = 8,72 фут./сек.); причеъ *m* принято независящимъ отъ діаметра шара, что конечно невѣрно.

Стоимость прибора назначена въ 70 рублей.

§ 5. „Водомѣръ“ инженера *Котляревскаго* [89] представляетъ собою приборъ, по мнѣнію изобрѣтателя, окончательно разработанный 3).

Устройство прибора дѣйствительно простое 4) и въ общемъ заключается въ слѣдующемъ (фиг. 3, Табл. XIV). Въ вертикальной рамкѣ *AA*, устанавливающейся посредствомъ руля *B* въ плоскости, параллельной теченію воды, укрѣплены двѣ горизонтальныя оси *a* и *b*; на нихъ насажены зубчатая сцепляющіяся другъ съ другомъ колеса *c* и *d* съ передачей 1 : 12. На оси *a* наглухо придѣлана въ вертикальной плоскости мѣдная запаянная трубка *e*, не пропускающая внутрь воду подъ давленіемъ 4—5 атмосферъ. Находящійся въ трубкѣ металлическій шарикъ при вращеніи колеса *c*, а слѣдовательно и трубки *e*, за одинъ

Водомѣръ
Котляревскаго.

ея оборотъ свалится два раза сверху внизъ и произведетъ два раза ударъ о ея дно. На оси b малаго зубчатаго колеса d находится, снаружи рамки, крылатка съ четырьмя лопатками $f.f.f.f$, поставленными подъ угломъ въ 45° къ плоскости рамки. Ось съ крылаткой расположена ниже оси большаго зубчатаго колеса. Подвѣшенный канатъ g (изъ обыкновенной веревки, мѣдной проволоки или стальной изъ нитей діам. $\frac{1}{2}$ м/м.), навиваемый на деревянный барабанъ, имѣетъ мѣдныя бляшки чрезъ каждыя полсажени. Для удержанія прибора въ вертикальномъ положеніи всегда необходима гири h вѣсомъ 30—55 фунт.

Для величины скорости изобрѣтателемъ дается формула:

$$v = \frac{\alpha}{t} + \beta,$$

гдѣ v —скорость въ футахъ въ секунду; t —время въ секундахъ между двумя послѣдовательными (или лучше между первымъ и послѣднимъ изъ опредѣленнаго числа) ударами (среднее изъ нѣсколькихъ наблюдений); коэффициенты прибора: α —около 15, β около 0,35.

Паденіе груза всегда совершается въ воздухѣ, заключенномъ въ трубкѣ, хотя бы послѣдняя находилась на глубинѣ, напр. 10 саж. Самые удары шарика передаются на поверхность воды по подвѣсному канату g и ощущаются наблюдателемъ на ухо или рукою.

Введеніе пары зубчатыхъ колесъ съ передаточнымъ числомъ 1 : 12 взято съ тою цѣлью, чтобы избѣжать, особенно при большой скорости теченія воды, развитія значительной центробѣжной силы въ массѣ груза, вслѣдствіе которой шарикъ могъ бы не успѣть упасть во время вращенія трубки.

Приборъ, по словамъ изобрѣтателя, работаетъ при скоростяхъ отъ 0,35 до 6 фут./сек. Для скоростей еще большихъ снимаются двѣ лопатки на колесѣ и вѣсъ гири увеличивается, а скорость, получаемая изъ вышеуказанной формулы, должна быть увеличена въ два раза противъ расчетной.

Этотъ же приборъ можетъ замѣнить аппараты для *опредѣленія скорости вѣтра* (коэффициенты въ этомъ случаѣ будутъ: $\alpha=26$, $\beta=5$). Сила вѣтра опредѣляется по условной шкалѣ: $t=1''$ —очень сильный вѣтеръ; $t=2''$ —сильный вѣтеръ (18 фут. въ 1 секунду); $t=3''$ —средній вѣтеръ; $t=4''$ —обыкновенный вѣтеръ $t=6''$ —слабый вѣтеръ.

Достоинства прибора вполне опредѣляются въ слѣдующемъ заключеніи протокола испытанія „водомѣра“ (на р. Волгѣ у моста Николаевской ж. д.):

„Употребленіе „водомѣра“ для изслѣдованія скоростей теченія воды подъ желѣзнодорожными мостами какъ крайне неслуживый приборъ представляется цѣлесообразнымъ“.

§ 6. „Измѣритель рѣчныхъ струй“ инженера *Лелявскаго* [108; 109; 110] состоитъ изъ двухъ частей: 1) подводнаго флюгера и 2) вертушки, описываемыхъ ниже независимо другъ отъ друга.

Измѣритель
рѣчныхъ
струй.
Лелявскаго.

Этотъ приборъ служить для провѣрки и развитія теоріи о расположеніи рѣчныхъ теченій, а въ соединеніи съ вертушкой даетъ возможность болѣе точнаго, нежели вертушкой *Amsler'a*, опредѣленія расхода воды въ данномъ живомъ сѣченіи. Помощью этого аппарата могутъ быть наблюдаемы одновременно величина и направленіе скорости, слѣдовательно легко затѣмъ найти вычисленіемъ составляющую ея, нормальную къ площади живого сѣченія, а значитъ и вѣриѣ выразить расходъ воды: $Q = \Omega \cdot v$.

Подводный флюгеръ изобрѣтенъ инженеромъ *Лелявскимъ* двухъ типовъ:

- I,—для „мгновеннаго измѣренія“ направленія струй, съ простой установкой прибора и
- II,—дающій возможность слѣдить за колебательными движеніями флюгера, съ болѣе сложными приспособленіями.

Въ обоихъ типахъ длина всего аппарата около 3 саж. и позволяютъ производить наблюденія при глубинахъ до 2,50 саж.

§ 7. Типъ I. *Подводный флюгеръ* ⁶⁾ для мгновеннаго измѣренія направленія струй, обладающій сравнительною простотою установки, въ общемъ видѣ и деталяхъ представленъ на фиг. 2, 4, 5 и 6, табл. XIV.

Подводный
флюгеръ про-
стого устрой-
ства.

Одна изъ составныхъ частей этого прибора—полая желѣзная труба *a*, діам. $1\frac{1}{4}$ дм., длиною 3 саж., толщиною стѣнокъ $\frac{3}{16}$ дм.; по всей длинѣ ея сдѣланъ продольный прорѣзь, а съ боковъ расположены небольшія отверстія чрезъ каждыя 0,05 саж.; въ нихъ помѣщается чека *s* (фиг. 5), служащая для закрѣпленія самого прибора на опредѣленной высотѣ.

Внутри трубы *a* (фиг. 4—6) движется плотно вставленный въ нее мѣдный цилиндръ *b*, который посредствомъ продольнаго выстука, проходящаго чрезъ прорѣзь трубы, наглухо соединенъ съ наружною мѣдною трубкою *c*. Средняя по высотѣ часть наружной трубки *c* вырѣзана, а вмѣсто нея надѣта муфтообразная мѣдная трубка *d*, вращающаяся въ горизонтальной плоскости около вертикальной оси и перемѣщающаяся поступательно въ вертикальномъ направленіи вмѣстѣ съ сердечникомъ *b*. На срединѣ по высотѣ съ обѣихъ сторонъ трубки *d* вставлены стальные горизонтальныя оси *ee*, на которыхъ вращается удлиненное кольцо *ff*. (Фиг. 6). Въ мѣстахъ *gg* кольца закрѣплены стержни *hg* и *gk* (фиг. 2), снабженные на концахъ своихъ каждыи двумя поставленными подъ прямымъ угломъ тонкими стальными ли-

стами, образующими на одномъ стержнѣ стрѣлку *k*, а на другомъ— хвостъ флюгера (руль)—*h*. Такимъ образомъ, флюгеръ *kh* посредствомъ кольца *ff* вращается въ плоскости вертикальной около горизонтальной оси *ee*, а вмѣстѣ съ кольцомъ *ff* и съ муфтой *d* въ плоскости горизонтальной вокругъ трубки *a*.

Для *измѣренія угловъ* отклоненія флюгера служатъ два лимба— горизонтальный и вертикальный. Послѣдній вращается въ горизонтальномъ направленіи вмѣстѣ съ флюгеромъ и прикрѣпленъ наглухо къ муфтѣ *dd*. Горизонтальный лимбъ прикрѣпленъ наглухо къ колецобразнымъ выступамъ трубки *c*. Вертикальный лимбъ даетъ возможность измѣрять углы отклоненія флюгера по 30° , а горизонтальный— по 60° въ обѣ стороны отъ нулевой плоскости; точность измѣреній равна $10'$ безъ употребленія нониуса.

Для *задержанія* въ произвольный моментъ движенія флюгера служатъ параллельныя лимбамъ, имѣющія съ ними одинаковую длину и близь нихъ помѣщенныя зубчатыя дуговыя полосы. Послѣднія прикрѣплены къ тѣмъ же трубкамъ, что и лимбы, но могутъ, вращаясь около своихъ мѣстъ прикрѣпленія, удаляться отъ флюгера и приближаться къ нему; соотвѣтственно этому флюгеръ или получаетъ свободу двигаться, или задерживается въ неподвижномъ положеніи. Металлическія полосы, прикрѣпляющія зубчатыя дуги, имѣютъ видъ колѣнчатыхъ рычаговъ; нажатіе зубчатыхъ полосъ на лимбъ и остріе флюгера производится соотвѣтственно устроенными пружинами. При опусканіи прибора въ воду зубчатыя полосы ставятся въ положеніе незадерживающее движеній; послѣ известнаго промежутка времени дергаютъ за шнуры, проведенные до верха трубки, и тѣмъ закрѣпляютъ флюгеръ въ соотвѣтственномъ положеніи; *по вынутіи прибора изъ воды можно прочесть показанія на лимбахъ.*

Желѣзная труба *a* прибора устанавливается (фиг. 2) на днѣ рѣки неподвижно посредствомъ чугунной чашки *t* съ зубьями по окружности, проникающей въ песокъ или задерживающейся за выступы камней. Труба должна быть при измѣреніяхъ вертикальна, а чашка можетъ причимать различныя положенія сообразно неровностямъ дна, поэтому соединеніе трубы съ чашкою сдѣлано посредствомъ стального яблока.

Верхній конецъ желѣзной трубы (фиг. 2) посредствомъ крюка и пеньковаго каната подвѣшивается къ перекладинѣ; эта послѣдняя можетъ быть укрѣплена на столбахъ, поставленныхъ на двухъ спаренныхъ судахъ. Посредствомъ небольшой лебедки будутъ производиться опусканіе и вынутіе прибора изъ воды для чтенія показаній лимбовъ и для новаго отвода зубчатыхъ дугъ.

Для болѣе легкой оріентировки приборъ при повторительныхъ опусканіяхъ слѣдуетъ устанавливать каждый разъ на одно и то же

мѣсто дна. Въ виду этого суда должны быть неподвижно укрѣплены четырьмя канатами, протянутыми съ кормы и носа къ опущеннымъ съ разныхъ сторонъ якорямъ.

Для приведенія желѣзной трубы въ вертикальное положеніе служатъ два взаимно перпендикулярные уровни *т*, а для ориентированія ея въ планъ—астролябія *ff* (фиг. 1 и 2, табл. XV).

Установка этого прибора для опредѣленія мгновеннаго направленія струи производится съ судовъ и не требуетъ особыхъ приспособленій; для повторительныхъ наблюденій приборъ необходимо каждый разъ вынимать; тонкость частей и сложность устройства требуютъ аккуратности и осторожности въ обращеніи.

§ 8. Типъ II. *Подводный флюгеръ* для болѣе точнаго опредѣленія направленія движенія струй *безъ подъема прибора изъ воды*, главнымъ образомъ и примѣнялся при работахъ инж. *Делявскаго*. (Фиг. 1 и 2, табл. XVI).

Подводный флюгеръ для точныхъ работъ.

Собственно флюгеръ (хвостъ) *AB* состоитъ изъ двухъ взаимно перпендикулярныхъ стальныхъ лопастей *AA*, укрѣпленныхъ на стальномъ же коромыслѣ *C*, вращающемся въ вертикальной и горизонтальной плоскостяхъ. Для уравниванія крыльевъ флюгера, на другомъ концѣ коромысла помѣщается свинцовая гиря въ видѣ конуса *B*.

Латунная трубка *D*, съ конусообразной стальной пятою *E* на нижнемъ концѣ, служитъ *вертикальною осью вращенія* флюгера, для движенія его въ горизонтальной плоскости. *Горизонтальная ось вращенія*, для движенія въ вертикальной плоскости, устроена слѣдующимъ образомъ (фиг. 6, табл. XVI). Въ вертикальную латунную трубку *D* вставленъ горизонтальный стержень *F*; по концамъ его сдѣланы углубленія, въ которыя входятъ коническія оконечности винтовъ *GG*. На этихъ винтахъ, посредствомъ кольца *HH*, качается въ вертикальной плоскости коромысло съ флюгеромъ и конусомъ или вертушкою. Пята *E* (фиг. 2) упирается въ ячейку стальной подставки *K* укрѣпленной на внутренней сторонѣ бронзоваго кольца *L*; послѣднее навинчивается на нижній конецъ желѣзной трубы *M*. Эта труба служитъ основаніемъ всего прибора и вмѣстѣ съ тѣмъ футляромъ для внутренней трубки *D*; геометрическія оси обѣихъ трубокъ совпадаютъ. (Фиг. 3, табл. XVI). На верхнемъ концѣ трубы *M* навинчена бронзовая дуга *N*; въ помѣщенный вверху стальной винтъ *O* съ заостреннымъ концомъ упирается верхній конецъ средней трубки *D* (см. пунктиръ на фиг. 1). Такое устройство прибора даетъ *возможность наблюдать одновременно уклоненіе струй въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ*.

Для опредѣленія *горизонтальнаго уклоненія* служитъ стрѣлка *a* (фиг. 1 *b*), насаженная на среднюю трубку *D*, и лимбъ *P*, прикрѣ-

пленный къ футлярной трубкѣ *M*. Струя воды, повертывая хвостъ флюгера вправо или влѣво, поворачиваетъ и среднюю трубку, а слѣдовательно и стрѣлку, которая показываетъ на лимбѣ величину угла уклоненія струи.

Для показаній *вертикальныхъ отклоненій* струй служитъ стрѣлка *b* съ коромысломъ *cd*, укрѣпленные на средней трубкѣ *D*, и лимбъ *Q*, прикрѣпленный неподвижно къ трубкѣ *M*. Передача стрѣлкѣ вертикальныхъ колебаній флюгера достигается посредствомъ двухъ проволокъ *ee*, одинаковой длины, идущихъ параллельно отъ плечъ коромысла флюгера къ плечамъ коромысла стрѣлки.

Провѣрка и натягиваніе проволоки въ простѣйшемъ случаѣ производится помощью винтовыхъ муфтъ *RR*. Въ улучшенномъ же устройствѣ коромысло *cd* имѣетъ два отверстія, расположенныя на прямой, проходящей черезъ центръ вращенія коромысла. Въ нихъ помѣщаются свободно вращающіеся, стальные штифтики. Кружки, насаженные на штифтики наглухо, имѣютъ винты, контръ-винты и отверстія для прохода обѣихъ проволокъ *ee*, концы которыхъ обернуты на желобки шляпокъ винтовъ. Приведеніе острія стрѣлки *a* въ совпаденіе съ нулемъ лимба, при горизонтальномъ положеніи коромысла флюгера, производится слѣдующимъ способомъ. Пузырекъ уровня, положеннаго на коромысло, приводятъ на середину. Если при этомъ стрѣлка не совпадаетъ съ нулемъ лимба, то одна изъ проволокъ *e* подтягивается поворачиваніемъ кружка (шляпки); вытянутая часть проволоки набирается на желобокъ этого кружка. Нажатіемъ контръ-винта винтъ и кружокъ закрѣпляются въ неподвижномъ положеніи. Проволоки не слѣдуетъ натягивать очень сильно въ виду значительной чувствительности прибора и тонкости проволоки.

Внутренняя, латунная трубка *D*, при незначительномъ диаметрѣ, имѣетъ большую высоту (до 3 саж.) и можетъ отъ собственнаго вѣса нѣсколько изгибаться. Это обстоятельство, не имѣя значенія для вѣрности измѣренія горизонтальныхъ отклоненій флюгера, можетъ повлечь боковое нажатіе трубки на проволоки *ee*, а значить и повліять на вѣрность измѣренія вертикальныхъ угловъ. Для предупрежденія этого, на трубкѣ *D* надѣты (фиг. 3, табл. XVI) кольца *f*, въ которыхъ сдѣланы по три отверстія *a* и *β* для проволокъ *ee* и *γ* для цѣпочки, идущей отъ вертушки къ звонку.

Для помѣщенія флюгера на желаемой глубинѣ, *наружная труба* размѣчена краской на сотыя доли сажени.

Для ориентировки прибора по профилю, означенному *вѣхами* на берегу, служатъ діоптры *KK* (фиг. 2), прикрѣпленные *сбоку* къ верхней части прибора; для отвѣсной установки служатъ два *уровня* *SS*,

расположенные на горизонтальномъ лимбѣ *P* перпендикулярно одинъ къ другому.

Флюгеръ второго типа имѣеть *два недостатка*, по сравненію съ флюгеромъ первого типа, а именно:

- 1) перевозка, опусканіе, установка и подъемъ штатива требуютъ значительно болѣе времени, чѣмъ установка первого прибора, а потому для практическаго примѣненія съ цѣлью точнаго и по возможности быстрого опредѣленія расхода воды, первому прибору приходится отдать предпочтеніе,
- и 2) наблюденія помощью первого прибора производятся съ неподвижныхъ подмостковъ на судахъ или козлахъ, а для наблюденій надъ флюгеромъ второго типа наблюдатель долженъ быть поднимаемъ иногда на довольно значительную высоту.

Но послѣдній приборъ имѣеть и *два важныя преимущества* передъ первымъ:

- 1) при измѣреніяхъ на разныхъ глубинахъ нѣтъ надобности каждый разъ извлекать инструментъ изъ воды,
- и 2) посредствомъ этого прибора можно наблюдать колебательныя движенія рѣчныхъ струй.

§ 9. Треножный штативъ, служащій для установки флюгера второго типа (фиг. 3—6, табл. XV), снабженъ прямоугольной рамой изъ полыхъ желѣзныхъ трубъ.

Приспособленія для наблюденій флюгеромъ второго типа.

Весь штативъ можетъ быть сдѣланъ изъ дуба или другого тяжелого и крѣпкаго дерева. Столъ штатива окованъ по бокамъ желѣзными планками, выступающіе концы которыхъ служатъ проушинами для ногъ. Ноги штатива, окованныя по всей длинѣ реберъ прямоугольнымъ желѣзомъ, укрѣплены въ проушинахъ помощью нажимныхъ винтовъ *aaa*. Оконечности ногъ снабжены желѣзными чашками *bbb*, которыя препятствуютъ погруженію въ слабый грунтъ, а на твердомъ каменистомъ грунтѣ, упираясь въ него своими острыми краями, не позволяютъ скользить штативу. Чтобы не допустить раздвиганія ногъ далѣе извѣстнаго предѣла, онѣ соединены почти на серединѣ своей высоты веревками *ccc*; отъ мѣсть прикрѣпленія концы этихъ веревокъ идутъ вверхъ и служатъ для раздвиганія ногъ при опусканіи штатива въ воду (фиг. 2, табл. XVII).

Штативъ.

Рама (фиг. 3—6, табл. XV), по которой опускается флюгеръ, прикрѣплена сбоку, къ верхней части площадки штатива, помощью двойного шарнира *d* (фиг. 5, 6), позволяющаго ей свободное качаніе. По главной рамѣ, на роликахъ движется вверхъ и внизъ маленькая *рамка ee*, снаб-

женная двумя растворяющимися на шарнирахъ скобами *ff*. Такая же скоба помѣщается и на верхней части главной рамы *g*. Въ эти три скобы вставляется труба флюгера. Для приведенія въ отвѣсное положеніе трубы флюгера, отъ нижней части рамы идутъ къ концамъ ногъ штатива три тонкія бичевки *hhh*, каждая изъ нихъ проходитъ черезъ соотвѣтственный блокъ *i* и направляется вверхъ, вдоль по ногѣ, къ валику съ рукоятками и храповымъ колесомъ *k*. Натягивая или опускавая вращеніемъ рукоятокъ эти три бичевки, можно привести флюгеръ въ отвѣсное положеніе. Для поднятія и опусканія флюгера на желаемую глубину служить бичевка *l*, идущая отъ движущейся вмѣстѣ съ флюгеромъ рамки *ee*, черезъ блокъ *m*, насаженный на верхней части большой рамы, къ валу *n* ворота.

При наблюденіяхъ въ одномъ мѣстѣ на разныхъ глубинахъ, не требуется каждый разъ наводить діоптры по створной линіи, такъ какъ при началѣ наблюденій возможно закрѣпить трубу флюгера въ скобахъ *ff* посредствомъ винтовъ *pp*.

Для увеличенія тяжести прибора и большей устойчивости штатива, подъ верхней площадкой его, посрединѣ ея, подвѣшенъ на блокѣ желѣзный, цилиндрической резервуаръ *q* съ водой; въ днѣ его сдѣлано отверстіе съ клапаномъ для наполненія и выпусканія воды.

Суда или понтоны.

Для перевозки и установки штатива съ флюгеромъ требуются два спаренныя судна *AA* съ надстройкою надъ ними *abcde* (фиг. 1 и 2, табл. XVII). Высота надстройки (3,50 саж.) достаточна для поднятія всего штатива изъ воды. Поднятіе и опусканіе штатива производится помощью небольшой лебедки *B*, помѣщенной на мостикѣ задней части понтона. Съ обѣихъ сторонъ обѣтройки, въ рамахъ движутся по роликамъ подъемныя платформы *CC*, съ откидными на шарнирахъ бортами *ff*. При такомъ устройствѣ платформъ, наблюдатель, поднимаясь и опускаясь на нихъ, постоянно находится у верхняго конца трубы близъ лимбовъ и установительнаго аппарата. Подъемъ платформъ съ наблюдателемъ производится той же лебедкой *B*, которая служитъ для подъема штатива. Для завоза и выемки якорей необходимо имѣть кромѣ того небольшую лодку *D*.

Легкій флюгеръ.

На прибрежныхъ частяхъ русла и на меляхъ слѣдуетъ производить наблюденія отдѣльнымъ болѣе легкимъ флюгеромъ, помѣщеннымъ на переносномъ штативѣ. Самый флюгеръ того же типа, только высота трубы въ 1 сажень.

Вертушка Деляскаго.

§ 10. Если вышеописанный приборъ примѣняется одновременно и для измѣренія скоростей, то къ нему вмѣсто острія присоединяется вертушка *N* (фиг. 3, табл. XVII). Наблюденія надъ флюгеромъ жела-

тельно производить сверху, не вынимая прибора изъ воды, посему здѣсь была бы пригодна вертушка электрическая. Но инженеръ *Делласкій* находитъ, что проводники представляютъ препятствіе для свободнаго вращенія флюгера, а приспособленія къ электрической вертушкѣ очень громоздки, поэтому онъ спроектировалъ *механическую рычажную передачу* сигналовъ, производящихъ звонокъ. Для уравновѣшиванія въ водѣ флюгера и вертушки, на короткомъ плечѣ коромысла помѣщена подвижная мѣдная муфта *B*; по приведеніи коромысла, опущеннаго въ воду, въ горизонтальное положеніе, муфта закрѣпляется на мѣстѣ помощью винтика.

Механизмъ собственно вертушки устроенъ слѣдующимъ образомъ. Звонокъ производится ударомъ рычага по колоколу. Для усиленія звука поставлена пружинка *a* (фиг. 4, 5, табл. XVI), которая, отражая конецъ рычажка, заставляетъ его повторять ударъ и дѣлать его звонкимъ. Къ противоположному концу рычажка прикрѣплена цѣпочка, которая спускается внизъ въ футлярной трубѣ, переходитъ черезъ шкивъ *r* (фиг. 6, табл. XVI и фиг. 3, табл. XVII) и направляется къ вертушкѣ. Здѣсь она прикрѣпляется къ выступу *b* рычага *c*; этотъ выступъ огибаетъ безконечный винтъ. Цѣпочка, при натягиваніи ея, поднимаетъ рычагъ *c*, вращая его около оси *d*, и ставитъ вертикально въ положеніе, обозначенное пунктиромъ. Короткій конецъ *e* рычага *c* упирается въ плоскую пружину *f* и при своемъ поднятіи отгибаетъ ее внизъ, въ положеніе *f'*, показанное пунктиромъ. Эта пружина давитъ на короткое плечо рычага *c* и заставляетъ длинное его плечо упираться въ колѣчатый рычагъ *mm*, вращающійся около оси *v*. Нижнее изогнутое плечо рычага *m* входитъ своимъ остриемъ въ отверстіе *k*, въ крыльяхъ вертушки, и такимъ образомъ не позволяетъ имъ вращаться.

При отведеніи пальцемъ шарика *n* звонка внизъ, рычагъ *c* приметъ вертикальное положеніе; онъ приподниметъ тогда надъ собою конецъ тонкой пластинки рычага *mm* и выведетъ противоположную оконечность того же рычага изъ отверстій крыльевъ, которыя начнутъ вращаться. Крылья должны принять скорость движущей ихъ струи, почему смыканіе безконечнаго винта съ зубчатыми колесами должно послѣдовать лишь только черезъ нѣсколько мгновеній послѣ освобожденія крыльевъ. Съ этою цѣлью рамка *p*, въ которой заключены колеса, сдѣлана подвижною, вращающеюся около оси *q*. Къ рамкѣ *p* придѣланъ снизу выступъ *s*, который вмѣстѣ съ рамкою приподнимается верхнимъ концомъ рычага *c*, при чемъ зубчатые колеса отходятъ отъ безконечнаго винта. Происходитъ это при полномъ отведеніи шарика *n* отъ звонка, когда противоположный конецъ рычажка упирается въ выступъ, помѣщенный въ серединѣ колокола. Черезъ нѣсколько секундъ

отпускаютъ конецъ отъ шарика n , замѣчая время по секундомѣру. Пружина f заставляетъ вращаться рычагъ c , не удерживаемый болѣе цѣпочкою; онъ повертывается слѣва-вправо, но весьма немного, (какъ показано пунктиромъ), пока верхній конецъ его не упрется въ вырѣзку въ тонкой пластинкѣ рычага m . Для того, чтобы цѣпочка собственной тяжестью не обернула рычага и не прижала шарикъ n къ колоколу, внутри послѣдняго прикрѣплена пружинка t , поддерживающая своею упругостью тяжесть цѣпочки.

Къ зубчатому колесу, имѣющему сто зубцовъ, прикрѣпленъ штифтикъ, приходящійся во время смыканія колеса съ винтомъ какъ разъ подъ тонкою пластинкою рычага mm . Послѣ ста оборотовъ винта, послѣдовавшихъ за смыканіемъ съ нимъ колеса, штифтикъ подходитъ подъ пластинку, приподнимаетъ ее и освобождаетъ рычагъ c ; этотъ послѣдній, падая подъ давленіемъ пружины f , дергаетъ цѣпочку, производитъ звонокъ, ударяетъ по рычагу mm , останавливаетъ движеніе крыльевъ и заставляетъ тонкую пластинку этого рычага, выгибаясь, перескочить черезъ штифтикъ колеса и стать непосредственно надъ нимъ. Время, протекшее между отнятіемъ пальца отъ шарика n и звонокомъ, или время ста оборотовъ крыльевъ вертушки служитъ для исчисленія скорости струи.

При опредѣленіи коэффициентовъ вертушки, которое производится общепринятымъ способомъ, оказывается необходимымъ и второе зубчатое колесо, помѣщенное въ одной рамкѣ съ первымъ.

Результаты работъ инженера Лелюскаго надъ расположеніемъ рѣчныхъ струй.

Работы въ
Россіи и За-
падной Евро-
пѣ.

§ 11. Безъ сомнѣній очень большой интересъ представляютъ вообще наблюденія надъ расположеніемъ рѣчныхъ струй не только по отношенію къ образованію и размыву ложа, расположенію выправительныхъ сооружений, но и къ опредѣленію расхода воды въ потокѣ.

Наиболѣе точныя работы въ этомъ направленіи по настоящее время произведены лишь въ Россіи инженеромъ *Лелюскимъ* прежде всего съ помощью обыкновенныхъ поплавковъ, а затѣмъ и вышеописаннаго подводнаго флюгера его системы. Замѣченныя имъ явленія въ рѣчномъ потокѣ и объясненія ихъ, а также описаніе прибора для измѣренія направленія струй, составили предметъ доклада международному конгрессу, состоявшемуся лѣтомъ 1894 года въ Гаагѣ.

Инженеръ *Girardon*, завѣдывающій работами на р. Ронѣ, занимался тѣмъ же вопросомъ и въ засѣданіи конгресса [14, 278], во время своего доклада, подтвердилъ установленныя инж. *Лелюскимъ* явленія, признавъ за изслѣдованіями послѣдняго „особую убѣдительность“.

Инженеръ *Fargue* назвалъ эти открытія „особымъ событіемъ въ рѣчной гидравликѣ, переворотомъ“.

Поэтому считаемъ долгомъ хоть вкратцѣ описать его работы и привести результаты ихъ [108; 109; 110; 111].

§ 12. Цѣлый рядъ наблюденій надъ движеніемъ поплавковъ на р. Днѣпрѣ подѣ г. Кіевомъ далъ возможность изслѣдовать *расположеніе рѣчныхъ струй на поверхности воды*. Обнаруженныя при этомъ характерныя особенности направленія струй, въ связи съ наблюденіями надъ очертаніемъ рельефа рѣчного дна, послужили къ выясненію основного закона расположенія отдѣльныхъ самостоятельныхъ теченій, проявляющихся въ каждомъ потокѣ.

Работы
Лелявскаго
помощью по-
плавковъ.

Эти наблюденія указали, что:

- 1) нѣтъ мѣста въ рѣчномъ потокѣ, гдѣ бы струи имѣли вполне параллельное расположеніе;
- 2) есть такія части рѣчной водной поверхности, къ которымъ плывущія тѣла направляются со всѣхъ сторонъ;
- и 3) есть части, гдѣ, напротивъ, два поплавка, спущенные на воду по близости одинъ отъ другого, непременно на нѣкоторомъ протяженіи ихъ пути расходятся.

Поплавки (фиг. 5, табл. XVII) были сдѣланы круглые изъ сухихъ сосновыхъ досокъ, толщиною $1\frac{1}{2}$ вершка, діаметромъ 6 вершк. Сквозь поплавокъ пропущенъ желѣзный штырь, съ гайкой на нижнемъ концѣ; эта послѣдняя поддерживаетъ желѣзныя пластинки, надѣваемые на штырь въ такомъ числѣ, чтобы погрузить поплавокъ почти вровень съ горизонтомъ воды. На верхній конецъ штыря надѣтъ блестящій, стеклянный, цвѣтной шарикъ. Поплавки кругомъ окрашены масляною бѣлою краскою, а верхній дискъ раздѣленъ на 4 сектора, окрашенные разными красками для того, чтобы наблюдатель, плывущій въ лодкѣ, въ нѣкоторомъ разстояніи отъ поплавка, могъ замѣчать направленіе его вращенія и считать число оборотовъ.

Работа [108] производилась въ тихую погоду. Пути, проходимые поплавками, засѣкались помощью мензулы въ моменты прохода ими поперечныхъ профилей, разбитыхъ въ разстояніи отъ 20 до 200 саж., смотря по важности участка или по измѣняемости характера русла.

На планахъ избранныхъ участковъ были нанесены траекторіи движенія поплавковъ, профили ихъ скоростей, а также кривыя, соединяющія мѣста нахождения поплавковъ по истеченіи одного и того же промежутка времени (2, 4, 6, 8, 10, 12 минутъ); получилось (табл. XIX, фиг. 1) наглядное изображеніе *клинообразнаго обнона* слоями воды, лежащими ближе къ фарватеру и вогнутому берегу, слоевъ

воды, удаленныхъ отъ фарватера и текущихъ ближе къ выпуклымъ берегамъ.

Оказывается, что *все поплавки направляются отъ выпуклыхъ береговъ къ фарватеру и къ вогнутому берегу* ⁷⁾, причемъ траекторіи ихъ нерѣдко пересекаются ⁸⁾; такимъ образомъ, *близъ поверхности воды наибольшія скорости теченія направлены не параллельно берегамъ.*

Причина не-
правильнаго
опредѣленія
расхода воды.

Означенное уклоненіе струй къ фарватеру составляетъ причину иногда весьма значительной разницы между измѣряемымъ и истиннымъ расходомъ воды въ рѣкахъ; эта разница нерѣдко бываетъ значительно больше погрѣшности, допускаемой точностью инструмента. Для измѣренія скоростей обыкновенно берутся поперечныя сѣченія плоскія, приблизительно нормальныя къ берегамъ, предполагая, что направленія скоростей параллельны между собою и съ берегами; въ дѣйствительности же, какъ видно изъ движенія поплавковъ на поверхности воды, направленія наибольшихъ скоростей, по коимъ устанавливается вертушка помощью своего хвоста, образуютъ съ направлениемъ береговъ болѣе или менѣе значительные острые углы.

Уклоненіе пу-
ти полавка
отъ направле-
нія струи.

Траекторія движенія полавка не вполне совпадаетъ съ положеніемъ рѣчной струи, — онъ уклоняется въ сторону вогнутого берега и достигаетъ его ранѣе струи, на которую онъ былъ спущенъ. Если бы поплавокъ, имѣя плотность весьма близкую къ плотности воды, обладалъ бы безконечно малыми размѣрами, то онъ бы описывалъ при своемъ движеніи траекторію, вполне совпадающую съ положеніемъ рѣчной струи. При конечныхъ, но весьма малыхъ размѣрахъ полавка, путь его долженъ также весьма мало уклоняться отъ движенія окружающей его массы воды; поэтому казалось бы возможнымъ допустить, что *уклоненіе полавка отъ пути, описываемаго влекущею его массою воды, до извѣстной степени, пропорціонально его размѣрамъ.*

Для нѣкотораго выясненія этого вопроса были сдѣланы сравнительныя наблюденія надъ ходомъ поплавковъ діаметромъ въ $1\frac{1}{2}$ арш. (фиг. 4, табл. XVII) и вышеуказанныхъ. Оказалось, что:

- 1) при слабыхъ изгибахъ рѣчныхъ струй, большой полавковъ движется почти одинаково съ полавками малыхъ размѣровъ, при болѣе же изогнутомъ очертаніи струй, первый уклоняется въ сторону вогнутости струи сильнѣе вторыхъ;
- 2) путь большого полавка менѣе подчиняется уклоненію отъ удара боковыхъ струй;
- и 3) уклоненія траекторіи большого полавка отъ траекторій малыхъ поплавковъ вообще незначительны.

Поэтому имѣется основаніе предположить, что *поплавки движутся по траекторіямъ, мало разнящимся отъ очертанія рѣчныхъ струй*. Конечно возможны отступленія, зависящія отъ расположенія и быстроты течения струй и кривизны русла.

Обращаясь вновь къ разсмотрѣнію плана расположенія струй, нельзя не замѣтить (фиг. 3, табл. XIX) характерной особенности расположенія струй близъ моста (цѣпного въ Кіевѣ), заключающейся въ томъ, что при подходѣ къ послѣднему онѣ постепенно удаляются отъ береговъ, такъ что *въ крайніе пролеты струи почти не попадаютъ*. Расположеніе струй у моста.

Стремленіе воды съ поверхности всего русла къ фарватеру и къ вогнутымъ берегамъ, вообще съ мелкихъ мѣстъ на глубокія, служитъ для обезпеченія сплава судовъ и плотовъ, что особенно хорошо наблюдается на быстрыхъ и извилистыхъ горныхъ рѣчкахъ. Обезпеченіе сплава на рѣчкахъ.

Скорость течения и иногда значительная у выпуклыхъ береговъ объясняется инженеромъ *Лелявскимъ* тѣмъ обстоятельствомъ, что вода, стекающая къ фарватеру и къ вогнутымъ берегамъ, не имѣя другого выхода, приподнимается и, образуя *поперечный уклонъ* отъ фарватера и вогнутости къ выпуклымъ берегамъ, своимъ давленіемъ на подводные слои даетъ начало теченію ихъ *по дну въ обратномъ направленіи къ берегамъ*. Существованіе такого *доннаго теченія* отъ фарватера къ берегамъ подтверждалось многими наблюденіями и прежде, но непосредственно обнаружено лишь въ настоящее время съ изобрѣтеніемъ подводнаго флюгера. Донное теченіе и его направленіе.

Такому расположенію струй рѣчное русло обязано своею треугольною формою поперечнаго сѣченія; въ противномъ же случаѣ, т. е. при параллельности струй, очертаніе поперечнаго профиля приблизилось бы къ трапеціи. Вліяніе формы поперечнаго сѣченія русла.

Подмѣченный *Н. С. Лелявскимъ* законъ расположенія струй въ рѣчномъ руслѣ даетъ возможность болѣе правильно рѣшать вопросъ о способѣ выправленія рѣкъ. Обыкновенно примѣнявшаяся до сихъ поръ водостѣснительная система выправленія рѣкъ основана на предположеніи параллельно струйному движенію воды въ открытыхъ руслахъ; дѣйствительно, въ этомъ случаѣ, при одномъ и томъ же расходѣ и горизонтѣ воды, съ уменьшеніемъ ширины рѣки должна увеличиваться глубина. Но, какъ теперь оказалось, струи потока углубляютъ только ту часть русла, надъ которою онѣ сходятся, спускаясь при этомъ наклонно внизъ. Поэтому для выправленія русла недостаточно только ссузить его, а надо направить еще рѣчныя струи такъ, чтобы нѣкоторыя изъ нихъ постоянно сходились на желаемой ширинѣ проекти-

Причины неудачъ выправленія рѣкъ водостѣснительными сооружениями.

руемаго фарватера. Въ противномъ случаѣ волюнѣ возможно, что до устройства водостѣпительныхъ сооружений на данной части рѣки, при сравнительно большой ширинѣ русла, были мѣста, гдѣ струи сходились, углубляли русло и давали такимъ образомъ свободный проходъ судамъ; тогда какъ по возведеніи сооружений, т. е. при значительно меньшей ширинѣ русла, окажется расходящееся расположеніе струй, теченіе направится отъ одного берега къ другому и фарватеръ будетъ мелокъ. Казалось бы, что, для достиженія полезныхъ результатовъ слѣдуетъ такъ располагать сооружения, чтобы непрерывно пересекаль притекающія къ нему струи и направлялъ бы ихъ къ плавному соединенію съ приближающимися другими. Но, конечно, для научно правильной постановки рѣшенія вопроса о целесообразномъ способѣ выправленія рѣкъ нужны продолжительныя и точныя наблюденія надъ направленіемъ и расположеніемъ рѣчныхъ струй.

Работы Ле-
лявскаго при
помощи под-
воднаго флю-
гера.

§ 13. Дальнѣйшія работы инженера *Лелявскаго* уже съ помощью его прибора—подводнаго флюгера—производились на р. Днѣпрѣ у Екатеринослава въ 1893 г. [109]. Для удобства и ясности представленія результатовъ произведенныхъ измѣреній составлены были двоякаго рода профили—поперечные и продольные, а общее расположеніе представлено ¹⁰⁾ на планѣ рѣки. (Фиг. 1, 2 и 3, табл. XVIII).

Поперечные профили рѣки вычерчены въ масштабахъ: 1 : 2000—для горизонтальныхъ и 1 : 50—для вертикальныхъ разстояній. Часть одного изъ такихъ профилей для примѣра представлена на фиг. 2. Стрѣлками показаны направленія струй въ горизонтальныхъ плоскостяхъ, проходящихъ чрезъ точки наблюденій въ каждой вертикали. Эти плоскости совмѣщены съ вертикальными плоскостями поперечныхъ профилей и получена, такимъ образомъ, ясная картина возможныхъ отклоненій струй отъ вертикальной плоскости, перпендикулярной къ площади живого сѣченія. У острія стрѣлокъ, вычерченныхъ сплошными линиями, надписаны въ градусахъ величины угловъ этихъ отклоненій, среднія изъ нѣсколькихъ показаній на лимбѣ за время наблюденія (1 минута). Цифры, стоящія въ корнѣ стрѣлокъ, показываютъ число колебаній флюгера въ 1 минуту. Пунктирныя стрѣлки показываютъ наибольшія отклоненія хвоста флюгера отъ средняго показанія, которому соответствуютъ сплошныя стрѣлки.

Продольные профили снимались во всѣхъ вертикаляхъ каждаго поперечнаго профиля, гдѣ производились измѣренія и вычерчены въ масштабѣ 1 : 100. На фиг. 3 представлены 6 продольныхъ профилей, соответствующихъ всѣмъ вертикалямъ части поперечнаго сѣченія, указаннаго выше на фиг. 2. На нихъ показаны

направленія струй въ вертикальныхъ продольныхъ плоскостяхъ и надписаны величины угловъ, образуемыхъ струями съ горизонтальными плоскостями.

Затѣмъ на планъ *рѣки* (фиг. 1), вычерченномъ въ масштабѣ 1 : 2500, показаны стрѣлками горизонтальныя проекціи всѣхъ измѣренныхъ струй; при этомъ самыя короткія стрѣлки изображаютъ направленія верхнихъ струй, затѣмъ по мѣрѣ увеличенія глубины, длина стрѣлокъ увеличивается и самыя длинныя стрѣлки обозначаютъ направленія донныхъ струй.

Собранныя такимъ образомъ данныя *подтверждаютъ* вышеуказанныя предположенія и наблюденія о расположеніи рѣчныхъ струй въ потокѣ и, кромѣ того, *позволяютъ сдѣлать слѣдующіе выводы*:

- 1) *Направленія струй оказались повсюду или сходящимися, или расходящимися, какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ.*

Наибольшій уголъ сходимости струй:	{	89° — въ горизонтальной	} ПЛОСКОСТЯХЪ*
		29° — въ вертикальной	
Наибольшій уголъ расходимости струй:	{	108 $\frac{1}{3}$ ° — въ горизонтальной	}
		17° — въ вертикальной	

Профили были взяты приблизительно нормально къ берегамъ между тѣмъ струи повсюду оказались уклоняющимися отъ нормалей къ плоскостямъ поперечныхъ сѣченій даже до 78 $\frac{1}{3}$ °.

- 2) *Направленія струй, лежащихъ одна надъ другою, измѣренныя въ горизонтальной плоскости, также въ большинствѣ случаевъ расходятся и иногда значительно (до 76 $\frac{6}{7}$ °). Такое расхождение струй особенно сильно обнаруживается ниже гребней мелей (свалей), а также на фарватерномъ теченіи при слияніи струй, производящихъ сбой воды или клинообразное, фарватерное ея движеніе.*
- 3) *Расположеніе струй въ вертикальной плоскости оказалось аналогичнымъ съ движеніемъ воздуха, а именно, направленіе нижнихъ струй оказалось по большей части уклоняющимся внизъ ко дну. Такое уклоненіе струй происходитъ отъ сопротивленія дна, отъ тренія и удара въ него движущейся воды и распространяется не больше, какъ на одну треть глубины и въ этихъ предѣлахъ, нужно полагать, переносятся наносы. Во многихъ мѣстахъ обнаружено слабое приподнятіе верхнихъ струй, зависящее отъ тренія воды о воздухъ. Струи, расположенныя посрединѣ (по стрежню), на большей части глубины, текутъ или совершенно горизонтально, или же немного приподнимаются при подходѣ къ мелкому мѣсту и при*

растеканіи воды въ предѣлахъ распространенія подпора. На мѣстахъ схождения, а иногда и отражаясь отъ береговъ, струи получаютъ направленіе сверху внизъ.

Въ тѣхъ же точкахъ, гдѣ оказалось значительное расхождение струй въ горизонтальной плоскости, обнаружено и значительное уклоненіе ихъ внизъ (до 24°). Самый большой уголъ отклоненія струи въ вертикальной плоскости отъ горизонта вверхъ оказался 18° , а внизъ— 26° .

- 4) Въ большинствѣ случаевъ *донныя струи* въ горизонтальной плоскости уклоняются къ берегамъ и мелкимъ мѣстамъ, давая начало донному или береговому теченію отъ фарватера къ берегамъ, но уклоненія эти весьма слабы и перемѣшеніе водныхъ слоевъ отъ фарватера совершается весьма медленно.
- 5) На мѣстахъ схождения струй и ниже ихъ по теченію обнаруживается *увеличеніе глубины*; тогда какъ *обмельніе* замѣчается ниже мѣсть расхождения струй. Такое явленіе обнаруживается одинаково въ суженныхъ частяхъ русла и въ уширенныхъ.
- 6) Измѣренія *направленія рывныхъ струй близъ моста* черезъ р. Дибръ на Екатерининской желѣзной дорогѣ произведены были на трехъ профиляхъ: одинъ по оси моста, а два другіе въ 10 саж. выше и ниже его. Вліяніе мостовыхъ опоръ на расположеніе струй слабо сказывается во всѣхъ трехъ профиляхъ. Отклоняются быками только близко къ нимъ лежащія струи, другія же, мало уклоняясь одна отъ другой, направляются подъ угломъ къ профилямъ около 60° ; направленіе же оси моста почти нормально къ берегамъ. Большая часть струй направляется снизу вверхъ, подъ разными углами (до 18°); только на фарватерѣ струи почти горизонтальны, уклоняются внизъ лишь у дна и приподнимаются у поверхности. За быками струи расходятся въ обѣ стороны; образуется донное, расходящееся теченіе, производящее отложеніе наносовъ; донныя струи, притекающія справа къ быкамъ, уклоняются внизъ, тогда какъ почти всѣ другія струи приподнимаются вверхъ.
- 7) Наблюденія *у головъ двухъ полузапрудъ* показали слѣдующее: Отклоненіе струй въ сторону русла достигаетъ $47\frac{1}{2}^{\circ}$. Отклоненныя струи направляются не параллельно, но образуютъ сходящееся или сбойное теченіе, составляющее причину мѣстнаго углубленія у головъ полузапрудъ. Уголъ сходимости у полузапруды, направленной болѣе противъ теченія: верхнихъ струй— $30\frac{4}{3}^{\circ}$, нижнихъ— 29° ; тогда какъ у другой полузапруды: верхнихъ струй— $18\frac{2}{3}^{\circ}$, донныхъ— 26° . Минуя голову полузапрудъ, струи не заворачиваютъ сразу въ пространство

между полузапрудами, гдѣ образуется медленно двигающійся, замкнутый водоворотъ съ большимъ діаметромъ.

- 8) *Колебанія флюгера* въ горизонтальной плоскости достигали 10 и болѣе градусовъ, въ вертикальной же они были почти непримѣтны. За весьма малыми исключениями горизонтальныя колебанія проявляются болѣе на днѣ, чѣмъ у поверхности воды и болѣе въ мѣстахъ схождения струй, какъ напр. на фарватерѣ и ниже свалей, нежели на мѣстахъ ихъ расхождения, какъ напр. на меляхъ и при раздѣленіи рукавовъ. Наибольшій уголъ колебаній въ 75° оказался близъ дна у одного изъ быковъ, а наибольшее число колебаній—18 обнаружено въ томъ мѣстѣ, гдѣ на днѣ имѣется много камней.

Для уменьшенія величины и числа колебаній флюгера найдено полезнымъ увеличить длину самого флюгера⁹⁾. вмѣсто первоначальной длины $26\frac{7}{8}$ дюйм. (фиг. 5, табл. XIX) придана была оси флюгера длина $52\frac{3}{4}$ дюйма (фиг. 6, табл. XIX). Величина и число горизонтальныхъ колебаній, наблюдавшихся въ теченіе одной минуты, уменьшились почти вдвое и флюгеръ въ среднемъ сталъ дѣлать 3—4 колебанія, описывая дугу около 5° .

Съ тою же цѣлью былъ устроенъ хвостъ флюгера изъ деревянной доски, длиною въ 1 саж. (фиг. 7, табл. XIX), съ обойкою изъ свинца для уравновѣшиванія хвоста съ переднею частью флюгера; колебанія сдѣлались значительно менѣе, но при опредѣленіи угловъ наклоненія къ горизонту нижнихъ донныхъ струй онъ упирался своимъ хвостомъ въ рѣчное дно.

- 9) Съ цѣлью убѣдиться въ *постоянствѣ расположенія струй*, а также провѣрить правильность показаній подводнаго флюгера были произведены повѣрочныя повторительныя измѣренія на довольно *неправильномъ* профилѣ № 2; расходимость струй достигала 57° въ плоскости горизонтальной и 8° въ вертикальной, причемъ наибольшее уклоненіе струй внизъ отъ горизонта достигало 12° .

Въ части этого профиля, расположеннаго въ главномъ руслѣ рѣки, сдѣланы были повѣрочныя измѣренія всего сорока струй, 19, 21, 24 и 27-го октября, т.-е. 4 раза, при горизонтѣ воды, остававшемся почти безъ измѣненій. Нанесенныя на профиляхъ [108] новыя направленія струй, оказались почти тождественными по расположенію съ ранѣе полученными, какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ.

Это дало инж. *Лелявскому* возможность сдѣлать слѣдующія заключенія:

- а) „Расположеніе рѣчныхъ струй въ рѣчномъ руслѣ не подвержено случайностямъ, но все разнообразныя уклоненія струй въ вертикальномъ и горизонтальномъ направленіяхъ постоянны при одномъ и томъ же горизонтѣ воды и, слѣдовательно, имѣютъ и постоянныя причины, обуславливающія ихъ взаимное расположеніе, такъ что каждая частица воды каждаго профиля при одномъ и томъ же горизонтѣ и при незначительномъ переформированіи дна, движется постоянно въ одномъ и томъ же направленіи“...
- б) „Приспособленный для измѣренія направленія струй приборъ—подводный флюгеръ—даетъ вѣрныя показанія“.
- в) „Колебанія хвоста флюгера въ горизонтальныхъ плоскостяхъ не вредятъ замѣтнымъ образомъ вѣрности производимыхъ имъ измѣреній“.

Работы
Делявскаго
на р. Деснѣ.

§ 14. Работы инженера *Делявскаго* на р. Деснѣ въ 1894 г. дали результаты, подтверждающіе не нормальное къ поперечному профилю расположеніе струй ни въ горизонтальной, ни въ вертикальной плоскостяхъ [111].

Для примѣра нами представлены ¹⁰⁾ въ уменьшенномъ видѣ:

- 1) Часть плана р. Десны (вычерченнаго на оригиналѣ въ масштабѣ 1 : 1000), а именно профиля № 68, 69 и 70, въ прямомъ участкѣ (фиг. 4, таб. XIX)
- и 2) шесть продольныхъ профилей (въ масштабѣ 1 : 200 на оригиналѣ) для № 69 (фиг. 2, табл. XIX).

Направленія струй показаны стрѣлками; глубина, на которой производилось измѣреніе скорости, обозначена на оригиналѣ условно различными цвѣтами стрѣлокъ. Эти глубины слѣдующія: 0,07; 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,50; 1,75; 2,00 саж.; послѣдняя наблюдавшаяся глубина (у дна) не доходила во многихъ случаяхъ до грунта 0,05—0,10 саж.

Величина скоростей, выраженная въ доляхъ сажени въ секунду, показана длиною стрѣлокъ (въ масштабѣ 1 : 50 на оригиналѣ) и надписана съ лѣвой стороны каждой изъ нихъ.

Съ правой стороны стрѣлокъ надписаны углы въ градусахъ между направленіемъ струи и нормалью къ профилю; буквы *v.* и *h.*, стоящія около цифръ, обозначаютъ уклоненія струй вверхъ и внизъ отъ этой нормали.

Г Л А В А V.

Подготовительныя для измѣренія скоростей работы и производство наблюденій гидрометрическими приборами.

§ 1. При возможно бѣльшемъ числѣ вертикалей въ данномъ живомъ сѣченіи, при условіи одинаково точныхъ и аккуратныхъ измѣреній скоростей, конечно и расходъ опредѣлится точнѣе. Но не всегда этого можно достигнуть, такъ какъ при значительныхъ ширинахъ и глубинахъ рѣки въ теченіе одного дня возможно произвести измѣреніе скоростей только въ нѣкоторомъ опредѣленномъ числѣ вертикалей; растягивать измѣренія скоростей одного профиля на нѣсколько дней не слѣдуетъ, во избѣжаніе вполнѣ возможнаго и иногда даже значительнаго измѣненія состоянія уровня воды. Вмѣстѣ съ тѣмъ, трудно рассчитать, что, при значительномъ числѣ вертикалей въ профилѣ, всѣ измѣренія скоростей при очень большой поспѣшности будутъ произведены вполнѣ точно и съ одинаковой степенью вниманія.

Выборъ и нужное число вертикалей для измѣренія скоростей въ данномъ поперечномъ профилѣ [29; 35; 39; 50, 200; 70; 91; 95, 102].

На основаніи просмотра ряда выполненныхъ гидрометрическихъ работъ возможно остановиться на слѣдующихъ разстояніяхъ между вертикалями:

Разстоянія между вертикалями.

- a) для *большихъ* (шириною ≥ 300 метр., или 150—200 саж.) располагать ихъ черезъ каждые 40—50 метр., или 20—25 саж. ¹⁾;
- b) для *среднихъ* рѣкъ (шириною 50—300 метр., или 25—150 саж.)—черезъ каждые 20—25 метр., или 10—15 саж. ²⁾;
- c) для *малыхъ* рѣкъ (шириною до 30—50 метр., или 15—25 саж.)—черезъ каждые 5—10 метр., или 5 саж. и менѣе.

Не рѣдки, конечно, и отступленія отъ этихъ нормъ; такъ, на р. Волгѣ, при изслѣдованіяхъ описными партіями Министерства путей сообщенія, эти разстоянія брались до 40 саж. [84, 179—186; 86, 723—726]; тамъ же въ другомъ случаѣ брались до 50 саж. ³⁾; на р. Невѣ ⁴⁾—до 50—55 саж. (при ширинахъ по урѣзу воды 257,50 саж.).

Распредѣленіе вертикалей, сообразуясь съ очертаніемъ профиля русла.

Въ дѣйствительности, какъ показали опыты, вертикали не слѣдуетъ выбирать, задаваясь непремѣннымъ условіемъ равенства разстояній между ними и наибольшаго числа самихъ вертикалей; практичнѣе выбрать меньше вертикалей числомъ, но тщательнѣе распредѣлить ихъ по ширинѣ, сообразуясь съ формой очертанія профиля русла. Для этого прежде всего, на основаніи сдѣланныхъ промѣровъ, вычерчивается поперечное сѣченіе русла потока въ искаженномъ масштабѣ и затѣмъ уже дѣлается выборъ мѣсть вертикалей. Важно имѣть по одной вертикали въ каждой особенной точкѣ профиля, т. е. въ такой, въ которой можно предполагать измѣненіе скорости, значить вообще въ точкахъ излома дна какъ напр. *b, c, d, e, f, g* (фиг. 1 и 2, Табл. XX). Поэтому разстоянія между вертикалями колеблются въ зависимости отъ глубины и ширины рѣки, уменьшаясь къ берегамъ.

Число вертикалей.

Чтобы можно было произвести измѣренія за одинъ день, въ одномъ профилѣ обыкновенно берутъ не болѣе 10—15 вертикалей при отсутствіи протянутаго промѣрнаго каната и 20—30 вертикалей, если таковой имѣется [84; 86; 95]. По мѣрѣ спада воды число вертикалей каждаго профиля конечно должно соотвѣтственно сокращаться.

Наибольшія разстоянія между вертикалями.

Во всякомъ случаѣ, разстоянія между вертикалями въ 40—50 саж. нельзя не признать слишкомъ большими, особенно, если еще и распредѣленіе ихъ по профилю дѣлается при отсутствіи вычерченнаго промѣрнаго профиля. При изслѣдованіи участка р. Рейна между Bingen'омъ и St. Goar'омъ [71, 85—86; 100] измѣренія въ каждомъ профилѣ производились чрезъ 5 метр., такъ какъ въ поперечномъ направленіи скорости измѣняются скорѣе, чѣмъ по направленію теченія; при этомъ конечно не производились измѣренія скорости по всей высотѣ вертикали, а ограничивались измѣреніемъ скорости на поверхности помощью прибора *Frank'a* на поплавахъ.

Неудобство выбора точно равныхъ разстояній между вертикалями.

Неудобство выбора вертикалей вообще подъ непремѣннымъ условіемъ равенства разстояній между ними усиливается при большихъ рѣкахъ, такъ какъ установка плота (парома), съ котораго производится измѣренія скорости (вѣриге, штанги или подвѣснаго каната съ вертушкой), въ определенной точкѣ (вертикали), по двумъ береговымъ створамъ, крайне затруднительна по невозможности выполненія ея въ точности. Не смотря на многократный иногда подъемъ всѣхъ якорей и передвиженіе плота на веслахъ и затѣмъ на всевозможныя манипуляціи четырьмя установленными якорями, почти никогда не удается установить плотъ точно въ точкѣ пересѣченія двухъ створовъ; ошибка въ положеніи вертушки доходитъ нерѣдко до $1\frac{1}{2}$ саж. *) и увеличивается съ шириною и глубиною рѣки и скоростью теченія. Лучше всего слѣдуетъ поступать такъ: выбравъ вертикали по возможности въ мѣ-

стахъ наибольшаго измѣненія очертанія профиля, устанавливать плотъ точно по линіи рабочаго профиля, а разстояніе отъ берега опредѣлять засѣчкою съ берега теодолитомъ.

§ 2. При распредѣленіи по вертикали точекъ наблюденія скорости для правильности и точности измѣреній можно руководствоваться слѣдующими глубинами ⁶⁾: 0 метр. (возможно ближе къ поверхности воды, въ зависимости отъ конструкціи гидрометра); 0,25 м.; 0,75 м.; 1,50 м.; 2,50 м.; 4,00 м.; 6,00 м.; далѣе чрезъ промежутки въ 2,00 м.; затѣмъ, на глубинѣ, не доходя до поверхности дна: 1,50 м.; 1,00 м.; 0,50 м.; наконецъ, возможно ближе къ дну (въ зависимости отъ конструкціи гидрометра).

Выборъ числа точекъ наблюденія и размѣненіе ихъ по вертикали.



Точное соблюденіе этихъ глубинъ не представляется безусловно необходимымъ; такъ, на р. Волгѣ ³⁾ разстоянія этихъ точекъ брались на одинаковыхъ разстояніяхъ отъ 0,40 до 0,50 саж.; на р. Невѣ ⁷⁾ 0,50 саж.; на р. Днѣпрѣ у Кіева [115, 114]—отъ 0,50 до 1,00 саж.

Измѣненіе скорости отъ горизонта воды къ дну совершается болѣе или менѣе постепенно, почему достаточно немногихъ, но точныхъ наблюденій; какъ напр. слѣдуетъ производить наблюденія [39, 53]:

Уменьшеніе числа точекъ наблюденія.

- 1) близъ поверхности (0,10—0,20 метр. подъ нею);
- 2) близъ дна (0,15—0,20 метр. надъ нимъ, что равно разстоянію оси крыльевъ надъ нижнимъ краемъ диска).
- и 3) въ 3-хъ—5-ти промежуточныхъ точкахъ (фиг. 1, Табл. XX).

Указанныя 3—5 промежуточные точки могутъ быть выбраны чрезъ равныя промежутки [137, 38—39] или же въ мѣстахъ расположенія, въ зависимости отъ глубины, тѣхъ скоростей, которыя соотвѣтствуютъ средней скорости всей вертикали и которыя входятъ въ ту или другую формулу этой средней скорости, какъ напр. $v_{\frac{1}{8}h}$; $v_{\frac{1}{3}}$; $v_{\frac{1}{2}}$; $v_{\frac{3}{4}h}$ и т. д. Эти формулы указаны ниже въ гл. X § 7.

По мѣрѣ спада воды и вообще съ уменьшеніемъ глубины, число точекъ на вертикали должно быть соотвѣтственно уменьшаемо ⁸⁾.

Чѣмъ точнѣе работаетъ приборъ и чѣмъ тщательнѣе ведется измѣреніе, тѣмъ результаты ближе къ дѣйствительности, а кривая „скоростей вертикали“ болѣе плавная и правильная (фиг. 3, Табл. XX). При неточной работѣ, небрежно быстрой установкѣ, при постоянномъ во время наблюденія движеніи и отклоненіяхъ прибора отъ положенія избранной точки (вслѣдствіе водоворотовъ), особенно если наблюденія ограничиваются недостаточно продолжительнымъ временемъ, получаютъ всегда скорости въ данныхъ точкахъ, значительно разнящіяся въ ту или другую сторону отъ среднихъ мѣстныхъ скоростей, получаемыхъ путемъ болѣе или менѣе продолжительнаго измѣренія въ данномъ

Кривая измѣненія скоростей по вертикали.

пунктъ [39, 27]; поэтому изменение скоростей по вертикали графически изобразится не кривой, а ломанной (фиг. 4, Табл. XX).

Пульсирующее движение воды.

§ 3. Профессор *Harlacher* применялъ свой аппаратъ съ хронографомъ для наблюдений надъ „пульсирующимъ движениемъ воды“ и надъ такъ наз. „забѣганіемъ“ впередъ судна, плывущаго свободно по теченію. Пульсирующее движение воды характеризуется тѣмъ, что при измѣреніи обыкновенной вертушкой скорости въ одной и той же точкѣ вертикали, при одинаковой продолжительности наблюдения и неизмѣняющемся руслѣ, число оборотовъ получается различное, т. е. движение воды во время измѣреній видоизмѣняется⁹⁾. Такъ, на р. Мѣманѣ (Memel), при троекратномъ измѣреніи, по 100 секундъ каждое, въ 301 точкѣ, показанныя вертушкой числа оборотовъ совпали только для 4-хъ точекъ. При наблюденияхъ, произведенныхъ *Harlacher*’омъ на р. Эльбѣ у Tetschen’a (14 октября 1877 г.), хронографъ далъ замѣчательную картину измѣненія скорости. На фиг. 5, Табл. XX изображены два [39, 12—14] графика для двухъ точекъ одной вертикали, а именно на 0,20 м. ниже горизонта воды и на 0,25 м. надъ дномъ при полной глубинѣ всей вертикали въ 1,82 м., за время 1 минуты, между тѣмъ какъ наблюденія продолжались 5 минутъ.

Необходимая продолжительность каждого наблюденія.

Поэтому для точности опредѣленія средней скорости рекомендуется *Harlacher*’омъ доводить продолжительность наблюдений до 5 минутъ въ каждой точкѣ, и ни въ какомъ случаѣ не меньше 3-хъ минутъ, чтобы избѣжать вреднаго вліянія пульсирующаго движенья, являющагося слѣдствіемъ водоворотовъ, возникающихъ благодаря сопротивленіямъ стѣнокъ русла и неправильной формѣ послѣдняго.

Вообще, измѣненія скоростей въ одной и той же точкѣ по величинѣ могутъ доходить до 25% отъ ея средняго значенія за очень малый промежутокъ времени. По наблюдениямъ *Amsler*’а [1, 13] на Рейнѣ у Schaffhausen’a при помощи трубки *Pitot* измѣненія скорости въ точкахъ около береговъ за $\frac{1}{4}$ часа доходили до 50%. Изъ осмотра кривыхъ измѣненія скоростей, показывающихъ массу колебаній и отклоненій отъ средней величины, *Harlacher* [39, 14] вывелъ заключеніе, „что вся масса воды находится во внутреннемъ водоворотномъ движеньи и что поэтому теорія параллельности струй несостоятельна“. Это въ настоящее время безусловно подтверждено наблюденіями инженера *Лелявскаго* надъ расположеніемъ струй при помощи прибора—подводнаго флюгера—его изобрѣтенія.

Продолжительность каждого наблюденія обусловливается необходимостью, для правильности измѣренія, чтобы наибольшія или наименьшія скорости, обязанныя своимъ происхожденіемъ водоворотному дви-

женію струй, повторились два или три раза, на что требуется отъ 3 до 5 минутъ въ зависимости отъ скорости въ различныхъ точкахъ наблюденія. Наблюденія по 5 минутъ въ каждой точкѣ требуютъ очень много времени, но лучше уменьшить число вертикалей и точекъ за счетъ болѣе продолжительнаго и точнаго наблюденія, чѣмъ небрежно пользоваться многими вертикалями и точками на нихъ.

Съ тою же цѣлью, — избѣжанія ошибокъ въ наблюденіи величины скорости въ различныхъ точкахъ вертикалей вслѣдствіе измѣненій ея въ продолженіи наблюденія, можно рекомендовать — *мѣнять последовательность наблюденій*¹⁰⁾, т. е. производить измѣренія отъ поверхности къ дну, повторить наблюденія въ обратномъ направленіи — отъ дна къ поверхности, или же *производить нѣсколько наблюденій* подрядъ въ одной и той же точкѣ вертикали. При изслѣдованіяхъ на рѣкахъ Голландіи [132] работали съ 1873 г. преимущественно вертушками *Woltmann*'а и во всякой точкѣ вертикали дѣлались четыре наблюденія, каждое продолжительностью въ 2 минуты; за дѣйствительную скорость принимали среднюю арифметическую изъ четырехъ наблюденій.

При наблюденіи вращенія вертушки въ продолженіе 3-хъ минутъ въ каждой точкѣ, получается для опредѣленія каждой скорости отъ 200 до 1.000 оборотовъ [137]. Соответственно этому, при употребленіи вертушки *Amsler*'а съ электрической звуковой сигнализацией черезъ каждые 100 оборотовъ, наблюденіе въ каждой точкѣ слѣдуетъ распространять на 200—500 оборотовъ вертушки при каждой ея установкѣ¹¹⁾; причемъ когда числа секундъ, для промежутковъ между двумя звонками, соответствующими ста оборотамъ вертушки, получаются согласныя между собой, то въ каждой точкѣ отдѣльной вертикали скорость опредѣляется *не меньше трехъ разъ*¹²⁾. При значительной разности промежутковъ число наблюденій увеличивается и доводится *иногда до десяти*, что встрѣчалось и при изслѣдованіяхъ описными партіями Министерства путей сообщения на русскихъ рѣкахъ [84, 179—186; 86, 723—726].

Значительныя несогласія въ числѣ секундъ замѣчаются въ большинствѣ случаевъ въ *мѣстахъ малой скорости* теченія; иногда же благодаря тому, что между колесомъ и осью попадаетъ листокъ, тина и т. п. Въ этихъ случаяхъ надо поднять вертушку изъ воды и осмотрѣть ее.

Для опредѣленія одного расхода всегда слѣдуетъ стремиться сдѣлать наблюденія надъ скоростями во всемъ профилѣ въ продолженіи *одного дня*. Поэтому нерѣдко при большихъ рѣкахъ и высокой водѣ сокращаютъ число точекъ въ вертикали до 3-хъ, 2-хъ и даже одной, предпочитая въ послѣднемъ случаѣ всѣмъ другимъ — *точку, находящуюся около 0,6 (точнѣе $\frac{3}{8}$, а около береговъ $\frac{1}{10}$) глубины отъ поверх-*

Необходимое число оборотовъ для каждого наблюденія.

Общая продолжительность измѣренія скорости во всѣхъ точкахъ поперечнаго профиля.

ности. Скорость въ этой точкѣ (см. Гл. X, § 7) равна средней для всей вертикали.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда, не смотря на сокращения, всѣ необходимыя наблюдёнія не могутъ быть сдѣланы въ одинъ день, ихъ уже придется оканчивать на слѣдующій день. Всѣ подобные случаи подробно отмѣчаются въ журналѣ съ обозначеніемъ времени начала и конца опредѣленія скоростей и степени измѣненія горизонта.

Общая подгото-
вительная
работы къ
непосред-
ственному
измѣренію
скоростей
гидрометри-
ческими при-
борами.

§ 4. Измѣренія гидрометрическими приборами вообще должны производиться въ тихое время, измѣненіе уровня впродолженіи дня не должно быть велико. всѣ приспособленія и предварительныя работы необходимо сдѣлать наканунѣ, чтобы измѣренія въ данномъ профилѣ были закончены въ одинъ день. Наканунѣ дня измѣреній должны быть сдѣланы слѣдующія работы:

- 1) Выбрать по возможности прямолинейную и правильную часть потока, удаленную отъ мостовъ и удовлетворяющую условіямъ, указаннымъ выше въ Гл. I.
- 2) Расчистить отъ растений или какихъ-либо другихъ препятствій сѣченіе, назначенное для производства измѣреній, а также и сосѣднія на протяженіи по крайней мѣрѣ наименьшей длины изъ указанныхъ въ Гл. I въ сторону верховья безусловно, а въ другую сторону желательно.
- 3) Опредѣлить общее направленіе движенія воды помощью большого поплавка, прикрѣпленнаго къ тонкой веревкѣ, идущей съ лодки, установленной по серединѣ рѣки.
- 4) Провѣшить помощью соответственнаго геодезическаго инструмента съ одного берега на другой линію будущаго поперечнаго сѣченія, перпендикулярную къ этому направленію теченія.
- 5) Укрѣпить въ этомъ профилѣ на одномъ берегу сваю или якорь, на другомъ кабестанъ или воротъ, лебедку и т. п., какъ указано въ гл. I.

Затѣмъ уже въ началѣ дня наблюдёній протягиваютъ съ одного берега на другой промѣрный канатъ и ведутъ всѣ дальнѣйшія работы. При этомъ для производства самихъ измѣреній скорости надо, если это возможно и для даннаго прибора требуется, нѣсколько выше избраннаго профиля протянуть канатъ, чтобы по немъ водить лодку съ измѣрительнымъ приборомъ. Ниже помѣщены подробности работъ для каждаго рода измѣрительныхъ приборовъ.

А. Поплавки и шесты.

Производство наблюдёній скоростей при примѣненіи поплавковъ (поверхностныхъ и двойныхъ) и гидрометрическихъ шестовъ съ цѣлью

вычислений расхода воды въ данномъ сѣченіи въ общемъ одно и тоже: только въ зависимости отъ ширины рѣки способы производства этихъ наблюдений, одинаковые для поплавковъ и шестовъ, нѣсколько различаются другъ отъ друга. Ниже разсматриваются отдѣльно измѣренія скоростей на рѣкахъ малой, средней и большой ширины ¹³⁾.

§ 5. Мѣстомъ измѣренія, какъ сказано выше (Гл. I), выбираютъ возможно прямой участокъ русла (фиг. 6, Табл. XX) съ одинаковымъ и возможно правильнымъ поперечнымъ профилемъ; пусть *M A B C D J* и *N E F G H K* — линіи береговъ. Провѣшивъ двѣ поперечныя линіи *BF* и *DH* на опредѣленномъ разстояніи *s* ($=25-50$ метр.) другъ отъ друга, производятъ промѣры глубинъ по этимъ линіямъ. На основаніи полученныхъ глубинъ вычерчиваютъ въ одномъ изъ масштабовъ, указанныхъ въ Гл. I, соответственные профили въ совмѣщенномъ съ горизонтальною плоскостью положеніи. Если эти двѣ площади не отличаются значительно другъ отъ друга ни по очертанію, ни по величинѣ, то онѣ и могутъ быть удержаны для дальнѣйшихъ измѣреній. Тогда оба избранные профили уже окончательно замѣчаются на берегахъ створами и соответственными пикетами; разстояніе *s* между ними $= BD = FH$ тщательно вывѣряется; отмѣтки промѣровъ связываются съ отмѣткой постояннаго репера, вывѣренной съ большою тщательностью.

Затѣмъ поперекъ рѣки, по линіямъ *AE*, *CG* и *JK*, располагаемымъ отъ ближайшихъ профилей въ разстояніяхъ половины *s*, протягиваютъ канаты (веревки) возможно ближе надъ водой. При этомъ оба каната должны быть раздѣлены на опредѣленные промежутки со свѣшивающимися тонкими веревочками, чтобы точно знать, не уклонился ли поплавокъ отъ своего направленія и насколько. Такимъ образомъ, разстоянія между линіями *AE* и *CG*, *CG* и *JK*, *BF* и *DH* равны принятому пути *s* пробѣга поплавковъ. По линіи *MN*, располагаемой за 10—20 метр. выше (по теченію) линіи *AE* и ей параллельной, устраиваютъ легкіе мостики, съ которыхъ и спускаютъ шесты или поплавки.

Англійскій инженеръ *Cunningham* при изслѣдованіяхъ его на каналахъ Индіи бралъ это разстояніе для середины теченія вообще равнымъ 15—30 и даже иногда до 45 метр. въ зависимости отъ ширины канала (ширина Гангскаго канала доходила до 60 метр., глубина до 3 метр.) и конструкціи поплавокъ, и замѣтилъ, что меньшее разстояніе давало неточные результаты; у береговъ же напротивъ оно доходило иногда до 1,50 метр.

Въ зависимости отъ формы имѣющагося профиля подраздѣляютъ его на нѣсколько отдѣльныхъ частей (трапецій и двухъ, сбоку, треугольниковъ); чрезъ середину каждой трапеціи долженъ пройти поплавокъ или шестъ. Сообразно съ этимъ послѣднимъ условіемъ намѣчаютъ

Измѣреніе скоростей поплавами и шестами на рѣкахъ малой (до 30—50 метр.) ширины.

В

на мостках MN точки $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, отъ которыхъ должны будутъ идти постепенно поплавки (шесты).

Для наблюденія съ поплавками лучше не брать слишкомъ много точекъ по ширинѣ изслѣдуемой поверхности воды, но зато каждую точку изслѣдовать нѣсколькими поплавками. Такъ, при изслѣдованіяхъ на рѣкахъ Голландіи число точекъ въ профилѣ, для котораго опредѣлялись скорости, измѣнялось отъ 5 до 8; черезъ каждую изъ этихъ точекъ пускалось 2—3—4 поплавка. При работахъ *Vazin'a* [5, 43—44] въ опытномъ руслѣ наблюдали только за тѣмъ поплавкомъ, который шелъ точно по оси потока, и брали затѣмъ среднее по крайней мѣрѣ отъ 5—6 результатовъ.

Въ каждой изъ точекъ a шесть необходимо опускать въ воду аккуратно, направляя его вершину нѣсколько въ сторону теченія. Траекторіи движенія поплавокъ и шестовъ должны быть по возможности параллельны берегу. *Длина шеста* берется различная для разныхъ точекъ a_1, a_2, \dots, a_n ; она должна составлять около $\frac{2}{10}$ средней глубины воды въ рѣкѣ по соотвѣтственной траекторіи движенія; въ этомъ послѣднемъ условіи предварительно убѣждаются посредствомъ нѣсколькихъ промѣровъ.

Точки $a_1, b_1, v_1, c_1; a_2, b_2, v_2, c_2; \dots, a_n, b_n, v_n, c_n$ прохода поплавокъ черезъ профиль и проволоки замѣчаются съ берега инструментомъ и заносятся на общій, предварительно вычерченный, планъ избраннаго для измѣреній участка рѣки. Употребленіе мензульной доски и кипрегеля позволяетъ слѣдить за всѣмъ протяженіемъ пути, пройденнаго поплавкомъ, замѣчать перпендикулярно ли направленіе теченія во всѣхъ точкахъ къ плоскостямъ профилей и даетъ возможность исключить изъ разсмотрѣнія всѣ поплавки, которые по какимъ-либо причинамъ слишкомъ уклонились въ сторону, и замѣнить ихъ другими. Точное совпаденіе бываетъ очень рѣдко; въ то же время небольшое отклоненіе мало вліяетъ на измѣненіе величины наблюдаемой поверхностной скорости. *Cunningham* при измѣреніяхъ на каналахъ Индіи возобновлялъ наблюденія съ поплавками тогда, когда отклоненіе превосходило слѣдующія цифры:

въ каналахъ шириной $\cong 45$ метр.—въ срединѣ 0,60 м. и около берега 0,10 м.;

въ каналахъ шириной $\cong 22$ метр.—въ срединѣ 0,30 м. и около берега 0,05 м.;

въ каналахъ очень малыхъ — въ срединѣ 0,15 м. и около берега 0,05.

Наблюдателемъ съ берега точно замѣчаются помощью хронометра моменты прохода каждаго поплавка (шеста), чрезъ линіи AE и CG , а слѣдовательно затѣмъ опредѣляются промежутки времени t_1, t_2, \dots, t_n се-

кундь, нужные для пробѣга пути s между этими линиями. Если поплавок задержится въ пути, измѣреніе нужно возобновить. Скорость v каждого шеста (поплавка) на этомъ участкѣ получится по раздѣленіи пути s на соответственное число t секундъ; такимъ образомъ найдемъ:

$$v_1 = \frac{s}{t_1}; v_2 = \frac{s}{t_2} \dots v_n = \frac{s}{t_n} \frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$$

Нанесенныя на планѣ, а слѣдовательно и на верхней линіи поперечнаго профиля точки v_1, v_2, \dots, v_n дадутъ возможность провѣрить первоначальное подраздѣленіе всей площади на отдѣльныя трапеціи и треугольники и точно затѣмъ подсчитать элементарные (ω_i, ω, v_i) и общіе (Ω_1, Q_1) площади и расходы.

Точно также повторяютъ наблюденія и для профиля № 2 (DH), заставляя поправки идти между линіями CG и JK , начиная отъ пунктовъ, расположенныхъ въ 10—20 метр. выше линіи CG . Можно также, не прерывая первоначальнаго движенія поплавокъ, замѣтить всѣ отдѣльныя точки и соответственные моменты времени прохода поплавокъ чрезъ линіи CG, DH и JK . Получится нѣкоторый новый расходъ Q_2 для сѣченія Ω_2 , мало разнящагося, согласно первоначальнаго выбора, отъ Ω_1 .

Если Q_1 и Q_2 отличаются другъ отъ друга также незначительно, то можно быть увѣреннымъ, что измѣренія достаточно точны, и тогда для средней скорости можно принять слѣдующее выраженіе:

$$V_m = \frac{Q_1 + Q_2}{\Omega_1 + \Omega_2}$$

Средній искомый расходъ будетъ:

$$Q = \frac{\Omega_1 + \Omega_2}{2} \cdot V_m = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

Опредѣленіе времени въ секундахъ должно быть сдѣлано возможно точно, почему, смотря по величинѣ скорости, участокъ s надо брать соответственно длиннѣе; если почему-либо этого сдѣлать нельзя, время опредѣляется хронометромъ въ пятыхъ доляхъ секунды. Съ хронометромъ, бьющимъ полусекунды, ошибка во времени получается не болѣе полусекунды; съ обыкновенными часами—до 2 секундъ.

Описанный способъ производства наблюденій и измѣреній, не представляя никакой трудности, требуетъ только точности и тщательности въ работѣ. Необходимо при этомъ, наблюдая положеніе горизонта воды, убѣждаться, что состояніе рѣки за все время наблюденій осталось неизмѣнившимся.

Измѣреніе скоростей поплавокми и шестами на рѣкахъ средней (отъ 50 до 300 метр.) ширины.

§ 6. Установка мостковъ въ этомъ случаѣ затруднительна и вмѣсто веревки употребляютъ маленькій проволочный промѣрный кабель. Кабель этотъ протягивается по линиямъ MN и CG ; линии AE и BF обозначаются створами на обоихъ берегахъ. Расстояние между линиями AE и CG , берется отъ 50 до 100 метр.; линия MN назначается не менѣе 25 метр. выше AE . Шесты (поплавки) опускаются съ лодокъ (верховыхъ), закоренныхъ выше линии MN , а собираются такими-же (низовыми) лодками—ниже линии JK .

При очень дѣятельномъ на данной рѣкѣ судоходствѣ протягиваніе такого кабеля стѣснило бы движеніе судовъ; въ этомъ случаѣ послѣ точнаго опредѣленія на водѣ мѣстъ подраздѣленій профиля помещаютъ въ этихъ точкахъ бакены, на которые поднимаютъ потомъ кабель.

Натягиваніе кабеля производится воротомъ, который при ширинѣ рѣки въ 100—150 метр. долженъ быть очень крѣпко установленъ на берегу, а при ширинѣ рѣки 150—300 метр. должны быть на берегу устроены сооруженія, подобныя тѣмъ, которыя поддерживаютъ якорныя лебедки на паромѣ.

Наблюденія за движеніемъ шестовъ, опредѣленіе времени пробѣга, нанесеніе на планъ точекъ прохода, подраздѣленіе на трапеціи всей площади профиля, опредѣленіе частныхъ и общей площадей, а также скоростей и наконецъ расхода дѣлается совершенно такъ же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, производя повторную повѣрку и для второго профиля.

Измѣреніе скоростей поплавокми и шестами на рѣкахъ большой (свыше 300 метр.) ширины.

§ 7. Серія нужныхъ операцій остается та же, что и въ двухъ предыдущихъ случаяхъ; исключаются только кабели и лебедки (вороты). Линии AE и CG устанавливаются посредствомъ бакеновъ (буйковъ), служащихъ для провѣшиванія ихъ направленія.

Когда поплавокъ, пущенный съ судна R (фиг. 8, Табл. XX) доходитъ въ b_1 , между точкой A и буйкомъ m на примѣръ, то наблюдатель, помещенный въ A , замѣчаетъ время и одновременно даетъ знакъ двумъ другимъ наблюдателямъ въ P и Q , которые въ одно и то же время визируютъ [31, т. II, 279—285] (или засѣкаютъ [114]) двумя теодолитами поплавокъ b_1 . Точка b_1 опредѣляется такимъ образомъ треугольникомъ $P.b_1.Q$, въ которомъ извѣстны базисъ PQ и углы QPb_1 и PQb_1 . Точки b_2, b_3, \dots, b_n на линии AE ; c_1, c_2, \dots, c_n на линии CG опредѣляются подобнымъ же образомъ. Такимъ образомъ получаютъ направленіе струй и ихъ пересѣченія съ линіей BF поперечнаго профиля.

Опредѣленіе положенія плывущаго поплавокъ одновременно двумя теодолитами требуетъ большой аккуратности и точности въ работѣ и не чуждо ошибокъ; но послѣднія въ данномъ случаѣ не будутъ имѣть очень серьезнаго вліянія на большіе, опредѣляемые здѣсь, расходы воды.

Нерѣдко бросаютъ поплавки на глазъ такимъ образомъ, чтобы они проходили чрезъ поперечную линію приблизительно на полуразстояніи двухъ буйковъ, положеніе которыхъ какъ неподвижныхъ тѣлъ точно замѣчено, и предполагаютъ потомъ, что они дѣйствительно прошли въ точкѣ средней ¹⁴).

В. Гидрометрическія трубки.

При измѣреніяхъ скоростей гидрометрическими трубками способы производства наблюденій различны для каждаго типа приборовъ. Поэтому то они и разсматриваются ниже отдѣльно для каждой системы трубки.

§ 8. Для поддержанія въ порядкѣ трубки *Darcy* нужна тщательная чистка частей ея, особенно стеклянныхъ трубокъ промываніемъ теплой водой съ мыломъ; при малѣйшемъ сомнѣніи въ плотности мѣдныхъ соединителей необходимо перемѣнить забивку, состоящую изъ ваты съ саломъ или воскомъ.

Содержаніе въ порядкѣ трубки *Darcy*.

Предъ употребленіемъ прибора нужно испытать вѣрность его показаній или его исправное состояніе, поступаая слѣдующимъ образомъ [133, 37]. Погрузивъ (фиг. 22, Табл. VI) отверстия a_1 и b_1 въ ведро съ водою, при открытыхъ кранахъ Z и F , всасываютъ чрезъ гуттаперчевую трубку p воду, которая должна быстро и свободно подниматься въ обѣихъ трубкахъ a и b безъ всякаго присутствія воздушныхъ пузырей. Последніе, напротивъ того, свидѣтельствуютъ о неисправномъ состояніи прибора, пропускающаго мѣстами воздухъ. При всасываніи, вслѣдствіе болѣе благопріятнаго (выше и противъ теченія) расположенія отверстия a_1 , вода въ трубкѣ a поднимается выше, т. е. она скорѣе наполняется водою и эта разница тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе производится всасываніе. По закрытіи же крана Z при исправномъ приборѣ тотчасъ же возстановляется равновѣсіе, т. е. вода въ трубкахъ a и b устанавливается на одномъ горизонтѣ.

Предварительное испытаніе трубки *Darcy*.

По открытіи крана Z трубки должны быстро опоражниваться отъ воды и, вслѣдствіе болѣе быстрого вытеканія чрезъ отверстие a , горизонтъ воды въ a при этомъ опускается ниже, нежели въ b . При медленномъ выливаніи воды навѣрное отверстия прибора засорены и для прочистки ихъ обыкновенно бываетъ достаточно нѣсколько разъ всасывать и выдувать воду изъ прибора. Въ последнемъ случаѣ вдвываютъ (ртомъ) воздухъ чрезъ гуттаперчевую трубку.

При погруженномъ нижнюю часть въ стоячую воду приборѣ и при запертомъ кранѣ F (вверху) и открытомъ Z (внизу) вода въ обѣихъ трубкахъ будетъ на одной и той же высотѣ. Если же при этомъ вынуть приборъ изъ воды, то замѣчаемъ, что въ b вода нѣсколько

опустится (на высоту $=a_1 b_1$). Это явление, само собою понятно, зависит от того, что отверстие b_1 расположено ниже отверстия a_1 на высоту $a_1 b_1$. При этом, очевидно, напоры воды над a_1 и b_1 должны быть одинаковы. При погруженном же приборѣ равенство напоровъ над a_1 и b_1 обуславливается одинаковостью горизонта воды въ обѣихъ трубкахъ.

Приспособленія для наблюдений трубкою *Darcy*.
Установка прибора.

§ 9. Приспособленія для наблюдений и способъ установки прибора таковы же, какъ и для *Woltmann*'ской вертушки на шестѣ; послѣдніе очень подробно описаны ниже въ этой же главѣ.

Производство и продолжительность измѣреній.

Обычный способъ наблюдений и опредѣленія разности высотъ воды въ трубкахъ описанъ выше при разсмотрѣннн устройства самого инструмента (см. гл. III, § 9, стр. 46—47). Для вѣрности опредѣленія въ каждой точкѣ вертикали, не снимая прибора, а только чрезъ послѣдовательное отпирание и запираніе крана *Z*, дѣлають отъ 30 до 60 наблюдений и изъ полученныхъ результатовъ берутъ среднее арифметическое. Всѣ манипуляціи: установка, высасываніе, 30 наблюдений и проч. при нѣкоторомъ навыкѣ требуютъ 10 минутъ; при этомъ высота всасыванія столбовъ должна быть одна и та же, иначе будетъ разница въ опредѣленіи h_1 и h_2 .

Примѣры наблюдений трубкою *Darcy*.

Примѣромъ можетъ служить слѣдующее измѣреніе [72, 5]:
Поперечный профиль *A*; 20 метр. отъ лѣваго берега; 0,25 м. подъ горизонтомъ воды.

Начало измѣренія: 4 ч. 30 м. дня.

Отмѣтка горизонта воды: + 1,23.

Наблюденныя разности высотъ								
№№	м/м	Состояніе уровня.	№№	м/м	Состояніе уровня.	№№	м/м	Состояніе уровня.
1	19,8	+	11	19,2	0	21	19,0	0
2	18,5	—	12	19,1	0	22	19,8	+
3	18,3	—	13	19,7	+	23	20,3	+
4	18,5	0	14	19,2	—	24	19,6	—
5	19,4	+	15	19,0	—	25	18,7	—
6	18,2	—	16	19,1	0	26	19,3	+
7	19,7	+	17	20,2	+	27	20,2	+
8	19,1	—	18	18,9	—	28	19,5	—
9	18,6	0	19	19,1	0	29	17,9	—
10	19,0	0	20	19,1	0	30	19,3	+
Σ=189,1 м/м.			Σ=192,6 м/м.			Σ=193,6 м/м.		

Среднее изъ трехъ суммъ: 191,7 м/м.

Разность высотъ въ среднемъ: $h=0,1917$ м.

Соотвѣтствующая скорость: $v=1,934$ м/сек.

Конецъ наблюденія: 4 ч. 40 м. дня.

Въ записяхъ показаній трубокъ обозначено: + тотчасъ послѣ чтенія высотъ столбы воды немного поднимаются; —..... упали; 0..... остались неподвижны.

Такимъ образомъ, въ этомъ примѣрѣ имѣются въ одинаковомъ числѣ всѣ три рода состоянія поверхностей уровня воды въ трубкахъ послѣ прочтенія показаній, а именно:

10 разъ—поднятіе. +
11 „ —опусканіе —
9 „ —неподвижны. . . . 0

Всего . . . 30 наблюденій.

Можно также опредѣлять разность высотъ воды въ трубкахъ, не закрывая нижняго крана; только въ этомъ случаѣ надо стараться замѣтить моменты maximum'альнаго и minimum'альнаго положеній уровней воды въ трубкахъ; сдѣлавъ чтенія и записи двухъ-трехъ наибольшихъ и наименьшихъ положеній уровня воды въ трубкахъ, надо затѣмъ взять среднее изъ всѣхъ операций. Такъ напр.

№№ наблюде- ній.	В ы с о т а		Разность высотъ h —метр.	Характеръ наблю- деній.
	трубки динамич. метр.	трубки статич. метр.		
1	0,953	0,822	0,131	Maximum
2	0,948	0,830	0,118	Minimum
3	0,950	0,822	0,128	Maximum
4	0,945	0,825	0,120	Minimum
5	0,933	0,803	0,130	Maximum
6	0,925	0,808	0,117	Minimum
Среднее			0,124	

§ 10. Найдя тѣмъ или другимъ путемъ разность высотъ h_0 въ трубкахъ, опредѣляютъ затѣмъ скорость по формулѣ для даннаго прибора.

Формула и
вычисленіе
скорости при
измѣреніи
трубкою
Darcy.

Эта формула имѣетъ видъ, подобный вышеуказанному для трубки Pitot, и можетъ быть составлена такъ. Наблюденія Darcy показали,

что h_1 и h_2 (фиг. 12, Табл. VI) пропорциональны $\frac{v^2}{2g}$, причём v скорость воды въ данной точкѣ, т. е.:

$$h_1 = m_1 \cdot \frac{v^2}{2g}, \quad h_2 = m_2 \cdot \frac{v^2}{2g},$$

гдѣ m_1 и m_2 —нѣкоторые болѣе или менѣе постоянные коэффициенты.

Взявъ сумму, имѣемъ:

$$h_1 + h_2 = \frac{v^2}{2g} (m_1 + m_2) = h_0.$$

Поэтому для скорости въ точкѣ, расположенной на глубинѣ H подъ поверхностью воды, будемъ имѣть выраженіе:

$$v = \sqrt{\frac{1}{m_1 + m_2}} \cdot \sqrt{2gh_0} = \varphi' \sqrt{2gh_0} = \mu \sqrt{h_0}.$$

Подъ h_0 въ случаѣ расположенія по фиг. 12, надо считать: $h_1 + h_2$; если же оба уровня выше или ниже нуля, то $h_0 = h_1 - h_2$.

Пониженіе h_2 , какъ оказалось на опытѣ, болѣею частью болѣе повышенія h_1 (фиг. 12). Такъ, по наблюденіямъ проф. *Тиме* [133,36] при изслѣдованіяхъ на р. Ижорѣ $h_1 = 23$ м/м; $h_2 = 39$ м/м; $h_0 = 62$ м/м.

Коеф-тъ φ' повидимому долженъ быть меньше единицы, такъ какъ обыкновенно $m_1 + m_2 > 1$ и $h_0 < \frac{v^2}{2g}$; это обстоятельство не представляетъ аномалии, потому что вода въ трубкѣ a опускается въ то время, когда въ b поднимается (фиг. 12).

Для приведенныхъ выше цифровыхъ данныхъ получимъ:

$$v = \varphi' \cdot \sqrt{2g \times 0,624},$$

гдѣ $g = 9,81$ метр.; φ' —коеф-тъ соответственной трубки.

Трубка *Dar-*
су съ кероси-
номъ внутри;
установка
прибора и
производство
наблюдей.
[121; 18].

§ 11. Приборъ, описанный въ гл. III, § 10, стр. 48 (фиг. 2 и 3, табл. VII), устанавливается такимъ образомъ, чтобы часть двухколенной трубки, къ которой прикрѣплена шкала, приходилась вертикально на любой высотѣ надъ палубою, причёмъ нижніе загнутые края a и a_1 , опускаются вдоль борта судна въ воду. Стрѣлками показано направленіе, обратное движенію судна, т. е. трубка показываетъ давленіе воды, происходящее отъ сопротивленія ея движенію судна.

Закрывая прежде всего кранъ p и открывая затѣмъ кранъ l , производятъ дѣйствіемъ насоса разрѣженіе воздуха въ шарѣ k и во всей системѣ трубокъ. Вслѣдствіе этого вода въ трубкахъ поднимется, вытѣсняя воздухъ, и заполнитъ часть шара; послѣ чего закрываютъ краны l и f . Наливъ черезъ кранъ p подкрашенный керосинъ, осторожно открываютъ кранъ f и выпускаютъ нѣкоторое количество керосина въ колѣна b_1 и b . Количество жидкости безразлично, но ея

не должно быть слишком много, чтобы при наблюдении можно было видеть на ~~измереніи~~ оба края столба; вмѣстѣ съ тѣмъ ея однако должно быть столько, чтобы при измененіи уровня она не могла перейти цѣликомъ въ какое-нибудь изъ ~~колеблѣн~~ колебаній.

Для опредѣленія условій равновѣсія необходимо принять во вниманіе ~~вѣсъ~~ вѣсъ столбовъ керосина въ правомъ и лѣвомъ колѣнахъ. Положимъ, что высота этихъ столбовъ отличается на 2 с/м., причемъ въ лѣвомъ колѣнѣ давленіе керосинового столба больше, чѣмъ въ правомъ; такимъ образомъ, въ правомъ колѣнѣ имѣется на 2 с/м. воды больше и на 2 с/м. керосина меньше, чѣмъ въ лѣвомъ колѣнѣ. Излишекъ давленія съ правой стороны соответствуетъ разности этихъ двухъ давленій, т. е. вѣсу столба жидкости высотой 2 с/м. и удѣльнаго вѣса $1 - 0,9 = 0,1$. Поэтому разность уровней при употребленіи керосина составляетъ 2 с/м. для того случая, когда наполненіе воздухомъ дало бы только разность на 2 мм. Слѣдовательно, ~~въ этомъ приборѣ дѣленія шкалы въ 10 разъ больше дѣленій въ трубкѣ Pitot~~ для одной и той же единицы давленія.

Показанія прибора можно читать на высотѣ 3—6 метр. и болѣе надъ водою, причемъ поднятіе и опусканіе судна не имѣетъ вліянія на результатъ.

§ 12. Однимъ изъ указанныхъ въ гл. I способовъ, въ зависимости отъ ширины профиля, протягиваютъ поперекъ рѣки промѣрный каналъ съ узлами чрезъ каждые 5 метр.

Къ этому канату помощью короткой снасти (веревки) и ролика прикрѣпляется лодка, передвигаемая помощью руля вдоль каната отъ одного берега къ другому. Совершенно такъ же и съ тѣмъ же канатомъ соединенъ аппаратъ Frank'a (фиг. 8, Табл. VII); онъ въ то же время связанъ съ лодкою второю веревкою, такъ что при передвиженіи поперекъ рѣки перемѣщается за лодкою въ разстояніи 5 м. отъ послѣдней. Слѣдовательно, при остановкѣ лодки противъ одного изъ узловъ каната приборъ находится какъ разъ противъ предшествующаго узла, причемъ подпоръ, производимый лодкою, не имѣетъ уже вліянія на показаніе прибора. Эти показанія можно читать непосредственно съ лодки, т. е. на разстояніи 5 м.

Одновременно съ опредѣленіемъ скоростей, съ лодки могутъ быть произведены и промѣры.

Такимъ образомъ передвигаются отъ одного узла проволоки къ другому до противоположнаго берега; послѣ того тѣмъ же порядкомъ двигаются обратно для повѣрочнаго измѣренія. Въ случаѣ несвпаденія результатовъ двухъ наблюденій процедура повторяется еще разъ.

§ 13. Употребленіе простой трубки Frank'a (фиг. 7, Табл. VII) описано было въ Гл. III, § 20, стр. 56, при разсмотрѣннн устройства прибора.

При примѣненіи усовершенствованной трубки Frank'a (фиг. 1—4, Табл. VIII) для производства измѣренія прежде всего свинчиваютъ отдѣльныя звенья дырчатой трубы R_1 ; прикрѣпляютъ къ верхней ея части манометръ и соединяютъ рукава E_1 и E_2 съ передвижнымъ оттрубомъ R_2 ; на трубѣ R_1 со стороны противоположной отверстіямъ, т. е. по теченію, помѣщаютъ руль M . Затѣмъ собранный такимъ обра-

Измѣреніе скорости у поверхности трубною Frank'a на поплавахъ [71; 100].

ОТЪВѢЩЕНІИ
ИЗЪ
КАБИНЕТУ
ИЗЪ
КАБИНЕТУ

Измѣреніе средней скорости вертикали трубною Frank'a.

зомъ приборъ опускають въ воду, пока нижній конецъ трубы R_1 упрется въ дно; передвигаютъ трубу R_2 при помощи штанги S до глубины, указанной выше при описаніи; держа нѣсколько наклонно весь приборъ, выкачиваютъ чрезъ кранъ K и рукавъ L воздухъ изъ манометра B помощью малаго ручного насоса; когда поплавокъ въ манометрѣ поднимется столбомъ воды на достаточную высоту, кранъ K запирають, и приборъ готовъ для наблюденія.

При этомъ необходимо слѣдить, чтобы поплавокъ двигался совершенно свободно, нигдѣ не задерживаясь, чтобы сохранялась полная непроницаемость всѣхъ мѣстъ соединенія частей манометра.

Способъ опусканія и установки трубки будетъ понятенъ изъ ниже слѣдующаго описанія для вертушки.

Для *чистки манометра* отвертываютъ самую нижнюю его часть a (фиг. 1 и 4) и вынимають внутреннюю стеклянную трубку съ поплавкомъ; соединеніе наружной трубки b лишь по мѣрѣ надобности крѣпче завинчивается; развинчивается только при смѣнѣ наружнаго стекла.

С. Вертушки.

Производство
наблюдений
вертушками.
Механическій
счетчикъ.

§ 14. При пользованіи вертушками *Baumgarten'a*, *Woltmann'a*, *Amsler'a* съ механическимъ счетчикомъ надо поступать слѣдующимъ образомъ (фиг. 6а, Табл. VIII):

Передъ спускомъ прибора въ воду замѣчаются показанія обѣихъ шестеренъ, затѣмъ погружаютъ приборъ въ воду такъ, чтобы штанга была вертикальна. По истеченіи примѣрно $\frac{1}{2}$ минуты, когда можно разсчитывать на то, что ось крыльевъ встала при помощи руля по направленію главной струи и крылья приобрѣли скорость, соотвѣтствующую скорости теченія воды, помощникъ наблюдателя сильно натягиваетъ бывшій до сего отпущеннымъ свободно шнуръ k и держитъ приборъ въ такомъ положеніи около 1 минуты (60 секундъ), 45, 30 или 15 секундъ, послѣ чего отпускаетъ шнуръ. Приборъ вынимается и читають вновь показанія шестеренъ; разность послѣдняго и первоначальнаго показаній даетъ число оборотовъ N за время наблюденія, т. е. t секундъ. Тогда число оборотовъ крыльевъ въ секунду $n = \frac{N}{t}$.

Электриче-
ская сигнали-
зація.

При пользованіи вертушками *Amsler'a*, *Harlachera*, *Hajós'a* съ электрической сигнализацией поступаютъ такъ:

Прежде, чѣмъ погрузить крылья въ воду, включаютъ счетчикъ; затѣмъ устанавливають приборъ на потребной глубинѣ. Въ скоромъ времени послѣ погруженія его въ воду слышенъ звонокъ, такъ какъ чрезъ каждые 100 оборотовъ токъ замыкается. Пропустивъ одинъ или

два таких звонка наблюдатель готовится замѣтить по секундомѣру моментъ слѣдующаго и своевременно диктуетъ его помощнику. Такимъ образомъ, замѣчается и записывается время, соотвѣтствующее каждому ста оборотамъ вертушки. При этомъ всегда долженъ наблюдаться конецъ сигнальнаго звонка. Это особенно важно, такъ какъ тогда все вниманіе наблюдателя обращено уже на сигналъ и можно точнѣе уловить моментъ сигнала.

Запись времени можетъ вестись напр. такимъ образомъ:

$$T = 0'' - 23'' - 45'' - 1'11'' - 1'43'' - 2'3'' - 2'28'' - 2'55'' - 3'17''.$$

Запись времени и повѣрка наблюдений.

Слѣдовательно, каждые 100 оборотовъ вертушки продолжались:

$$t = 23'' - 22'' - 26'' - 32'' - 20'' - 25'' - 27'' - 22''.$$

Электрическая сигнализациа даетъ прекрасное средство постоянно контролировать работу вертушки, какъ увидимъ изъ нижеслѣдующаго. По окончаніи наблюдений, по всему профилю должна быть произведена повѣрка записей. Такъ въ данномъ выше примѣрѣ записей число (32) значительно уклоняется отъ остальныхъ, что могло произойти отъ временнаго засоренія вертушки плавающими тѣлами, которыя однакоже скоро проносятся далѣе, что видно и по записи. Подобныя числа какъ ненадежныя выключаются изъ наблюдений; изъ оставшихся берется среднее арифметическое:

$$\left(\frac{23 + 22 + 26 + 20 + 25 + 27 + 22}{7} \right) = 23'',6.$$

Это значитъ, — что вертушка дѣлала въ 1 секунду $n = \frac{100}{23,6} = 4,24$ оборота.

Наблюденіе должно быть повторено нѣсколько разъ послѣ каждыхъ 100 оборотовъ крыльцевъ, или еще лучше замѣтить время начала и конца нѣсколькихъ (5—10) сотенъ оборотовъ крыльцевъ; тогда разность временъ дастъ время t секундъ, употребленное для 500—1000 оборотовъ. Этимъ въ значительной степени ослабится вліяніе неточностей отчетовъ по секундомѣру.

Число оборотовъ въ секунду въ этихъ случаяхъ будетъ:

$$n = \frac{100}{t_1} = \frac{500-1000}{t_2} = \frac{m \cdot 100}{t} = \frac{N}{t}.$$

Подставляя затѣмъ найденное значеніе n въ формулу ($v = \alpha + \beta n$) данной вертушки съ определенными ранѣе коэффициентами, получимъ скорость v въ данной точкѣ профиля.

Вычисленіе скорости течения.

$$v = \alpha + \beta n$$

Определение скорости у дна.

Для определения скорости у дна поступают такъ. Когда звонокъ покажетъ, что линза вертушки достигла дна, ее поднимаютъ настолько, чтобы только прекратить звонокъ, и определяютъ глубину по барабану; затѣмъ поднимаютъ приборъ еще на 1—2 дециметра и тогда только приступаютъ къ измѣренію этой скорости.

Работа вертушкой зимой.

При производствѣ наблюденій зимой, чтобы вертушка не замерзала, ее при выниманіи слѣдуетъ обливать еленой водой.

Общепотребительныя формулы для скорости при измѣреніяхъ вертушками.

§ 15. Зная число n оборотовъ вертушки въ секунду, необходимо найти зависимость между v и n [1,7,10; 9,286—238; 22,325; 31, t. II, 221—223; 34,322—325; 69,81—82, 96,235—236; 116, № 7].

Въ этомъ § будутъ указаны зависимости между v и n болѣе простыя, обыкновенно примѣняемыя до сихъ поръ въ практикѣ; формула же общая, болѣе сложная, для точныхъ вычисленій коэффициентовъ новѣйшихъ вертушекъ съ шариковыми подшипниками и алюминіевыми крыльями будетъ указана въ Гл. VII при описаніи работъ проф. Schmidt'a.

Относительно вертушки Woltmann'a извѣстно, что если бы движущіяся части не испытывали сопротивленія отъ тренія и если бы нерабочія части инструмента не возмущали воду, то соотношеніе между числомъ оборотовъ въ секунду n и скоростью воды v выражалось бы прямой линіей Oa (фиг. 11, Табл. XX), проходящей чрезъ начало координатъ, тангенсъ угла w которой съ осью абсциссъ равенъ шагу гелисоидальныхъ крыльевъ (при плоскихъ крыльяхъ этотъ tg былъ бы пропорціоналенъ наклоненію плоскости крыльевъ къ струѣ воды).

Уравненіе ея по D'Aubuisson'у [31, t. II, 221]:

$$v = \beta n, \dots \dots \dots (1).$$

гдѣ β —нѣкоторое постоянное, подлежащее опредѣленію. Величина β въ этомъ случаѣ почти точно равняется высотѣ хода винтовой поверхности, по которой выполнены лопасти и, какъ замѣтилъ Harlachер [39,24], чѣмъ легче идетъ крыло и чѣмъ точнѣе построены лопасти по винтовой поверхности, тѣмъ это согласованіе полнѣе.

Эта формула пригодна для болѣе высокихъ скоростей и дѣлается менѣе точною съ уменьшеніемъ скорости [31, t. II, 221—223]. Сопротивленія отъ тренія могутъ быть такъ велики, что въ слабо текущей водѣ вертушка стоитъ неподвижно.

Но въ дѣйствительности же вертушка встрѣчаетъ сопротивленіе своему вращенію; это сопротивленіе состоитъ изъ двухъ частей: 1) сопротивленій постоянныхъ, независящихъ отъ скорости ея вращенія и 2) сопротивленій переменныхъ, возрастающихъ съ увеличеніемъ скорости или, что то же, съ возрастаніемъ движущаго усилія. Вслѣдствіе

этих сопротивлений, какъ напр. тренія въ движущихся частяхъ, *эта линия никогда не будетъ проходить черезъ начало координатъ*, а отсѣчетъ на оси ординатъ, по которой откладываются скорости, отрѣзокъ *Of* такой величины, что соответствующая скорость воды достаточна для преодоленія тренія и приведенія крыльевъ въ движеніе; и если это — прямая, то она во всякомъ случаѣ будетъ подыматься менѣе круто — по нѣкоторой линіи *fb*, уравненіе которой будетъ:

$$v = \alpha + \beta n, \dots\dots\dots(2)$$

гдѣ α и β — постоянныя, подлежащія опредѣленію для каждаго прибора. Эта формула можетъ быть получена [58, § 169] также изъ теоріи удара неограниченной массы воды о наклонную плоскую поверхность.

Величина α всегда очень мала сравнительно съ β и, если n очень велико, можно пренебречь величиною α , т. е. получить предыдущее уравненіе (1).

Но конечно, вліяніе тренія не можетъ быть одинаковымъ при различныхъ скоростяхъ воды. При умѣренной скорости (0,15—1,20 м./с.) живая сила вертушки достаточна для преодоленія и уравновѣшенія силъ, проявляющихся подъ видомъ тренія. Линія, выражающая законъ соотношенія v и n , при скорости меньшей 0,5 м./с., начиная съ нѣкоторой точки *c* наклоняется въ своей нижней части къ оси абсциссъ подъ все болѣе острымъ угломъ, и начальной ординатой будетъ уже *of*₁. Тогда уравненіе этой линіи будетъ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{отъ } f_1 \text{ до } c : v = \alpha + \beta_1 n + \gamma n^2 \\ \text{отъ } c \text{ до } b : v = \alpha + \beta n \end{array} \right\} \dots\dots\dots(3).$$

Отъ точности исполненія вертушки зависитъ длина, на протяженіи которой часть линіи *cb* остается прямой.

Въ дѣйствительности, при скорости, превышающей 3—4 м/сек. число оборотовъ не увеличивается пропорціонально приращенію скорости, но все болѣе отстаеъ [39,24; 34]. Такимъ образомъ, характеристичное уравненіе обыкновенныхъ вертушекъ должно изображаться тремя линіями: одной прямой *ce* и двумя кривыми *f*₁*c* и *ed* различнаго вида¹⁵⁾.

Эта особенность вертушекъ причиняетъ значительныя затрудненія при ихъ тарировкѣ. Поэтому инженеры-гидротехники стремились къ изобрѣтенію вертушки, уравненіе которой соответствовало бы прямой, проходящей черезъ начало координатъ, т. е. при полномъ отсутствіи тренія, что недостижимо; затѣмъ искали линію, которая оставалась бы прямой по крайней мѣрѣ въ верхней своей части, соответствующей высшимъ скоростямъ, чѣмъ и былъ вызванъ переходъ отъ плоскихъ *Woltmann*'овскихъ къ геллисондалнымъ крыльямъ. Крылья вертушки *Hajós*'а такъ устроены, что характеристичная линія этого прибора

представляетъ прямую на гораздо большемъ протяженіи, чѣмъ у инструментовъ вышеописанныхъ.

Такимъ образомъ, во всѣхъ случаяхъ практики скорость теченія воды при помощи вертушки опредѣляютъ по формулѣ (2), изъ которой видно, что при $n = 0$, $\alpha = v$, т. е. α — есть та скорость, которую имѣетъ рѣка, когда вертушка не движется вслѣдствіе тренія въ подшипникахъ, или иначе: это есть *предѣлъ точности* опредѣленія скоростей вертушкою (т. е. *степень совершенства прибора*). При порядочно устроенныхъ вертушкахъ обыкновенно $\alpha = 0,01—0,05$ м/сек.; при плохихъ конструкціяхъ значительно больше. Коэффициентъ β опредѣляется также для каждой вертушки и представляетъ собою то число, на которое надо умножить число оборотовъ n въ секунду, чтобы получить соотвѣтственную скорость v м/сек. Зная ¹⁶⁾ коэффициенты α и β и опредѣливъ n , легко найдемъ и v .

Примѣръ вычисления скорости.

Такъ, напр., для *Woltmann'*ской вертушки стараго типа [29,61] имѣлись слѣдующія значенія:

$$\alpha = 0,022, \quad \beta = 0,2827.$$

При погруженіи вертушки въ воду показаніе счетчика было: 625. По вынутіи прибора изъ воды, по истеченіи времени $t = 60$ секундъ, показаніе было: 695. Слѣдовательно:

$$n = \frac{N}{t} = \frac{695 - 625}{60} = \frac{70}{60} = 1,167 \text{ оборотовъ въ секунду.}$$

Поэтому:

$$v = \alpha + \beta n = 0,022 + 0,2827 \cdot 1,167 = 0,352 \text{ м/сек.}$$

Опредѣленіе скорости въ данной точкѣ профиля по величинѣ и направленію помощью протѣкъ вертушекъ *Woltmann'a* — *Amsler'a*.

§ 16. За неимѣніемъ подъ руками измѣрителя рѣчныхъ струй инженера *Лелявскаго*, вертушками, для которыхъ въ уравненіи: $v = \alpha + \beta n$ членъ α значительно менѣе βn , можно опредѣлить довольно точно величину дѣйствительной скорости въ данной точкѣ по величинѣ и направленію по измѣреннымъ вертушками пяти проекціямъ этой скорости ¹⁷⁾.

Въ общемъ способъ этотъ заключается въ слѣдующемъ.

Пять проекцій дѣйствительной скорости.

Въ горизонтальной плоскости (фиг. 8, Табл. XX), проходящей чрезъ данную точку a измѣряютъ простой вертушкой, прикрѣпленной неподвижно къ вертикальной штангѣ три скорости:

v_1 — въ направленіи, перпендикулярномъ данному поперечному сѣченію рѣки;

v_2 — подъ угломъ въ 45° вправо;

и v_3 — подъ угломъ въ 45° влѣво.

MN — линия поперечнаго профиля; чрезъ MN и AB проходятъ вертикальныя плоскости.

Такъ какъ число оборотовъ вертушки прямо пропорціонально косинусу угла, составляемаго осью вертушки съ направлениемъ главной струи, то скорости v_1 , v_2 и v_3 могутъ быть разсматриваемы какъ проекціи горизонтальной составляющей скорости v главной струи. Линіи, проведенныя изъ концовъ отрѣзковъ скоростей v_1 , v_2 и v_3 перпендикулярно къ направлениемъ послѣднихъ, должны поэтому взаимно пересѣчься въ одной точкѣ b . Отрѣзокъ ab выражаетъ по величинѣ и направлению горизонтальную составляющую скорости v главной струи; $\angle \varphi$ — представляетъ уголъ, составляемый направлениемъ главной струи съ вертикальною плоскостью AB .

Въ вертикальной плоскости AB помощью вертушки, устроенной такимъ образомъ, что ось ея можетъ быть закрѣплена подъ определеннымъ угломъ къ горизонту, опредѣляются (фиг. 9, Табл. XX) еще двѣ скорости:

v_4 — подъ угломъ въ 45° выше горизонтальной плоскости CD
и v_5 — подъ угломъ въ 45° ниже горизонтальной плоскости.

Тогда, скорости v_1 , v_4 и v_5 —суть проекціи вертикальной составляющей скорости v главной струи и подобно предыдущему получается отрѣзокъ ac , выражающій длину и направленіе вертикальной составляющей скорости v главной струи; $\angle \epsilon$ — уголъ, составляемый направлениемъ главной струи съ горизонтальною плоскостью CD .

Зная величины ab — горизонтальной и ac — вертикальной проекцій скорости v , найдемъ и величину v . Для этого при точкѣ a на линіяхъ ab и ac строимъ соответственно углы ϵ и φ ; изъ точекъ b и c возставляемъ перпендикуляры къ линіямъ ab и ac . Полученныя въ пересѣченіяхъ линій точки d и e опредѣляютъ отрѣзки ad и ae , равные между собою и представляющіе собою величину скорости v главной струи; направленіе же скорости v опредѣляется углами φ и ϵ .

Опредѣленіе всѣхъ пяти величинъ v_1 , v_2 , v_3 , v_4 , v_5 въ дѣйствительности необходимо только для провѣрки точности произведеннаго наблюденія; на самомъ же дѣлѣ можно ограничиться нахождениемъ только трехъ величинъ, а именно: 1) v_1 , v_2 и v_4 или 2) v_1 , v_3 и v_5 , т.-е. изъ каждаго двухъ положеній вертушки въ горизонтальной и вертикальной плоскостяхъ (подъ угломъ 45°) достаточно взять въ расчетъ только то, которое даетъ большее число оборотовъ вертушки.

Этотъ способъ могъ бы быть математически точнымъ, если бы одновременно существовали два условія:

$$n' = n \cdot \cos \gamma.$$

Возможная
точность
опредѣленія
скорости.

и

$$v' = bn' = b \cdot n \cdot \cos \gamma,$$

гдѣ n и n' числа оборотовъ вертушки въ секунду и γ —уголъ оси вертушки съ направлениемъ главной струи. Но такъ какъ уравненіе движенія вертушки выражается въ большинствѣ случаевъ формулой:

$$v' = \alpha + \beta n' = \alpha + \beta n \cdot \cos \gamma$$

и иногда сложнѣе, то нормали, проведенныя отъ концовъ даже трехъ скоростей, не пересѣкаются въ одной точкѣ, а образуютъ треугольникъ.

По величинѣ этого треугольника можно судить о степени точности полученныхъ результатовъ; эта послѣдняя находится въ зависимости отъ величины члена α , отъ неточности производимыхъ измѣреній, и отъ того или другого дѣйствія на крылья вертушки скоростей боковыхъ, идущихъ отъ сосѣднихъ точекъ и непараллельныхъ главной струѣ.

Приспособле-
нія, съ кото-
рыхъ произ-
водятся измѣ-
ренія скоро-
стей гидро-
метрически-
ми прибора-
ми.

§ 17. Сами измѣренія производятся, если возможно, съ прочнаго помоста, иногда съ моста; при широкихъ же руслахъ въ тихую погоду съ лодки.

Но лодка все-таки представляетъ нѣкоторое препятствіе для движенія воды, такъ какъ предъ нею образуется подпоръ, измѣняющій направленіе теченія и даже скорость. Для избѣжанія этого, при измѣреніяхъ въ широкихъ руслахъ, наблюденія лучше производить съ *плота*, построеннаго на двухъ лодкахъ (табл. XXI, фиг. 1—4), связанныхъ въ разстояніи 3—5 метр. другъ отъ друга помощью поперечныхъ балокъ и помоста въ одно цѣлое; этимъ достигается если не уничтоженіе, то во всякомъ случаѣ уменьшеніе подпора. Приборъ спускается съ середины плота въ промежутокъ между лодками.

При сильныхъ теченіяхъ можетъ быть примѣняема солидная конструкция *парома* (понтон) наподобіе примѣненной при измѣреніяхъ на р. Дунаѣ [50, зр0] (Фиг. 6, табл. XXI) или р. Рейнѣ. (Фиг. 7, табл. V).

При производствѣ наблюденій съ моста лучше всего производить измѣренія съ нижней (по теченію) стороны моста, такъ какъ тутъ скорости близки къ параллелизму и обладаютъ наибольшими величинами.

Во время высокихъ водъ опредѣленіе расходовъ на рѣкахъ значительной величины, какъ Волга, Днѣпръ, Кама, Ока и т. п., возможно только при помощи парходовъ, съ значительнымъ числомъ рабочихъ, съ значительными затрудненіями отъ идущихъ самоплавомъ плотовъ и судовъ и по самой сущности своей не можетъ быть исполнено вполне точно.

§ 18. Предварительныя предъ измѣреніемъ скоростей работы заключаются съ одной стороны въ закрѣпленіи понтона у измѣряемой вертикали въ продолженіи производства всѣхъ наблюденій на ней, а съ другой стороны—въ перемѣщеніи понтона на слѣдующую вертикаль.

Предварительныя предъ измѣреніемъ скоростей работы.

При незначительномъ теченіи, когда удается натянуть канатъ чрезъ рѣку съ одного берега на другой или съ берега къ какому-либо предмету посреди рѣки и легко найти положеніе вертикалей, то при заранѣе размѣченномъ канатѣ, паромъ (лодка) передвигается вдоль него, прикрѣпляется въ опредѣленной точкѣ и удерживается такъ за все время наблюденія; или же, при большой сравнительно ширинѣ рѣки, передвиженіе производится по другому параллельному тому, протянутому въ нѣкоторомъ разстояніи отъ него съ низовой стороны, или даже помощью двухъ другихъ канатовъ, заякоренныхъ въ противоположныхъ берегахъ и имѣющихъ свободные концы на понтонѣ, одновременно ослабляя одинъ и натягивая другой концы.

При сильномъ теченіи или густотѣ судового движенія о примѣненіи протянутого каната не можетъ быть и рѣчи; понтонъ нужно ставить на два ¹⁸⁾ якоря (а лучше еще, особенно при вѣтрѣ, и снизу по теченію тоже на два якоря); понтонъ направляется къ мѣсту вертикали приблизительно и точка наблюденія опредѣляется тригонометрически или съ помощью тахиметра. При скоростяхъ теченія болѣе 1,5 метр./сек. подъемъ и забрасываніе якорей, а также перестановка судна съ одной вертикали на другую достигаются съ помощью буксирнаго парохода или во всякомъ случаѣ другой лодки, которая на понтонъ можетъ передать вновь заякоренный канатъ.

Установка и передвиженіе понтона требуетъ большею частью больше времени, чѣмъ самый процессъ измѣреній, поэтому необходимо всѣми средствами стремиться къ возможному ускоренію этихъ работъ въ видахъ уменьшенія продолжительности всего наблюденія.

Какъ только понтонъ укрѣпленъ, устанавливается штанга *n* (деревянная или желѣзная), собирается и погружается (двигаясь по штангѣ) флувиометръ; если же штанга не примѣняется, то флувиометръ опускается на проволочномъ канатѣ помощью укрѣпленной на помостѣ понтона лебедки. По окончаніи измѣреній приборъ разбирается, штанга вынимается и укладывается на помостъ, послѣ чего возможно перемѣщеніе понтона.

§ 19. Обыкновенный способъ установки вертушки *Woltmann*'а заключается въ прикрѣпленіи флувиометра къ нижнему концу деревянной или желѣзной штанги *AB* (фиг. 10, табл. XXI), которая непосредственно руками или особо устроенными подмостями держится въ продолженіи измѣренія на данной высотѣ. Это—такъ называемая *подвѣшенная*

Приспособленія для удержанія вертушки въ точкѣ измѣренія: два рода штангъ.

(висячая) штанга, работающая как балка, закреплённая одним концом (фиг. 11, табл. XXI).

При нескольких больших глубинах и скоростях удерживание штанги в строго вертикальном положении очень затруднительно, да и сама штанга изгибается; следствием чего является необходимость устройства более или менее сложных приспособлений для получения еще одной или двух, в зависимости от измеряемой глубины потока, точек опоры для штанги.

Приспособле-
ния, приме-
нявшиеся на
р. Рейнѣ.

Так, приспособления (табл. XXI, фиг. 7, 8 и 9), примененные *Grebenui* при измерениях на Рейнѣ у *Lauterburg'a* и *Germersheim'a* были с двумя точками опоры *a* и *c* для глубин до 4 метр. и с тремя *a*, *c* и *q* для глубин от 4 до 7 метр.; причем скорость воды на поверхности была ≥ 2 метр./сек., а на глубинѣ 5 метр. скорость = 1,20 метр./сек. Приводимая здѣсь конструкция этих приспособлений вполне достигла цели: желѣзная штанга *SS* совершенно не колебалась. Устройство их в общем таково. На двух спаренных лодках *A* и *B* уложены поперечныя балки, покрытыя сверху настиломъ; с полученнаго такимъ образомъ помоста и производились измерения скоростей. Къ передней (у носа лодокъ) балкѣ *CC'* неподвижно прикреплена желѣзная вилка *bcd* (фиг. 7, 8); къ задней балкѣ *DD'(ll)* подвѣшены желѣзные стержни *npq* и *n'p'q*, переходящие в общую вилку *q* у носа лодокъ; эти стержни, представляющие общую раму, имѣютъ возможность вращаться около горизонтальных осей *m*. Подъемъ, закрепленіе и установка рамы совершается помощью трехъ проволочныхъ канатовъ *F*, *F'* и *G*.

Стоячая
штанга.

Подвѣшенная штанга, для избѣжанія сложныхъ приспособленій, должна быть употребляема в небольшихъ руслахъ; на рѣкахъ же измерения могутъ производиться точно при примененіи *стоячей штанги*; по которой неприкрепленный къ ней приборъ по мѣрѣ надобности можетъ быть передвигаемъ подъ водой на желаемую глубину.

Штанга *n* (подвѣсная или стоячая) обыкновенно располагается между лодками передъ балкой, лежащей выше по теченію (пунктъ *c*—фиг. 3, табл. XXI), или посрединѣ помоста в особо сдѣланномъ для сего отверстіи (фиг. 4, табл. XXI). Она можетъ быть удерживаема (фиг. 1, 2, табл. XXI) в вертикальномъ положеніи при помощи канатовъ *cc', c'', c, c''* и должна настолько выступать надъ помостомъ, чтобы ее легко было устанавливать в измеряемомъ профилѣ. Переставляемыя кольца *dd...* служатъ для направленія шнура *l* къ рамѣ счетчика.

Установка
штанги в ру-
сло рѣки.

Установка самой штанги при обыкновенныхъ условіяхъ рѣкъ не представляетъ особыхъ затрудненій. При некоторомъ навыкѣ рабочихъ,

при глубинахъ до 8 метр. и скоростяхъ до 2 метр., установка производится ручнымъ способомъ вполне легко. При большихъ скоростяхъ установка ручнымъ способомъ дѣлается невозможной. Тогда къ нижнему концу штанги прикрѣпляется канатъ или лучше цѣпь (которая затѣмъ во время измѣреній легко ложится на дно и не мѣшаетъ измѣреніямъ); она проходитъ къ лодкѣ, закоренной выше (по теченію), измѣряемого профиля. Штанга вводится въ русло выше по теченію въ косомъ положеніи; цѣпь постепенно опускаютъ, а штангу наращиваютъ, пока послѣдняя упрется въ дно и приметъ вертикальное положеніе; цѣпь совершенно укладывается на дно; штанга выправляется и весь приборъ собранный приводится въ дѣйствіе. Для подъема штанги поступаютъ обратно.

§ 20. Измѣреніе глубины помощью подвѣсной штанги совершается просто, такъ какъ приборъ прикрѣпляется къ ней въ опредѣленномъ пунктѣ; на ней нанесены дѣленія; разность отмѣтокъ (цифръ), соответствующихъ въ данный моментъ цифръ на уровнѣ поверхности воды и въ пунктѣ положенія оси прибора, даетъ глубину погруженія оси подвѣсной штанги; также найдется и полная глубина.

Измѣреніе глубины погруженія оси вертушки, и глубины всей вертикали помощью штанги и подвѣснаго каната [39, 5].

При употребленіи стоячей штанги, цѣпи или подвѣснаго проводочнаго каната, по которымъ приборъ передвигается по вертикальному направленію, измѣреніе глубины производится самимъ подвѣснымъ (для прибора) шнуромъ, находящимся въ натянутомъ состояніи.

а) При наиболѣе простомъ устройствѣ (фиг. 2, табл. XI, фиг. 5, табл. XII), когда подвѣсный шнуръ S удерживается помощью муфты $h(c)$ и зажима $k(P)$, на немъ сдѣланы дѣленія чрезъ каждый дециметръ (10 с./м.) съ выдѣленными дѣленіями метровъ и полуметровъ.

Производя измѣренія скорости, начиная отъ поверхности и кончая у дна, прежде всего приборъ устанавливается въ положеніе (фиг. 2) B_1 , чтобы ось его совпала съ уровнемъ воды; затѣмъ прикрѣпляютъ муфту h къ штангѣ A такимъ образомъ, чтобы зажимъ k совпадалъ съ дѣленіемъ шнура (проще — съ метровымъ или полуметровымъ). Отвинчиваютъ нѣсколько зажимъ k и, выпустивъ шнуръ на n дециметровъ, вновь его зажимаютъ, — слѣдствіемъ этого ось флувиометра будетъ находиться на n дециметровъ подъ уровнемъ воды, т. е. на любой требуемой глубинѣ. Полная глубина всей вертикали при положеніи прибора въ B_2 будетъ равна глубинѣ оси прибора (m дециметровъ) + постоянная величина c (разстояніе оси прибора отъ края поддона).

Если измѣреніе скоростей начинаютъ отъ дна, то когда приборъ находится въ положеніи B_2 , муфту h устанавливаютъ на штангѣ такъ, чтобы зажимъ k совпадалъ съ дѣленіемъ (метровымъ или полуметровымъ) натянутого шнура; тогда: p дециметровъ — глубина погруженія оси прибора, а $p+c$ — глубина вертикали.

в) При другомъ устройствѣ, основанномъ на *наматываніи подъемнаго шнура на барабанъ* (фиг. 3 и 4. Табл. XI; фиг. 4, табл. XII), шнуръ дѣлений не имѣеть. Но барабанъ снабженъ желобками, расположенными по винтовой линіи, и имѣеть опредѣленную длину S окружности, измѣряемую по оси намотаннаго шнура. Эта длина S равна или 0,50 метр. (фиг. 1 и 2, табл. XXIV) или $=1,0$ метр. (фиг. 3 и 4, Табл. XXIV); такъ что одинъ оборотъ барабана даетъ подъемъ или спускъ прибора ровно на 0,5 или 1,0 метр.

Если соединить съ барабаномъ циферблатъ съ дѣленіями на 50 или 100 частей и стрѣлку, укрѣпленную на его оси, то движеніе стрѣлки отъ одного дѣленія къ другому соответствуетъ подъему или спуску прибора на 1 сантим. Число оборотовъ барабана считается непосредственно наблюдателемъ, или же при помощи другой стрѣлки, движущейся медленнѣе первой¹⁹).

При употребленіи *счетчика оборотовъ* барабана подъемной лебедки самое измѣреніе глубины производится такъ. Когда плотъ установленъ, проволока съ вертушкой находится въ «творѣ вѣхъ поперечнаго профиля, то при помощи лебедки опускають вертушку настолько, что бы поддонъ ея нижней своей поверхностью коснулся горизонта воды; читають на счетчикѣ лебедки у индекса отсчетъ и опускають вертушку на дно до тѣхъ поръ, пока поддонъ не коснется дна рѣки, что узнается по слабінѣ проволоки или звонку; тогда вновь читають показаніе у индекса счетчика лебедки. Разность двухъ сдѣланныхъ отсчетовъ дастъ глубину рѣки въ данной вертикали.

ПРОЧЕТЪ

Г Л А В А VI.

Определение постоянных коэффициентовъ, или тарирование гидрометрическихъ трубокъ и вертушекъ.

[1, 13; 7; 9; 282—291; 12; 22; 28; 29; 31, т. II, 216—223; 34, 316—322; 35; 39; 47; 63; 72; 86; 94, 407—411; 116, № 7].

Поплавки (простые и двойные) и шесты даютъ, какъ мы видѣли выше, непосредственно скорость самого потока прямо дѣленіемъ пройденнаго пути на время пробѣга, выраженное въ секундахъ, почему никакой тарировки не требуютъ. Что касается гидрометрическихъ трубокъ и вертушекъ, то прежде, чѣмъ приступить къ измѣренію скоростей, всегда необходимо предварительно опредѣлить, а если уже имѣлись значенія, то вывѣрить коэффициенты ¹⁾ прибора, но не надѣяться на то, что нѣсколько мѣсяцевъ тому назадъ они были провѣрены. Къ нерѣдкимъ ошибкамъ и противорѣчіямъ приводятъ результаты окончанныхъ гидрометрическихъ работъ вслѣдствіе такого отношенія къ употребленнымъ инструментамъ, а также вслѣдствіе примѣненія давно непровѣренныхъ секундомѣровъ.

§ 1. Измѣряемое гидрометрическими приборами движеніе воды въ рѣкахъ и каналахъ есть движеніе поступательное, тогда какъ движеніе частей приборовъ, служащихъ для опредѣленія скоростей, бываетъ:

- 1) вращательное (вертушки);
- 2) поступательное, но по направленію, перпендикулярному къ направленію движенія воды (гидродинамическія трубки);
- 3) поступательное, но по направленію окружности круга (гидрометрической маятникъ) и т. д.

Такимъ образомъ, измѣряемое приборами поступательное движеніе воды выражается въ видѣ:

- 1) числа оборотовъ (вертушки),
- 2) высоты поднятія воды (трубки),
- 3) угла отклоненія отъ отвѣса (маятникъ) и т. п.

Необходимость тщательнаго опредѣленія коэффициентовъ приборовъ.

Затѣмъ это измѣненное приборами движеніе преобразовывается посредствомъ коэффициентовъ опять въ поступательное движеніе воды. Слѣдовательно, мы имѣемъ дѣло съ двоякаго рода преобразованиями измѣряемаго движенія воды, а потому коэффициенты, служащіе для такого преобразованія, должны быть очень тщательно опредѣлены.

Способы наблюденій для тарирования приборовъ.

§ 2. Способы наблюденій для нахождения коэффициентовъ разнообразятся въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, въ которыя поставлены тѣ или другія гидрометрическія работы. Изъ всѣхъ ниже перечисленныхъ способовъ, въ дальнѣйшемъ остановимся подробно лишь на наиболѣе употребительномъ. Способы эти суть слѣдующіе.

Искусственный каналъ съ извѣстной скоростью или уклономъ.

1. Производятъ наблюденія въ искусственныхъ каналахъ, въ которыхъ теченіе воды происходитъ съ извѣстной скоростью или произвольно измѣняемыми и устанавливаемыми уклонами. Приборъ стараются держать какъ можно тверже и наблюдаютъ высоты (въ трубкѣ *Darcy*) или число оборотовъ и ихъ продолжительность (въ вертушкахъ). Затѣмъ, изъ формулъ для каждого прибора ($v = \mu \sqrt{h}$; $\tau = a + \beta v$) по извѣстнымъ v и h или v и n ($= \frac{N}{t}$) опредѣляютъ численное значеніе коэффициентовъ (μ' , ϕ' , α и β).

Число опытовъ дѣлается возможно большое и за искомую принимаютъ среднюю величину коэффициента.

Скорость воды въ каналѣ предварительно опредѣляется или по формулѣ, или при помощи другого вѣвѣреннаго гидрометра или поплавка.

При небольшихъ каналахъ, какъ наприм., устроенныхъ въ лабораторіяхъ, вѣвѣряемый приборъ погружаютъ такимъ образомъ, чтобы дѣйствующая часть инструмента находилась въ центрѣ тяжести живого сѣченія канала.

Искусственный каналъ съ извѣстными распределеніемъ скоростей въ поперечномъ сѣченіи.

2. Въ томъ же искусственномъ каналѣ можетъ быть точнѣе слѣдующій способъ тарирования приборовъ.

Прежде всего необходимо допустить извѣстнымъ для данного, конечнаго искусственнаго, правильнаго русла или потока распределеніе скоростей по вертикальному и горизонтальному направленіямъ. Кривыя этихъ измѣненій вычерчиваются, какъ обыкновенно, причемъ абсциссы представляютъ разстоянія между точками, въ коихъ производится измѣренія, а ординаты — значенія этихъ скоростей; ординаты берутся въ большемъ масштабѣ, чѣмъ абсциссы.

Дѣлаютъ помощью испытываемаго прибора серію наблюденій скорости въ точкахъ одной и той же горизонтали или вертикали опытнаго поперечнаго сѣченія; вычерчиваются кривыя измѣненія скорости подобно предыдущему и въ тѣхъ же масштабѣхъ.

Сравнивая результаты и исправляя аномалии, если таковыя встрѣчаются въ результатахъ, можно опредѣлить и искомыя коэффициенты тарирования.

3. Двигаютъ гидрометръ въ водѣ, текущей съ какой либо неизвѣстной скоростью, точно наблюдая скорость движенія прибора.

Потокъ съ неизвѣстной скоростью теченія.

Достигнувъ равномерной скорости, берутъ среднее изъ чиселъ, полученныхъ при наблюденіяхъ во время движенія вверхъ и внизъ по теченію.

4. Болѣе дорогой способъ заключается въ равномерномъ движеніи даннаго прибора съ различными скоростями въ бассейнѣ стоячей (неподвижной) воды. Стоячая вода.

5. Наконецъ, для вертушки можно еще опредѣлить уравненіе тарировки, не прибѣгая ни къ какому измѣренію.

Движеніе крыла вертушки по бумагѣ.

Для этого ребро крыла двигаютъ параллельно оси вращенія по листу бумаги; получается кривая, позволяющая опредѣлить шагъ винтовой линіи крыла, а слѣдовательно можно написать и характеристическое уравненіе вращенія вертушки съ точностью до весьма небольшой дроби. Но результатъ этого способа годится только для приблизительныхъ вычисленій и не долженъ примѣняться для скоростей, меньшихъ 0,50 метра.

Наиболѣе употребителенъ способъ 4-й, на описаніи котораго мы и остановимся подробнѣе, хотя способъ 2-й ближе къ дѣйствительности, чѣмъ движеніе прибора въ стоячей водѣ.

§ 3. Обыкновенно стоячая вода помѣщается въ нарочно вырытомъ для сего или существующемъ уже каналѣ или прудѣ. Подлежащіе тарированію приборы могутъ быть передвигаемы въ такомъ бассейнѣ наблюдателемъ, идущимъ по мосткамъ съ приборомъ въ рукахъ, затѣмъ помощью лодокъ или наконецъ вагонетокъ на рельсахъ. Протяженіе опытнаго участка должно быть не менѣе 30—60 метр.

Устройства водовмѣстителей и приспособленій для производства наблюдений при тарированіи приборовъ.

Форма опыта, при которой наблюдатель самъ или рабочіе держатъ приборъ въ рукахъ, ходя взадъ и впередъ вдоль берега, мостковъ, платформы или желоба, не можетъ дать даже приближенныхъ результатовъ. Это и понятно, такъ какъ даже самая плавная походка есть результатъ поступательнаго и качательнаго движеній: вертикальнаго и горизонтальнаго; слѣдовательно, путь, проходимый вертушкой, въ дѣйствительности больше измѣреннаго. При этомъ вліяніе непрѣмныхъ спутниковъ такого движенія — толчковъ — на правильность показаній прибора также не остается безслѣднымъ. Малая длина опытнаго участка какъ напримѣръ 20 фут.) безъ сомнѣнія уменьшаетъ достовѣрность получаемыхъ результатовъ.

Передвиженіе прибора на рукахъ.

Передвиженіе
прибора по-
мощью ло-
докъ.

При передвиженіи прибора на лодкахъ можно пользоваться приспособленіями, подобными примѣненнымъ проф. *Wagner*'омъ [72, 11—14] и заключающимися въ нижеслѣдующемъ (фиг. 1 и 2, Табл. XXII).

На противоположныхъ берегахъ пруда *MM* (длиною 120 метр. и глубиною 2—3 метр.) были расположены два колеса *K, L* съ рукоятками; чрезъ эти колеса перекинуть канатъ *abcdef*, концы котораго *d* и *e* прикрѣплены къ понтону *N* изъ двухъ лодокъ, связанныхъ вмѣстѣ помостомъ на разстояніи 2,5 метр. другъ отъ друга, — такъ что при вращеніи колесъ рабочими двойная лодка съ повѣряемымъ инструментомъ перемѣщается въ ту или другую сторону. Для достиженія равномерной и опредѣленной скорости на окружности колеса, а слѣдовательно скорости движенія лодки сдѣлано слѣдующее приспособленіе. На ободѣ колеса имѣются переставляемые дубовые колышки *g, g* (толщиною 1 см.); они при вращеніи колеса заставляютъ подниматься и опускаться пружину *h*, которая можетъ быть соединена съ звонкомъ. Рабочіе должны вращать рукоятки такъ, чтобы удары звонка или падающей пружины совпадали съ тактомъ идущаго секундомѣра; для предварительнаго навыка въ этомъ, рабочимъ достаточно $\frac{1}{2}$ часа. Лодка передвигается въ секунду по желанію на 10, 20...50...100...300 с. м. соотвѣтственно разстоянію между колышками; полная длина окружности составляетъ 4 метра.

При небольшой скорости (30 сант./сек.) одинъ рабочій вращаетъ колесо прямо за ободъ; при скорости большей (1,8 метр./сек.) два рабочихъ вращаютъ колесо за рукоятки (другое колесо служить какъ направляющее); для достиженія скорости въ 3—4 метр./сек. на продолжительное время нужны 4—6 рабочихъ.

Измѣряемый путь лодокъ при работахъ проф. *Wagner*'а принимался въ 70 метр. (между створами *EF* и *GH*); остальные 25 метр. \times 2 служили для того, чтобы лодкамъ сообщить ровный ходъ къ моменту входа прибора въ створъ.

Иногда движеніе лодки производится веслами или тянуть ее за канатъ люди или лошади, идущіе по берегу въ сторону отъ воды, причемъ лодка съ наблюдателемъ должна двигаться между двумя протянутыми чрезъ прудъ параллельными веревками. Но этотъ послѣдній способъ не можетъ дать точныхъ результатовъ, хотя на практикѣ, наимѣнѣе указанныхъ болѣе или менѣе сложныхъ приспособленій, нерѣдко приходится таковымъ пользоваться. При навыкѣ разность можно сдѣлать незначительною.

При одной лодкѣ для избѣжанія большого подпора гидрометръ укрѣпляютъ на разстояніи 1,30—2,00 метр. впереди носа ея.

Сопротивленіе движенію лодокъ увеличивается, какъ извѣстно, съ квадратомъ скорости. При большихъ скоростяхъ сопротивленіе можетъ быть значительно и вызываетъ сильный подпоръ воды передъ лодками, а слѣдовательно нарушаетъ условія движенія прибора въ стоячей водѣ. Такъ, при каналѣ шириною до 8 м. и глубиною воды 1,2 м. (на первоначальной Мюнхенской гидрометрической станціи), при работѣ на колесѣ даже 6 человекъ нельзя было, вслѣдствіе большого подпора, достигнуть равномерной скорости, болѣе 2,2 метр./сек.

Передвиженіе прибора на вагонеткахъ.

Во избѣжаніе этого, для передвиженія испытуемыхъ приборовъ стали устраивать вагонетки, движущіяся по проложеннымъ надъ водою рельсамъ, такъ чтобы въ водѣ перемѣщался только приборъ съ своей штангой. Этого же повидимому хотѣли достигнуть инженеры *Бастамовъ* и *Жаринцевъ*; предложенные ими способы разсматриваются ниже въ § 16 этой же главы.

Вагонетки (дрезины) передвигаются по уложеннымъ рельсамъ помощью людей (наибольшая скорость движенія $v \leq 2$ метр./сек.), механическаго привода, паровой силы, или, наконецъ, въ послѣднее время для этой цѣли примѣняется электричество.

Аппаратъ укрѣпляютъ къ вагонеткѣ, погружая нижнюю часть его въ воду на глубину 0,5—1 метр., смотря по глубинѣ канала.

§ 4. Рельсы укладываются по обоимъ берегамъ канала и тельжка помещается надъ самимъ каналомъ. Слѣдствіемъ такого расположенія канала и рельсъ въ имѣвшихся уже устройствахъ явились слѣдующія неудобства:

Приспособленія для передвиженія вагонетокъ.

При большею частью встрѣчавшихся размѣрахъ искусственнаго канала, — ширина=1,00—1,30 метр., глубина=1,00 метр. — поперечное сѣченіе его получается незначительнымъ. Вода, вытѣсняемая поддерживаемыми гидрометръ частями, не находила выхода по сторонамъ, образовывала подпоръ передъ приборомъ и нарушала такимъ образомъ основное условіе производства наблюденій въ стоячей водѣ.

Образованіе подпора воды предъ приборомъ.

Профессоръ *Harlachner* [39,22] для тарированія своего прибора пользовался (фиг. 4, 5, табл. XXII) каналомъ шириною около 7 метр. и глубиною 1,5 метр. Рельсы уложены были на разстояніи около 9 метр. другъ отъ друга; по нимъ передвигалась тельжка шириною 4,5 метр. одинаковымъ числомъ рабочихъ съ обѣихъ ея сторонъ. Створы *MM'*, *NN'* и *PP'* ограничиваютъ опредѣленный участокъ канала, длиною $l=10$ метр. для малыхъ и $l_1=50—100$ метр. для большихъ скоростей.

Перекашиваніе тельжки.

Въ этомъ случаѣ образованіе подпора предъ приборомъ избѣгнуто, но полученіе возрастающихъ скоростей встрѣчаетъ другія неудобства, — вслѣдствіе увеличенія разстоянія между колесами и вполнѣ возможнаго перекашиванія тельжки.

Оба рельса укладываются на одном берегу. Подобное расположение имѣло мѣсто въ слѣдующихъ случаяхъ.

Приспособле-
ние для тари-
рования,
устроенное
въ Ганноверѣ.

Приспособленія, примененныя въ Ганноверѣ (фиг. 3, табл. XXII) при опытахъ *Frese* [28,912] предназначены для небольшихъ скоростей ($v \geq 2$ метр./сек.). Телѣжка имѣетъ довольно легкую конструкцію. Длина специально уложеннаго рельсового пути принята была въ данномъ случаѣ въ 45 метр.

Въ этомъ устройствѣ для опредѣленія длины пути имѣются особыя приспособленія. Снаружи телѣжки прикрѣплена цилиндрическая муфта *c*, черезъ которую наблюдатель, находящійся на телѣжкѣ, выпускаетъ на землю желѣзные заостренные внизу столбики (длиною 50 см., діам. 3 см.): одинъ, когда раздастся первый звонокъ (при концѣ его); другой—когда раздастся звонокъ при концѣ наблюденія. Расстояние между воткнувшимися въ землю колышками равно пути, пройденному приборомъ. Передвиженіе телѣжки производится помощью барабана съ тормазомъ, находящагося у конца пути, и каната.

Приспособле-
ние для тари-
рования,
устроенное
въ Венгріи.

Наиболѣе лучшее приспособленіе для тарирования гидрометровъ—примѣнялось въ Венгріи [34,319; 116, № 7] у Szolnok, при слияніи канала Millér съ р. Fizza (фиг. 6, табл. XXII), и заключается въ слѣдующемъ.

Желѣзнодорожный путь принятъ длиною въ 150 метр. съ колеей 1,20 метр. Телѣжка размѣрами $3,5 \times 1,5$ (метр.)² устроена изъ клепаннаго желѣза, на 4-хъ колесахъ, окружностью 1 метр., съ разстояніемъ между осями 3 метра. Желѣзный брусокъ *B* длиною 1,5 метр., сдѣланный достаточно жесткимъ, выступаетъ сбоку вагонетки и поддерживаетъ шесть гидрометра (въ данномъ случаѣ вертушки), въ вертикальномъ положеніи; этотъ послѣдній закрѣпленъ помощью желѣзнаго крючка *c* и канатовъ *l*. Шарниръ *s* служитъ для маневрированія вертушкой поворачиваніемъ ее къ платформѣ; рукоятка *f* позволяетъ вращать гидрометръ на 180°. На платформѣ помѣщается хронографъ съ двумя указателями и безконечной лентой, развертывающей автоматически пропорціонально длинѣ пройденнаго приборомъ пути. Длина вытянутой бумажной ленты равняется $\frac{1}{10}$ пробѣга вагонетки. Эта лента принимаетъ на себя отмѣтки секундъ въ первой строкѣ и знаки, изображающіе число оборотовъ оси вертушки во второй. Счетчикъ или электрической указатель такъ устроенъ, что возможно дѣйствіе его остановить, когда приборъ проходитъ чрезъ поперечный профиль, обозначенный вѣхами.

Удобство этого послѣдняго устройства то, что скорость движенія въ каждой точкѣ пути записывается механически на лентѣ бумаги, почему вагонетка можетъ быть передвигаема людьми только прибли-

зительно равномерно. Вагонетка легко можетъ быть перевозима и, благодаря укрѣпленію вертушки сбоку, а не съ передней части повозки, можно работать ею въ водномъ пространствѣ неограниченныхъ размѣровъ.

Помѣщаемъ ниже описанія двухъ постоянныхъ гидрометрическихъ станцій со всѣми усовершенствованіями, при которыхъ возможно получение болѣе или менѣе точныхъ значеній коэффициентовъ приборовъ.

§ 5. За недостаткомъ средствъ въ 1882 году была устроена лишь предварительная станція въ большомъ водоемѣ „Kaiser-Bassin“. Подлежащіе тарировкѣ приборы передвигались въ бассейнѣ помощью двухъ связанныхъ между собою лодокъ совершенно такимъ образомъ, какъ то дѣлалъ проф. *Wagner* (см. выше § 3 этой же главы). Длина участка была принята въ 80 метр. Затѣмъ, уже въ 1884 году были отпущены средства на переустройство станціи и явилась возможность ввести нѣкоторыя улучшенія.

Прежде всего отказались отъ движенія прибора помощью лодокъ; затѣмъ, примѣнили для движенія паровую силу; устранили, насколько было можно, наблюдателя отъ управленія движеніемъ и приборомъ, примѣнивъ соотвѣтственные механическія приспособленія; наконецъ,— въ видахъ возможнаго сбереженія времени, сдѣлали возможнымъ движеніе прибора по обоимъ направленіямъ.

Опытное русло (фиг. 12) имѣло размѣры: длина 140 метр., средняя ширина 8 метр., глубина воды (дно ниже уровня грунтовыхъ водъ)=1,2 м. Вдоль этого водоема, посрединѣ, забиты въ разстояніи 1,50 м. другъ отъ друга два ряда свай; на нихъ насадками положены прогоны, а на послѣднихъ уложенъ легкой рельсовый путь (фиг. 8). Опытный участокъ пути протяженіемъ въ 100 метр. строго горизонталенъ; по концамъ его такимъ образомъ остаются еще части пути по 20 метр. длиной, имѣющія къ нему уклонъ въ 0,015. По этому пути ходить особо приспособленная платформа, спереди которой придѣлана деревянная рама. Къ этой рамѣ прикрѣпляется помощью особыхъ винтовыхъ зажимовъ *ff* штанга вертушки; приспособленіе *gg* служитъ для перестановки вертушки на 180° при обратномъ движеніи платформы.

Телѣжка передвигается при помощи проложеннаго сбоку ея безконечнаго каната. Одинъ конецъ каната прикрѣпленъ къ платформѣ наглухо, другой къ барабану ворота *P* и можетъ быть на него накрученъ съ желаемымъ натяженіемъ и закрѣпленъ помощью храпового колеса съ собачкою. Нажимомъ ноги на удлинненный конецъ рычага собачки можно отпустить колесо и барабанъ и тѣмъ прекратить движеніе платформы. Для остановки вагона кромѣ того имѣется особый

Прежняя гидрометрическая испытательная станція [141] Техническаго училища въ Мюнхенѣ. (Табл. XXII, фиг. 8, 9, 11, 12).

тормозъ, приводимый въ движеніе рычагомъ *L*. Вдоль пути канатъ поддерживается рядомъ деревянныхъ направляющихъ блоковъ; по концамъ же расположены два колеса: одно *M*—направляющее—ведомое, другое *N*—ведущее, или движущее (фиг. 9). Последнее на своей окружности имѣетъ рядъ желобковъ для образованія шкивовъ различнаго діаметра, чтобы при одинаковой угловой скорости вращенія колеса сообщать платформѣ различную скорость въ зависимости отъ того, на какой желобокъ накинута канатъ. На одной оси съ этимъ колесомъ насажены еще три, изъ которыхъ одно наглухо, а два—холостые—вольно.

Локомотивъ имѣетъ широкій ременной шкивъ, соединенный съ приводными двумя ремнями—прямымъ и перекрестнымъ. Эти ремни помощью особыхъ вилокъ могутъ быть передвигаемы такимъ образомъ, что

- 1) оба ремня будутъ на холостыхъ шкивахъ—движенія телѣжки нѣтъ;
- 2) перекрестный на холостомъ, а прямой на движущемъ шкивахъ—прямой ходъ телѣжки;
- 3) прямой на холостомъ, а перекрестный на движущемъ шкивахъ—обратный ходъ телѣжки.

Равномѣрность движенія наблюдается особымъ счетчикомъ оборотовъ и регулируется большимъ или меньшимъ впускомъ пара. Кромѣ того, дѣйствительная скорость движенія опредѣляется при помощи электричества и хронографа. Въ особомъ помѣщеніи установлена сильная электрическая батарея и хронографъ. Прямой проводъ идетъ вверху, обратный по прогону вдоль пути. Кромѣ хронографа въ цѣль включены 6 прерывателей тока черезъ каждые 20 метр. пути. Устройство прерывателей заключается въ слѣдующемъ. (Фиг. 11). Токъ идетъ по проводу *aa* черезъ широкую спиральную пружину *b*. Последняя укрѣплена въ *d* и другимъ свободнымъ концомъ прижимается къ винту *c*. Роликъ *R*, прикрѣпленный къ рамѣ телѣжки, проходя надъ пружиной, отжимаетъ пружину отъ винта и тѣмъ прерываетъ токъ. Такимъ образомъ проходъ платформы передается хронографу,—получается нѣкоторое искривленіе прямой линіи, чертимой перомъ, соединеннымъ съ якоремъ. На бумажной полоскѣ одновременно записывается время другимъ перомъ, соединеннымъ съ электрическими часами. Сравнивая записи обоихъ перьевъ легко опредѣлить среднія скорости на отдѣльныхъ участкахъ въ 20, 40, 60, 80 метр., а также и на всемъ пути въ 100 метр. Полоска бумаги движется со скоростью 1 сант./сек. Припособленія *S*, *T*, *T*₁, *B*, *E*, *F* (фиг. 8 и 11) устроены для автоматическаго включенія и выключенія вертушки при механическомъ счетчикѣ числа оборотовъ оси ея. Число оборотовъ вертушки также записывается хро-

нографомъ, и, такимъ образомъ, на бумажной полоскѣ получается весь матеріалъ, необходимый для опредѣленія коэффициентовъ вертушки.

§ 6. Созданная въ 1884 году профессорами *Bauernfeind* омъ и *Frauenholz* емъ съ помощью *A. Frank* а, эта опытная станція перенесена въ 1893 году ближе къ Училищу и, пользуясь переустройствомъ, примѣнены были вновь возможные улучшения и усовершенствованія [63,917—919].

Новая Мюнхенская опытная станція²⁾ при Техническомъ училищѣ.

Устроены опытный бетонный каналъ длиною 108 метр.; шириною 1,2 м.; глубиною 1,0 м., питающийся изъ городского водопровода. Рельсовый путь для вагонетки—по обѣ стороны канала. Вагонетка (фиг. 10 и 7.^а Табл. XXII) съ платформой въ 2,5 метр. длины, такъ что на ней могутъ помѣщаться, кромѣ приборовъ для наблюденій, наблюдатель и 2—3 помощника. Штанга прибора укрѣпляется особыми зажимами вверху, чтобы возможно уменьшить поддерживающія части внизу и тѣмъ исключить или въ крайнемъ случаѣ значительно ослабить могущій образоваться подпоръ предъ штангой. Вагонетка можетъ приводиться въ движеніе съ платформы помощью рукоятки *A* и зубчатыхъ колесъ съ маховикомъ. Кромѣ того подъ сидѣньемъ наблюдателя имѣется динамомашинка съ напряженіемъ въ 130 вольтъ, дѣйствующая на зубчатую шестерню движущей оси; токъ получается изъ аккумуляторной батареи со станціи электрическаго освѣщенія Училища. Скорость движенія можетъ значительно измѣняться, включеніемъ сопротивленій, и при полномъ токѣ доходить до 4 метр./сек. Переключатель позволяетъ мѣнять направленіе тока, а слѣдовательно и направленіе движенія вагонетки. Для управленія скоростью движенія и остановкой служатъ реостатъ съ рукояткой и двойной тормозъ *B*. Токъ отъ соединенія съ освѣтительной линіей до рельсъ идетъ по подземному свинцовому кабелю; этотъ послѣдній соединяется въ началѣ канала съ двумя свободно лежащими мѣдными проводниками, идущими вдоль внутреннихъ стѣнокъ канала по каучуковымъ изоляторамъ *C*. Концы проводниковъ снабжены изолированными приспособленіями для натяженія, находящимися въ ближайшемъ на концѣ канала сараѣ. Подъ вагонеткой расположены на соответственныхъ разстояніяхъ два контактные ролика *D*, скользящіе по проводникамъ и передающіе токъ мотору.

Для опредѣленія пройденныхъ разстояній сдѣлано слѣдующее приспособленіе. Имѣется еще одинъ внутренний рельсъ, на поверхности котораго чрезъ каждые 5 метр. имѣются желѣзные скобочки (выступы), возвышающіяся надъ головкой рельса на 2 см. Контактный рычажекъ *E*, прикрѣпленный сзади вагонетки и спускающийся почти до рельса, при движеніи касается вышеуказанныхъ выступовъ. Въ моментъ этого касанія раздается звонокъ *G* и одновременно прерывается токъ хро-

нографа *Ch*, который на ряду съ этими, соотвѣтствующими каждымъ 5 метрамъ, значками (черточками) постоянно записываетъ (также черточками) показанія секундобра, работающаго перерывами тока. Такимъ образомъ, наблюдатель можетъ слѣдить за пройденнымъ разстояніемъ по сигнальному звонку *G* съ хроноскопомъ въ рукѣ или же записывать перерывы тока при помощи хронографа.

Если хронографъ одновременно записываетъ число оборотовъ оси вертушки, то слѣдовательно имѣются всѣ величины, нужныя для опредѣленія коэффициентовъ вертушки. При повѣркѣ вертушекъ съ колеснымъ счетчикомъ обходятся безъ хронографа. Въ теченіе 2 часовъ можно произвести до 100 полныхъ наблюденій, считая со всѣми приготовлениями, вспомогательными работами и даже мелкими починками приборовъ. Тогда какъ при устройствѣ въ Венгріи тарированіе каждаго прибора требуетъ нѣсколькихъ дней.

За тарированіе на мюнхенской станціи каждаго прибора, независимо отъ размѣровъ и конструкціи, установлена Министерствомъ такса въ 50 марокъ, или около 23 рублей.

§ 7. Испытательный бассейнъ новаго Адмиралтейства въ С.-Петербургѣ служитъ для опредѣленія сопротивленія воды движенію моделей (изъ парафина) строящихся судовъ³⁾. Какъ увидимъ изъ ниже помѣщаемаго описанія, здѣсь имѣются всѣ приспособленія для точнаго опредѣленія коэффициентовъ вертушки (фиг. 1—6, табл. XXIII).

Бассейнъ (каналъ) длиною 390 фут., шириною 22 фут. и глубиною 10 фут. расположенъ въ узкомъ одноэтажномъ зданіи. Вдоль канала по обѣимъ береговымъ стѣнкамъ уложены рельсы *m* (фиг. 3), по которымъ движется устроенная изъ деревянныхъ брусковъ телѣжка *AA* (фиг. 1); общій вѣсъ телѣжки съ приспособленіями около одной тонны. На этой телѣжкѣ, между другими, соотвѣтствующими назначенію, приспособленіями имѣются слѣдующія:

Столъ *BB*, на которомъ расположена (фиг. 2) доска *C* съ установленными на ней 4-мя электромагнитами; около каждаго изъ послѣднихъ помѣщена горизонтальная упругая струнка, оканчивающаяся вертикальнымъ перомъ; всѣ перья расположены въ одной вертикальной плоскости.

Подъ столомъ *BB* помѣщаются два ящика съ аккумуляторами *D* и *E*.

Деревянный валъ *F*, съ осью, параллельной плоскости перьевъ, на особыхъ станинахъ, вращеніе которому передается отъ колеса телѣжки соотвѣтственно скорости движенія послѣдней; на немъ намотана бумажная лента *G*, приходящаяся какъ разъ подъ перьями.

Испытательный бассейнъ въ С.-Петербургѣ.

Столъ съ электромагнитами.

Аккумуляторы.

Валъ съ бумажной лентой.

На столѣ *BB* находятся часы *H*, соединенные проводами (I) съ аккумуляторами и электромагнитомъ (I). (Фиг. 6). Часы.

Къ рамѣ телѣжки *A* снизу придѣланъ брусокъ *K* (фиг. 3), снабженный металлической пластинкой *a*; этотъ послѣдній скользятъ по бруску *L*, на которомъ чрезъ каждые 12,5 фут. вдѣланы металлическія пластинки *b*; посредствомъ проводовъ пластинка *a* соединяется съ аккумуляторомъ и электромагнитомъ (II). (Фиг. 6). Измѣреніе разстояній.

Двѣ деревянныя колодки *N* и *P* (фиг. 1), помощью которыхъ могутъ быть прикрѣплены вертушки на штангахъ къ переднему брусу телѣжки; счетные механизмы вертушекъ должны быть соединены проводами съ аккумуляторами и электромагнитами (III) и (IV). (Фиг. 6). Прикрѣпленіе вертушекъ.

Общее расположеніе электрической передачи показано на фиг. 6. Передача.

Телѣжка можетъ быть приведена въ движеніе съ различными скоростями паровой машиной или 4-мя рабочими, идущими вдоль канала и приученными предварительно шагать по метроному. Движущая сила

Во время этого движенія работаютъ все четыре пера; электромагниты, по мѣрѣ возбужденія и прекращенія въ нихъ тока, притягиваютъ и отталкиваютъ соотвѣтствующія струнки, причемъ перья чертятъ на вращающейся вмѣстѣ съ валомъ бумажной лентѣ различныя кривыя. Такъ: Вычерчиваемыя на лентѣ кривыя

- 1) Для электромагнита (I), послѣ каждой четверти секунды токъ прерывается, соотвѣтствующая электромагниту (I) струнка отталкивается и перо чертитъ на лентѣ ломаную линію времени въ секундахъ вида *MN* (фиг. 4), по которой дѣлается отсчетъ времени. Каждое дѣленіе ломаной линіи соотвѣтствуетъ четверти секунды; чрезъ каждыя 10 секундъ получаютъ болѣе длинныя горизонтальныя черты.
- 2) Для электромагнита (II). Цѣпь замыкается въ тѣ моменты, когда при движеніи телѣжки пластинка *a* (фиг. 3) приходитъ въ соприкосновеніе съ планкою *b* на продольномъ брускѣ *L*. При этомъ соотвѣтствующая упругая струнка притягивается и отталкивается отъ электромагнита, а перо чертитъ кривую разстояній вида *PQ* (фиг. 4).
- 3) Для электромагнитовъ (III) и (IV). Черезъ каждые 100 оборотовъ вертушки токъ замыкается и вмѣсто того, чтобы, какъ при обыкновенномъ дѣйствіи ея давать звонокъ, направляется въ соотвѣтствующіе электромагниты; причемъ во время дѣйствія замыкателя соотвѣтствующія упругія струнки притягиваются къ электромагнитамъ и по прекращеніи дѣйствія отталкиваются; при этомъ перья струнки чертятъ на каждыя 100 оборотовъ вертушки ломаную линію *mn* вида *RS* (фиг. 4).

Видъ ленты,
связанной съ ба-
рабана.

Бумажная лента, снятая съ барабана, съ начерченными на ней ломаными линиями имѣетъ видъ по фиг. 5. Такимъ образомъ, сразу на одной бумажной лентѣ получается все необходимое для вычислений и составленія таблицъ результатовъ; имѣется (для каждой ленты особо) рядъ величинъ: для числа оборотовъ $N=100$ или кратному отъ 100; для времени t въ секундахъ; для пройденнаго телѣжкой пути s ; для $v = \frac{s}{t}$ въ секунду; для $n = \frac{N}{t}$ въ секунду.

Испытатель-
ный бассейнъ
въ Вашинг-
тонѣ.

§ 8. Вышеописанный испытательный бассейнъ въ Петербургѣ устроенъ по типу водоема *W. Froude'a* въ Torquay (1870 г.) и въ Haslar 'b (близь Portsmouth 'a)—въ Англии; подобныя же устройства появились затѣмъ въ Италіи и Шотландіи (Glasgow).

Наконецъ, въ послѣднее время (1899 г.), для испытанія моделей строящихся судовъ выстроенъ въ Washington 'b¹³) бассейнъ совершенно особаго устройства (фиг. 1—3, Табл. XXVIII) съ самостоятельно выработанными приспособленіями. для наблюденій, передвиженія платформы и изготовленія моделей [142,2—4]. Этотъ бассейнъ (фиг. 1, 2) превосходитъ размѣрами (500 фут.×50 фут.) все другія существующія подобныя устройства; площадь, занятая водою, равна 470 фут.×43 фут.; глубина воды $14\frac{2}{3}$ фут. Каналь трапецидальнаго сѣченія (фиг. 1); общая толщина дна и стѣнокъ его по 25 дм. и состоитъ изъ слѣдующихъ слоевъ (фиг. 3): непосредственно на грунтѣ *aa*—слой *bb* бутовой кладки (12"), на немъ слой *cc* бетона (3") и слой *dd* асфальта ($\frac{1}{8}$ "), далѣе—слой *ee* бетона (9") съ проволочнымъ каркасомъ *ff* внутри и, наконецъ, асфальтовая смазка *gg* ($\frac{1}{8}$ "). На фиг. 2 обозначено: *A* — машинное зданіе, *mm* — мѣсто для наблюдателя. Общій вѣсъ платформы 25 тоннъ; она приводится въ движеніе электричествомъ съ различными, по желанію, скоростями, отъ 10 до 2000 фут. въ минуту. Здѣсь, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, все имѣющіяся приспособленія могутъ съ успѣхомъ служить и для тарирования гидрометрическихъ приборовъ.

Опредѣленіе
коэффициента
для трубки
Darcy.

§ 9. Въ бассейнѣ стоячей воды передвигаютъ приборъ однимъ изъ указанныхъ только что наиболѣе точныхъ, по мѣстнымъ условіямъ, способамъ, предварительно избравъ длину опыта участка s . Во время движенія замѣчаютъ показаніе прибора ⁴⁾, или разность: $h_1 - h_2$ и кромѣ того наблюдаютъ по секундомѣру моменты T_1 и T_2 прохода прибора черезъ створы начала и конца участка. Находятъ затѣмъ значеніе $t = T_2 - T_1$ секундъ и соответствующую скорость движенія трубки

$$v_n = \frac{s}{t} \text{ метр./сек.}$$

Теперь уже изъ формулы даннаго прибора:

$$v_n = \mu' \cdot \sqrt{h_1 - h_2} = \varphi' \cdot \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

легко получить соответственный коэффициентъ μ' или φ' .

Необходимо сдѣлать возможно большое число наблюдений и притомъ для различныхъ скоростей по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ, предполагаемыхъ къ измѣренію. Имѣя рядъ уравненій: $v_n = \mu' \cdot \sqrt{h_1 - h_2}$ съ различными значеніями v и $(h_1 - h_2)$, коэффициентъ μ' можно вычислить изъ нихъ какъ среднее арифметическое или, точнѣе, по способу наименьшихъ квадратовъ по формулѣ:

$$\mu' = \frac{\sum v \cdot \sqrt{h_1 - h_2}}{\sum (h_1 - h_2)}$$

Такъ, для примѣра, пусть будетъ $s=60$ метр. и нѣсколько число-

Численный
примѣръ.

выхъ найденныхъ значеній ⁵⁾:

1) $t=60$ сек. — $v = \frac{s}{t} = \frac{60}{60} = 1$ метр./сек. — $h_0 = h_1 - h_2 = 38$ мм. = 0,038 метр.

По подстановкѣ этихъ извѣстныхъ въ вышеуказанную формулу трубки, найдемъ:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{0,038}} = \frac{1}{0,195} = 5,13.$$

2) $t=30$ сек. — $v=2$ метр./сек. — $h_0=130$ мм. = 0,130 метр.

$$\mu = \frac{2}{\sqrt{0,130}} = \frac{2}{0,361} = 5,54.$$

3) $t=120$ сек. — $v=0,5$ метр./сек. $h_0=13$ мм. = 0,013 метр.

$$\mu = \frac{0,5}{\sqrt{0,013}} = \frac{0,5}{0,114} = 4,38.$$

Средняя величина этого коэффициента:

$$\mu' = \frac{\sum \mu}{n} = \frac{5,13 + 5,54 + 4,38}{3} = 5,02.$$

Не всегда, конечно, очень большое число наблюдений ведетъ къ правильному и точному опредѣленію коэффициента. Вообще же рекомендуется какъ при тарировкѣ, такъ и при измѣреніяхъ избирать такой способъ, при которомъ по возможности устранялись бы или значительно уменьшались бы источники ошибокъ, что практичѣе, чѣмъ уничтожать ошибки количествомъ опытовъ.

Число
наблюдений.

Другой способ определения коэффициента.

Кромѣ того, можно вывести этотъ коэффициентъ чрезъ сравненіе показаній данного прибора съ показаніями другихъ, вывѣренныхъ уже приборовъ—поплавокъ, трубокъ или вертушекъ, поставленныхъ въ одинаковыя условія. Для большей увѣренности въ точности произведенной работы все числа должны быть получаемы, по крайней мѣрѣ, двумя разными путями и каждое вычисленіе должно дѣлаться не менѣе 2-хъ разъ.

Определение коэф-та для каждой трубки.

Тарированіе трубки *Darcy* и поверхностнаго тахиметра *Ritter*'а съ введеніемъ въ формулу трубки вмѣсто коэффициента ϕ' равнознач-

ной ему величины $\sqrt{\frac{1}{\mu} + \frac{1}{\mu_1}}$, причемъ μ и μ_1 —коэффициенты, определяемые для каждой трубки (изъ двухъ на приборѣ) отдѣльно, см. [3; 57; 12,140—142].

Предѣльные значенія коэф-циента.

Въ большинствѣ случаевъ [134,207] для прибора *Darcy* $\phi'=1$ и $\mu'=4,43$.

Крайніе же предѣлы для $\phi': 0,80 \dots \dots \dots 1,15$.

и соотвѣтственно этому для $\mu': 3,54 \dots \dots \dots 5,10$.

Примѣръ точнаго тарирования трубки *Darcy*.

§ 10. Какъ примѣръ веденія точнаго тарирования приборовъ, приведемъ определеніе коэффициента ϕ' трубки *Darcy*, производившееся *Vazin*'омъ [5,63—70] на каналѣ прямоугольнаго сѣченія шириною не менѣе 2 метр., чтобы уменьшить возможные неточности отъ неправильности движенія поплавокъ. Этотъ коэффициентъ определенъ имъ тремя способами.

Первый способъ.

Сравненіе величинъ наибольшей поверхностной скорости потока, измѣренныхъ поплавкомъ и трубкой.

Обозначеніе серий опытовъ.	Значеніе коэф-та ϕ' .	Число сдѣланныхъ наблюденій.	Обозначеніе серий опытовъ.	Значеніе коэф-та ϕ' .	Число сдѣланныхъ наблюденій.
2	0,987	8	10	1,008	4
3	1,021	8	11	1,009	4
4	0,981	8	12	1,007	4
5	1,013	8	13	1,015	4
6	1,006	8	14	1,039	4
7	0,988	8	15	0,991	4
8	1,012	8	16	1,007	4
9	1,008	4	17	1,023	4

Исключены были наблюденія при очень малой глубинѣ потока, когда скорость, даваемая поплавками, была очень сомнительна; при широких (≥ 2 м) руслахъ неточности вслѣдствіе несовпаденія траекторій поплавка съ осью потока для шахим'альной поверхностной скорости были незначительны.

Среднее изъ 92 наблюденій, помѣщенныхъ въ таблицѣ: $\phi'=1,006$.

Передвиженіе инструмента въ стоячей водѣ съ нѣкоторою опредѣленною скоростью. Опыты производились на Бургундскомъ каналѣ; движеніе лодки съ инструментомъ производилось людьми, ибо лошади не могли двигаться со скоростью однообразною; путь былъ въ 450 метр. и состоялъ изъ 9-ти участковъ по 50 метровъ для наблюденія времени.

Второй способ.

Скорость лодки метр.	Полученный коэф-тъ φ' .	Число наблюденій.	Скорость лодки метр.	Полученный коэф-тъ φ' .	Число наблюденій.
0,609	1,040	2	1,500	1,040	1
0,692	1,033	1	1,611	1,033	2
0,785	1,032	3	1,661	1,027	1
0,838	1,033	1	1,773	1,042	1
0,980	1,040	3	1,819	1,031	3
1,120	1,015	1	1,863	1,027	3
1,231	1,028	1	1,930	1,039	1
1,333	1,032	1	1,976	1,023	4
1,385	1,048	1	2,031	1,037	1
1,470	1,029	1			

Общее среднее значеніе получилось: $\varphi'=1,034$. Найденная величина признана преувеличенной вслѣдствіе слѣдующихъ причинъ: 1) лодка не всегда двигалась въ направленіи своей оси, а значить инструментъ двигался не всегда по нужной линіи пробѣга; 2) кромѣ этого уклоненія въ горизонтальной плоскости, было таковое и въ вертикальной, особенно при большихъ скоростяхъ; 3) передъ лодкой образовывался подпоръ воды. Всѣ эти причины уменьшали разность высотъ въ трубкахъ, а вслѣдствіе этого увеличивали коэффициентъ трубки.

Сравненіе величинъ расхода: а) опредѣленнаго пропускомъ воды опытнаго канала чрезъ щитовыя отверстія и б) полученнаго измѣреніемъ скоростей въ большомъ числѣ точекъ поперечнаго сѣченія того же канала помощью трубки.

Третій способ.

№№ серий наблюденій.	№№ выбранныхъ наблюденій изъ каждой серии.	Значеніе коэф-та φ' .	№№ серий наблюденій.	№ № наблюденій.	Коэф-тъ φ' .
51	1	1,021	66	1	1,013
"	2	1,010	"	2	1,081
"	3	1,018	68	4	0,976
52	1	1,029	71	6	0,968
"	2	1,000	72	5	1,047
"	3	1,006	73	4	0,967
58	4	1,005	74	4	1,014
59	4	0,969	84	2	1,014
60	2	0,968	"	3	0,981
61	4	0,966	85	1	0,998
62	4	0,965	"	2	0,997
63	3	0,988	"	3	0,990
64	1	0,966	88	1	0,995
"	2	0,988	"	2	0,986
65	4	0,978	"	3	0,980
			"	4	0,993

Получено среднее значеніе: $\varphi=0,993$.

Для дальнѣйшихъ работъ было принято ϕ' , — среднее изъ 1,006 и 0,993, равное 1—цѣ; значеніе 1,034, какъ преувеличенное, отброшено, и такимъ образомъ для облегченія подсчетовъ *Bazin* взялъ $\phi'=1$.

Нѣкоторые
численныя
значенія ко-
эффициента
трубки
Darcy.

Этотъ коэффициентъ не можетъ быть принятъ одинаковымъ для всѣхъ приборовъ этого типа, а можетъ колебаться въ значительныхъ предѣлахъ, что мы видимъ изъ нижеслѣдующей таблицы, въ которой приведены для различнаго устройства трубокъ найденныя гидравликами значенія величины коэффициента ϕ' .

№ №	Расположеніе отверстій.	Наблюдатель.	ϕ'	Условія наблюденій.
1	Мундштукъ b' расположенъ противъ теченія, а a' — внизу подъ прямымъ угломъ къ первому.	<i>Darcy</i> ⁶⁾	0,81	.....
2	Какъ № 1.....		<i>Darcy</i> и <i>Bazin</i> ⁷⁾	0,993	При помощи сравненія расхода воды въ искусств. каналѣ, измѣреннаго истеченіемъ чрезъ отверстія съ таковымъ же, опредѣленнымъ трубкою.
		1,006		При помощи поплазка.
			1,034	Движеніемъ въ стоячей водѣ.
3	b' —противъ теченія, a' — подъ прямымъ угломъ внизу.....	<i>Baumgarten</i> ⁸⁾	0,818	При помощи поплазка.
			0,797	Въ стоячей водѣ.
4	b' —противъ теченія, a' —подъ прямымъ угломъ сбоку.....		0,873	При помощи поплазка.
			0,864	Въ стоячей водѣ.
5	b' — противъ теченія и a' —по теченію....		0,988	При помощи поплазка.
			0,991	Въ стоячей водѣ.
6	Какъ № 1... ..	<i>Rühlmann</i>	0,880	} По сравненію съ вертущей <i>Woltmann</i> 'а.
			0,907	
7	тоже.....	<i>Grebenaу</i>	0,810	При помощи поплазка.
8	тоже.....	<i>Tulle</i> ⁶⁾	0,723	При помощи искус. кан.
			1,020	Движеніемъ въ стоячей водѣ.
9	тоже.....		1,130	Тоже, соответственно $\mu'=5$.
10	.....	<i>Salleron</i> ⁶⁾	1,00	.....
11	.....	..... ⁹⁾	0,933	.....

Примѣчаніе. Для №№ 3, 4 и 5 скорости измѣнялись въ очень большихъ предѣлахъ; каждый изъ этихъ коэффициентовъ есть средній результатъ изъ очень большого числа опытовъ.

§ 11. Для трубки *Frank'a* точное нанесение дѣлений шкалы опредѣляется вычислениемъ и путемъ сравненія съ провѣренными нормальными приборами.

Трубка
Frank'a.

§ 12. Для тарировки своей трубки *Ritter* соединяетъ ее съ вывѣренной вертушкой (фиг. 4, Табл. V) или, наоборотъ, для тарировки вертушки соединяетъ послѣднюю съ вывѣренной трубкой и опускаетъ сразу все на извѣстную глубину. Такимъ образомъ получается на манометрѣ скорость потока, а звонокъ даетъ число оборотовъ вертушки. Слѣдовательно имѣется все, что нужно для опредѣленія того или другого изъ коэффициентовъ по извѣстному вывѣренному одному изъ нихъ.

Трубка
Ritter'a.

§ 13. Имѣется нѣсколько способовъ вычисленія коэффициентовъ α и β , нужныхъ для тарированія вертушекъ. Ниже помѣщаются описанія этихъ способовъ, начиная отъ наиболѣе простыхъ и приближенныхъ и переходя къ болѣе точнымъ. Во избѣжаніе повторенія, описанія простыхъ дѣйствій съ приборомъ, общихъ и для трубки, въ дальнѣйшемъ изложеніи опущены. Способы эти суть слѣдующіе.

Способы вычисленія коэффициентовъ вертушекъ, скорость которыхъ выражается простейшей формулой:
 $v = \alpha + \beta n$.

Опытомъ опредѣляютъ наименьшую скорость $v_0 = \alpha$, при которой только что начинается вращеніе вертушки. Затѣмъ при движеніи прибора въ стоячей водѣ со скоростями $v_1, v_2, v_3, \dots, v_m$ получаются и соответствующія числа оборотовъ вертушки въ секунду $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$, такъ что можно написать m уравненій съ одною неизвѣстною β въ каждомъ:

Опредѣленіе каждого коэффициента отдѣльно.

$$v = \alpha + \beta n_1$$

$$v_2 = \alpha + \beta n_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$v_m = \alpha + \beta n_m$$

Отсюда опредѣляется m численныхъ значеній для β . Средняя арифметическая изъ нихъ будетъ представлять искомый коэффициентъ.

Простѣйшій и вмѣстѣ съ тѣмъ наиболѣе приближенный способъ соответствуетъ опредѣленію α и β только изъ двухъ наблюденій.

Опредѣленіе коэффициентовъ только изъ двухъ наблюденій.

Пусть скорости движенія лодки будутъ v_1 и v_2 , гдѣ: $v_1 = \frac{s_1}{t_1}$ и $v_2 = \frac{s_2}{t_2}$; причеиъ s_1 и s_2 —пути пробѣга, а t_1 и t_2 —время пробѣга въ секундахъ. Соответственные числа оборотовъ въ секунду n_1 и n_2 , гдѣ: $n_1 = \frac{N_1}{t_1}$ и $n_2 = \frac{N_2}{t_2}$, причеиъ N_1 и N_2 —общее число оборотовъ за все время движенія t_1 и t_2 сек.

Тогда получаются два уравнения съ двумя неизвѣстными:

$$\begin{aligned} v_1 &= \alpha + \beta n_1 \\ v_2 &= \alpha + \beta n_2, \end{aligned}$$

изъ которыхъ легко найти α и β ; получимъ:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{v_1 - v_2}{n_1 - n_2} \\ \beta &= \frac{v_1(n_1 - n_2) - n_1(v_1 - v_2)}{n_1 - n_2}. \end{aligned}$$

Опредѣленіе коэффициентовъ способомъ наименьшихъ квадратовъ (точное).

Обыкновенно примѣняютъ слѣдующій хотя и болѣе сложный, но за то и болѣе точный приемъ.

Тѣмъ или инымъ изъ указанныхъ выше способовъ передвигаютъ вертушку на одной и той же длинѣ s пути въ стоячей водѣ съ различными скоростями $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ и замѣчаютъ всѣ элементы 6-ти первыхъ графъ нижеслѣдующей таблицы ¹⁰⁾.

№ наблюд.	Длина пробѣга = s метр.	Время t сек.	Число оборотовъ N за время t сек.	Число оборотовъ n въ сек. $\frac{N}{t}$.	Скорость v метр. въ сек. $\frac{s}{t}$.	N^2 .	t^2 .	ts .	tN .	Ns .
1	40 метр.	17,6	160	—	2,27	25.600	309,76	704	2.816,0	6.400
2		—	—	—	—	—	—	—	—	—
—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
—		—	—	—	—	—	—	—	—	—
41		627,0	26	—	0,063	676	393.129,00	25.080	16.302,0	1.040
Сумма Σ			6.182	—	—	977.120	1.223.058,39	164.764	434.986,1	247.280
—			$\Sigma(N)$	—	—	$\Sigma(N^2)$	$\Sigma(t^2)$	$\Sigma(ts)$	$\Sigma(tN)$	$\Sigma(Ns)$

Цифры, указанные въ пяти послѣднихъ графахъ таблицы получаютъ затѣмъ изъ первыхъ перемноженіемъ или возведеніемъ ихъ въ квадратъ.

Обыкновенно этихъ наблюдений дѣлаютъ до 100 ¹¹⁾.

Когда всѣ величины, означенныя въ этой таблицѣ, вычислены для всѣхъ наблюдений, то, не вычисляя еще цифръ послѣдней горизонтальной графы, вычерчиваютъ кривую зависимости v и n , подобно указанной на фиг. 11, Табл. XX; для этого откладываютъ въ прямоугольныхъ координатахъ по оси абсциссъ значенія n , а по оси ординатъ— v въ такомъ масштабѣ, чтобы получить рядъ точекъ на нѣско-

торомъ разстояніи другъ отъ друга. Возможно большее число этихъ точекъ соединяють нѣкоторою павною кривою. Всѣ точки, значительно отстоящія отъ кривой, а также и соотвѣтствующія имъ данныя наблюденій отбрасываются, и только изъ остальныхъ дѣлается вычисленіе коэффициентовъ по формуламъ способа наименьшихъ квадратовъ ¹²⁾:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{\Sigma(N^2) \cdot \Sigma(t \cdot s) - \Sigma(t \cdot N) \cdot \Sigma(N \cdot s)}{\Sigma(t^2) \cdot \Sigma(N^2) - [\Sigma(t \cdot N)]^2} \\ \beta &= \frac{\Sigma(t^2) \cdot \Sigma(N \cdot s) - \Sigma(t \cdot N) \cdot \Sigma(t \cdot s)}{\Sigma(t^2) \Sigma(N^2) - [\Sigma(t \cdot N)]^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (I)$$

Тѣ же коэффициенты можно опредѣлить то же способомъ наименьшихъ квадратовъ, вводя нѣкоторые другіе элементы [86, 716—718], а именно:

Опредѣленіе коэффициентовъ способомъ наименьшихъ квадратовъ (упрощенное).

Для уравненія $v = \alpha + \beta n$ ищутъ minimum выраженія для функціи:

$$\text{Min } \Sigma(\alpha + \beta n - v)^2.$$

Для этого имѣется:

$$\frac{df}{d\alpha} = \Sigma(\alpha + \beta n - v) = m\alpha + \beta \Sigma n - \Sigma v = 0.$$

$$\frac{df}{d\beta} = \Sigma n(\alpha + \beta n - v) = \alpha \Sigma n + \beta \Sigma(n^2) - \Sigma(nv) = 0.$$

гдѣ m —число наблюденій; остальные буквы имѣють прежнія значенія.

Изъ этихъ двухъ уравненій находимъ:

$$\beta = \frac{m \Sigma(nv) - \Sigma v \cdot \Sigma n}{m \Sigma n^2 - (\Sigma n)^2}.$$

$$\alpha = \frac{\Sigma v - \beta \Sigma n}{m}.$$

Окончательно, выраженія для α и β примуть видъ:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{\Sigma(v) \cdot \Sigma(n^2) - \Sigma(nv) \cdot \Sigma(n)}{m \cdot \Sigma(n^2) - [\Sigma(n)]^2} \\ \beta &= \frac{m \cdot \Sigma(nv) - \Sigma(n) \cdot \Sigma(v)}{m \Sigma(n^2) - [\Sigma(n)]^2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (II)$$

Форма таблицы и содержаніе графъ могутъ быть представлены такъ.

№№ на- блюдений.	<i>s</i> метр.	<i>t</i> сек.	<i>N</i>	<i>n</i>	<i>v</i> м./с.	<i>n</i> ²	<i>nv</i>
—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—
Сумма Σ.....				—	—	—	—
				Σ(<i>n</i>)	Σ(<i>v</i>)	Σ(<i>n</i> ²)	Σ(<i>nv</i>)

Само названіе „способъ наименьшихъ квадратовъ“ показываетъ на необходимость соблюденія условія, чтобы:

$$(x - a_1)^2 + (x - a_2)^2 + (x - a_3)^2 + \dots + (x - a_n)^2 = \text{minimum.},$$

гдѣ *x*—искомое количество, а *a*₁ *a*₂...*a*_{*n*}—наблюдаемыя величины; эти послѣднія должны быть опредѣлены такъ точно, чтобы сумма квадратовъ, какъ величинъ положительныхъ, была бы наименьшая.

Для облегченія утомительныхъ вычисленій по этому способу, иногда наблюденія, мало разнящіяся другъ отъ друга, соединяють [94, 408—409] по правилу средней ариѳметической, т. е. если наприм. скорости въ двухъ или нѣсколькихъ наблюденіяхъ отличаются не болѣе, какъ на 0,01—0,02 саж., то полагають:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{2} \text{ и } n = \frac{n_1 + n_2}{2},$$

и эти величины вводятъ въ вычисленіе.

Графическій способъ опредѣленія коэффициентовъ.

Самый же удобный способъ нахождения коэффициентовъ α и β , въ смыслѣ сбереженія времени, простоты, наглядности, меньшаго риска сдѣлать грубую ошибку и, какъ увидимъ дальше, даже точности получаемыхъ результатовъ, это—способъ графическій; имъ пользовались проф. *Harlacher*, проф. *Wagner*, инж. *Hajós (Hirschfeld)* въ Венгрии и, въ большихъ размѣрахъ, какъ будетъ описано дальше, проф. *Schmidt* въ Мюнхенскомъ техническомъ училищѣ. Для этого откладываютъ въ избранномъ масштабѣ въ прямоугольныхъ осяхъ координатъ числа оборотовъ *n* въ секунду какъ абсциссы, а соотвѣтствующія имъ наблюденныя скорости ($v = \frac{s}{t}$) какъ ординаты; получается кривая или прямая (фиг. 11, Табл. XX), выражающая уравненіе движенія вертушки ¹⁴⁾. Тогда отрѣзокъ *of* или *of*₁ въ соотвѣтственномъ масштабѣ и представить собою величину коэффициента α (фиг. 9, Табл. XXIII); коэффициентъ же β найдется, какъ *tg* угла ϕ , составляемаго прямой или касательной къ кривой съ осью абсциссъ. При этомъ, наблюденія для опредѣленія коэффициентовъ вертушки необходимо дѣлать при скоро-

стояхъ, возможно болѣе отстоящихъ другъ отъ друга, чтобы правильно получалось положеніе прямой, опредѣляемой двумя точками. Если одна изъ этихъ точекъ или обѣ вмѣстѣ будутъ назначены невѣрно, а разстоянія между ними весьма малыя, то положеніе прямой $v = a + \beta n$ можетъ измѣниться очень значительно, а съ тѣмъ вмѣстѣ и величины a и β ; тогда какъ при большемъ разстояніи точекъ измѣненіе положенія прямой отъ невѣрности ихъ опредѣленія будетъ менѣе ощутительно.

Лучше всего пользоваться *хронографомъ*, позволяющимъ:

- 1) истинную скорость движенія тѣлѣжки въ каждой точкѣ пути записывать механически на бумажной лентѣ;
- 2) различать самые малые промежутки движенія, такъ что равномерности движенія вагонетки, достигаемой людьми, вполне достаточно;
- 3) при двухъ-трехъ пробѣгахъ вагонетки съ измѣненіемъ скоростей по пути (а не 70—100 метр.) получить массу данныхъ, соответствующихъ каждой секундѣ, — значительное сбереженіе времени.

Прежде, чѣмъ примѣнять наблюденныя или полученныя по записямъ хронографа числа оборотовъ вертушки къ опредѣленію коэффициентовъ, надо тщательно провѣрить наблюденія въ отношеніи часто неравномерныхъ количествъ оборотовъ; это зависитъ отъ очень многихъ причинъ, которыя не всегда можно установить непосредственно. Такія неправильности рѣзко обозначатся, если нанести въ прямоугольныхъ координатахъ какъ абсциссы и ординаты количества оборотовъ съ соответствующими временами при проходѣ вертушки въ водѣ одного и того же пути. Такимъ образомъ, найдутся величины наблюденій, значительно отличающіяся отъ другихъ, и затѣмъ могутъ быть исключены или, при повтореніи опыта, замѣнены другими правильными.

§ 14. Въ предыдущемъ § способы вычисленія коэффициентовъ вертушки помощью метода наименьшихъ квадратовъ названы точными. Важно знать, — который же изъ нихъ лучше.

Хотя въ общемъ, число перемноженій въ выраженіяхъ (I) и (II) для a и β въ обоихъ случаяхъ одинаково, но все-таки формулы (II) проще (имѣютъ готовое число m) и требуютъ составленія меньшаго числа графъ таблицы. Что же касается точности ихъ, то мы для сравненія сдѣлали вычисленія a и β по тѣмъ и другимъ, пользуясь для сего цифровыми данными проф. *Wagner*'а [72, 11—14], полученными изъ опытовъ, производившихся на прудѣ Брауншвейгской жел. дор.; вертушка системы *Harlach*'а съ электрической передачей опускалась въ воду съ понтона, образованнаго двумя лодками. Всѣ данныя для сего и необходимые, составленные нами, подсчеты помѣщены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Сравненіе двухъ точныхъ способовъ вычисленія коэффициентовъ вертушки между собою и съ графическимъ способомъ.

№ № наблюдений.	Д а н н ы я.				В ы ч и с л е н н о е.							
	s метров.	t сек.	N въ t сек.	$n = \frac{N}{t}$ въ сек.	$v = \frac{s}{t}$ м/сек.	N ² .	t ² .	ts.	tN.	Ns.	n ² .	nv.
1	70 м е т р о в ь.	357	148	0,414	0,196	21.904	127.449,00	24.990	52.836,00	10.360	0,171396	0,081144
2		345	149	0,432	0,203	22.201	119.025,00	24.150	51.405,00	10.430	0,186621	0,087696
3		348,2	146	0,419	0,210	21.316	121.243,24	24.374	50.837,20	10.220	0,173361	0,087990
4		349,6	153	0,437	0,200	23.409	122.220,16	24.472	53.488,80	10.710	0,190969	0,087100
5		177	165	0,932	0,397	27.225	31.329,00	12.390	29.205,00	11.550	0,868621	0,370001
6		176	163	0,930	0,390	26.569	30.976,00	12.320	28.688,00	11.410	0,861900	0,372000
7		173	159	0,919	0,404	25.281	29.929,00	12.110	27.507,00	11.130	0,813361	0,371276
8		174	163	0,937	0,392	26.569	30.276,00	12.180	28.362,00	11.410	0,877969	0,376674
9		176	164	0,932	0,398	26.896	30.976,00	12.320	28.864,00	11.480	0,868621	0,370936
10		91,6	170	1,853	0,764	28.900	8.390,36	6.412	15.572,00	11.900	3,441023	1,417220
11		90,4	165	1,823	0,774	27.225	8.172,16	6.328	14.916,00	11.550	3,330623	1,412330
12		87,4	166	1,899	0,801	27.556	7.638,76	6.118	14.508,40	11.620	3,606201	1,521099
13		88	168	1,908	0,803	28.224	7.744,00	6.160	14.784,00	11.760	3,640464	1,533940
14		73	171	2,342	0,938	29.241	5.329,00	5.110	12.483,00	11.970	5,484964	2,243636
15		71	167	2,332	0,983	27.889	5.041,00	4.970	11.857,00	11.690	5,331904	2,316720
16		69,8	167	2,393	1,002	27.889	4.872,04	4.886	11.656,60	11.690	5,726449	2,397786
17		49,4	170	3,441	1,417	28.900	2.440,36	3.458	8.398,00	11.900	11,840481	4,875897
18		49,6	171	3,447	1,411	29.241	2.460,16	3.472	8.481,60	11.970	11,881809	4,863717
19		42,8	171	3,993	1,636	29.241	1.831,84	2.996	7.318,80	11.970	15,960025	6,535820
20		42,8	171	3,993	1,636	29.241	1.831,84	2.996	7.318,80	11.970	15,960025	6,535820
С у м м а				35,804	14,999	534.917	699.175,12	212.212	478.487,20	228.690	91,4332	37,861323
—		$\Sigma(N)$.	$\Sigma(n)$.	$\Sigma(v)$.	$\Sigma(N^2)$.	$\Sigma(t^2)$.	$\Sigma(ts)$.	$\Sigma(tN)$.	$\Sigma(Ns)$.	$\Sigma(n^2)$.	$\Sigma(nv)$.	
Упрощенныя обозначенія		a.	b.	c.	d.	e.	f.	g.	h.	i.	k.	

$$\begin{aligned}
 \text{(I)} \quad \left\{ \begin{aligned}
 \alpha &= \frac{d \cdot f - g \cdot h}{e \cdot d - g^2} = \frac{534.917 \times 212.212 - 478.487,20 \times 228.690}{699.175,12 \times 534.917 - (478.487,2)^2} = \\
 &= \frac{4.090.568.636}{145.050.657.101,2} = 0,0282009. \\
 \beta &= \frac{e \cdot h - g \cdot f}{e \cdot d - g^2} = \frac{699.175,12 \times 228.690 - 478.487,20 \times 212.212}{699.175,12 \times 534.917 - (478.487,2)^2} = \\
 &= \frac{58.353.632.506,4}{145.050.657.101,2} = 0,4022983.
 \end{aligned} \right. \\
 \\
 \text{(II)} \quad \left\{ \begin{aligned}
 \alpha &= \frac{c \cdot i - k \cdot b}{20 \cdot i - b^2} = \frac{14,999 \times 91,4532 - 37,861325 \times 35,804}{20 \times 91,4532 - (35,804)^2} = \\
 &= \frac{16,119.666.5}{547,137.584} = 0,02946. \\
 \beta &= \frac{20 \cdot k - b \cdot c}{20 \cdot i - b^2} = \frac{20 \times 37,861325 - 35,804 \times 14,999}{20 \times 91,4532 - (35,804)^2} = \\
 &= \frac{220,202.304}{547,137.584} = 0,40246.
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Такимъ образомъ, для сравненія мы получили слѣдующее:

$v = 0,030 + 0,402 n$ — получено проф. *Wagner*'омъ графическимъ путемъ;

$v = 0,028.200.9 + 0,402.2983 n$ — вычислено нами по формуламъ (I);

$v = 0,02946 + 0,40246 n$ — вычислено нами по формуламъ (II).

Сравнительныя данныя сведены въ слѣдующей таблицѣ:

№№ по порядку.	№№ наблюдений.	Число оборотовъ n въ секунду въ средн.	Скорость $v = \frac{s}{t}$ въ среднемъ.	v (<i>Wagner</i>).	v (форм. I).	v (форм. II).	Ошибка въ $\theta/0$ отъ $v = \frac{s}{t}$.			
							v (<i>Wagner</i>).	v (форм. I).	v (форм. II).	
1	1—4	0,425	0,202	0,20083	0,19918	0,20050	-0,37	-1,04	-0,74	
2	5—9	0,930	0,400	0,40386	0,40234	0,40375	+0,97	+0,38	+0,94	
3	10—13	1,872	0,783	0,78234	0,78130	0,78286	-0,06	-0,22	-0,02	
4	14—16	3,366	0,986	0,98113	0,98004	0,98168	-0,49	-0,60	-0,44	
5	17—18	3,444	1,414	1,41449	1,41372	1,41533	+0,04	-0,02	+0,11	
6	19—20	3,993	1,636	1,63399	1,63338	1,63729	-0,00	-0,04	+0,08	
Въ среднемъ.			0,90330	0,90314	0,90199	0,90360	маxim. отъ до		маxim. отъ до	маxim. отъ до
Ошибка въ $\theta/0$ отъ 0,90330.			-0,04	-0,17	+0,01	-0,37 | +0,97		-1,4 | +0,38	-0,74 | +0,94	
						1,34		1,98	1,68	

Заключенія.

По разсмотрѣннн полученныхъ данныхъ этой таблицы, приходимъ къ нижеслѣдующимъ заключеніямъ.

Въ общемъ, всѣ три способа даютъ величины, мало отличающіяся отъ дѣйствительной скорости. Съ теоретической точки зрѣнія формулы (I) должны бы были дать болѣе точные результаты, ибо въ нихъ входятъ величины N , t , s , полученныя непосредственно изъ наблюдений; тогда какъ въ формулахъ (II) величины v и n представляютъ частныя:

$$v = \frac{s}{t} \text{ и } n = \frac{N}{t},$$

нахожденіе которыхъ уже не можетъ быть сдѣлано вполне точно. Тѣмъ не менѣе по подсчетамъ оказывается ббльшая точность на сторонѣ формулъ (II); это быть можетъ указываетъ на нѣкоторое несовершенство и неточность показаній прибора, употребленнаго проф. *Wagner* омъ, вслѣдствіе образованія подпора воды предъ лодками во время движенія послѣдней. вмѣстѣ съ тѣмъ ббльшая простота и легкость вычисленій по формуламъ (II) увеличиваютъ преимущество ихъ передъ формулами (I). Наиболѣе же точнымъ, для имѣющагося ряда данныхъ, оказался способъ графической. Сравнительно ббльшія неточности, полученныя проф. *Wagner* омъ при меньшихъ скоростяхъ (см. выше таблицу) объясняются, главнымъ образомъ, тѣмъ обстоятельствомъ, что онъ принялъ линію *fm* (фиг. 9, табл. XXIII) за прямую; но во всякомъ случаѣ эти ошибки въ разсматриваемомъ случаѣ не превосходятъ 1%. X

Неодинаковость показаній вертушки, движущейся въ стоячей водѣ и стоящей неподвижно въ текущей водѣ съ тою же скоростью.

§ 15. *Baumgarten* при своихъ изслѣдованіяхъ на рѣкахъ, сравнивая скорости даваемые поплавками съ таковыми же получаемыми вертушками, сравнилъ вмѣстѣ съ тѣмъ показанія одной и той же вертушки, устанавливаемой неподвижно въ текущей водѣ съ нѣкоторою скоростью v и передвигаемой съ тою же скоростью v въ стоячей водѣ.

Но къ сожалѣнію, это сравненіе было имъ сдѣлано между средними величинами небольшого числа результатовъ, сильно разнящихся между собою; причемъ непосредственно не входило ни одно изъ наблюденныхъ значеній v и n . Выводъ получился тотъ, что отношеніе $\frac{v}{n}$ въ обоихъ случаяхъ было одинаково для одного и того же v .

Выбирая же, какъ это дѣлаетъ *Voileau*, изъ приведенныхъ въ двухъ таблицахъ [4, 30; 9, 232—283] данныхъ наблюдений, лишь тѣ изъ нихъ, въ которыхъ скорость инструмента, двигавшагося въ стоячей водѣ, равна скорости потока, указываемой вертушкой и поплавками одинаково, получимъ слѣдующіе результаты:

№ по ряду.	Система вертушки.	Родь передачи.	Число наблюдений.	Полученное уравнение вертушки.	Въ мѣрахъ	Для скоростей.	Наблюдатель.	Примѣчанія.
1	<i>Ваитгартена</i>	Обыкновенный механический счетчикъ.	50	$v = 0,01051 + 0,06308 \ n$	сж./сек.	$0,05 - 0,80$	—	[94, ₁₁₂]
2			"	$v = 0,017 + 0,0662 \ n$	"	"	—	"
3			"	$v = 0,023 + 0,0534 \ n$	"	"	—	"
4			"	$v = 0,023 + 0,0603 \ n$	"	"	инж. Гнусинъ.	"
5			"	$v = 0,02766 + 0,3966 \ n$	"	"	—	"
6			"	$v = 0,0361 + 0,0332 \ n$	"	"	инж. Юстусъ	[94, ₁₁₂ ; 137 ₃₃₋₃₅]
7			"	$v = 0,043 + 0,053 \ n$	"	"	—	[94, ₁₁₂]
8			"	$v = 0,0473 + 0,0337 \ n$	"	"	—	"
9			"	$v = 0,0383 + 0,0359 \ n$	"	"	—	"
10	Электрическая сигнализация.		"	$v = 0,0283 + 0,0727 \ n$	сж./сек.	$0,05 - 0,80$	инж. Юстусъ.	[137 ₃₃₋₃₅]
11			"	$v = 0,0385 + 0,0763 \ n$	"	"	инж. Юстусъ.	"
12	<i>Волтманна</i>	Механический	41	$v = 0,053 + 0,2294 \ n$	метр./сек.	$0,06 - 2,27$	проф. Friedrich.	[29, ₆₂₋₆₃]
13		счетчикъ.	?	$v = 0,022 + 0,2827 \ n$	метр./сек.	?	"	[29, ₆₁]
14			17	$v = 0,27 \ n$	м./сек.	$0,63 - 2,36$	проф. Harlacher.	[36, ₁₈]
15		Электрическая сигнализация.	"	$v = 0,268 + 0,736 \ n$	фут./сек.	$0,84 - 8,70$	инж. Чарномскій.	[135, ₇₀]
16			"	"	$v = 0,047 + 0,79 \ n$	фут./сек.	$0,80 - 8,37$	"

17	A	Мех. счетч.	Электрическая передача,ynamoзъ чрезъ каждыя 100 оборотовъ.	16	$v=0,045+0,00483 n$	м./сек.	$0,17-2,39$	проф. <i>Hartacher.</i>	[37,40]
18				?	$v=0,026+0,02421 n$	м./сек.	?	проф. <i>Rühlmann.</i>	[134,213]
19				28	$v=0,02214+0,021935 n$	м./сек.	$0,22-2,86$	инж. <i>Plenkner.</i>	[52,12]
20				?	$v=0,003+0,121 n$	сж./сек.	?	инж. <i>Максимовичъ.</i>	[115,113]
21				?	$v=0,011+0,093 n$	"	?	"	"
22				?	$v=0,06+0,120 n$	"	?	"	"
23				?	$v=0,110+0,100 n$	"	?	"	"
24				?	$v=0,140+0,100 n$	"	?	"	"
25				48	$v=0,044+0,397 n = 0,3078+0,6787 n$	сж./сек. фут./сек.	≈ 2 фут.	проф. <i>Богуславскій.</i>	[85,1-6]
26				14	$v=0,0916+0,0804 n = 0,6621+0,3627 n$	сж./сек. фут./сек.	$2-2,3$ фут.	"	"
27				9	$v=0,1486+0,0826 n = 1,04+0,3783 n$	сж./сек. фут./сек.	$2,3-4,5$ фут.	"	"
28				71	$v=0,019+0,1086 n = 0,1331+0,176 n$	сж./сек. фут./сек.	$\approx 4,3$ фут.	"	"
29				60	$v=0,02979+0,11045 n$	сж./сек.	$\approx 0,70$	<i>Самарская</i>	[103, XII, № 5]
30				69	$v=0,0241+0,1195 n$	сж./сек.	"	гидрометри-	"
31				63	$v=0,0193+0,1372 n$	сж./сек.	"	ческая	"
32				46	$v=0,03313+0,12391 n$	сж./сек.	"	станция	[103, XII, № 6]
33				69	$v=0,0201+0,1510 n$	сж./сек.	"	на р. Волгѣ.	"
34	10	$v=0,0416+0,1007 n$	сж./сек.	для $n=$ $0-2,11$	"	[103, XII, № 5]			
35	50	$v=0,006+0,1176 n$	"	для $n=$ $2,11-6,12$	"	"			
36	6	$v=0,0303+0,1042 n$	"	для $n=$ $0-1,3$	"	[103, XII, № 6]			
37	55	$v=0,0092+0,1350 n$	"	для $n=$ $1,3-5,87$	"	"			
38	<i>Hartacher.</i>	Электрич. передача.	20	$v=0,03+0,102 n$	м./сек.	$0,2-4,30$	проф. <i>Wagner.</i>	[72,13]	

При порядочно устроенных вертушках обыкновенно $\alpha=0,01$ — $0,05$ метр./сек.; при плохих конструкціях—значительно больше.

Способы опредѣленія коэффициентов вертушки, значительно отличающіеся отъ общеупотребительныхъ.

Способъ Жаринцева.

§ 17. При работахъ на р. Кубани инж. Жаринцева мѣстные обстоятельства заставили примѣнить для тарирования вертушекъ слѣдующій способъ [115,135—136]. Посреди небольшого пруда устроена была маленькая платформа на сваяхъ; на ней укрѣпили столбъ, на который надѣтъ былъ большой рычагъ. Къ концу этого послѣдняго привязывалась вертушка со штангой въ вертикальномъ положеніи, опущенная въ воду; затѣмъ рычагъ вращали съ различною скоростью и получали всѣ данныя, нужныя для опредѣленія коэффициентовъ.

Заключеніе.

Этотъ способъ, послѣ всего вышеизложеннаго, не можетъ, по нашему мнѣнію, дать даже удовлетворительныхъ результатовъ и для употребленія рекомендованъ быть не можетъ.

Способъ Бастамова.

Нельзя обойти молчаніемъ также способа опредѣленія коэффициентовъ вертушки, предложеннаго инженеромъ Бастамовымъ, хотя этотъ способъ ни самимъ изобрѣтателемъ, ни кѣмъ-либо другимъ изъ изслѣдователей не былъ проведенъ въ практику.

Инженеръ Бастамовъ [77; 78], находя способы извлеченія данныхъ изъ наблюдений, подобныя способу Harlachera, неудовлетворительными, предлагаетъ другой способъ, который, по его мнѣнію, болѣе точенъ, можетъ дать тѣ же величины болѣе вѣрныя, годныя для анализа до какой угодно степени точности. Предлагаемый имъ способъ заключается въ слѣдующемъ (фиг. 8, Табл. XXIII). Изслѣдуемый приборъ помѣщается въ рамѣ A , располагаемой на поплавкѣ (въ видѣ шара) въ стоячей водѣ. Отъ рамы A чрезъ направляющіе блоки a и b проходитъ тонкая проволока къ грузу Q ; въсѣ рамы съ приборомъ и съ сопротивленіемъ воды уравниваются грузомъ величиною P . Приложенный къ P грузъ p сообщаетъ нѣкоторое движеніе грузу Q , а слѣдовательно и рамѣ A съ приборомъ. Зная отношеніе p къ Q , можно опредѣлить скорости въ любой точкѣ, ускореніе и пройденное пространство, а слѣдовательно и скорость движенія самого прибора. При такомъ устройствѣ можетъ быть избѣгнуто наблюденіе времени, всегда сопряженное съ погрѣшностями, слѣдуетъ только точно измѣрить высоту столба; въ малый промежутокъ времени можно извлечь множество данныхъ и имѣть показанія прибора для разныхъ скоростей, а также при разныхъ p —для однихъ и тѣхъ же скоростей.

Самое вычисленіе ведется такимъ образомъ. Пройденное пространство во [82; 98] (высота столба, дерева, зданія) равно: $H = \frac{gt^2}{2} \dots \dots (1)$

Отсюда, зная H и g' , можно опредѣлить: $t = \sqrt{\frac{2H}{g'}} \dots \dots \dots (2)$

Ускореніе g' опредѣляется, какъ на *Атвудовой* машинѣ,

(g —ускореніе силы тяжести): $g' = g \frac{p}{Q} \dots \dots \dots (3)$

Скорость для вертушки *Woltmann'a*, выражается формулой:

$$v = \alpha + \beta N = g' t, \dots \dots \dots (4)$$

гдѣ v —скорость въ концѣ известнаго промежутка времени (t секунд); g' —ускореніе на приборѣ, измѣняющееся въ зависимости отъ p для одного и того же Q .

Измѣняя p , можно опредѣлить для однихъ и тѣхъ же скоростей, соответственныя имъ, т.-е. скоростямъ, α , β и N ; такъ напр., для разныхъ p , т.-е. p' , p'' , $p''' \dots$ будемъ имѣть $v_1, v_2, v_3 \dots$ одинаковыя скорости во времена, мало отличающіяся между собою:

$$v_1 = g' t_1 = \alpha + \beta N_1; v_2 = g' t_2 = \alpha + \beta N_2; \dots v_n = g' t_n = \alpha + \beta N_n,$$

$$\text{т.-е. } v = v_2 = \dots = v_n.$$

Для разныхъ скоростей имѣемъ:

$$v_1 = \alpha_1 + \beta_1 N_1 = g' t_1; v_2 = \alpha_2 + \beta_2 N_2 = g' t_2; \dots v_n = \alpha_n + \beta_n N_n = g' t_n.$$

Изъ этихъ уравненій опредѣлятся величины $\alpha_1, \beta_1 \dots \alpha_n, \beta_n$, т.-е. коэффициенты, соответствующіе разнымъ скоростямъ, а по нимъ опредѣлятся числа оборотовъ вертушки, этимъ скоростямъ соответствующія, а слѣдовательно извлеченныя данныя укажутъ законъ измѣненія α, β и N въ зависимости отъ скорости. Понятно, что величины $N_1, N_2 \dots N_n$ будутъ мало различаться другъ отъ друга, такъ какъ t, p и g мало различаются, но они будутъ имѣть различныя значенія, достаточныя для рѣшенія вышеуказанныхъ уравненій.

Изъ вышесказаннаго видно, что какъ самый способъ, такъ и приборъ претендуютъ на слишкомъ большую точность („до какой угодно степени точности“). Поэтому необходимо замѣтить, что:

Заключеніе.

- 1) Постоянный грузъ P не уравновѣшивается вѣсомъ рамы съ приборомъ и сопротивленіемъ воды, а при принятыхъ предположеніяхъ долженъ бы былъ уравновѣшиваться лишь съ сопротивленіемъ воды движенію рамы съ приборомъ и треніемъ въ блокахъ, ибо рама съ приборомъ находится на плаву и вѣсъ ея на горизонтальное движеніе никакого вліянія не оказываетъ. *Переменное* же сопротивленіе воды, возрастающее приблизительно съ квадратомъ скорости, не можетъ быть уравновѣшено *постояннымъ* грузомъ. Слѣдовательно *уравненія равноускореннаго движенія* (имѣющаго мѣсто лишь при дѣйствіи на движущееся тѣло постоянныхъ силъ) въ данномъ случаѣ *не приложимы*.
- 2) Для уменьшенія тренія надо было бы устроить приспособленія, какъ на *Атвудовой* машинѣ.

- 3) Величина ускоренія g' не можетъ быть опредѣлена по форм. (3), указываемой инж. *Бастамовымъ* и которая безусловно невѣрна. Это опредѣленіе могло бы быть сдѣлано изъ слѣдующаго равенства:

$$\frac{Q}{g} \cdot g' + \frac{P_0}{g} \cdot g' + \frac{s}{g} \cdot g' = p.$$

Откуда:
$$g' = g \frac{p}{Q + P_0 + s}, \dots\dots\dots (5)$$

гдѣ P_0 —вѣсъ рамы съ приборомъ, s —вѣсъ проволоки. Слѣдовало бы здѣсь для точности ввести еще моменты инерціи блоковъ.

- 4) Необходимо было бы имѣть въ виду перевѣшивание проволоки (т. е. движущій грузъ принимать равнымъ $p + \rho h$, гдѣ ρ —вѣсъ единицы длины проволоки, h —пути гири), а значить соответственно обстоятельствамъ наблюденія—ускореніе или замедленіе движенія Q и A и ввести соответственныя поправки или противовѣсы.
- 5) Необходимо было бы ввести поправки отъ сопротивленія среды (воздуха и воды) движенію Q и A . Величина ускоренія g' , исправленная только на перевѣшивание проволоки и на измѣненіе массы (движущейся въ водѣ) поплавка съ рамой и приборомъ, хотя и болѣе точная, но все-таки приближенная будетъ:

$$g' = g \cdot \frac{p + \rho h}{Q + P_0 + g \times (\frac{1}{2} \text{ массы воды въ объемѣ шара}) + s} \dots\dots (6)$$

При этомъ поплавокъ съ рамой и приборомъ должны были бы въ общемъ представлять форму шара.

Разсматриваемый способъ тарирования, обладая вышеуказанными неправильностями, связанъ съ переменною*) скоростью движенія прибора, при которой трудно опредѣлить къ какой именно скорости относится наблюденное число N оборотовъ оси вертушки, а затѣмъ кромѣ того на вертушку дѣйствуетъ и сила инерціи, также не принятая во вниманіе. Слѣдовательно способъ инж. *Бастамова* приходится признать весьма неточнымъ и совершенно недопустимымъ для тарирования вертушекъ.

Въ дополненіе къ сказанному на стр. 156 слѣдуетъ замѣтить, что способъ, примѣняемый инж. *Жаринцевымъ*, стоитъ выше нерѣдко принимаемаго у насъ даже специалистами тарирования вертушки въ короткомъ, узкомъ и неглубокомъ деревянномъ желобѣ или въ неглубокомъ прудѣ, когда приборъ передвигаютъ непосредственно рабочіе, идущіе вдоль этого желоба, пруда или даже идущіе по водѣ пруда и т. п.

Но съ практической стороны способы опредѣленія коэффициентовъ въ Венгріи, Ганноверѣ, Бернѣ, Вѣнѣ, Петербургѣ и Мюнхенѣ¹⁵⁾, съ точки зрѣнія наибольшей точности опредѣленія коэффициентовъ прибора заслуживаютъ, по нашему мнѣнію, предпочтенія передъ способомъ инж. *Жаринцева*.

*) Если не допустить только какое-нибудь очень ужъ приближенное предположеніе о пѣкоторой равнозначной средней скорости.

Г Л А В А VII.

Новѣйшая формула вертушки, заключающая въ себѣ всѣ доселѣ употреблявшіяся формулы—какъ частные случаи.

§ 1. До сихъ поръ скорости въ рѣкѣ опредѣлялись по числу оборотовъ вертушки главнымъ образомъ слѣдующими тремя различными формулами: Употребляе-
мая формулы
вертушекъ.

I. $v = a + \beta n$	$v = v_0 + an$
II ¹⁾ $v = a + \beta n + \gamma n^2$	$v = v_0 + an + \beta n^2$
III ²⁾ $v = an + \sqrt{\beta + \gamma n^2}$	$v = an + \sqrt{v_0^2 + \beta n^2}$

для которыхъ v_0 , a и β вычислялись способомъ наименьшихъ квадратовъ.

Въ настоящее время этихъ формулъ недостаточно, особенно для новѣйшихъ конструкцій вертушекъ, имѣющихъ большія винтообразныя поверхности лопастей (съ цѣлю увеличенія момента силы удара воды) и шариковые подшипники, а также подвижныя части изъ легкаго матеріала (каучука и алюминія) — съ цѣлю уменьшить сопротивление отъ тренія. Для полученія возможно точныхъ результатовъ нельзя любую изъ этихъ формулъ примѣнять одинаково ко всѣмъ вертушкамъ; необходимо вычисленіемъ рѣшить—какая изъ этихъ формулъ наиболее соотвѣтствуетъ результатамъ наблюденія. Непригод-
ность фор-
мулъ къ по-
вѣйшимъ ти-
памъ прибо-
ровъ.

Поэтому необходимо сдѣлать вычисленія по всѣмъ вышеуказаннымъ формуламъ; составить для каждой сумму квадратовъ остающихся ошибокъ и принять для примѣненія ту изъ нихъ, которая даетъ наименьшую сумму квадратовъ ошибокъ, а слѣдовательно и ближе подходит къ даннымъ результатамъ наблюденія. Вычисленіе способомъ наименьшихъ квадратовъ представляетъ очень сложную и продолжительную работу, выполненіе которой можно принять на себя лишь въ особенно важныхъ случаяхъ. Въ обыкновенныхъ же условіяхъ можно примѣнять такъ наз. *графико-аналитическій способъ*, который хотя и даетъ не со-

всѣмъ точные результаты, но неточности настолько незначительныя, что для практики не имѣютъ существеннаго значенія.

Но и вышеупомянутыя уравненія даютъ величины v съ отклоненіями отъ дѣйствительныхъ даже при небольшомъ числѣ наблюдений ³⁾; конечно, это указываетъ на несовершенство уравненія движенія вертушки.

Проф. *Schmidt* [63, 917—923, 945—951] отбросилъ теоретическій путь, избранный *Baumgarten*'омъ и другими изслѣдователями, и занялся исключительно тщательными опытами и наблюденіями. Пользуясь на Мюнхенской испытательной станціи цѣлымъ рядомъ наблюдений съ старыми и новыми 84 приборами, изъ которыхъ 24 имѣли плоскія крылья, а 60—по винтовой поверхности, онъ стремился помощью графико-аналитическаго способа опредѣленія коэффициентовъ, найти новую форму уравненія, не дающую вышеупомянутыхъ отклоненій отъ дѣйствительности, или во всякомъ случаѣ приводящую эти отклоненія къ *minimum* 'у.

Онъ нашелъ новую формулу, которая заключаетъ въ себѣ, какъ частные случаи, формулы, приведенныя въ началѣ сего §. Окончательное заключеніе объ этой формулѣ см. въ гл. VIII о погрѣшностяхъ § 11.

Кромѣ того, изъ его многочисленныхъ и тщательно выполнявшихся наблюдений съ приборами, при помощи хронографа, выяснилось, что:

- 1) Для вертушекъ съ плоскими лопастями примѣнимы тѣ же уравненія, что и для вертушекъ съ винтообразными лопастями.
- 2) Дѣйствующая поверхность плоскихъ лопастей, а слѣдовательно и моментъ удара воды, сравнительно съ суммой моментовъ сопротивленій, значительно меньше, чѣмъ при лопастяхъ винтообразныхъ, почему и чувствительность ихъ различна. Такъ, для плоскихъ лопастей начальная скорость $v_0=0,1-0,2$ метр./сек.; тогда какъ для винтообразныхъ она можетъ быть доведена до $v_0=0,04$ метр./сек.
- 3) Для большей чувствительности прибора, необходимо, чтобы: а) полезная (ударная) поверхность лопасти была возможно больше и б) сопротивленія отъ тренія и вѣсь подвижныхъ частей возможно меньше.
- 4) Наибольшее сопротивленіе отъ тренія проявляется въ мѣстѣ наиболѣе нагруженной части оси — шейкѣ; при вертикальномъ положеніи оси, какъ показали опыты, оно незначительно.
- 5) Уменьшеніе этого тренія достигается довольно удовлетворительно, даже при большихъ и тяжелыхъ колесахъ, примѣненіемъ шариковыхъ агатовыхъ и стальныхъ вкладышей.
- 6) Примѣненіе агатовыхъ вкладышей оказало кромѣ того пользу неизмѣняемости коэффициентовъ вертушки отъ времени и работы. Такъ, для прибора № 199, IX—по каталогу *Ott*'а и № 3

Результаты
гидрометри-
ческихъ ра-
ботъ проф.
Schmidt'а.

въ нижепомѣщаемой ⁴⁾ таблицѣ (съ винтообразными лопастями, высотой хода 0,227 метр.; съ электрической передачей; ось съ шейкой и цапфой на агатовыхъ подшипникахъ), оказалось, что *коэффициенты*, опредѣленные въ 1885 г., не смотря на частое употребленіе прибора *въ теченіе 8 лѣтъ* въ 1893 году при повѣркѣ *остались тѣ же*.

- 7) Другая граница примѣнимости вертушекъ (v_{max}), къ сожалѣнію, не выяснена произведенными наблюденіями, такъ какъ опыты производились со скоростями, обыкновенно встрѣчающимися и не болѣе 3—3,4 метр./сек.
- 8) При скоростяхъ ≥ 3 метр./сек. числа оборотовъ замѣтно уменьшаются влѣдствіе образованія водоворотовъ между лопастями и сзади нихъ.
- 9) Колеса съ очень широкими лопастными поверхностями даютъ болѣе неправильныя числа оборотовъ (какъ напр. №№ 2, 3, 4 нижепомѣщенной таблицы), чѣмъ колеса того же діаметра, но у которыхъ проекція на плоскость вращенія занимаетъ меньшую часть площади круга (какъ напр. изготовленное по фиг. 10, Табл. XXIII, лопастное колесо, данныя котораго показаны въ нижепомѣщаемой таблицѣ за № 5—съ электрической передачей и № 6—съ механическимъ счетчикомъ).
- 10) Одно и то же лопастное колесо при механическомъ счетчикѣ (№ 6 таблицы) движется свободнѣе, чѣмъ при электрической передачѣ (№ 5 таблицы), какъ напр. № 6— $v_0=0,082$ м./сек. и № 5— $v_0=0,074$ м./сек. Это объясняется тѣмъ, что контактные пружины, которыхъ должно быть двѣ для уничтоженія односторонняго давленія, трутся объ ось и замедляютъ движеніе послѣдней.
- 11) Большія и тяжелыя колеса имѣютъ большую правильность вращенія, такъ какъ, являясь вмѣстѣ съ тѣмъ и маховикомъ, уравниваютъ многія неправильности, удары и колебанія; слѣдовательно малый вѣсъ лопастей неблагоприятенъ для правильности вращенія и числа оборотовъ; но въ этомъ послѣднемъ случаѣ парныя, расположенныя по обѣ стороны оси, контактные пружины (№ 9 таблицы) взаимно уравниваютъ свои одностороннія давленія и образуютъ тормозъ, уменьшающій неправильности вращенія. Такъ, взяты были со счетчикомъ двѣ вертушки, имѣющія: одна—бронзовое колесо (по фиг. 10, Табл. XXIII) вѣсомъ 154 грамма, другая—алюминіевое съ двумя лопастями, но двойной ширины, вѣсомъ 65 грам. (во всемъ остальномъ условія были одинаковыя); оказалось, что второе колесо помимо неблагоприятныхъ послѣдствій малаго вѣса,

имѣя широкія лопасти, производило водовороты, еще болѣе способствующіе неправильности вращенія. Средняя ошибка наблюденныхъ чиселъ оборотовъ (обозначаемыхъ обыкновенно чрезъ *N* или *u*), сравнительно съ вычисленными по соответственной формулѣ, получилась:

для бронзоваго колеса $m_N = m_u = \pm 0,976$ оборота } *m. e. въ 2 1/2*
для алюминіеваго . . . $m_N = m_u = \pm 2,451$ „ } *раза больше.*

12) Наиболѣе благопріятная величина угла удара = 54°, какъ на-шелъ и *Krueger* [11, 312].

Выводъ уравненія движенія вертушки.

Въ виду важнаго значенія сей работы считаемъ нужнымъ привести возможно полный ходъ рѣшенія сего вопроса проф. *Schmidt*'омъ.

Кривая, вы-
ражающая за-
висимость
между *N* и *t*.

§ 2. При движеніи съ различными скоростями вертушки въ стоячей водѣ по данному одному и тому же вымѣренному участку *s* метр. можно наблюдать, какъ извѣстно, число оборотовъ *u* вертушки и соответственное время *t* въ секундахъ.

Если величины *u* и *t*, въ какомъ-либо масштабѣ, нанести въ прямоугольной системѣ координатъ въ видѣ ординатъ и абсциссъ, то получается рядъ точекъ. Плавная кривая, связывающая ихъ, образуетъ собою въ разныхъ случаяхъ: 1) четверть эллипса, 2) половину параболы или 3) кривую, подобную гиперболѣ. Всѣ эти случаи и разсмотримъ.

Числа оборо-
товъ дають
эллипс.

§ 3. Получается довольно точно четверть эллипса (фиг. 12, Табл. XXIII), для котораго малая ось направлена по оси ординатъ; малая полуось этого эллипса равна u_m = наибольшему наблюденному числу оборотовъ; большая полуось = t_m = наибольшему числу секундъ, замѣченному при движеніи по одному и тому же участку *s*. Координаты любой точки *N* будутъ *t*, *u*. Тогда уравненіе эллипса, отнесенное къ центру его, будетъ:

$$\frac{u^2}{u_m^2} + \frac{t^2}{t_m^2} = 1 \dots\dots\dots (1).$$

Эта кривая показываетъ законъ уменьшенія числа оборотовъ *u* вертушки съ увеличеніемъ времени *t* (для одного и того же *s*), или, что тоже, при уменьшеніи скорости. Величина u_m есть средняя тѣхъ чиселъ оборотовъ, которыя соответствуютъ наибольшей скорости движенія вертушки и длинѣ участка *s*.

Взявъ среднее изъ расположенныхъ рядомъ чиселъ оборотовъ *u* и соответственнаго времени *t* секундъ, относящихся къ очень медлен-

ному движению вертушки (на длину s), подставляяютъ въ уравненіе (1) найденныя величины: u_m , u_0 , t_0 ; получается:

$$t_m = \frac{t_0}{\sqrt{1 - \frac{u_0^2}{u_m^2}}} \dots \dots \dots (2).$$

и затѣмъ скорость, при которой вертушка перестаетъ вращаться, будетъ:

$$v_0 = \frac{s}{t_m} \dots \dots \dots (3).$$

Теперь уже изъ ур—ія (1) можно найти u для любого времени t (предполагая движениe прибора по участку s приблизительно равномернымъ), а именно:

$$u = u_m \sqrt{1 - \frac{t^2}{t_m^2}} \dots \dots \dots (4).$$

Такимъ образомъ можно получить рядъ точекъ эллипса для графическаго изображенія.

Обозначивъ чрезъ v какую-нибудь среднюю скорость, соответствующую времени t (на данномъ участкѣ s) и числу оборотовъ вертушки n ; чрезъ n —число оборотовъ въ 1 сек., имѣемъ:

$$v = \frac{s}{t}; \quad n = \frac{u}{t} \dots \dots \dots (5).$$

При винтообразныхъ лопастяхъ вертушка представляетъ собою винтъ; при каждомъ оборотѣ такого винта вода проходитъ путь k , равный высотѣ хода винта. Если сопротивленія отъ тренія незначительны, что бываетъ при большихъ скоростяхъ, то можно считать:

$$k = \frac{s}{u_m} \dots \dots \dots (6).$$

Соединяя уравненія (4), (5) и (6), послѣ простыхъ преобразований и сокращеній, найдемъ:

$$v = \sqrt{v_0^2 + k^2 n^2} \dots \dots \dots (7).$$

Замѣняя же v_0^2 чрезъ α ; k^2 чрезъ β , получимъ:

$$v = \sqrt{\alpha + \beta n^2} \dots \dots \dots (8).$$

Формула (8) часто примѣняется для *Woltmann*'ской вертушки. Коэффициенты α и β имѣютъ определенное значеніе и легко вычисляются:

$$\alpha = v_0^2 = \left(\frac{s}{t_m}\right)^2; \quad \beta = k^2 = \left(\frac{s}{u_m}\right)^2 \dots \dots \dots (9).$$

По формуламъ (7) и (8) можно для любого наблюдаемаго числа оборотовъ u получить соответствующую скорость v .

Если въ прямоугольной системѣ координатъ откладывать величины v и n , вычисленныя по этимъ формуламъ, или v и n , вычисленныя непосредственно изъ наблюдений, т.-е. $v = \frac{s}{t}$ и $n = \frac{u}{t}$, то получится рядъ точекъ, и соединяющая ихъ кривая въ обоихъ случаяхъ представитъ часть гиперболы (фиг. 13, Табл. XXIII), для которой главная полуось равна v_0 . Такимъ образомъ, уравненіе (7)—есть уравненіе движенія вертушки соотвѣтственно наблюдениямъ. Ассимптота гиперболы проходитъ чрезъ начало координатъ и совпадаетъ съ кривою уже предъ точкой, соотвѣтствующей скорости $v = 1$ метр. Уголь, составляемый ассимптотой съ осями координатъ, можетъ служить для точнаго вычисленія высоты хода винтовой лопасти k , наибольшаго числа оборотовъ u_m , а слѣдовательно и для вычисленія коэффициентовъ уравненія.

Такъ, для любой точки M , взятой предпочтительно у конца кривой, ординаты коей v' , n' , имѣемъ $tga = \frac{v'}{n'}$. Но $v' = \frac{s}{t'}$, $n' = \frac{u_m}{t'}$, а потому $tga = \frac{s}{u_m}$; откуда $k = \frac{s}{u_m}$. Зная $u_m = \frac{s}{k}$, находятъ ее графически для вывода t_m и v_0 .

Числа оборотовъ даютъ параболы.

§ 4. Зависимость между u и t часто графически выражается половиной параболы, главная ось которой располагается въ направленіи ординатъ (фиг. 11, Табл. XXIII), а вершина лежитъ въ точкѣ, для которой ордината равна u_m . Уравненіе параболы съ параметромъ $= 2 p$, отнесенное къ вершинѣ ея:

$$t^2 = 2 p. (u_m - u) \dots \dots \dots (10).$$

Для момента $u = 0$ (когда вертушка перестанетъ вращаться) абсцисса $= t_m$, и уравненіе приметъ видъ:

$$t_m^2 = 2 p. u_m \dots \dots \dots (11)$$

отсюда,
$$2 p. = \frac{t_m^2}{u_m} \dots \dots \dots (12).$$

Подставляя это значеніе въ уравненіе (10), имѣемъ:

$$t^2 = \frac{t_m^2}{u_m} (u_m - u) \dots \dots \dots (13),$$

откуда
$$u = u_m \left[1 - \frac{t^2}{t_m^2} \right] \dots \dots \dots (14).$$

Изъ уравненія (14) для разныхъ данныхъ t опредѣляютъ u , если раньше были найдены u_m и t_m , подобно вышеописанному. Находятъ:

$$t_m = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{u}{u_m}}} \dots \dots \dots (15)$$

Подставляя въ уравненіе (14) величины $v = \frac{s}{t}$; $n = \frac{u}{t}$; $k = \frac{s}{u_m}$;

$v_0 = \frac{s}{t_m}$, получимъ:

$$v^2 - v \cdot n \cdot k - v_0^2 = 0,$$

откуда:

$$v = \frac{nk}{2} + \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{nk}{2}\right)^2} \dots \dots \dots (16).$$

Это есть уравненіе гиперболы, для которой діаметръ, сопряженный съ діаметромъ направленнымъ по оси v , отклоняется отъ перпендикулярнаго къ оси v направленія (т.-е. не совпадаетъ съ координатною осью, по которой отложены n), составляя съ осью n уголъ β , опредѣляемый величиной: $tg\beta = \frac{k}{2}$.

Путь отысканія коэффициентовъ—тотъ же.

§ 5. При новѣйшихъ конструкціяхъ треніе цапфъ сводится къ минимуму примѣненіемъ шариковыхъ и агатовыхъ подшипниковъ, а также изготовленіемъ движущихся частей изъ алюминія. Законъ уменьшенія числа оборотовъ выражается уже не прямой, эллипсомъ или параболой, а нѣкоторой кривой высшаго порядка, для которой отклоненія отъ параболы особенно замѣтны при малыхъ скоростяхъ, а именно отъ 0,2 до 0,4 м/сек. Уравненіе, подобранное къ этой кривой, можетъ быть выражено такъ:

Числа оборотовъ даютъ кривую четвертаго порядка.

$$v = k \cdot n (1 - \beta) + \sqrt{(k \cdot n \cdot \beta)^2 + v_0^2}, \dots \dots \dots (17)$$

причемъ значенія коэффициента β заключаются между 0 и 1.

Для $\beta = 1$ будетъ:

$$v = \sqrt{(kn)^2 + v_0^2}, \dots \dots \dots (7)$$

т.-е. получается уравненіе имѣвшееся выше для случая кривой числа оборотовъ — эллипса.

Для $\beta = 1/2$ будетъ:

$$v = \frac{kn}{2} + \sqrt{\left(\frac{kn}{2}\right)^2 + v_0^2}, \dots \dots \dots (16)$$

т. е. уравнение имѣвшееся выше для случая получения *параболы*.

Для $\beta = 0$

$$v = kn + v_0, \dots\dots\dots (18)$$

т. е. общеизвѣстное приближенное *линейное* уравнение.

Вводя далѣе въ уравнение (17) слѣдующія обозначенія: $k(1-\beta) = a$; $k^2 \beta^2 = b$; $v_0^2 = c$, имѣемъ:

$$v = a.n + \sqrt{bn^2 + c}, \dots\dots\dots (19)$$

т. е. получается извѣстное уравнение *Baumgarten'a*.

Такимъ образомъ для крыльевъ, какъ съ винтообразными, такъ и плоскими лопастями разныхъ величинъ уравнение (17) есть уравнение вертушки въ общемъ видѣ и отличается отъ ранѣе выведеннаго *Baumgarten'омъ* уравненія (19) преимуществомъ болѣе простаго и яснаго выраженія коэффициентовъ a , b , c и тѣмъ облегчающаго ихъ опредѣленіе.

Уравненія (7) и (18) даютъ границы, между которыми заключены остальные уравненія вертушекъ, и эти границы не на столько малы, чтобы ими можно было пренебрегать. Такъ, при подсчетѣ проф. *Schmidt'a* для 18 наблюдений по формуламъ (7), (16) и (18) (по всеѣмъ формуламъ для каждаго наблюденія [63, 945—946]) оказалось (фиг. 6, Табл. XXIV):

- 1) при графическомъ изображеніи получаются три линіи, — по уравненію (7) — нижняя, (16) — средняя (болѣе толстая) и (18) — верхняя;
- 2) Все три линіи сходятся въ точкахъ M (координаты которой $v = 2,921$; $n = 7,0$) и N (съ координатами $v = n = 0,125$);
- 3) Путь $s = 10$ м.; наибольшее число оборотовъ $u_m = 24$;
- 4) Ур—іе (7) даетъ: $k = 41,67$; $t_m = 88,02$ сек., $v_0 = 0,1136$ метр. Ур—іе (16) даетъ: $k = 41,67$, $t_m = 104,7$ сек., $v_0 = 0,0955$ метр. Ур—іе (18) даетъ прямую, связывающую точки M и N и отсѣкающую отъ оси ординатъ отрѣзокъ $v_0 = 0,0724$ метр., причемъ

$$k' = \operatorname{tg} \alpha = \frac{v - v_0}{n} = 0,4067 \text{ и только для очень большихъ координат } v \text{ и } n \text{ будетъ } k' = \frac{v_{\max}}{n_{\max}} = \frac{s}{u_{\max}} = k. \text{ Для конечныхъ же величинъ } v \text{ и } n \text{ получатся различныя } k'.$$

Уравненіе вертушки въ общемъ видѣ.

§ 6. Наносить графически возможно большое число наблюдений величин u и t ; полученный ряд точек соединяется кривой (фиг. 12 и 13, Табл. XXIII), вершина которой определяется координатами $u = u_m$ и $t = 0$; любая точка N определяется координатами u, t . Численное значение для u_m и k находить, как выше. Остаются неизвестными t_m и β .

Нахождение коэффициента β ур-ия (17).

Подставляя въ ур-іе (17) величины: $v = \frac{s}{t}$; $k = \frac{s}{u_m}$; $v_0 = \frac{s}{t_m}$;

$n = \frac{u}{t}$, получать простымъ преобразованиемъ:

$$1 - \frac{u}{u_m} (1 - \beta) = \sqrt{\left(\frac{u}{u_m} \beta\right)^2 + \left(\frac{t}{t_m}\right)^2}$$

откуда:

$$\beta = \frac{\left(\frac{t}{t_m}\right)^2 - \left(1 - \frac{u}{u_m}\right)^2}{\frac{2u}{u_m} \left(1 - \frac{u}{u_m}\right)} \dots \dots \dots (20)$$

Для другой точки, между вершиной и точкой N ,

$$\beta = \frac{\left(\frac{t'}{t_m}\right)^2 - \left(1 - \frac{u'}{u_m}\right)^2}{\frac{2u'}{u_m} \left(1 - \frac{u'}{u_m}\right)} \dots \dots \dots (21).$$

Приравнивая вторыя части равенствъ (20) и (21) и обозначая: $\left(1 - \frac{u}{u_m}\right)^2 = p$; $u \left(1 - \frac{u}{u_m}\right) = q$, а также соответственно величины p' и q' , получимъ:

$$\left[\left(\frac{t}{t_m}\right)^2 - p\right] q' = \left[\left(\frac{t'}{t_m}\right)^2 - p'\right] q,$$

откуда:

$$t_m = \sqrt{\frac{q't^2 - q(t')^2}{p'q - p'q}} \dots \dots \dots (22).$$

Эта величина, будучи введена въ ур-іе (20) или (21), дастъ β —при точномъ вычисленіи. Вслѣдствіе неизбежныхъ неточностей въ вычисленияхъ съ дробями въ ур-іи (20) лучше пользоваться для вычисленій тѣмъ уравненіемъ, которое имѣетъ большія цифровыя величины.

Вліяніе коэф-
фициента β на
зависимость
между u и t ,
а также меж-
ду v и n .

§ 7. Можно изъ ур—ія (17) получить выражение зависимости между u и β :

$$u = u_m \left(1 - \frac{t^2}{t_m^2}\right) \cdot \frac{1}{(1 - \beta) + \sqrt{\beta^2 + \frac{t^2}{t_m^2} (1 - 2\beta)}} \dots \dots (23)$$

и построить графикъ измѣненія u при различныхъ t и β .

Проф. *Schmidt* сдѣлалъ это (фиг. 5, Табл. XXIV) для семи различныхъ значеній β , а именно:

$$1, \quad \frac{3}{4}, \quad \frac{1}{2}, \quad \frac{1}{3}, \quad \frac{1}{5}, \quad \frac{1}{10}, \quad 0.$$

Легко видѣть, какъ эти кривыя изъ чисто эллиптической формы для $\beta=1$ съ постепеннымъ уменьшеніемъ β переходятъ въ параболу для $\beta=1/2$, и въ прямую для $\beta=0$.

Такъ же для разныхъ β , пользуясь уравненіемъ (17), можно составить графикъ зависимости v и n . Получается для 7 значеній β (фиг. 7, Табл. XXIV) пучекъ расходящихся (въ сторону увеличенія n) линій, показывающихъ ясно вліяніе β на v .

Такъ напр. для $n=0,5$ и $\beta=0,5$ скор. $v=0,245$ метр. } разность =
для $n=0,5$ и $\beta=0,1$ „ $v=0,268$ „ } = 9⁰/₁₀.

Поэтому очень важно, особенно для измѣренія малыхъ скоростей, чтобы для уравненія избиралась правильная форма, или, что то же, нельзя для опредѣленія коэффициентовъ вертушки пользоваться любымъ уравненіемъ произвольно; надо сначала опредѣлить β , а затѣмъ уже выбрать и уравненіе.

При этомъ для *практическихъ цѣлей*, когда очень точное опредѣленіе β не требуется, особенно для β между $1/2$ и 1, задача рѣшается проще. По вычерченной кривой чиселъ оборотовъ заключаютъ,—къ эллипсу или параболѣ подходитъ кривая и соответственно этому пользуются затѣмъ уравненіемъ (7) или (16). Ошибка, возникающая при этомъ, не велика и заключается въ предѣлахъ точности измѣреній большинства подобныхъ приборовъ (1¹/₄⁰/₁₀); но это относится до приборовъ съ малой чувствительностью, которые не дѣйствуютъ при скоростяхъ 0,1—0,2 м/сек.

Размѣры и
вычисленные
элементы для
нѣкоторыхъ
вертушекъ.

§ 8. Здѣсь приведена таблица съ сопоставленными элементами 12 испытывавшихся приборовъ.

№ прибора.	Число и материал лопастей.	Диаметр самого колеса сант.	Поверхность (сант.) ²	Угол удара градусовъ	Высота хода к сант.	Формула для v_0 .	u_m оборотовъ.	t_m сек.	s метр.	β .	v_0 метр./сек.	Средняя ошибка.		Число наблюдений.	Родъ подшипниковъ, способъ счета оборотовъ.
												$\pm m_u$ оборот.	$\pm m_v$ метр.		
1	3Б	12,0	57,7	28	43,64		23,91	85,9	10	1,0	0,117	0,658	0,008	72	Обыкн. подшипн.; механ. счетчикъ.
2	2Б	17,0	132,2	51	29,38	(7)	34,03	145,0	10	1,0	0,069	1,070	0,011	86	Агатовые подшипники; 2 контакт.
3	2Б	11,0	86,0	46	22,70		?	?	20	1,0	0,112	1,110	0,011	48	" " 1 контакт.
4	2Б	11,7	81,0	39	27,00		37,04	115,5	10	0,5	0,087	1,960	0,018	116	Обыкн. подшипн.; 1 контакт.
5	4Б	15,0	71,0	32	42,30	(16)	47,05	243,5	20	0,5	0,082	0,663	0,011	135	Подшипники и контакты какъ при № 2.
6	4Б	15,0	71,3	32	41,70		47,94	270,0	20	0,5	0,074	0,976	0,016	106	Подшипн. и счетчикъ какъ при № 1.
7	3Б	12,0	57,0	30	41,18	(19)	48,60	206,6	?	0,8	0,097	0,781	0,011	70	" " " " "
8	2Б	25,0	264,9	29	100,00		20,00	396,4	?	0,42	0,054	0,293	0,010	82	Шейка на шарик. вкладыш; 2 контакта.
9	4А	11,0	59,2	27	44,22	(19)	44,40	503,0	?	0,36	0,040	2,322	0,011	48	2 острия цапфы въ агат. подш.; 3 конт.
10	3А	4,0	16,7	32	12,00		83,30	167,2	?	0,25	0,060	1,631	0,020	67	" " " " " 1 "
11	3А	13,5	72,0	46	40,43	(19)	49,50	469,0	?	0,21	0,043	0,964	0,008	60	} Подшипники и счетчикъ какъ при № 1.
12	3А	12,5	57,7	60	22,09		91,00	526,3	?	0,41	0,038	1,051	0,011	69	

- *Примечаніе:* А — алюминій; Б — бронза; m_u и m_v найдены изъ суммы квадратовъ разностей между результатами наблюдений и вычислений.

Приборъ № 3—имѣть неизмѣнившіеся за 8 лѣтъ коэффициенты.

Приборы №№ 5 и 6—одно и то же колесо.

Приборъ № 8—большая (сдѣланная для р. Рейна) универсальная вертушка (системы *Harlacher'a*), показанная выше на фиг. 1 и 2, табл. XII и стр. 67—69. Она самыхъ большихъ размѣровъ; шариковые подшипники дозволяютъ получение $v_0 = 0,054$ метр. сек., а большой вѣсъ колеса (890 грамм.) устраняетъ неправильности вращательнаго движенія.

Приборъ № 10—наименьшая размѣрами вертушка. Не смотря на малую ударную поверхность, она имѣетъ $v_0 = 0,06$ метр./сек., благодаря устройству агатовыхъ подшипниковъ.

Примѣненіе формулы проф. Schmidt'a къ среднему коэффициенту бывшихъ въ работѣ вертушекъ.

§ 9. Цифровыя данныя для этого подсчета взяты нами изъ работъ проф. *Wagner'a*, приведенныхъ выше въ гл. VI, § 12.

Отнесемъ значенія t и N (или u), полученные тамъ для $S=70$ метр., къ $S=10$ метр. изъ того же предположенія о равномерности движенія прибора, получаемъ:

Вертушка *Harlacher'a* съ электрической сигнализацией.

№№	t сек.	u обор.	№№	t сек.	u обор.	№№	t сек.	u обор.	№№	t сек.	u обор.
1	51,0	21,14	6	25,14	23,8	11	12,91	23,37	16	9,97	23,86
2	49,30	21,30	7	24,71	22,71	12	12,49	23,71	17	7,06	24,30
3	49,71	20,86	8	24,85	23,28	13	12,37	24,00	18	7,09	24,43
4	49,74	21,83	9	25,11	23,42	14	10,43	24,43	19	6,11	24,43
5	25,28	23,37	10	13,10	24,30	15	10,14	23,86	20	6,11	24,43

Видъ формулы.

Вычерченная нами по этимъ даннымъ кривая не представляетъ собою ни части эллипса, ни параболы, ни прямой, слѣдовательно подходитъ лишь къ общему случаю, для котораго дана формула (17).

Далѣе имѣемъ: при $t=0$, $u_m=24,43$; затѣмъ $k = \frac{10}{24,43} = 0,4093$.

Взявъ точки кривой съ координатами ($u=21,3$; $t=49,3$) и ($u'=23,28$; $t'=25,14$) по формулѣ (22) находимъ:

$$t_m = \sqrt{\frac{1,09649 \times 49,3^2 - 2,72853 \times 25,14^2}{0,01641 \times 1,09649 - 0,00222 \times 2,72853}} = \sqrt{\frac{940,52354}{0,01193}} = 280,8 \dots (24)$$

$$\text{[гдѣ } p = \left(1 - \frac{21,3}{24,43}\right)^2 = (0,1281)^2 = 0,01641;$$

$$q = 21,3 \left(1 - \frac{21,3}{24,43} \right) = 21,3 \times 0,1281 = 2,72853$$

$$p_1 = \left(1 - \frac{23,28}{24,43} \right)^2 = (0,0471)^2 = 0,00222;$$

$$q_1 = 23,28 \left(1 - \frac{23,28}{24,43} \right) = 23,28 \times 0,0471 = 1,09649].$$

Величину β , пользуясь большими цифрами, получимъ:

$$\beta = \frac{\left(\frac{49,3}{280,8} \right)^2 - 0,01641}{\frac{2 \times 21,3}{24,43} \times 0,1281} = \frac{0,01443}{0,2234} = 0,0646 \dots \dots \dots (25).$$

Начальная скорость $v_0 = \frac{s}{t_m} = \frac{10}{280,8} = 0,0356.$

Поэтому зависимость между v и n для рассматриваемого прибора *Harlachér*'а выразится такъ (формула 17):

$$v = 0,4093 \cdot n \cdot (1 - 0,0646) + \sqrt{(0,4093 \times 0,0646 \times n)^2 + 0,0356^2} = \\ = 0,383 \cdot n + \sqrt{0,001267 + 0,0007n^2} \dots \dots \dots (26)$$

Зависимость между u и t (по уравнению 23):

$$u = 24,43 \left(1 - \frac{t^2}{280,8^2} \right) \cdot \frac{1}{0,9354 + \sqrt{0,0646^2 - \frac{0,8708}{280,8^2} \cdot t^2}} \dots \dots \dots (27).$$

Сравнение результатовъ, полученныхъ вычисленіемъ по тремъ формуламъ: Сравнение результатовъ грехъ формуль.

(A) $v = 0,030 + 0,402n,$

полученной проф. *Wagner*'омъ графическимъ путемъ;

(B) $v = 0,02946 + 0,40246n,$

коэффициенты найдены нами по способу наименьшихъ квадратовъ (форм. II, гл. VI, § 11—12).

(C) $v = 0,383n + \sqrt{0,001267 + 0,0007n^2},$

формула проф. *Schmidt*'а (26) съ найденными нами для этого случая коэффициентами.

Нужныя данныя и сдѣланные подсчеты сведены въ таблицу.

№№ наблюдений.	Длина пути s метр.	Время t сек.	Число N оборот.	$n = \frac{N}{t}$ обор./сек.	Наблю- денное: $v = \frac{s}{t}$ метр./сек.	Скорости, вычислен- ные по формуламъ.			Разности D метр./сек. между наблюдеными и вычисленны- ми по формуламъ:			D. D.		
						(A).	(B).	(C).	(A).	(B).	(C).	Формула (A).	Формула (B).	Формула (C).
						метр./сек.			(A).	(B).	(C).			
1	357	148	0,414	0,196	0,196 428	0,196 078	0,195 804	+0,000 428	+0,000 078	-0,004 795	0,000 000 183	0,000 000 006	0,000 017 606	
2				0,432	0,203	0,203 664	0,203 323	0,202 841	+0,000 664	+0,000 323	-0,000 159	000 411	000 104	000 023
3				0,419	0,210	0,198 438	0,198 091	0,197 758	-0,011 562	-0,011 909	-0,012 242	133 680	141 824	149 867
4				0,437	0,200	0,205 674	0,205 335	0,204 795	+0,005 674	+0,005 333	+0,004 796	032 191	028 462	023 002
5	177	165	0,932	0,397	0,404 664	0,404 533	0,400 258	+0,007 664	+0,007 533	+0,003 258	0,000 058 737	0,000 057 048	0,000 010 614	
6				0,930	0,400	0,403 860	0,403 748	0,399 462	+0,003 860	+0,003 748	-0,000 338	014 900	014 018	000 289
7				0,919	0,404	0,399 438	0,399 321	0,395 084	-0,004 562	-0,001 679	-0,008 916	020 812	021 893	079 495
8				0,937	0,402	0,406 674	0,406 565	0,402 249	+0,004 674	+0,004 565	+0,000 249	021 846	020 839	000 062
9				0,932	0,398	0,404 664	0,404 533	0,400 258	+0,006 664	+0,006 533	+0,002 258	044 409	042 942	005 098
10	91	170	1,833	0,764	0,775 710	0,776 023	0,771 093	+0,011 710	+0,012 023	+0,007 093	0,000 137 124	0,000 144 353	0,000 050 311	
11				1,823	0,773	0,763 650	0,763 950	0,758 968	-0,010 350	-0,010 650	-0,015 032	107 123	101 002	225 961
12				1,899	0,801	0,793 398	0,793 732	0,788 891	-0,007 602	-0,007 268	-0,012 109	057 790	052 824	146 628
13				1,808	0,805	0,797 016	0,797 354	0,792 532	-0,007 984	-0,007 646	-0,012 469	063 744	058 461	153 451
14	73	171	2,342	0,958	0,971 484	0,972 021	0,968 446	+0,013 484	+0,014 021	+0,010 446	0,000 181 818	0,000 196 588	0,000 109 119	
15				2,332	0,983	0,975 504	0,976 045	0,972 505	-0,009 495	-0,009 934	-0,012 495	090 174	080 174	156 125
16				2,393	1,002	0,991 985	0,992 517	0,989 151	-0,010 014	-0,009 433	-0,012 849	100 280	089 359	165 097
17	49	170	3,441	1,417	1,413 282	1,414 323	1,415 654	-0,003 718	-0,002 675	-0,001 346	0,000 013 824	0,000 007 156	0,000 001 812	
18				3,447	1,411	1,415 694	1,416 740	1,418 101	+0,004 694	+0,005 740	+0,007 101	022 034	032 948	050 424
19	42	171	3,993	1,636	1,635 990	1,637 288	1,641 615	-0,000 010	+0,001 288	+0,005 615	0,000 000 000	0,000 001 659	0,000 031 528	
20				3,993	1,636	1,635 990	1,637 288	1,641 615	-0,000 010	+0,001 288	+0,005 615	000	001 659	031 528
Сумма квадратовъ ошибокъ.....											0,001 101 113	0,001 093 549	0,001 409 942	

Изъ сравненія суммы квадратовъ абсолютныхъ ошибокъ видимъ, что наименьшая сумма принадлежитъ формулѣ (B), затѣмъ (A), а формула *Schmidt*'а даетъ въ данномъ случаѣ наименѣе благоприятные результаты. Но если принять во вниманіе предѣлы колебаній величинъ этихъ ошибокъ и выразить ихъ въ $\%$ отъ соотвѣтствующей скорости, то получимъ слѣдующіе результаты:

Обозначеніе формулъ.	(A)	(B)	(C)
Предѣлы колебаній разностей между наблюденной и вычисленными скоро- стями метр./сек.....	+0,013 484	+0,014 021	+0,010 446
	-0,011 562	-0,011 909	-0,013 032
Сумма предѣльныхъ разностей.....	0,023 046	0,023 930	0,023 478
Предѣлы колебаній ошибокъ въ $\%$ отъ наблюденной скорости.....	+1,4 $\%$	+1,5 $\%$	+1,09 $\%$
	-5,3 $\%$	-5,67 $\%$	-1,95 $\%$
Сумма предѣльныхъ ошибокъ.....	6,9 $\%$	7,17 $\%$	3,04 $\%$

Такимъ образомъ оказывается, что предѣлы колебаній ошибокъ для всѣхъ трехъ формулъ почти одинаковы; но процентное отношеніе этихъ колебаній къ соотвѣтственнымъ наблюдаемымъ скоростямъ даетъ возможность распредѣлить эти три формулы по достоинству въ слѣдующемъ порядкѣ: формула (C), формула (A) и формула (B), т. е. формулѣ проф. *Schmidt*'а слѣдуетъ отдать преимущество предъ двумя другими. Конечно, по такому небольшому числу данныхъ никакого общаго заключенія сдѣлать нельзя; все сказанное остается вѣрнымъ лишь въ предѣлахъ данныхъ, приводимыхъ проф. *Wagner*'омъ.

Чувствительность прибора ($v_0=0,0356$) определяемая здѣсь точнѣе, оказывается для рассматриваемаго прибора меньшей, чѣмъ то найдено было выше (0,03; 0,028; 0,029)—въ гл. VI, § 12.

§ 10. Данныя для этого подсчета взяты нами изъ работъ проф. *Боуславскаго* [85] на р. Невѣ (іюль 1884 г.), которымъ въ продолженіе 3-хъ часовъ было сдѣлано 82 наблюденія: изъ 71, признанныхъ годными, способомъ наименьшихъ квадратовъ были опредѣлены коэффициенты α и β въ формулѣ вертушки: $v=\alpha+\beta n$. Всѣ данныя помѣщены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Вертушка
Amsler'а съ
механиче-
скимъ
счетчикомъ

№№ наблюдений.	Время			№№ наблюдений.			Время			№№ наблюдений.			Время	
	t сек.	u ($=N$) оборот.	№№ наблюдений.	t сек.	u ($=N$) оборот.	№№ наблюдений.	t сек.	u ($=N$) оборот.	№№ наблюдений.	t сек.	u ($=N$) оборот.	№№ наблюдений.	t сек.	U ($=N$) оборот.
1	11	23	18	10	24	32	9,5	24	47	11,5	25	61	9,5	25
3	15	23	19	12	23	33	10,5	24	48	10,5	26	62	10	25
4	10	26	20	10,5	25	34	10	26	49	10	25	63	10	25
6	13	25	21	11	23	35	10,5	24	50	10,5	24	64	9	24
7	10,5	24	22	11	25	36	9,5	25	51	9,5	24	65	8,5	25
8	12	24	23	10,5	25	37	10,5	24	52	10	25	68	5	25
9	9,5	25	24	11,5	25	38	9,5	24	53	10	25	70	6	24
10	12,5	25	25	11,5	25	39	8,5	26	54	10	24	71	6	24
11	13	25	26	10,5	25	40	10,5	25	55	10	25	73	4,5	27
12	10,5	24	27	11,5	24	41	10	24	56	10	24	74	5	26
13	13	23	28	11,5	25	42	9,5	26	57	9,5	25	77	5	25
14	11	25	29	11,5	24	43	10,5	24	58	10	25	80	5	25
15	15	23	30	10	25	45	9	25	59	9,5	24	81	6	24
16	8,5	24	31	12	25	46	11	24	60	10,5	25	82	5,5	25
17	12,5	24												

Видь формулы.

Вычерченная нами по этимъ даннымъ для случая общаго кривал не представляет собою ни части эллипса, ни параболы, ни прямой; слѣдовательно, и въ данномъ случаѣ надо примѣнить общую формулу (17). Къ сожалѣнію даны цифровыя значенія въ слишкомъ тѣсныхъ предѣлахъ (t измѣняется отъ 4,5 до 15 сек., тогда какъ число оборотовъ за то же время мѣняется лишь отъ 27 до 23) и для слишкомъ малаго протяженія, несмотря на большое число наблюдений; поэтому нельзя сказать, чтобы какіе-нибудь выводы, сдѣланные изъ этихъ работъ, могли быть названы точными или по крайней мѣрѣ неопровержимыми.

Имѣемъ, подобно предыдущему примѣру:

$$\text{для } t=0, u_m=27, \text{ а потому } k = \frac{s}{u_m} = \frac{20}{27} = 0,7407.$$

Возьмемъ двѣ точки кривой съ ординатами: 1) $u' = 25$ оборот., $t' = 8,5$ сек.—(нѣкоторыя среднія значенія изъ всѣхъ) и 2) $u = 23$, $t = 15$ —(наиб. значеніе t).

Тогда изъ формулъ (20—22) имѣемъ:

$$t_m = \sqrt{\frac{1,8525 \cdot 15^2 - 3,404 \cdot 8,5^2}{0,0219 \cdot 1,8525 - 0,00540 \cdot 3,404}} = \sqrt{\frac{170,8735}{0,0219}} = 88,3 \dots (28)$$

$$[\text{гдѣ } p = \left(1 - \frac{23}{27}\right)^2 = (0,148)^2 = 0,0219;$$

$$q = 23 \cdot \left(1 - \frac{23}{27}\right) = 23 \cdot 0,148 = 3,404$$

$$p' = \left(1 - \frac{25}{27}\right)^2 = (0,0741)^2 = 0,00549;$$

$$q' = 25 \cdot \left(1 - \frac{25}{27}\right) = 25 \cdot 0,0741 = 1,8525].$$

Начальная скорость: $v_0 = \frac{s}{t_m} = \frac{20}{88,3} = 0,2265$ фут./сек.

Величину β , пользуясь большими цифрами, найдемъ:

$$\beta = \frac{\left(\frac{15}{88,3}\right)^2 - 0,0219}{\frac{2 \cdot 23}{27} \cdot (0,148)} = \frac{0,00697}{0,2521} = 0,0276 \dots \dots \dots (29).$$

Поэтому, зависимость между v и n для разсматриваемаго случая выразится такъ:

$$v = 0,7407 \cdot (1 - 0,0276) \cdot n + \sqrt{[0,7407 \cdot 0,0276 \cdot n]^2 + 0,2265^2} = \\ = 0,72n + \sqrt{0,0004n^2 + 0,0513} \dots \dots \dots (30).$$

Примѣнимъ, для сравненія, къ наиболѣе рѣзкимъ (minimum и maximum), а также къ среднимъ значеніямъ скоростей для одного и того же числа оборотовъ формулы: Сравненіе результатов двухъ формулъ.

1. Проф. Schmidt'a (30) съ найденными нами для этого случая коэффициентами.
- и 2. Общеупотребительную формулу вида $v = a + \beta n$ съ коэффициентами, полученными для тѣхъ же данныхъ проф. Боусласкимъ.

Для того же разсмотрѣннаго нами общаго случая, т. е. для всѣхъ 71 наблюдений, онъ нашель:

$$\Sigma v = 152,303; \Sigma n = 187,945; \Sigma nv = 444,7398; \Sigma n^2 = 552,221; m = 71.$$

Значеніе для скорости v получилось:

$$v = 0,1334 + 0,7600 n \text{ фут./сек.} \dots \dots \dots (31).$$

Выбранныя данныя и сдѣланные подсчеты по формуламъ (30) и (31) сведены въ нижеслѣдующую таблицу.

№№ по порядку.	№№ наблюдений.	Длина пути s фут.	Время t сек.	Число оборотов N	$n = \frac{N}{t}$	Наблюденная скорость		Скорости, вычисленные по формулѣ		Разности D фут. сек. между наблюдаемой и вычисленной по формулѣ скоростями.		D. D.	
						$v = \frac{s}{t}$	фут./сек.	(31)	(30)	(31)	(30)	Формула (31).	Формула (30)
1	1; 21		11	23	2,091	1,818	1,723	1,736	-0,093	-0,082	0,0090	0,0067	
2	3; 15		15	23	1,333	1,333	1,298	1,334	-0,035	+0,001	0,0012	0,0000	
3	70; 71; 81	Б.	6	24	4,000	3,333	3,173	3,120	-0,160	-0,213	0,0256	0,0434	
4	18; 41; 54; 56		Т	10	24	2,400	2,000	1,937	1,938	-0,043	-0,042	0,0018	0,0018
5	17			12,3	24	1,920	1,600	1,392	1,612	-0,008	+0,012	0,0001	0,0001
6	68; 77; 80	У	5	25	5,000	4,000	3,933	3,850	-0,067	-0,150	0,0043	0,0223	
7	30; 49; 52; 53; 55; 58; 62; 63		Ф	10	25	2,300	2,000	2,033	2,030	+0,033	+0,030	0,0011	0,0009
8	6; 11			13	25	1,923	1,338	1,395	1,613	+0,057	+0,077	0,0032	0,0059
9	74	20	5	26	5,200	4,000	4,083	3,994	+0,083	-0,005	0,0072	0,0000	
10	4; 34		10	26	2,600	2,000	2,109	2,102	+0,109	+0,102	0,0119	0,0104	
11	73		4,30	27	6,000	4,444	4,693	4,380	+0,249	+0,136	0,0620	0,0183	
Сумма квадратовъ ошибокъ:											0,1276	0,1122	

Заключенія.

Изъ сравненія суммы квадратовъ разностей между наблюдаемыми и вычисленными скоростями видимъ, что наименьшая сумма принадлежитъ формулѣ проф. *Schmidt*'а, не смотря на: а) малые предѣлы измененія числа n оборотовъ, б) малое протяженіе опытнаго участка и упрощенность способа движенія прибора въ узкомъ и неглубокомъ желобѣ, с) малое число данныхъ для группы большихъ скоростей и т. п.

Чувствительность прибора, точнѣе опредѣляемая формулой проф. *Schmidt*'а, для даннаго прибора оказалась $v_0 = 0,2265$ фут./сек., т. е. почти вдвое меньше (хуже) сравнительно съ найденной при тарировкѣ ($v_0 = \alpha = 0,1334$ фут./сек.).

Г Л А В А VIII.

О погрѣшностяхъ въ опредѣленіи скоростей при непосредственномъ измѣреніи ихъ гидрометрическими приборами.

А. Источники ошибокъ при употребленіи поплавковъ (шестовъ) трубокъ и вертушекъ.

§ 1. Источниками [36, 25—26; 52, 15; 84, 184—186; 94] ошибокъ въ опредѣленіи расходовъ воды при измѣреніи скоростей гидрометрическими приборами являются:

Источники ошибокъ, при-
сущихъ всѣмъ
вообще гидро-
метрическимъ
приборамъ и
работамъ.

1. Неточность промѣровъ въ поперечныхъ профиляхъ, увеличивающаяся съ глубиною, бѣльшею неровностью дна, мутностью и неспокойнымъ состояніемъ воды при вѣтрѣ.
2. Неточность измѣренія ширины по урѣзу воды.
3. Возможныя неточности, присущія каждому типу приборовъ въ отдѣльности, подробно перечисленныя ниже при разсмотрѣніи каждаго изъ нихъ.
4. Невозможность исполнить всю работу опредѣленія скоростей, для одного живого сѣченія, въ такой короткій промежутокъ времени, за который горизонтъ воды не измѣнялся бы.
5. Необходимость выбора возможно меньшаго числа вертикалей, чтобы опредѣленіе расхода не затягивать на нѣсколько дней, въ продолженіи которыхъ вода можетъ значительно упасть или подняться.
6. Невозможность выбора невѣтряной погоды; при вѣтряной же погодѣ результаты могутъ быть настолько неправильными, что часто лучше начатую работу бросить, не доведя ее до конца.
7. Могущія произойти ошибки при обработкѣ результатовъ измѣреній, при подсчетѣ секунднаго расхода воды.

Нѣкоторыя неточности представляютъ собою явленія случайныя; величину ихъ опредѣлить почти невозможно и лишь только строгое

соблюденіе правилъ употребленія того или другого прибора и тщательное выполненіе самихъ наблюденій дають возможность общую величину этихъ неточностей свести къ *minimum*’у. Предѣлы же возможныхъ ошибокъ въ показаніяхъ приборовъ могутъ быть опредѣлены только въ нѣкоторыхъ случаяхъ, зависящихъ отъ особенностей самого прибора. Эти опредѣленія приведены ниже при отдѣльномъ разсмотрѣніи для трубки *Darcy* и вертушекъ.

Источники
ошибокъ при
употребленіи
поплавковъ.

§ 2. При измѣреніи поплавками [36, 26: 94, 396—399] ошибки и неточности могутъ произойти по слѣдующимъ причинамъ:

1. Вслѣдствіе возможнаго вспучиванія середины рѣки, а слѣдовательно кривизны поверхности воды, траекторія движенія какаго-либо поплавка на разсматриваемомъ участкѣ потока можетъ пересѣчь направленіе нѣсколькихъ струй, почему и скорость поплавка будетъ нѣкоторая средняя изъ скоростей этихъ струй, а не той струи, скорость которой хотѣли измѣрить.
2. Вслѣдствіе той же причины возможно неправильное опредѣленіе длины пути поплавка, если за длину принимаютъ разстояніе между створами, а не опредѣляютъ путь засѣчками; длина выйдетъ менѣе дѣйствительной, а съ тѣмъ вмѣстѣ и измѣряемая скорость—менѣе истинной.
3. Вслѣдствіе опредѣленія поплавкомъ средней скорости нѣкотораго участка рѣки, а не того сѣченія, для котораго вычисляется площадь и расходъ, ибо площади живыхъ сѣченій измѣняются непрерывно даже въ правильныхъ участкахъ рѣки.
4. Вслѣдствіе вполнѣ возможной ошибки въ двукратномъ опредѣленіи времени тѣмъ большей, чѣмъ короче избранный между створами участокъ; хотя, съ другой стороны, при очень длинномъ участкѣ очертаніе русла, площади живыхъ сѣченій и поверхностный уклонъ потока могутъ измѣняться весьма сильно; это послѣднее можетъ повлечь за собой еще большія ошибки, нежели въ опредѣленіи времени при болѣе короткомъ участкѣ.

Конечно, о количественномъ опредѣленіи вышеперечисленныхъ ошибокъ нельзя и думать, такъ какъ эти погрѣшности имѣютъ совершенно случайный характеръ,—все дѣло въ той или другой силѣ вѣтра, въ томъ или другомъ поперечномъ и продольномъ уклонѣ рѣки и проч. Эта трудность и часто невозможность точнаго опредѣленія предѣловъ ошибокъ въ измѣреніи скорости поплавками нерѣдко говоритъ противъ употребленія послѣднихъ⁶⁾, ибо отъ всякаго хорошаго инструмента требуется прежде всего знаніе этихъ предѣловъ. Но, на основаніи нижеприведенныхъ примѣровъ⁷⁾, по нашему мнѣнію, вполнѣ возможно слѣ-

лать заключеніе скорѣе въ пользу употребленія поплавокъ, какъ дающихъ показанія скорости, почти не отличающіяся отъ показаній точныхъ приборовъ, лишь бы условія наблюденій были благоприятныя.

§ 3. При измѣреніи трубками ⁸⁾ неточности могутъ быть:

1. Вслѣдствіе невѣрности чтенія высотъ.
2. Вслѣдствіе вполнѣ возможнаго неправильнаго положенія отверстій трубокъ относительно теченія (въ трубкѣ *Darcy* и ей подобныхъ площадь одного отверстия должна быть строго перпендикулярна, площадь другого—параллельна теченію; въ трубкѣ *Frank'a* щель или мелкія отверстия должны быть расположены точно противъ теченія и т. д.).
3. Вслѣдствіе вполнѣ возможнаго неправильнаго направленія струй, т. е. направленія ненормальнаго къ избранной площади профиля, а подъ нѣкоторыми углами α къ этой нормали, какъ въ горизонтальной, такъ и вертикальной плоскостяхъ.
4. Вслѣдствіе неточнаго опредѣленія коэффициента прибора.
5. Вслѣдствіе возможности измѣненія отъ времени и работы коэффициента прибора, входящаго въ формулу трубки; для контроля въ этомъ слѣдуетъ одновременно употреблять два прибора.
6. Температура воды и воздуха, состояніе поверхности трубки, вліяющей на прилипаніе къ ней воды, возможность подпора предъ трубкой и т. п. могутъ быть также причинами неточностей въ результатахъ измѣренія.

Также и для этого прибора невозможно найти точныхъ предѣловъ вѣхъ возможныхъ ошибокъ и это, въ глазахъ многихъ ⁹⁾, служить не въ пользу употребленія прибора.

§ 4. При измѣреніи вертушками [36, 25—26, 52, 15; 94, 410—419] кромѣ вышеуказанныхъ общихъ причинъ появленія ошибокъ возможны еще слѣдующія:

1. Неточность въ измѣреніи пути, при опредѣленіи коэффициентовъ вертушки.
2. Неточность двукратнаго при каждомъ наблюденіи опредѣленія времени какъ при нахожденіи коэффициентовъ вертушки, такъ и потомъ во время самихъ измѣреній.
3. Неточность двукратнаго считыванія числа оборотовъ вертушки.
4. Неточность опредѣленія моментовъ включенія и выключенія (2 раза), увеличивающаяся съ возрастаніемъ скорости и уменьшающаяся съ увеличеніемъ длины пути при тарированіи прибора.
5. Невѣрность, такимъ образомъ, въ опредѣленіи самихъ коэффициентовъ вертушки.

Источники ошибокъ при употребленіи гидрометрическихъ трубокъ.

Источники ошибокъ при употребленіи вертушекъ.

6. Измѣняемость (отъ времени и работы) коэффициентовъ вертушки; для контроля въ этомъ, какъ и съ трубками, при большихъ работахъ, слѣдуетъ одновременно употреблять два прибора.
7. Ненормальное положеніе оси вертушки къ площади поперечнаго профиля.
8. Неточность въ опредѣленіи чиселъ оборотовъ вертушки вслѣдствіе содержанія въ водѣ большаго или меньшаго количества мути или мелкихъ частицъ песку; ударовъ несущихся внутри воднаго потока органическихъ и минеральныхъ тѣлъ и т. п.

В. Опредѣленіе возможныхъ случайныхъ погрѣшностей результата измѣреній, произведенныхъ гидрометрическими трубками и вертушками.

Объ ошибкахъ результата измѣреній и вычислений вообще.

§ 5. Какъ бы тщательно ни производилось наблюденіе, тѣмъ не менѣе нельзя избѣжать хотя и весьма малыхъ ошибокъ въ результатахъ измѣреній. Эти ошибки (погрѣшности) могутъ быть постоянныя (систематическія), вполнѣ опредѣленныя по величинѣ и по знаку, и случайныя, вслѣдствіе которыхъ одинаково часто получается величина и большая и меньшая истинной. Причина постоянныхъ погрѣшностей можетъ лежать: 1) въ показаніяхъ измѣрительныхъ приборовъ, и 2) въ томъ, что наблюдатель склоненъ дѣлать ошибки преимущественно въ одномъ какомъ-либо направленіи. Разыскать въ каждомъ отдѣльномъ рядѣ наблюденій величину систематической ошибки есть обязанность всякаго добросовѣстнаго и заботливаго наблюдателя.

Затѣмъ, опредѣливъ размѣры этого рода погрѣшностей, слѣдуетъ: 1. ввести надлежащую поправку въ результатъ, или 2. подобрать такое сочетаніе наблюденій и прѣмовъ, при которомъ постоянныя погрѣшности были бы исключены.

Разысканіе же ошибокъ случайныхъ составляетъ предметъ особаго отдѣла математики, называемаго теоріей вѣроятностей. Краткія свѣдѣнія изъ этой теоріи, необходимыя для подсчета ошибокъ, а также правила приближеннаго вычисленія и численныхъ выкладокъ помѣщены нами въ особомъ приложеніи, въ концѣ сей книги. Здѣсь же, при подсчетахъ случайныхъ погрѣшностей для трубокъ и вертушекъ, мы будемъ предполагать читателя, уже имѣющаго эти свѣдѣнія.

Результатъ измѣреній часто дается не прямо наблюденіемъ, но долженъ быть выведенъ путемъ вычисленія изъ одной или нѣсколькихъ измѣренныхъ величинъ, какъ это имѣется и въ данномъ случаѣ. При такихъ условіяхъ необходимо опредѣлить, какъ велика погрѣшность результата, если наблюденная величина содержитъ нѣкоторую (извѣстную) неточность. На основаніи этого подсчета можно будетъ:

- 1) судить о степени точности самого результата;

- 2) узнать о возможных сокращениях в вычислении, не увеличивая чувствительным образом погрешности результата;
- 3) Найти, при изменении, состоящем из нескольких наблюдений, на какую сторону дѣла должно быть направлено наибольшее вниманіе;
- 4) при условии возможности видоизмѣнять условия опыта, сдѣлать выборъ наиболее выгодныхъ условий, при которыхъ погрешности наблюденія имѣли бы наименьшее вліяніе на результатъ.

При этомъ погрѣшность въ наблюдаемой величинѣ должна быть выражена въ тѣхъ же единицахъ, какъ и сама наблюдаемая величина.

§ 6. Попытаемся найти возможную погрѣшность при измѣреніи трубочкою *Darcy*, происходящую отъ невѣрности чтенія высотъ по трубкамъ. Результатъ, получаемый помощью трубки *Darcy*, долженъ быть выведенъ путемъ вычисленія изъ формулы:

$$v = \varphi \cdot \sqrt{2gh}, \dots \dots \dots (1)$$

Вызодъ формулы для обшей и частныхъ погрѣшностей v и коэффициентъ φ трубки *Darcy*.

въ которую входятъ : 1 измѣренная величина h и 2 полученная на основаніи подобныхъ же измѣреній величина φ . Предположимъ что:

- 1) при опредѣленіи разныхъ величинъ v дѣлаемъ ошибки δ_1 ;
- 2) ошибка при нахожденіи коэффициента φ будетъ δ_2 ;
- и 3) ошибка въ отчитываніи высоты h будетъ δ_3 .

Тогда формула (1) приметъ слѣдующій видъ:

$$v \pm \delta_1 = (\varphi \pm \delta_2) \cdot \sqrt{2g(h \pm \delta_3)} \dots \dots \dots (2)$$

или, по раскрытіи скобокъ и послѣ нѣкоторыхъ преобразованій, имѣемъ:

$$\begin{aligned} v \pm \delta_1 &= \varphi \cdot \sqrt{2g(h \pm \delta_3)} \pm \delta_2 \cdot \sqrt{2g(h \pm \delta_3)} = \\ &= \varphi \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[\sqrt{h \pm \delta_3} \pm \frac{\delta_2}{\varphi} \cdot \sqrt{h \pm \delta_3} \right] = \\ &= \varphi \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[1 + \frac{\delta_2}{\varphi} \right] \cdot \sqrt{h} \cdot \left[1 \pm \frac{\delta_3}{h} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

Разложимъ въ рядъ послѣдній двучленъ; ограничиваясь при этомъ первой степенью δ_3 , получимъ:

$$\left[1 \pm \frac{\delta_3}{h} \right]^{1/2} = 1 \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta_3}{h} \dots \dots \dots (4)$$

Теперь равенство (3) можно вновь преобразовать такъ:

$$\begin{aligned} v \pm \delta_1 &= \varphi \cdot \sqrt{2gh} \left[1 + \frac{\delta_2}{\varphi} \right] \left[1 \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta_3}{h} \right] = \\ &= \varphi \sqrt{2gh} \cdot \left[1 + \frac{\delta_2}{\varphi} \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta_3}{h} \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta_2}{\varphi} \cdot \frac{\delta_3}{h} \right] \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

Подставляя сюда вмѣсто v ея величину по уравненію (1) и пренебрегая послѣднимъ членомъ въ скобкахъ какъ малою величиною второго порядка, окончательно имѣемъ:

$$\varphi \cdot \sqrt{2gh} \pm \delta_1 = \varphi \cdot \sqrt{2gh} + \frac{\delta_2}{\varphi} \cdot \varphi \sqrt{2gh} \pm \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta_3}{h} \cdot \varphi \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots (6)$$

или по сокращеніи, общая погрѣшность въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибокъ δ_2 и δ_3 опредѣлится:

$$\pm \delta_1 = \delta_2 \sqrt{2gh} \pm \frac{\varphi}{2} \cdot \sqrt{\frac{2g}{h}} \cdot \delta_3 = \delta_2 \sqrt{2gh} \pm \varphi \cdot \delta_3 \cdot \sqrt{\frac{g}{2h}} \dots \dots (7)$$

При изслѣдованіи этого послѣдняго ур-ія могутъ встрѣтиться слѣдующіе случаи.

1) $\delta_1 = 0$; а слѣдовательно:

$$\delta_2 \cdot \sqrt{2gh} = \mp \varphi \cdot \delta_3 \sqrt{\frac{g}{2h}}, \dots \dots (8)$$

откуда погрѣшность въ опредѣленіи коэффициента φ въ зависимости отъ ошибки δ_3 :

$$+\delta_2 = \mp \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{\delta_3}{h} \dots \dots (9)$$

2) $\delta_2 = 0$; тогда погрѣшность въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибки δ_3 :

$$\pm \delta_1 = \pm \frac{\varphi}{2} \cdot \frac{\delta_3}{\sqrt{h}} \cdot \sqrt{2g} = \pm \varphi \cdot \delta_3 \cdot \sqrt{\frac{g}{2h}} \dots \dots (10)$$

3) $\delta_3 = 0$, а потому погрѣшность въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибки δ_2 :

$$\pm \delta_1 = +\delta_2 \cdot \sqrt{2gh} \dots \dots (11)$$

Предѣльные
значенія ко-
эффициента
трубки.

§ 7. Зададимся нѣкоторыми частными значеніями величинъ, входящихъ въ найденныя выраженія погрѣшностей. Такъ:

Для φ разсмотримъ три значенія:

0,85 (по *Darcy-Tume*); 1,00 (по *Bazin*'у); 1,15 (по *Tume*);

изъ нихъ крайнія—предѣльныя, а среднее—наиболѣе часто встрѣчающееся.

Соотвѣтственно этому для величины $\mu = \varphi \sqrt{2g}$ будемъ имѣть:

$\mu = 0,85 \sqrt{19,62} = 3,766$; $\mu = 4,432$; $\mu = 5,0968$ метр.

Наименьшія
погрѣшности
въ четвіи вы-
свѣтъ.

Погрѣшность δ_3 въ отсчитываніи h вполне можно принять равной 0,001 метр. и не менѣе 0,0005 метр.

Принимая эту величину за наименьшую высоту, какую можно наблюдать, находимъ для всѣхъ трехъ выше взятыхъ величинъ φ : Наименьшая скорость для наблюдения трубкою.

$v = 3,766 \sqrt{0,001} = 3,766 \times 0,0316 =$ $= 0,119$ метр./сек.	$v = 4,132 \sqrt{0,001} =$ $= 0,110$ метр./сек.	$v = 5,0968 \sqrt{0,001} =$ $= 0,161$ метр./сек.
--------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------	-----------------------------------------------------

При $\delta_3 = 0,0005$ метр. имѣемъ слѣдующія значенія:

$v = 3,766 \sqrt{0,0005} = 3,766 \times 0,0223 =$ $= 0,092$ метр./сек.	$4,132 \times 0,0213 =$ $= 0,109$ метр./сек.	$5,0968 \times 0,0213 =$ $= 0,125$ метр./сек.
---------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------	--------------------------------------------------

Такимъ образомъ, даже при $\delta_3 = 0,0005$ метр. наименьшая изъ наблюдаемыхъ величинъ h соотвѣтствуетъ скорости въ 0,10 метр./сек.

Слѣдовательно, скорости, меньшія 0,10 метр./сек., совсѣмъ трубкою наблюдены быть не могутъ.

Предѣлы измѣненія скорости v возьмемъ отъ 0,10 до 3,00 м./сек. Частныя значенія v и h .
Меньшая изъ этихъ величинъ, на основаніи только что найденнаго результата, представляетъ предѣлъ, ниже котораго трубку употреблять для измѣреній не слѣдуетъ.

Соотвѣтственно этому разность уровней воды въ трубкахъ h будетъ измѣняться нижеслѣдующимъ образомъ.

v м./сек.	$h = \left[\frac{v}{3,766} \right]^2$ метр.	$h = \left[\frac{v}{4,132} \right]^2$ метр.	$h = \left[\frac{v}{5,0968} \right]^2$ метр.
0,10	0,00 070	0,00 051	0,00 038
0,20	0,00 282	0,00 204	0,00 151
0,30	0,00 635	0,00 438	0,00 316
0,40	0,01 128	0,00 815	0,00 616
0,50	0,01 763	0,01 273	0,00 962
0,75	0,03 966	0,02 864	0,02 163
1,00	0,07 051	0,05 091	0,03 819
1,25	0,11 017	0,07 933	0,06 015
1,50	0,15 864	0,11 433	0,08 661
1,75	0,21 593	0,15 391	0,11 789
2,00	0,28 204	0,20 364	0,15 398
2,25	0,35 693	0,25 773	0,19 488
2,50	0,44 067	0,31 819	0,24 039
2,75	0,53 322	0,38 501	0,29 111
3,00	0,63 437	0,45 818	0,34 643

Возможны
величины по-
грѣшностей
въ определе-
нии коэффи-
циента труб-
ки.

§ 8. Теперь можемъ вернуться къ выведеннымъ выше формуламъ (9), (10) и (11) ошибокъ и найти ихъ величины для принятыхъ предѣловъ примѣненій скорости и разности высотъ въ трубкахъ. Такъ, для величины погрѣшности въ определѣнии коэффициента φ по формуль (9) имѣемъ:

v м./сек.	$\varphi=0,85$		$\varphi=1,00$		$\varphi=1,15$	
	h метр.	$\delta_2 = \pm \frac{\varphi}{2} \cdot \delta_3 \cdot \frac{1}{h} =$ $= \pm 0,85 \cdot 0,001 \cdot \frac{1}{h} =$ $= \pm 0,000425 \cdot \frac{1}{h}$	h метр.	$\delta_2 = \pm \frac{\varphi}{2} \cdot \delta_3 \cdot \frac{1}{h} =$ $= \pm \frac{1,00}{2} \cdot 0,001 \cdot \frac{1}{h} =$ $= \pm 0,0005 \cdot \frac{1}{h}$	h метр.	$\delta_2 = \pm \frac{\varphi}{2} \cdot \delta_3 \cdot \frac{1}{h} =$ $= \pm \frac{1,15}{2} \cdot 0,001 \cdot \frac{1}{h} =$ $= \pm 0,000375 \cdot \frac{1}{h}$
0,10	0,00 070	0,50 714	0,00 051	0,98 039	0,00 038	1,31 316
0,20	0,00 282	0,13 071	0,00 204	0,24 510	0,00 154	0,37 337
0,30	0,00 635	0,06 693	0,00 458	0,10 917	0,00 346	0,16 619
0,40	0,01 128	0,03 768	0,00 815	0,06 135	0,00 616	0,09 334
0,50	0,01 763	0,02 411	0,00 273	0,03 928	0,00 962	0,03 977
0,75	0,03 966	0,01 072	0,02 864	0,01 746	0,02 165	0,02 656
1,00	0,07 051	0,00 603	0,03 091	0,00 982	0,03 849	0,01 494
1,25	0,11 017	0,00 386	0,07 955	0,00 629	0,06 015	0,00 936
1,50	0,13 864	0,00 268	0,11 455	0,00 436	0,08 661	0,00 664
1,75	0,21 593	0,00 197	0,15 591	0,00 321	0,11 789	0,00 488
2,00	0,28 204	0,00 151	0,20 364	0,00 216	0,15 398	0,00 373
2,25	0,33 683	0,00 119	0,25 773	0,00 194	0,19 488	0,00 295
2,50	0,44 067	0,00 096	0,31 819	0,00 157	0,21 059	0,00 239
2,75	0,53 322	0,00 080	0,38 501	0,00 130	0,29 111	0,00 194
3,00	0,63 437	0,00 067	0,45 818	0,00 109	0,34 645	0,00 166

Какъ изъ формулы (9), такъ и изъ приведенныхъ подсчетовъ видимъ, что δ_2 съ увеличеніемъ φ увеличивается, съ увеличеніемъ же v , а значить h , уменьшается.

Такимъ образомъ, для болѣе вѣрнаго опредѣленія коэффициента φ или μ выгоднѣе производить наблюденія при болѣшихъ скоростяхъ движенія инструмента въ стоячей водѣ, чѣмъ при малыхъ. При этомъ производить тарировку прибора не слѣдуетъ даже при скоростяхъ $v=0,10-0,20$ метр./сек. вслѣдствіе возможной слишкомъ большой величины погрѣшности, получаемой въ этомъ случаѣ (для $v=0,1$ метр./сек. ошибка=72—132%; для $v=0,2$ метр./сек. ошибка=18—32,50%). Опредѣленіе коэффициента прибора при скоростяхъ $v=0,30-1,00$ метр./сек. возможно при условіи болѣе или менѣе значительной погрѣшности; такъ, изъ приведенныхъ подсчетовъ имѣемъ:

Предѣльные скорости, при которыхъ возможно тарированіе прибора.

Скорость v метр./сек.	Ошибка въ опредѣленіи φ въ % отъ этого коэффициента.			
	$\varphi=1,13$	$\varphi=1,00$	$\varphi=0,83$	Въ среднемъ
0,30	14,30	11,00	7,67	11,00
0,40	8,00	6,23	4,30	6,23
0,50	5,23	4,00	2,83	4,00
0,75	2,30	1,75	1,23	1,75
1,00	1,30	1,00	0,73	1,00

Только при скоростяхъ равныхъ и болѣшихъ 1 метр./сек. опредѣленіе коэффициента φ возможно съ точностью до 1% (при $v=3$ м./сек. эта точность=отъ 0,08 до 0,15%). Слѣдовательно тогда можно ручаться за вторыя десятичныя, и слѣдуетъ при нахожденіи коэффициента ограничиваться двумя и самое болѣе триа десятичными знаками съ цѣлью вѣрнѣе опредѣлить второй.

Число десятичныхъ знаковъ въ коэффициентѣ.

§ 9. Теперь перейдемъ къ нахожденію частныхъ погрѣшностей δ_1 въ опредѣленіи v , по формуламъ (10) и (11), а затѣмъ и общей погрѣшности по формулѣ (7). Для величины частной погрѣшности въ опредѣленіи v по формулѣ (10) имѣемъ:

Возможныя значенія погрѣшностей въ опредѣленіи скорости. Погрѣшности частныя, общія, наибольшія.

v метр./сек.	$\varphi=0,85$			$\varphi=1,00$			$\varphi=1,15$		
	h метр.	\sqrt{h} .	$\delta'_1 = \varphi \cdot \delta_3 \sqrt{\frac{g}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{h}} =$ $= 0,85 \cdot 0,001 \sqrt{\frac{9,81}{2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{h}} =$ $= \frac{0,00188}{\sqrt{h}}$ метр. въ секунду.	h метр.	\sqrt{h} .	$\delta'_1 = \frac{1,0 \cdot 0,001 \cdot 2,214}{\sqrt{h}} =$ $= \frac{0,00221}{\sqrt{h}}$ метр. въ секунду.	h метр.	\sqrt{h} .	$\delta'_1 = \frac{1,15 \cdot 0,001 \cdot 2,214}{\sqrt{h}} =$ $= \frac{0,00253}{\sqrt{h}}$ метр. въ секунду.
			±			±			±
0,10	0,00070	0,02653	0,07 081	0,00 031	0,02 256	0,03 796	0,00 038	0,01 962	0,12 997
0,20	0,00282	0,05311	0,03 310	0,00 204	0,04 313	0,04 893	0,00 134	0,03 924	0,06 498
0,30	0,00633	0,07966	0,02 360	0,00 438	0,06 769	0,03 263	0,00 346	0,03 886	0,04 332
0,40	0,01128	0,10621	0,01 770	0,00 815	0,09 025	0,02 449	0,00 616	0,07 818	0,03 249
0,50	0,01763	0,13277	0,01 416	0,01 273	0,11 282	0,01 939	0,00 962	0,09 810	0,02 599
0,75	0,03966	0,19915	0,00 944	0,02 864	0,16 922	0,01 306	0,02 165	0,14 715	0,01 733
1,00	0,07031	0,26333	0,00 708	0,05 091	0,22 363	0,00 979	0,03 849	0,19 620	0,01 300
1,25	0,11017	0,33192	0,00 569	0,07 933	0,28 204	0,00 784	0,06 013	0,24 325	0,01 040
1,50	0,15864	0,39830	0,00 472	0,11 433	0,33 813	0,00 633	0,08 661	0,29 430	0,00 866
1,75	0,21593	0,46468	0,00 403	0,15 391	0,39 483	0,00 560	0,11 789	0,34 333	0,00 743
2,00	0,28204	0,53107	0,00 354	0,20 364	0,45 126	0,00 490	0,15 398	0,39 210	0,00 650
2,25	0,35693	0,59745	0,00 315	0,25 773	0,50 767	0,00 433	0,19 488	0,44 143	0,00 578
2,50	0,44067	0,66383	0,00 283	0,31 819	0,56 408	0,00 392	0,24 039	0,49 030	0,00 520
2,75	0,53322	0,73022	0,00 257	0,38 501	0,62 049	0,00 356	0,29 111	0,53 933	0,00 473
3,00	0,63437	0,79660	0,00 236	0,45 818	0,67 689	0,00 325	0,34 645	0,58 860	0,00 433

Наконецъ для величины частной погрѣшности въ опредѣленіи v по формуль (11) имѣемъ:

v метр./сек.	$\varphi=0,85.$				$\varphi=1,00.$				$\varphi=1,15.$			
	h метр.	$\sqrt{2gh}.$	δ_2	$\delta_1''=+$ $+\delta_2\sqrt{2gh}.$	h метр.	$\sqrt{2gh}.$	δ_2	$\delta_1''=+$ $+\delta_2\sqrt{2gh}.$	h метр.	$\sqrt{2gh}.$	δ_2	$\delta_1''=+$ $+\delta_2\sqrt{2gh}.$
				+				+				+
0,10	0,00 070	0,11 719	0,50 714	0,07 113	0,00 051	0,10 003	0,98 039	0,09 807	0,00 038	0,08 631	1,51 316	0,13 065
0,20	0,00 282	0,23 522	0,15 071	0,03 543	0,00 204	0,20 006	0,24 510	0,04 903	0,00 154	0,17 382	0,37 337	0,06 490
0,30	0,00 633	0,35 297	0,06 693	0,02 362	0,00 458	0,29 977	0,10 917	0,03 273	0,00 346	0,26 053	0,16 619	0,04 330
0,50	0,01 128	0,47 044	0,03 768	0,01 773	0,00 815	0,39 988	0,06 135	0,02 433	0,00 616	0,34 765	0,09 334	0,03 245
0,50	0,01 763	0,58 813	0,02 411	0,01 418	0,01 273	0,49 976	0,03 928	0,01 563	0,00 962	0,43 445	0,05 977	0,02 597
0,75	0,03 966	0,88 212	0,01 072	0 00 916	0,02 864	0,74 961	0,01 716	0,01 309	0,02 165	0 65 174	0,02 656	0,01 731
1 00	0,07 051	1,17 618	0,00 603	0,00 709	0,05 091	0,89 942	0,00 982	0,00 981	0,03 819	0,88 900	0,01 494	0,01 298
1,25	0,11 017	1,47 022	0,00 386	0,00 568	0,07 955	1,24 931	0,00 629	0,00 785	0 06 015	1,08 634	0,00 953	0,01 038
1,50	0,15 864	1,76 423	0,00 268	0,00 473	0,11 435	1,49 915	0,00 436	0,00 634	0,08 661	1,30 337	0,00 664	0,00 866
1,75	0,21 393	2,05 829	0,00 197	0,00 403	0,15 591	1,74 859	0,00 321	0,00 561	0,11 789	1,52 086	0,00 488	0,00 742
2,00	0,28 204	2,35 237	0,00 151	0,00 355	0,20 364	1,99 885	0,00 246	0,00 492	0,15 398	1,73 813	0,00 373	0,00 648
2,25	0,35 695	2,64 639	0,00 119	0,00 315	0,25 773	2,24 870	0,00 194	0,00 436	0,19 488	1,95 539	0,00 295	0,00 577
2,50	0,44 067	2,94 098	0,00 096	0,00 282	0,31 819	2,49 837	0,00 137	0,00 392	0,24 039	2,17 264	0,00 239	0,00 519
2,75	0,53 322	3,23 447	0,00 080	0,00 259	0,38 501	2,74 843	0,00 130	0,00 357	0,29 111	2,38 989	0,00 194	0,00 464
3,00	0,63 457	3,52 819	0,00 067	0,00 236	0,45 818	2,99 825	0,00 109	0,00 327	0,34 645	2,60 717	0,00 166	0,00 433

Общая погрѣшность въ опредѣленіи v будетъ по формуль (7):

v мтр./сек.	$\varphi=0,83$		$\varphi=1,00$		$\varphi=1,13$	
	$+\delta_1'+\delta_1''$	$-\delta_1'+\delta_1''$	$+\delta_1'+\delta_1''$	$-\delta_1'+\delta_1''$	$+\delta_1'+\delta_1''$	$-\delta_1'+\delta_1''$
м е т р о в ь в ь с е к у н д у .						
0,10	+0,14 195	+0 00 034	+0,19 603	+0,00 011	+0,26 062	+0,00 058
0,20	+0,07 083	+0,00 003	+0,09 798	+0,00 008	+0,12 983	-0,00 008
0,30	+0,04 722	+0,00 002	+0,06 338	+0,00 008	+0,08 662	-0,00 002
0,40	+0,03 543	+0,00 003	+0,04 902	+0,00 001	+0,06 494	-0,00 004
0,50	+0,02 834	+0,00 002	+0,03 922	+0,00 004	+0,03 196	-0,00 002
0,75	+0,01 890	+0,00 002	+0,02 615	+0,00 003	+0,03 464	-0,00 002
1,00	+0,01 417	+0,00 001	+0,01 960	+0,00 002	+0,02 598	-0,00 002
1,25	+0,01 137	-0,00 001	+0,01 570	+0,00 002	+0,02 078	-0,00 002
1,50	+0,00 943	+0,00 001	+0,01 307	+0,00 001	+0,01 732	0
1,75	+0,00 810	0	+0,01 121	+0,00 001	+0,01 485	-0,00 001
2,00	+0,00 709	+0,00 001	+0,00 982	+0,00 002	+0,01 298	-0,00 002
2,25	+0,00 630	0	+0,00 871	+0,00 001	+0,01 153	-0,00 001
2,50	+0,00 565	-0,00 001	+0,00 785	0	+0,01 039	-0,00 001
2,75	+0,00 516	+0,00 002	+0,00 713	+0,00 001	+0,00 937	-0,00 009
3,00	+0,00 472	0	+0,00 653	+0,00 001	+0,00 866	0

Изъ сопоставленія только что сдѣланныхъ вычисленій видимъ, что частныя погрѣшности δ' и δ'' дѣлають результатъ больше или меньше и, смотря по сочетанію знаковъ погрѣшностей отдѣльныхъ наблюденій, общая погрѣшность имѣеть ту или другую величину. Въ первомъ случаѣ, когда обѣ частныя погрѣшности δ_1' и δ_1'' взяты съ одинаковыми знаками $+$, общая погрѣшность есть вмѣстѣ съ тѣмъ и наибольшая погрѣшность результата.

Средняя погрѣшность результата.

Ожидаемую же среднюю погрѣшность результата найдемъ, какъ указано въ статьѣ о погрѣшностяхъ, въ концѣ книги, извлекая корень квадратный изъ суммы квадратовъ частныхъ погрѣшностей. Для всѣхъ трехъ разсматриваемыхъ случаевъ среднія погрѣшности результата въ опредѣленіи v будутъ имѣть нижеслѣдующія величины.

v метр./сек.	$\varphi=0,85$	$\varphi=1,00$	$\varphi=1,15$
	$\pm\sqrt{(\delta_1')^2+(\delta_1'')^2}$	$\pm\sqrt{(\delta_1')^2+(\delta_1'')^2}$	$\pm\sqrt{(\delta_1')^2+(\delta_1'')^2}$
метровъ въ секунду.			
0,10	0,10 038	0,13 861	0,18 429
0,20	0,05 010	0,06 928	0,09 184
0,30	0,03 339	0,04 623	0,06 124
0,40	0,02 505	0,03 466	0,04 592
0,50	0,02 004	0,02 773	0,03 674
0,75	0,01 336	0,01 849	0,02 449
1,00	0,01 002	0,01 386	0,01 837
1,25	0,00 804	0,01 110	0,01 469
1,50	0,00 668	0,00 924	0,01 225
1,75	0,00 573	0,00 792	0,01 050
2,00	0,00 501	0,00 694	0,00 917
2,25	0,00 445	0,00 616	0,00 817
2,50	0,00 400	0,00 554	0,00 733
2,75	0,00 365	0,00 504	0,00 663
3,00	0,00 334	0,00 462	0,00 612

§ 10. Вышенайденные результаты подсчетовъ даютъ возможность сдѣлать слѣдующіе выводы:

Общезаклю-
чение о пре-
дѣлахъ при-
мѣненія труб-
ки Darcy.

- 1) Предѣльные значенія скорости, при которыхъ возможно тарированіе прибора: съ точностью не болѣе 1% $v \geq 1,00$ метр./сек.; съ точностью отъ 1% до 11% $v =$ отъ 0,30 до 1,00 метр./сек.; при скоростяхъ меньшихъ 0,30 метр./сек. тарированіе производить совсѣмъ не слѣдуетъ.
- 2) Предѣльное число десятичныхъ знаковъ въ коэффициентѣ φ два и самое большее три съ цѣлью вѣрнѣе опредѣлить второй.
- 3) Большая величина коэффициента φ присуща болѣе несовершенному прибору, дающему и болшія величины погрѣшностей какъ въ опредѣленіи самого коэффициента, такъ и измѣряемыхъ скоростей.
- 4) Какъ видно изъ уравненія (7) и таблицы § 9, общая погрѣшность δ_1 въ опредѣленіи v состоитъ изъ двухъ слагаемыхъ — частныхъ погрѣшностей; одна изъ этихъ погрѣшностей имѣетъ множителемъ ошибку — δ_2 въ опредѣленіи коэффициента φ , другая — самый коэффициентъ φ . Неточность чтенія высотъ δ_3 можетъ быть въ дѣйствительности сдѣлана очень малой, какъ то мы видѣли выше при примѣненіи керосина внутри трубокъ, а значить ошибка въ скорости, зависящая отъ невѣрности самого наблюденія, будетъ въ сущности ничтожная. Главная по-

грѣшность будетъ происходить отъ коэффициентовъ и, слѣдовательно, весь вопросъ заключается въ тщательномъ и точномъ ихъ опредѣленіи.

При болѣе часто встрѣчающемся среднемъ значеніи $\varphi=1$ трубка *Darcy*.

- а) при скоростяхъ $v \leq 0,20$ метр./сек. не должна быть примѣняема;
 б) при скоростяхъ $v=0,30-1,00$ метр./сек. употребленіе трубки можетъ быть допущено, но при условіи болѣе или менѣе значительныхъ погрѣшностей, а именно:

При v метр./сек.	Средняя погрѣшность въ опредѣленіи v въ ‰	
	отъ	до
0,30	11,00 —	20,00
0,40	6,25 —	11,50
0,50	4,00 —	7,33
0,75	1,75 —	3,25
1,00	1,00 —	1,80

- в) Только при скоростяхъ, болѣе 1 метр./сек. средняя ошибка въ опредѣленіи v уменьшается и при $v=3$ метр./сек. эта ошибка доходитъ лишь до $0,11-0,24$ ‰ отъ v .

Опредѣленіе средней ошибки результата измѣреній одной и нѣсколькими имѣющимися вертушками въ зависимости отъ неправильностей счета оборотовъ.

§ 11. Для сужденія о достижимой степени точности при измѣреніяхъ одной или нѣсколькими находящимися въ работѣ вертушками важно знать величину средней ошибки, которую можно ожидать въ слѣдствіе неизбѣжныхъ неправильностей вращательнаго движенія лопастьнаго колеса. Средняя ошибка ¹⁰⁾ въ числѣ оборотовъ $\pm m_v$ одной какой-либо вертушки легко можетъ быть опредѣлена изъ сравненія и составленія разностей чисель, добытыхъ наблюденіемъ и полученныхъ вычисленіемъ по соответственной ¹¹⁾ формулѣ для даннаго прибора. Средняя ошибка измѣренія скорости помощью даннаго прибора, равная $\pm m_v$, можетъ быть получена изъ суммы квадратовъ разностей между наблюденными и вычисленными по формулѣ этой вертушки скоростями v . Но эта величина средней ошибки $\pm m_v$ для одного только прибора, а тѣмъ болѣе для нѣсколькихъ вертушекъ не даетъ основаній для точныхъ заключеній, такъ какъ величины t , входящія въ v , m_v и въ n , слишкомъ различны между собою. Для этого лучше поступить слѣдующимъ образомъ.

Взявъ самую приближенную (по *D'Aubuisson*'у) формулу ¹²⁾ вертушки:

$$v = \beta \cdot n = \beta \cdot \frac{N}{t}, \dots \dots \dots (12')$$

или, придерживаясь обозначеній по *Schmidt*'у, имѣемъ:

$$v = k \cdot \frac{N}{t}, \dots \dots \dots (12)$$

гдѣ $n = \frac{N}{t}$, и продифференцировавъ это уравненіе, получимъ:

$$dv = \frac{K}{t} \cdot dN \dots \dots \dots (13)$$

Обозначимъ теперь чрезъ δ искомую ошибку dv — измѣренія скорости v , а величину dN чрезъ m_N , тогда:

$$\delta = m_N \cdot \frac{K}{t} \dots \dots \dots (14)$$

Это уравненіе главнымъ образомъ выражаетъ ту часть ошибки измѣренія, которая происходитъ отъ неправильностей счета оборотовъ вертушки сравнительно съ ихъ дѣйствительнымъ числомъ и оказывается пригодной для сужденія о точности показаній вертушекъ различной конструкции.

Время t , впродолженіи котораго должны наблюдаться числа оборотовъ N одной и той же или различныхъ сравниваемыхъ вертушекъ, должно быть взято одинаковое. Составляютъ для всѣхъ наблюденій величину δ , затѣмъ $[\delta]^2$, и наконецъ $p \cdot [\delta]^2$, гдѣ p — число наблюденій съ каждымъ приборомъ, или такъ называемый вѣсъ наблюденія ¹⁰⁾. Суммируя затѣмъ величины p и $p[\delta]^2$ для всѣхъ приборовъ, получаютъ: $\Sigma[p]$ и $\Sigma[p\delta^2]$: теперь уже на основаніи выводовъ теоріи вѣроятностей найдемъ общую среднюю ошибку по формулѣ.

$$M = \pm \sqrt{\frac{\Sigma[p \cdot \delta^2]}{\Sigma[p]}} \dots \dots \dots (15)$$

Для наглядности производства всѣхъ указанныхъ только что вычисленій приводимъ подсчетъ этой средней ошибки для 12-ти приборовъ, тщательно испытанныхъ проф. *Schmidt*'омъ, данныя для которыхъ указаны выше въ гл. VII, § 8, стр. 169.

Примѣръ
12-ти
усовершен-
ствованныхъ
вертушекъ.

Всѣ нужныя и вычисленныя данныя сведены въ слѣдующую таблицу.

№. приборъ.	Высота хода k сант.	β .	γ сантим./сек.	Среднее значение ошибокъ.			$\frac{m_N k}{60}$ сант. $\delta = \pm$	Число наблюдений p .	δ^2	$p \cdot \delta^2$
				$\pm m_c$ сант.	$\pm m_N$ оборот	$\pm m_N k$ сант.				
1	43,61	1,0	11,7	0,8	0,638	28,7	0,48	72	0,23	16,36
2	29,38	1,0	6,9	1,1	1,072	31,3	0,32	86	0,27	23,22
3	22,70	1,0	11,2	1,1	1,409	32,0	0,33	48	0,28	13,44
4	27,00	0,5	8,7	1,8	1,196	32,2	0,34	116	0,29	33,64
5	42,30	0,5	8,2	1,1	0,663	27,8	0,16	135	0,21	28,35
6	41,70	0,3	7,4	1,6	0,976	40,7	0,68	106	0,46	48,76
7	41,18	0,8	9,7	1,1	0,781	32,3	0,34	70	0,29	20,30
8	100,00	0,42	5,4	1,0	0,293	29,3	0,49	82	0,24	19,68
9	44,90	0,36	4,0	1,1	2,322	104,3	1,74	48	3,03	145,44
10	12,00	0,25	6,0	2,0	1,631	19,6	0,33	67	0,11	7,57
11	40,43	0,21	4,3	0,8	0,964	39,0	0,63	60	0,42	25,20
12	22,09	0,11	3,8	1,1	1,034	23,3	0,39	69	0,13	10,35
$\Sigma =$	—	—	—	—	—	—	—	959	—	392,31

Такимъ образомъ, для этихъ приборовъ имѣемъ:

$$M = \pm \sqrt{\frac{392,31}{959}} = \pm 0,64 \text{ с./м.}$$

Если же исключить слишкомъ большую величину $\delta = 1,74$ (приборъ № 9), то получается:

$$M = \pm 0,52 \text{ с./м.}$$

Въ виду очень сходныхъ между собою δ для всѣхъ разсмотрѣнныхъ приборовъ и малой величины средней ошибки:

$$M = \text{отъ } \pm 6,4 \text{ м/м. до } \pm 5,2 \text{ м/м.}$$

можно вывести слѣдующія заключенія:

- 1) Примѣненные проф. *Schmidt* омъ конструкціи усовершенствованныхъ вертушекъ удовлетворяютъ всѣмъ требованіямъ практики въ отношеніи правильности вращательнаго движенія.
- 2) Выведенныя проф. *Schmidt* омъ уравненія вертушекъ даютъ достаточно точное аналитическое выраженіе для отношеній между наблюдаемыми числами оборотовъ и измѣренными скоростями.

§ 12. Найдемъ возможную погрѣшность при измѣреніяхъ вертушками, происходящую отъ невѣрности счета оборотовъ въ опредѣленіи v , α и β .

Результатъ, получаемый вертушкой, долженъ быть выведенъ путемъ вычисления изъ формулы общаго употребительнаго вида:

$$v = \alpha + \beta n, \dots \dots \dots (16)$$

въ которую входятъ: 1) наблюденная величина n и 2) полученныя на основаніи ряда подобныхъ же измѣреній α и β . Пусть:

- 1) при опредѣленіи разныхъ величинъ v дѣлаются ошибки δ_1 ;
- 2) ошибка при нахожденіи коэффициента α будетъ δ_2 ;
- 3) ошибка при нахожденіи коэффициента β будетъ δ_3 ;
- и 4) ошибка въ отчитываніи (отсчитываніи) числа оборотовъ n въ секунду будетъ δ_4 .

Тогда формула (16) приметъ видъ:

$$v \pm \delta_1 = (\alpha \pm \delta_2) + (\beta \pm \delta_3)(n \pm \delta_4) \dots \dots \dots (17)$$

По раскрытіи скобокъ и послѣ нѣкоторыхъ преобразованій и сокращеній получимъ:

$$\alpha + \beta n \pm \delta_1 = \alpha \pm \delta_2 + \beta n \pm \delta_3 n \pm \beta \cdot \delta_4 + \delta_3 \cdot \delta_4 \dots \dots \dots (18)$$

Или общая погрѣшность δ_1 въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибокъ δ_2 , δ_3 и δ_4 будетъ:

$$\pm \delta_1 = \pm \delta_2 \pm n \cdot \delta_3 \pm \beta \delta_4 \dots \dots \dots (19)$$

При изслѣдованіи этого послѣдняго уравненія могутъ встрѣтиться слѣдующіе частные случаи.

1) $\delta_2 = \delta_3 = 0$, т. е. ошибокъ въ опредѣленіи коэффициентовъ α и β нѣтъ. Тогда частная погрѣшность въ опредѣленіи скорости v въ зависимости отъ ошибки δ_4 въ отсчитываніи числа n оборотовъ будетъ:

$$\pm \delta_1 = \pm \beta \cdot \delta_4 \dots \dots \dots (20)$$

2) $\delta_3 = \delta_4 = 0$.

$$\pm \delta_1 = \pm \delta_2 \dots \dots \dots (21)$$

3) $\delta_2 = \delta_4 = 0$.

$$\pm \delta_1 = \pm n \delta_3 \dots \dots \dots (22)$$

4) $\delta_1 = \delta_4 = 0$, т. е. ошибокъ въ опредѣленіи v и n нѣтъ.

$$\pm \delta_2 = \mp n \delta_3 \dots \dots \dots (23)$$

5) $\delta_1 = \delta_2 = 0$.

$$\pm \delta_3 = \mp \frac{\beta}{n} \cdot \delta_4 \dots \dots \dots (24)$$

6) $\delta_1 = \delta_3 = 0$.

$$\pm \delta_2 = \mp \beta \cdot \delta_4 \dots \dots \dots (25)$$

Опредѣленіе погрѣшностей наблюденій вертушками Baumgarten'a, Woltmann'a и Amster'a. Выводъ формулы для общей и частныхъ погрѣшностей въ скорости и коэффициентахъ, связанныхъ ур-іемъ $v = \alpha + \beta n$.

Наименьшія
возможныя
значенія ко-
эффициентовъ
 α и β , а так-
же погрѣшно-
сти въ отсчи-
тываніи числа
оборотовъ.

§ 13. Зададимся нѣкоторыми частными значеніями величинъ, входящихъ въ найденныя выраженія погрѣшностей. Такъ:

- 1) При болѣе или менѣе хорошо устроенныхъ вертушкахъ коэффициентъ α заключается въ предѣлахъ 0,01—0,05 метр./сек., или, перевода на русскія мѣры, —отъ 0,005 до 0,023 саж./сек.; при плохихъ констругціяхъ значительно больше.

Въ собранныхъ нами и указанныхъ выше, въ гл. VI, уравненіяхъ вертушекъ, для v въ саженьяхъ, коэффициентъ α заключается преимущественно въ предѣлахъ 0,01—0,05 саж./сек.; какъ на случайныя значенія, выходящія изъ этихъ предѣловъ, можно указать: 0,003 и 0,1486. Конечно, такія большія величины этого коэф-та не служатъ къ увеличенію точности работъ.

- 2) Коэффициентъ β соответственно заключается въ предѣлахъ:

Метр.	Въ переводѣ на русскія мѣры.	По собраннымъ въ гл. VI уравненіямъ.
	с а ж.	с а ж.
отъ 0,20 до 0,30	отъ 0,091 до 0,141	отъ 0,033 до 0,154

При этомъ, за нѣкоторыми исключениями, меньшая изъ этихъ величинъ соотвѣтствуетъ бѣльшей изъ величинъ α .

Теперь можемъ написать слѣдующія предѣльныя уравненія вертушекъ:

№№ уравненій.	Метр.	№№ уравненій.	Въ переводѣ на русскія мѣры.	№№ уравненій.	По собраннымъ въ гл. VI уравненіямъ.
			с а ж.		с а ж.
1	$v=0,01 + 0,30n$	4	$v=0,003 + 0,141n$	7	$v=0,010 + 0,130n$
2	$v=0,023 + 0,25n$	5	$v=0,012 + 0,117n$	8	$v=0,023 + 0,100n$
3	$v=0,05 + 0,20n$	6	$v=0,023 + 0,091n$	9	$v=0,030 + 0,050n$

- 3) Наименьшая погрѣшность δ_4 въ отсчитываніи числа n оборотовъ можетъ быть выбрана на основаніи слѣдующихъ соображеній. Какъ при замыканіи, такъ и размыканіи вертушки, штифтикъ указателя числа оборотовъ почти никогда не приходится точно противъ зубца колеса счетнаго механизма, а соотвѣтствуетъ положенію, при которомъ колесо уже успѣло сдѣлать нѣкоторую часть оборота. Ошибка за промежутокъ времени между смыканіемъ и размыканіемъ вертушки по крайней мѣрѣ (за два раза) равна одному обороту, и общая ошибка увеличивается съ уменьшеніемъ этого промежутка. Обыкновенно этотъ промежутокъ, при бывшихъ измѣреніяхъ вертушками, соотвѣт-

стуеть отъ 20 сек. до 1 минуты (лучше конечно отъ 3 до 5 мин.).
 Такимъ образомъ величину δ_4 можемъ принять отъ $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{60}$
 оборота; возьмемъ приближенно, какъ чаще встрѣчавшееся,
 $\delta_4 = \frac{1}{30}$ оборота (=0,033 оборота).

Принимая величину $n = 0,033$ за наименьшую, которая можетъ
 быть нами учтена, находимъ для 9 вышеуказанныхъ уравненій слѣ-
 дующія значенія скоростей:

Метр. въ секунду.	Саж. въ секунду.	Саж. въ секунду.
1 $v = 0,01 + 0,30 \cdot 0,033 = 0,020$	4 $v = 0,005 + 0,141 \cdot 0,033 = 0,010$	7 $v = 0,010 + 0,130 \cdot 0,033 = 0,013$
2 $v = 0,025 + 0,25 \cdot 0,033 = 0,033$	5 $v = 0,012 + 0,117 \cdot 0,033 = 0,016$	8 $v = 0,025 + 0,100 \cdot 0,033 = 0,028$
3 $v = 0,05 + 0,20 \cdot 0,033 = 0,057$	6 $v = 0,023 + 0,094 \cdot 0,033 = 0,026$	9 $v = 0,050 + 0,050 \cdot 0,033 = 0,052$

Отсюда видно, что вертушки при скоростяхъ, меньшихъ 0,05 или
 даже лучше 0,10 м/сек. (соотвѣтственно $v = 0,052$ саж./сек.) употреблять
 не слѣдуетъ, ибо очень точные приборы рѣдки, а для менѣ точныхъ
 необходимо ограничиться чувствительностью не болѣе, какъ по уравне-
 ниямъ 3, 6 и 9. Наименьшая
 скорость для
 вертушки.

4) Возьмемъ предѣлы измѣненія скорости v отъ 0,10 до 3,00 м/сек. Частныя зна-

5) Соотвѣтственно этимъ значеніямъ v найдемъ n по тремъ пер- ченія v и n .
 вымъ формуламъ скорости (для метровъ):

v м./сек.	Число оборотовъ въ секунду.		
	$n = \frac{v - 0,01}{0,30}$	$n = \frac{v - 0,025}{0,25}$	$n = \frac{v - 0,05}{0,20}$
0,10	0,30	0,30	0,25
0,20	0,63	0,70	0,75
0,30	0,97	1,10	1,25
0,40	1,30	1,50	1,75
0,50	1,63	1,90	2,25
0,75	2,47	2,90	3,50
1,00	3,30	3,90	4,75
1,25	4,13	4,90	6,00
1,50	4,97	5,90	7,25
1,75	5,80	6,90	8,50
2,00	6,63	7,90	9,75
2,25	7,47	8,90	11,00
2,50	8,30	9,90	12,25
2,75	9,13	10,90	13,50
3,00	9,97	11,90	14,75

Погрѣшности въ опредѣленіи коэффициентовъ вертушки.

§ 14. Какъ изъ формулы (19), такъ и изъ приведенныхъ подсчетовъ, видимъ, что погрѣшности δ_2 и δ_3 въ опредѣленіи коэффициентовъ α и β съ увеличеніемъ коэффициента β увеличиваются.

Кромѣ того, погрѣшность δ_3 уменьшается съ увеличеніемъ скорости v ; такъ, она для средняго значенія β имѣетъ слѣдующія значенія:

При v м./сек.	Погрѣшность δ_3 въ 0/0 отъ β .	При v м./сек.	Погрѣшность δ_3 въ 0/0 отъ β .
0,10	10,8	0,75	1,12
0,20	4,7	1,00	0,84
0,30	3,0	2,00	0,44
0,40	2,2	3,00	0,28
0,50	1,76		

Необходимое число десятичныхъ знаковъ въ коэффициентахъ α и β .

Изъ этого видно, что только при скоростяхъ движенія прибора въ стоячей водѣ, равныхъ и большихъ 1 м/сек., опредѣленіе коэффициента β возможно съ точностью не болѣе 10/0 отъ β .

Изъ полученныхъ (см. табл. стр. 197) величинъ погрѣшностей δ_2 и δ_3 видно, что въ коэффициентѣ α третій десятичный знакъ уже невѣренъ; въ коэффициентѣ β , при малыхъ v , невѣренъ тоже третій знакъ, при большихъ v —четвертый.

Слѣдовательно, при вычисленіи коэффициентовъ α и β необходимо ограничиваться въ первомъ двумя десятичными знаками, а во второмъ—тремя и самое большое, соответственно,—тремя и четырема съ цѣлью вѣрнѣе опредѣлить предыдущіе.

Возможныя значенія погрѣшностей въ опредѣленіи скорости.

§ 15. Частныя погрѣшности.

Величина погрѣшности въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибки δ_1 , по формулѣ (20).

Погрѣшности частныя, общія, наибольшія. Средняя погрѣшность результата.

1-е ур—іе.	2-е ур—іе.	3-е ур—іе.
$0,30 \times 0,033 = 0,0099$	$0,25 \times 0,033 = 0,0080$	$0,20 \times 0,033 = 0,0066$

Погрѣшность въ опредѣленіи коэффициента α въ зависимости отъ δ_1 , согласно формулы (25), будетъ имѣть предыдущія значенія, но съ обратными знаками.

Погрѣшность въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибки δ_2 , по формулѣ (21), будетъ та же, что и по форм. (25).

Погрѣшность въ опредѣленіи коэффициента β въ зависимости отъ δ_4 , получится по формулѣ (24). Вычисленные δ_3 для всѣхъ трехъ формулъ помѣщены ниже въ таблицѣ.

Погрѣшность въ опредѣленіи v въ зависимости отъ ошибки δ_3 , найдется по формулѣ (22). Вычисленные δ_1 для всѣхъ трехъ формулъ помѣщены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

v м./сек.	$v = 0_{.91} + 0_{.30}n.$				$v = 0_{.925} + 0_{.25}n.$				$v = 0_{.95} + 0_{.20}n.$			
	$n.$	$\frac{\beta}{n}$	$\delta_3.$	$\delta_1 = n \cdot \delta_3.$	$n.$	$\frac{\beta}{n}$	$\delta_3.$	$\delta_1 = n \cdot \delta_3.$	$n.$	$\frac{\beta}{n}$	$\delta_3.$	$\delta_1 = n \cdot \delta_3.$
0.10	0.30	1.00	0.433	0.0099	0.30	0.833	0.0270	0.0081	0.25	0.800	0.0260	0.0065
0.20	0.63	0.176	0.016	0.0101	0.70	0.337	0.0118	0.0083	0.75	0.267	0.0088	0.0066
0.30	0.97	0.309	0.010	0.0097	1.10	0.227	0.0075	0.0083	1.25	0.160	0.0053	0.0066
0.40	1.30	0.231	0.008	0.0104	1.30	0.167	0.0055	0.0083	1.75	0.113	0.0038	0.0066
0.50	1.63	0.184	0.006	0.0098	1.90	0.132	0.0044	0.0084	2.25	0.089	0.0029	0.0065
0.75	2.57	0.121	0.004	0.0099	2.90	0.086	0.0028	0.0081	3.50	0.057	0.0019	0.0066
1.00	3.90	0.091	0.003	0.0099	3.90	0.064	0.0021	0.0082	4.75	0.042	0.0014	0.0065
1.25	4.13	0.072	0.002	0.0099	4.90	0.051	0.0017	0.0083	6.00	0.033	0.0011	0.0066
1.50	4.97	0.060	0.002	0.0099	5.90	0.042	0.0014	0.0083	7.25	0.028	0.0009	0.0065
1.75	5.80	0.052	0.0018	0.0104	6.90	0.036	0.0012	0.0083	8.50	0.024	0.0008	0.0068
2.00	6.63	0.045	0.0015	0.0099	7.90	0.032	0.0011	0.0087	9.75	0.021	0.0007	0.0068
2.25	7.47	0.040	0.0013	0.0097	8.90	0.028	0.0009	0.0080	11.00	0.018	0.0006	0.0066
2.50	8.30	0.036	0.0012	0.0100	9.90	0.023	0.0008	0.0079	12.25	0.016	0.0005	0.0061
2.75	9.13	0.033	0.0011	0.0100	10.90	0.023	0.0008	0.0087	13.50	0.015	0.0005	0.0067
3.00	9.97	0.030	0.001	0.0100	11.90	0.021	0.0007	0.0083	14.75	0.014	0.0005	0.0074

Общая погрѣшность результата въ опредѣленіи v найдется теперь по формулѣ (19) суммированіемъ полученныхъ частныхъ погрѣшностей.

Наибольшую погрѣшность результата получимъ, взявъ сумму всѣхъ частныхъ погрѣшностей съ одинаковымъ знакомъ +.

Средняя погрѣшность результата будетъ корень квадратный изъ суммы квадратовъ всѣхъ частныхъ погрѣшностей.

Общая, наибольшая и средняя погрѣшности результата для всѣхъ скоростей отъ 0,1 до 3,0 м/сек. подсчитаны и сведены нами въ нижеслѣдующую таблицу (см. табл. стр. 200). Въ послѣднихъ трехъ графахъ этой таблицы выведено $\%$ -ное отношеніе ошибки результата отъ скорости v , причемъ 2-я графа съ конца соотвѣтствуетъ среднимъ значеніямъ коэффициентовъ α и β .

§ 16. Величину погрѣшности, конечно, можно вывести¹³⁾, принимая во вниманіе ошибки въ пути S и во времени T по формулѣ:

$$\begin{aligned} \epsilon &= v - \alpha - \beta n - (v_1 - \alpha - \beta n_1) = v - v_1 + \beta (n_1 - n) = \\ &= \left[\frac{S}{T} - \frac{S+s}{T+t} \right] + \beta \cdot \left[\frac{N+k}{T+t} - \frac{N}{T} \right] = \delta_1 + \delta_2, \dots \dots \dots (26) \end{aligned}$$

гдѣ ϵ — погрѣшность результата;

δ_1 — ошибка, зависящая отъ v ,

δ_2 — ошибка, зависящая отъ n ,

v и n — истинныя } значенія скорости и числа оборотовъ
 v_1 и n_1 — ошибочныя } въ секунду;

α и β — коэффициенты вертушки;

S — путь,

T — время,

N — число наблюденій } — данныя изъ наблюденій;

s }
 t } — погрѣшности въ пути, времени и числѣ оборотовъ.
 k }

Величина погрѣшности въ опредѣленіи скорости α въ зависимости отъ погрѣшностей въ пути, времени и числѣ оборотовъ.

Возможныя наименьшія значенія этихъ погрѣшностей.

Въ этомъ случаѣ возможныя наименьшія значенія ошибокъ будутъ:

- 1) въ измѣреніи пути цѣпью = 0,01—0,05 метр.;
- 2) въ опредѣленіи времени = по $\frac{1}{2}$ секунды для начала и конца движенія, а всего 1 сек.;
- 3) въ отсчитываніи числа оборотовъ (какъ было и выше принято) по крайней мѣрѣ (за два раза) 1 оборотъ
- и 4) въ опредѣленіи моментовъ включенія и выключенія при проходѣ чрезъ конечный и начальный пункты измѣреннаго пути: для большихъ v ошибку эту вполнѣ можно принять равной 0,20 метр., считая по 0,10 метр.¹⁴⁾ для обѣихъ крайнихъ точекъ пути; для малыхъ v она можетъ быть принята равной

0,05—0,10 метр. Эта ошибка увеличивается вообще со скоростью и относительная погрѣшность уменьшается съ увеличеніемъ длины избраннаго для тарировки участка.

Этотъ способъ опредѣленія погрѣшности результата, какъ видимъ изъ формулы (26), совершенно игнорируетъ неточности въ коэффициентахъ прибора; но въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ иногда оказаться необходимымъ воспользоваться именно этимъ способомъ, принимая коэффициенты α и β найденными точно.

§ 17. Вышенайденные результаты сдѣланныхъ нами подсчетовъ даютъ возможность вывести слѣдующія общія заключенія:

Тарированіе прибора не должно производиться при скоростяхъ, меньшихъ 0,10 м/сек.; при скоростяхъ v отъ 0,10 до 0,75 м/сек. точность тарированія заключается въ предѣлахъ отъ 1 до 11%; только при $v > 0,75$ м/сек. точность будетъ не болѣе 1% и при $v = 3,00$ м/сек. доходить до 0,28%.

Общее заключеніе о предѣлахъ примѣненія вертушекъ Woltmann'a, Baumgarten'a и Amster'a.

Необходимое число десятичныхъ знаковъ въ коэффициентахъ вертушки для α — два, для β — три, или, соответственно, три и четыре съ цѣлью вѣрнѣе опредѣлить предыдущіе.

При скоростяхъ $v \leq 0,20$ м/сек. означенныя вертушки не должны быть примѣняемы.

При скоростяхъ v отъ 0,30 м/сек. до 1,50 м/сек. употребленіе этихъ вертушекъ можетъ быть допущено, но при условіи болѣе или менѣе значительныхъ погрѣшностей, а именно:

При v метр./сек.	Средняя погрѣшность въ опредѣленіи v въ %		
	отъ	до	въ среднемъ.
0,30	3,80	5,67	4,67
0,40	2,85	4,35	3,50
0,50	2,28	3,45	2,82
0,75	1,52	2,30	1,85
1,00	1,14	1,72	1,40
1,25	0,91	1,45	1,12
1,50	0,76	1,15	0,93

Только при скоростяхъ, равныхъ и болѣе 1,50 м./сек., ошибка въ опредѣленіи v уменьшается и при $v=3$ м./сек. эта ошибка доходить лишь до 0,40—0,57% отъ v .

Ч а с т н ы я п о г р ы ш н о с т и.																		
v метр./сек.	1-е уравнение.					2-е уравнение.					3-е уравнение.							
	$\frac{\delta_2}{\pm}$	$[\delta_2]^2$	$\frac{n \cdot \delta_3}{\pm}$	$[n \delta_3]^2$	$\frac{\beta \cdot \delta_4}{\pm}$	$[\beta \delta_4]^2$	$\frac{\delta_2}{\pm}$	$[\delta_2]^2$	$\frac{n \cdot \delta_3}{\pm}$	$[n \cdot \delta_3]^2$	$\frac{\beta \cdot \delta_4}{\pm}$	$[\beta \delta_4]^2$	$\frac{\delta_2}{\pm}$	$[\delta_2]^2$	$\frac{n \delta_3}{\pm}$	$[n \cdot \delta_3]^2$	$\frac{\beta \cdot \delta_4}{\pm}$	$[\beta \delta_4]^2$
	0,10			0,0099	0,00009801				0,0081	0,00006561						0,0065	0,00004225	
0,20			0,0101	0,00010201				0,0083	0,00006889						0,0066	0,00004336		
0,30			0,0097	0,00009409				0,0083	0,00006889						0,0066	0,00004336		
0,40			0,0104	0,00010816				0,0083	0,00006889						0,0066	0,00004336		
0,50			0,0098	0,00009604				0,0084	0,00007056						0,0065	0,00004225		
0,75			0,0099	0,00009801				0,0081	0,00006561						0,0066	0,00004336		
1,00			0,0099	0,00009801				0,0082	0,00006724						0,0066	0,00004336		
1,25	0,0099	0,00009801	0,0099	0,00009801	0,0099	0,00009801	0,0080	0,00006400	0,0083	0,00006889	0,0080	0,00006400	0,0066	0,00004336	0,0066	0,00004336	0,0066	0,00004336
1,50			0,0099	0,00009801				0,0083	0,00006889						0,0065	0,00004225		
1,75			0,0104	0,00010816				0,0083	0,00006889						0,0068	0,00004624		
2,00			0,0099	0,00009801				0,0087	0,00007569						0,0068	0,00004624		
2,25			0,0097	0,00009409				0,0080	0,00006400						0,0066	0,00004336		
2,50			0,0100	0,00010000				0,0079	0,00006241						0,0064	0,00003721		
2,75			0,0100	0,00010000				0,0087	0,00007569						0,0067	0,00004189		
3,00			0,0100	0,00010000				0,0083	0,00006889						0,0074	0,00003176		

Общая погрѣшность результата.			Наибольшая погрѣш- ность результата.			Средняя погрѣшность результата.			Средняя ошибка въ θ_0 отъ вели- чины r .		
$-\delta_2 + n\delta_3 + \beta.\delta_4$.			$+\delta_2 + n\delta_3 + \beta.\delta_4$.			$\pm\sqrt{[\delta_2]^2 + [n\delta_3]^2 + [\beta.\delta_4]^2}$.					
1-е ур.	2-е ур.	3-е ур.	1-е ур.	2-е ур.	3-е ур.	1-е ур.-е.	2-е ур.-е.	3-е ур.-е.	1-е ур.	2-е ур.	3-е ур.
0,0099	0,0081	0,0063	0,0297	0,0241	0,0197	0,0172	0,0139	0,0114	17,20	13,90	11,40
0,0101	0,0083	0,0066	0,0299	0,0243	0,0198	0,0173	0,0140	0,0114	8,65	7,00	5,70
0,0097	0,0083	0,0066	0,0293	0,0243	0,0198	0,0170	0,0140	0,0114	5,67	4,67	3,80
0,0104	0,0083	0,0066	0,0302	0,0243	0,0198	0,0171	0,0140	0,0114	4,35	3,50	2,85
0,0098	0,0081	0,0065	0,0296	0,0244	0,0197	0,0171	0,0144	0,0114	3,43	2,82	2,28
0,0099	0,0081	0,0066	0,0297	0,0241	0,0198	0,0172	0,0139	0,0114	2,30	1,85	1,32
0,0099	0,0082	0,0066	0,0297	0,0242	0,0198	0,0172	0,0140	0,0114	1,72	1,40	1,14
0,0099	0,0083	0,0066	0,0297	0,0243	0,0198	0,0172	0,0140	0,0114	1,43	1,12	0,91
0,0099	0,0083	0,0065	0,0297	0,0243	0,0197	0,0172	0,0140	0,0114	1,15	0,93	0,76
0,0104	0,0083	0,0068	0,0302	0,0243	0,0200	0,0174	0,0140	0,0113	0,99	0,80	0,66
0,0099	0,0087	0,0068	0,0297	0,0247	0,0200	0,0172	0,0143	0,0113	0,86	0,72	0,58
0,0097	0,0080	0,0066	0,0295	0,0240	0,0198	0,0170	0,0139	0,0114	0,76	0,64	0,51
0,0100	0,0079	0,0061	0,0298	0,0239	0,0193	0,0172	0,0138	0,0111	0,69	0,53	0,44
0,0100	0,0087	0,0067	0,0298	0,0247	0,0199	0,0172	0,0143	0,0113	0,63	0,52	0,42
0,0100	0,0083	0,0071	0,0298	0,0243	0,0206	0,0172	0,0140	0,0119	0,37	0,47	0,40

Если въ выраженіе общей погрѣшности δ_1 въ опредѣленіи скорости v , выраженной уравненіемъ (19), вмѣсто частныхъ погрѣшностей вставить ихъ величины, выраженные чрезъ δ_4 , найдемъ:

$$\pm \delta_1 = \mp \beta \delta_4 \mp \beta \delta_4 \pm \beta \delta_4 \dots \dots \dots (27).$$

Отсюда слѣдуетъ, что общая погрѣшность δ_1 въ скорости v прямо пропорціональна коэффициенту β и величинѣ δ_4 или 1 обор./ T сек., т. е. обратно пропорціональна продолжительности наблюденія. Такимъ образомъ, продолжительность наблюденія скорости въ каждой точкѣ должна быть возможно больше (отъ 3 до 5 минутъ) не только потому, что величина и направленіе скорости въ каждой точкѣ не остаются за это время постоянными, но и для уменьшенія величины погрѣшности въ опредѣленіи v .

Изъ уравненія (27) видно также, что погрѣшность въ опредѣленіи v , зависящая отъ времени и числа оборотовъ, по крайней мѣрѣ вдвое менѣ таковой же, происходящей отъ неточности ¹⁵⁾ коэффициентовъ α и β . Посему для бѣльшей точности полученія v крайне необходимо тщательное и точное опредѣленіе коэффициентовъ вертушки.

§ 18. По сравненіи между собою вышеприведенныхъ подсчетовъ для вертушекъ и трубки *Darcy* имѣемъ слѣдующее:

Сравненіе точности измѣренія скорости по-мощью вертушекъ *Baumgarten'a*, *Woltmann'a* и *Amsler'a* съ показаніями трубки *Darcy*.

v метр./сек.	Средняя ошибка въ ‰ отъ v .		v метр./сек.	Средняя ошибка въ ‰ отъ v .	
	Трубка.	Вертушки.		Трубка	Вертушки
0,10	138,6	13,90	1,50	0,62	0,93
0,20	34,64	7,00	1,75	0,43	0,80
0,30	15,41	4,67	2,00	0,33	0,72
0,40	8,67	3,50	2,25	0,27	0,64
0,50	5,50	2,82	2,50	0,22	0,53
0,75	2,50	1,83	2,75	0,18	0,32
1,00	1,33	1,40	3,00	0,13	0,17
1,25	0,89	1,12			

Такимъ образомъ оказывается, что:

- Для скоростей $v \geq 1,0$ метр./сек. трубка *Darcy* немного точнѣе вертушекъ.
- Для скоростей меньше 0,20 метр./сек. ни трубка, ни разсматриваемыя вертушки не должны быть употребляемы.
- Для скоростей v между 0,30 и 1,00 метр./сек. вертушки эти лучше трубки *Darcy*, хотя погрѣшность ихъ заключается въ этомъ случаѣ въ предѣлахъ 1,40—4,67‰ отъ v .

Конец § 17, стр. 202.

Уравнение (27)—на стр. 202 правильнѣе надо было бы написать такъ:

$$\pm \delta_1 = \mp \beta \cdot \delta'_4 \mp \beta \cdot \delta''_4 \pm \beta \cdot \delta'''_4, \dots\dots\dots (27')$$

но какъ видъ (27), такъ и (27') ничего собою опредѣленнаго не представляетъ; оно можетъ имѣть только приближенное значеніе, введенное мною для нагляднаго представленія сдѣланныхъ далѣе тамъ же (стр. 202) заключеній.

Для практики, какъ объ этомъ уже выше указывалось, важно знать среднюю ошибку (погрѣшность) результата, которая выражается корнемъ квадратнымъ изъ суммы квадратовъ среднихъ ошибокъ (частныхъ погрѣшностей), составляющихъ результатъ наблюденій. Обыкновенно этимъ и ограничиваются, не вычисляя ни общей, ни наибольшей погрѣшностей результата, какъ не имѣющихъ опредѣленнаго практическаго значенія.

Для своихъ сравненій и заключеній и я рассматривалъ только вычисленныя значенія средней погрѣшности результата.

С. Возможныя ошибки въ опредѣленіи скоростей теченія вертушками Woltmann'a—Amster'a въ зависимости отъ непостоянства коэффициентовъ вертушки, отъ произвольныхъ колебательныхъ движеній прибора по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направлєніямъ и отъ ненормальнаго къ плоскости профиля положенія оси прибора.

§ 19. Подъ безусловно совершеннымъ приборомъ надо понимать такой, скорость вращенія котораго точно пропорціональна скорости воды, т. е. когда путь s водяныхъ струй, вызывающій при различныхъ скоростяхъ одинъ оборотъ, постояненъ; этотъ путь и есть тотъ коэффициентъ, который, будучи умноженъ на число оборотовъ вертушки, даетъ скорость. Въ дѣйствительности постоянство коэффициента никогда не достигается совершенно и чѣмъ менѣе измѣчивъ коэффициентъ, тѣмъ приборъ совершеннѣе.

Невозможность пользованія общими коэффициентами вертушки для различныхъ скоростей.

Винтовымъ лопастямъ сама по себѣ соотвѣтствуетъ скорость вращенія, пропорціональная скорости воды, что не имѣетъ мѣста при плоскихъ лопастяхъ или полыхъ полушаріяхъ.

Посмотримъ, измѣняется ли означенный выше коэффициентъ для одного и того же прибора, но для разныхъ скоростей. Возьмемъ для примѣра электрическую вертушку *Harlachera*'а, для которой уравненіе было получено [39]:

Одно изъ условий совершенства прибора.

$$v = 0,015 + 0,246 n \dots \dots \dots (28).$$

Должно было бы и въ данномъ случаѣ существовать равенство:

$$s = \frac{v}{n} = \beta = h = Const., \dots \dots \dots (29)$$

гдѣ h —высота хода винтовой поверхности. Но сопротивление въ подшипникахъ, удары спиць о воду и т. п. вызываютъ и для этого случая колебаніе коэффициента, и изъ:

$$s = \frac{v}{n} \text{ и } v = \alpha + \beta n,$$

получается:

$$s = \beta \cdot \frac{v}{v - \alpha} \dots \dots \dots (30).$$

При указанныхъ выше коэффициентахъ взятаго прибора и для скоростей отъ 0,300 до 3,00 метр./сек. имѣемъ:

Скорость v метр./сек.	Кoeffи- циентъ s метр.	Скорость v метр./сек.	Кoeffи- циентъ s метр.
0,300	0,259	2,000	0,218
0,500	0,251	2,500	0,217
1,000	0,250	3,000	0,217
1,500	0,248		

При скоростяхъ, меньшихъ 0,300 м., уже нельзя считать зависимость между v и n по прямой $v = \alpha + \beta n$, необходимо построить кривую, ибо иначе получаются слишкомъ малыя скорости:

Скорость v метр./сек.	Кoeffи- циентъ s , счита- тая по прямой $v = \alpha + \beta n$, метр.	Кoeffи- циентъ s , счита- тая по кривой, метр.
0,230	0,262	0,272
0,200	0,266	0,308
0,150	0,273	0,429

Для вертушки *Woltmann*'а съ примененной къ ней формулой (по *Woltmann*'у и *d'Aubuisson*'у):

$$v_x = \beta \cdot n.$$

Grebenau при тарированіи ея нашель [33; 35, 159] ниже приводимыя значенія коэффиціента, не остающіяся, какъ оказалось, постоянными для разныхъ скоростей, съ которыми вертушка передвигалась въ стоячей водѣ. Эти величины слѣдующія:

v_x метр./сек.	0,20	0,21	0,23	0,40	0,70	1,00	1,30	2,00
β метр.	1,9391	1,5180	0,9411	0,6118	0,3730	0,3311	0,3288	0,3263

Вертушка, слѣдовательно, можетъ дать вѣрные результаты и при малой скорости, но прежде всего необходимо, чтобы приборъ и былъ провѣренъ при такихъ же скоростяхъ, и получена была возможность начертить или вычислить кривую, а не брать отношеніе между v и n изъ уравненія прямой.

§ 20. Для болѣе вѣрнаго сужденія о состояннн коэффициентовъ вертушки съ теченіемъ времени, приводимъ ниже пять серій уравненій для 4-хъ вертушекъ съ коэффициентами, опредѣленными въ разное время; скорости этими формулами даются въ саженяхъ.

Непостоянство коэффициентовъ вертушки отъ времени и работы.

№ вертушки.	Система вертушки.	Родъ передачи.	Когда произведено тарированіе.	№ серій уравненій.	№ уравненій.	Уравненія вертушки.	Ссылка на источникъ.
I	<i>Baumgartena</i>	Обыкновенный счетный механизмъ.	1876 года	1	$\left\{ \begin{array}{l} a \\ b \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} v=0,0473 + 0,0337^m \\ v=0,0383 + 0,0369^m \end{array} \right\}$	[94,412]
			1877 года				
II		Обыкновенный счетный механизмъ.	1877 года	2	$\left\{ \begin{array}{l} a \\ b \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} v=0,023 + 0,0603^m \\ v=0,0362 + 0,0532^m \end{array} \right\}$	[137,33—35]
			1878 года				
		Электрическая сигнализациа той же вертушки.	1881 года	3	$\left\{ \begin{array}{l} a \\ b \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} v=0,0283 + 0,0727^m \\ v=0,0383 + 0,0763^m \end{array} \right\}$	
			1881 года				
III	<i>Amsler'a</i>	Звуковой электр. сигналъ черезъ каждые 100 оборотовъ; совершенно новая вертуш	передъ началомъ измѣреній.	4	$\left\{ \begin{array}{l} a \\ b \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} v=0,003 + 0,121^m \\ v=0,011 + 0,093^m \end{array} \right\}$	[115,113]
			послѣ одного мѣсяца работы....				
IV		Тоже, но бывшая ранѣе въ употребленнн.	передъ началомъ наблюденій	5	$\left\{ \begin{array}{l} a \\ b \\ c \end{array} \right.$	$\left. \begin{array}{l} v=0,110 + 0,100^m \\ v=0,110 + 0,100^m \\ v=0,060 + 0,120^m \end{array} \right\}$	
			послѣ опредѣленія перваго расхода.....				
			послѣ трехъ мѣсяцевъ работы...				

Изъ рассмотрѣнн только что приведенныхъ, хотя и малаго числа данныхъ, видимъ, что:

- 1) разъ опредѣленные коэффициенты вертушки не остаются постоянными на все дальнѣйшее время;
- 2) коэффициенты вертушки со временемъ увеличиваются, т. е. чувствительность прибора по мѣрѣ работы его уменьшается, что впрочемъ и слѣдовало ожидать.

Не совсѣмъ согласно съ этимъ заключеніемъ измѣнялись коэффициенты послѣдней (изъ указанныхъ) вертушки *Amsler'a*; но это можетъ быть объяснено или несовершенствомъ сборки инструмента, или же недостаточной тщательностью тарировки, такъ какъ очень трудно предположить, чтобы механизмъ, имѣющій возможность вращаться въ двухъ обыкновенныхъ подшипникахъ, не истирался, не ухудшался, а все улучшался. Можно было бы предположить, что онъ могъ остаться тѣмъ-

же самымъ, какъ это указано для шариковыхъ подшипниковъ (см. гл. VII, §§ 1 и 8); трехмѣсячная же приработка частей „точного прибора“, послѣ того, какъ онъ былъ въ употребленіи и раньше, трудно допустима.

Причины не-
постоянства
коэффициен-
товъ.

Измѣняемость коэффициентовъ вертушки происходитъ главнымъ образомъ отъ стирания трущихся частей—подшипниковъ и осей; кромѣ того, конечно, оказываетъ свое вліяніе и измѣненіе температуры воды (или что то же—плотность воды, увеличивающая или уменьшающая силу удара ея), то или другое количество мути и т. п.

Сохраненіе
постоянства
коэффициен-
товъ.

Для сохраненія постоянства коэффициентовъ вертушекъ необходимо возможно болѣе уменьшить треніе въ частяхъ прибора.

Лучшимъ средствомъ для достиженія неизмѣяемости коэффициентовъ вертушки отъ времени и работы является ¹⁶⁾ даже при самыхъ большихъ и тяжелыхъ колесахъ примѣненіе агатовыхъ, стальныхъ и никелевыхъ шариковыхъ ¹⁷⁾ подшипниковъ, а затѣмъ—облегченіе вѣса движущихся частей прибора, для чего послѣднія и дѣлаются полыми.

Смазка тру-
щихся
частей.

Механики часто вводятъ въ подшипники оси крыльевъ смазку для уменьшенія тренія. Смазочные матеріалы при работѣ прибора вымываются, вслѣдствіе чего отношеніе между v и n сильно измѣняется. Поэтому, приборы эти смазывать не слѣдуетъ, а смазанныя части предъ употребленіемъ прибора необходимо прочистить очень тщательно.

Ошибки отъ
непостоян-
ства коэффи-
ціентовъ.

Воспользовавшись хотя и небольшимъ числомъ указанныхъ выше измѣненій коэффициентовъ одной и той же вертушки, посмотримъ, въ какихъ предѣлахъ можетъ находиться ошибка, если коэффициенты вертушки не будутъ во время продолжительной работы провѣряться. Возьмемъ для n нѣкоторыя опредѣленные значенія, напр. 1, 5, 10 и 15, и найдемъ по всѣмъ 11 приведеннымъ формуламъ значенія скорости. Всѣ наши подсчеты сведены въ нижеслѣдующую таблицу. (См. стр. 207).

Изъ этой таблицы скоростей для нѣсколькихъ значеній n видно, что

- 1) устройство электрической сигнализациі въ вертушкѣ съ механическимъ счетчикомъ въ значительной степени повліяло на вертушку, уменьшивъ ея чувствительность до 29,5—37,2⁰/₀;
- 2) для вертушекъ *Baumgarten*'а ошибки въ опредѣленіи скорости уменьшаются съ увеличеніемъ числа оборотовъ n въ секунду, т. е. съ увеличеніемъ быстроходности вертушки;
- 3) для вертушекъ *Amsler*'а, наоборотъ, ошибки въ опредѣленіи скорости возрастаютъ съ увеличеніемъ n .

Такимъ образомъ, отсюда слѣдуетъ, что

- 1) врядъ ли возможно согласиться съ правильностью способа тарирования вертушки *Amsler*'а при передачѣ числа оборотовъ

вертушкою помощью счетнаго механизма, а опредѣлять затѣмъ скорости теченія, пользуясь электрической сигнализациею того же прибора;

- и 2) врядь ли возможно ожидать отъ вертушки *Amsler*'а точныхъ опредѣлений скорости вообще, а при быстрыхъ теченіяхъ въ особенности.

Величина ошибки при примѣненіи вертушекъ *Woltmann*'а-*Amsler*'а, когда направленіе выбраннаго профиля не перпендикулярно къ направленію теченія.

§ 21. Основное правило гидравлики для опредѣленія расхода ($Q = \omega \cdot v$) въ данномъ сѣченіи допускаетъ даже косое (по отношенію теченія) расположеніе профиля, если только ось вертушки точно направлена перпендикулярно къ самому профилю.

Такъ, (фиг. 1, табл. XXV) для сѣченій, близко отстоящихъ другъ отъ друга, имѣемъ [39]:

$$Q_I = \int d\Omega_I \cdot v_I \quad \left| \begin{array}{l} v_I \perp AB; v_{II} \perp CD \\ \text{Уголъ между } AB \text{ и } CD \text{ равенъ } \alpha, \text{ такъ что:} \\ d\Omega_{II} = \frac{d\Omega_I}{\cos\alpha}; v_{II} = v_I \cdot \cos\alpha. \end{array} \right.$$

Поэтому ¹⁸⁾:

$$Q_{II} = \int \frac{d\Omega_I}{\cos\alpha} \cdot v_I \cdot \cos\alpha = Q_I.$$

Такимъ образомъ, точность измѣренія требуетъ независимую отъ мѣстнаго теченія установку оси крыльцевъ и притомъ строго перпендикулярно къ сѣченію.

Вертушка *Harlacher*'а этому условію вполнѣ удовлетворяетъ; она при косомъ положеніи профиля, что чаще всего по выбору на глазъ и бываетъ (фиг. 2, табл. XXV), съ угломъ α къ нормальному живому сѣченію, показываетъ не скорость v потока, а $v \cdot \cos\alpha$, и получается точно величина расхода ¹⁸⁾. Тогда какъ при примѣненіи вертушекъ *Woltmann*'а и *Amsler*'а поступаютъ наоборотъ, принимая $v \cdot \cos\alpha$ за v . Происходящая отсюда ошибка равна: $v - v \cdot \cos\alpha$, или въ $\frac{0}{100}$ отъ дѣйствительнаго значенія будетъ:

При $\alpha =$	10°	20°	30°	40°
Ошибка =	1,5 ⁰ / ₁₀₀	6,4 ⁰ / ₁₀₀	15,3 ⁰ / ₁₀₀	30,3 ⁰ / ₁₀₀

О возможныхъ величинахъ этихъ угловъ α см. ниже § 25, стр. 211—218 и гл. IV, § 11—14—о работахъ инженера *Делявскаго*.

Кромѣ вышеизложеннаго, разъ установленная, вертушка *Herlacher*'а не имѣетъ никакихъ произвольныхъ движеній, между тѣмъ какъ при вертушкахъ *Amsler*'а приборъ свободно движется въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ (особенно при подвѣсномъ канатѣ),

направляясь рулемъ въ сторону измѣненія направленія скоростей (вслѣдствіе водоворотнаго движенія струй).

§ 22. При расположеніи профили строго нормальномъ къ направлению течения струй и къ оси вертушки число оборотовъ крыльевъ будетъ n и скорость въ данной точкѣ— v .

Если теперь ось вертушки, не выходя изъ горизонтальнаго положенія, составляетъ съ нормалью къ площади живого сѣченія $\angle \alpha$ (въ горизонтальномъ направленіи), а съ самой площадью $\angle (90 - \alpha)$, то скорость въ новомъ направленіи будетъ уже $v \cdot \cos. \alpha$; число оборотовъ поэтому будетъ $n_1 = n \cdot \cos. \alpha$, что подтвердилось и опытами проф. *Harlachera* [36, 26]. Вертушка теперь даетъ скорость въ направленіи своей оси:

$$\begin{aligned} \text{Для } \alpha = 10^0 \dots n_1 &= 0,98n \\ \text{„ } \alpha = 20^0 \dots n_1 &= 0,94n \\ \text{„ } \alpha = 45^0 \dots n_1 &= 0,71n \\ \text{„ } \alpha = 90^0 \dots n_1 &= 0. \end{aligned}$$

Въ послѣднемъ случаѣ, т. е. при установкѣ оси вертушки горизонтально и въ плоскости живого сѣченія, вертушка остановится.

Если ось вертушки отклоняется кромѣ того и отъ горизонтальнаго положенія, то ошибки будутъ еще больше, чѣмъ было выше указано. Опредѣленіе ошибокъ въ этомъ послѣднемъ случаѣ оказывается возможнымъ лишь при употребленіи подводнаго флажера инженера *Лежяско*.

§ 23. При опытахъ *Frese* [28] съ вертушкой *Amsler'a*, снабженной 2-мя винтовыми крыльями, приборъ устанавливался подъ извѣстнымъ угломъ α (фиг. 3, табл. XXV) къ направленію движенія и затѣмъ передвигался въ стоячей водѣ обычнымъ способомъ помощью тѣлжки (фиг. 3, табл. XXII).

Вліяніе близости береговъ на число оборотовъ вертушки при этихъ опытахъ установить не удалось въ силу неблагоприятныхъ условий, хотя и можно предположить, что если оно и существуетъ, то ничтожно.

Боковая скорость, равная $v \cdot \sin. \alpha$, производя одностороннее давленіе на приборъ, увеличиваетъ сопротивленіе движенію и поэтому, видимо, замедляетъ вращеніе и тѣмъ больше, чѣмъ больше $\angle \alpha$, что мы видѣли и въ предыдущемъ § на основаніи работъ проф. *Harlachera* въ потокѣ. Въ данномъ же случаѣ *Frese* производилъ опыты въ стоячей водѣ, но измѣнялъ положеніе оси вертушки къ направленію движенія всего прибора. Опыты велись для разныхъ скоростей и для $\alpha = 0^0, 10^0, 20^0, 30^0$ и 40^0 ; наблюденія брались попарно (взадъ и впе-

Возможныя ошибки въ числѣ n оборотовъ вертушки при отклоненіяхъ ея оси отъ нормали къ площади живого сѣченія.

Вліяніе близости береговъ и боковой скорости $v \cdot \sin. \alpha$ при направленіи движенія прибора въ стоячей водѣ, не совпадающемъ съ осью вертушки, на вращеніе крыльевъ и на точность показаній прибора.

редь) и соединялись затѣмъ въ уравненія: $v = a + \beta n$. Полученныя величины v умножались на \cos соответствующаго $\angle \alpha$ и результаты сравнивались со скоростью движенія прибора.

Изъ опытовъ оказалось, что замедленіе скорости вращенія крыльевъ при $\alpha = 10^\circ$ едва замѣтно; при $\alpha = 20^\circ$ (въ среднемъ при неособенно малыхъ скоростяхъ) это замедленіе $= 2,5\%$ и при $\alpha = 30^\circ - 40^\circ$ замедленіе $= 11\%$. Соответственно этому будетъ и ошибка при примѣненіи нормальныхъ формулъ, и вычисленная по нимъ скорость меньше дѣйствительной при $\alpha > 0^\circ$.

Во всякомъ случаѣ, желательно продолженіе подобныхъ опытовъ какъ по отношенію вліянія береговъ, такъ и вліянія боковой скорости $v \cdot \sin \alpha$ —и притомъ какъ при движеніи вертушки (а также и трубки) въ стоячей водѣ, такъ и въ потокѣ при установленномъ въ опредѣленномъ пунктѣ гидрометрическомъ приборѣ.

Ошибки въ показаніяхъ гидрометрическихъ приборовъ при примѣненіи ихъ въ косомъ потокѣ, когда тарировка прибора сдѣлана при нормальномъ расположеніи прибора; способъ уменьшенія этихъ ошибокъ.

§ 24. *Ritter* [2,1112—1115; 12,156—157] своими многочисленными наблюденіями убѣдился, что вертушки, поставленныя въ косой потокъ, даютъ слишкомъ большія величины скорости, если коэффициентъ тарировки прибора брать тотъ, который соответствуетъ установкѣ прибора при движеніи жидкости параллельно оси вертушки.

Такъ, при углѣ наклона потока къ оси вертушки $= 45^\circ$ и указанномъ нормальномъ коэффициентѣ прибора, ошибка въ опредѣленіи величины скорости доходитъ до 20% .

Эта ошибка для обыкновенныхъ вертушекъ *Woltmann'a-Amsler'a* совершенно не можетъ быть выяснена.

При измѣреніи гидрометрическими трубками *Darcy* при тѣхъ же условіяхъ получались скорости наоборотъ очень малыя, тогда какъ трубкой *Ritter'a*—скорости очень большія, какъ и для вертушекъ.

Для уменьшенія, а бытъ можетъ даже исправленія этихъ ошибокъ *Ritter* рекомендуетъ раздѣлить всѣ наблюденія на 3 группы съ величинами скорости v_1 , v_2 и v_3 , при этомъ $v_1 > v_2 > v_3$. Затѣмъ, вмѣсто вычисляемой обыкновенно средней ариѳметической $v = \frac{v_1 + v_2 + v_3}{3}$, предлагаетъ брать:

$$\left. \begin{aligned} v' &= \frac{v_1 + v_2}{2} \\ v'' &= \frac{v_2 + v_3}{2} \end{aligned} \right\} v = \frac{1}{2} [v' + v''] = \frac{v_1 + 2v_2 + v_3}{4}.$$

Эмпирической способъ сглаживаетъ наибольшія величины v_1 и наименьшія v_3 и даетъ преимущество скоростямъ группы v_2 , придавая имъ, такъ сказать, двойной вѣсъ; наблюденія этой группы v_2 считаются какъ бы произведенными два раза. Отрицать пользу этого спо-

соба нельзя, но необходимо и въ этомъ направленіи продолжать производить изслѣдованія, ибо при большомъ только числѣ точныхъ однородныхъ работъ можно сдѣлать какіе-либо полезные теоретическіе и практическіе выводы.

§ 25. Вышеописанныя (гл. IV, §§ 11—14) измѣренія, произведенныя инженеромъ *Леляскимъ* [109; 111] на р. Диѳирѣ и р. Деснѣ помощью подводнаго флюгера наглядно указываютъ, какія большія и безсознательныя ошибки дѣлаются при опредѣленіи расходовъ воды, когда скорости, измѣренныя въ поперечномъ сѣченіи, приблизительно нормальномъ къ берегамъ, помножаются на предполагаемые перпендикулярными къ нимъ отрѣзки площадей поперечнаго сѣченія. Въ каждомъ сѣченіи струи располагаются наклонно къ нему, образуя иногда даже очень острые углы; поэтому всѣ исчисляемые расходы воды нужно считать преувеличенными и притомъ не въ одинаковой мѣрѣ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Такъ, изъ чертежей и таблицъ къ докладу *Н. С. Леляскаго* ¹⁹⁾ о работахъ на р. Диѳирѣ у Екатеринослава въ 1893 г. замѣчаются слѣдующія явленія во всѣхъ измѣрявшихся 15 поперечныхъ профиляхъ:

Возможныя ошибки въ опредѣленіи скоростей и расходовъ воды помощью обыкновенныхъ вертушекъ *Woltmann's-Ampstor'a* по работамъ инженера *Леляскаго* на рр. Диѳирѣ и Деснѣ.

- 1) какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ струи оказались сходящимися или расходящимися;
- 2) въ каждой вертикали направленія струй, лежащихъ одна надъ другою, измѣренныя въ горизонтальной плоскости, въ большинствѣ случаевъ оказываются несовпадающими ни другъ съ другомъ, ни съ нормалью къ плоскости живого сѣченія; при этомъ двѣ сосѣднія по положенію струи нерѣдко отклонены въ разныя стороны отъ этой нормали;
- 3) въ то же самое время направленія тѣхъ же струй вертикали, измѣренныя въ вертикальной плоскости, оказались по большей части не совпадающими ни другъ съ другомъ, ни съ нормалью къ плоскости живого сѣченія.

Предѣлы наблюденнаго во всѣхъ 15 профиляхъ наибольшаго отклоненія струй отъ нормали къ плоскости профиля въ горизонтальной и вертикальной плоскостяхъ сведены въ нижеслѣдующей таблицѣ; причемъ для этихъ струй показаны соответственные углы одновременнаго отклоненія и въ другой плоскости.

Углы наибольшаго отклоненія въ горизонтальной плоскости.							
№№ поперечных проф.	№№ точек на профилѣ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ вертик. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечных проф.	№№ точек на профилѣ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ вертик. плоскости въ градусахъ.
1	16	59	?	9	27	37	10 (внизъ)
2	23	72 $\frac{1}{2}$	5 (внизъ)	10	23	49	4 (внизъ)
3	9	75	8 (внизъ)	11	22	32 $\frac{1}{2}$?
4	10	47	3 (внизъ)	12	6	37 $\frac{1}{2}$?
5	10	37 $\frac{1}{2}$	?	13	14	28 $\frac{1}{2}$	2 (вверхъ)
6	7	22	4 (вверхъ)	14	24	40	19 (внизъ)
7	19	78 $\frac{1}{3}$	?	15	11	28 $\frac{3}{4}$?
8	7	56	18 (вверхъ)				

Углы наибольшаго отклоненія въ вертикальной плоскости.							
№№ поперечных проф.	№№ точек на профилѣ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ горизонт. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечных проф.	№№ точек на профилѣ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ горизонт. плоскости въ градусахъ.
1	1	6 (внизъ)	6	9	9	10 (вверхъ)	23 $\frac{2}{3}$ —38 $\frac{3}{5}$
2	24	19 (внизъ)	23 $\frac{1}{4}$	9	27	10 (внизъ)	35
3	8	24 (внизъ)	14	10	26	10 (вверхъ)	3 $\frac{1}{3}$
4	21	15 (внизъ)	17 $\frac{3}{5}$	11	9	10 (внизъ)	3 $\frac{1}{2}$ —8
5	1	8 (внизъ)	4	12	25	10 (вверхъ)	12 $\frac{1}{2}$ —16 $\frac{1}{2}$
6	6	15 (внизъ)	15	13	21	15 (внизъ)	7 $\frac{3}{4}$
7	1	13 (вверхъ)	1 $\frac{1}{2}$ —2 $\frac{1}{2}$	14	2	5 (вверхъ)	35
8	14	{ 18 (вверхъ) 11 (внизъ) }	26 $\frac{3}{5}$	14	13	26 (внизъ)	19
				15	21	13 (внизъ)	20

Такимъ образомъ оказывается вполне возможнымъ отклоненіе струй отъ нормали къ профилю:

а) въ горизонтальной плоскости: до 78 $\frac{1}{3}$ ⁰,

б) въ вертикальной плоскости:

α) вверхъ до 18⁰ при одновременномъ отклоненіи въ гориз. плоск. до 26 $\frac{3}{5}$ ⁰
 β) внизъ до 26⁰ " " " " " " " " 19⁰.

Данныя работы инженера *Лелявскаго* на р. Деснѣ ²⁰⁾ съ помощью подводнаго флюгера подтверждаютъ сдѣланные выше выводы относительно расположенія струй въ горизонтальной и вертикальной плоскостяхъ. Предѣлы наблюдаемыхъ въ 77 профиляхъ наибольшихъ отклоненій струй отъ нормали собраны въ нижепомѣщаемыхъ таблицахъ.

Углы наибольшего отклонения въ горизонтальной плоскости.

№№ поперечн. профилей.	№№ точекъ на профиляхъ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ вертик. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечн. профилей.	№№ точекъ на профиляхъ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ вертик. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечн. профилей.	№№ точекъ на профиляхъ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ вертик. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечн. профилей.	№№ точекъ на профиляхъ.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ вертик. плоскости въ градусахъ.
1	2	15 ³ / ₈	7 (вверхъ)	21	5	15 ¹ / ₂	3 (вверхъ)	40	4	19 ¹ / ₃	5 (вверхъ)	60	5	14 ¹ / ₄	7 (вверхъ)
2	8	8 ⁵ / ₆	0	22	1	29 ¹ / ₆	3 ¹ / ₂ (внизъ)	41	4	20 ¹ / ₂	5 (внизъ)	61	4	10 ⁷ / ₈	5 "
3	1	28 ¹ / ₈	3 (вверхъ)	23	6	16 ¹ / ₂	3 (вверхъ)	42	6	27 ¹ / ₁₀	4 (вверхъ)	62	7	25 ¹ / ₂	10 "
4	11	42 ¹ / ₂	0	24	6	7 ¹ / ₂	4 "	43	4	14 ¹ / ₂	5 "	"	7	24	6 (внизъ)
5	9	34	2 (внизъ)	25	2	12 ¹ / ₃	1 "	44	3	28 ¹ / ₃	5 "	63	7	25	8 (вверхъ)
6	13	45 ¹ / ₂	5 "	26	9	14	0	45	5	33 ¹ / ₁₀	8 "	64	2	30 ³ / ₄	3 "
7	11	53 ¹ / ₇	2 "	27	9	8	4 (вверхъ)	46	4	19 ⁵ / ₆	6 "	65	1	25 ⁵ / ₈	5 "
8	13	46 ¹ / ₂	0	28	9	35 ³ / ₄	3 (внизъ)	47	1	11 ¹ / ₅	1 "	66	2	29 ¹ / ₂	4 "
9	11	59 ⁵ / ₇	4 (вверхъ)	29	5	15 ¹ / ₄	2 (вверхъ)	48	2	17 ¹ / ₉	4 "	67	1	15 ¹ / ₂	5 "
10	10	30	0	30	11	32	0	49	5	23 ¹ / ₂	8 "	68	2	26	6 "
11	7	32	0	31	9	15	2 (вверхъ)	50	2	19 ¹ / ₈	10 "	69	3	17 ³ / ₄	7 "
12	7	25	2 (внизъ)	32	6	17 ¹ / ₂	6 ¹ / ₂ "	51	1	22	5 (внизъ)	70	4	15 ¹ / ₉	10 "
13	7	14 ⁴ / ₃	0	33	8	20	5 "	52	1	37	2 ¹ / ₂ (вверхъ)	71	6	14 ¹ / ₃	2 (внизъ)
14	8	46 ³ / ₄	4 (внизъ)	34	8	24	6 "	53	1	28 ¹ / ₂	6 "	72	7	23	8 (вверхъ)
15	8	54 ² / ₅	3 ¹ / ₂ "	35	2	26 ¹ / ₇	5 "	54	2	14 ¹ / ₆	3 "	73	1	16 ¹ / ₂	5 "
16	9	50	1 ¹ / ₂ "	36	1	22 ¹ / ₄	3 "	55	1	22 ¹ / ₇	5 (внизъ)	74	7	19 ² / ₃	4 "
17	8	59	8 "	37	1	23	3 (внизъ)	56	6	14	9 (вверхъ)	75	1	17	9 "
18	1	42 ² / ₃	5 "	38	4	20 ¹ / ₃	13 "	57	2	13 ¹ / ₂	6 "	76	1	17	5 "
19	2	25 ¹ / ₄	3 (вверхъ)	"	5	23 ¹ / ₂	6 (вверхъ)	58	6	16 ⁷ / ₈	3 "	77	1	12 ¹ / ₂	6 "
20	4	18 ³ / ₃	4 "	39	3	22 ¹ / ₄	5 "	59	6	17 ¹ / ₄	4 "				

Углы наибольшего отклонения въ вертикальной плоскости.

№№ поперечных проф.	№№ точек на профилях.	Наибольший угол отклонения въ градусахъ.	Отклонение тѣхъ же струй въ горизонт. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечных проф.	№№ точек на профилях.	Наибольший угол отклонения въ градусахъ.	Отклонение тѣхъ же струй въ горизонт. плоскости въ градусахъ.
1	2	7 (вверхъ)	15 ³ / ₈	19	2	5 (вверхъ)	24 ¹ / ₂
2	3	8 (вверхъ)	7 ¹ / ₈	"	6	4 (внизъ)	1 ¹ / ₂
"	5	6 (внизъ)	12 ¹ / ₇	20	2	5 (вверхъ)	5 ³ / ₃
3	3	6 (вверхъ)	12 ³ / ₇	"	5	8 (внизъ)	10 ¹ / ₃
"	2	5 (внизъ)	12	21	5	6 ¹ / ₂ (вверхъ)	12
4	3	9 (вверхъ)	7	"	4	15 (внизъ)	3
"	6	9 (внизъ)	4 ¹ / ₄	22	6	5 (вверхъ)	15 ¹ / ₂
5	1	10 (внизъ)	1 ¹ / ₄	"	1	3 ¹ / ₂ (внизъ)	29 ¹ / ₆
"	4	4 (вверхъ)	8 ⁷ / ₉	23	7	4 (вверхъ)	3 ¹ / ₈
6	13	5 (внизъ)	45 ¹ / ₂	"	4	5 (внизъ)	8 ⁷ / ₁₀
"	7	5 (вверхъ)	18 ¹ / ₂	24	3	5 (вверхъ)	3 ³ / ₈
7	11	2 (внизъ)	53 ⁴ / ₇	"	2	10 (внизъ)	2 ¹ / ₁₀
"	4	4 (вверхъ)	2 ³ / ₄	25	5	5 ¹ / ₂ (вверхъ)	4
8	2	8 ¹ / ₂ (внизъ)	26 ⁶ / ₇	"	7	4 (внизъ)	4 ¹ / ₂
"	14	6 (вверхъ)	2 ³ / ₈	26	7	7 (вверхъ)	4 ² / ₃
9	6	10 (внизъ)	10	"	2	5 ¹ / ₂ (внизъ)	3 ⁷ / ₈
"	11	6 (вверхъ)	58 ¹ / ₃	27	9	4 (вверхъ)	8
10	1	4 (внизъ)	3 ¹ / ₄	"	6	11 (внизъ)	6 ¹ / ₆
"	3	5 (вверхъ)	2 ¹ / ₄	28	4	5 (вверхъ)	5 ¹ / ₁₀
11	1	5 (внизъ)	3 ⁴ / ₅	"	9	3 (внизъ)	35 ³ / ₄
"	3	5 (вверхъ)	5 ¹ / ₇	29	4	6 ¹ / ₂ (вверхъ)	1 ¹ / ₆
12	3	5 (вверхъ)	1 ¹ / ₂	"	3	10 (внизъ)	3
"	10	12 (внизъ)	12	30	3	7 (вверхъ)	7
13	4	6 (внизъ)	3 ⁷ / ₉	31	4	7 (вверхъ)	2 ¹ / ₇
"	5	5 (вверхъ)	7 ³ / ₈	"	3	2 (внизъ)	3 ² / ₅
14	2	5 (вверхъ)	14 ¹ / ₃	32	5	7 (вверхъ)	10 ² / ₃
"	8	5 ¹ / ₂ (внизъ)	40 ³ / ₅	33	4	7 (вверхъ)	13 ¹ / ₉
15	3	5 (вверхъ)	17 ¹ / ₂	"	12	1 (внизъ)	1 ¹ / ₃
"	9	8 (внизъ)	37 ¹ / ₂	34	1	6 ¹ / ₂ (вверхъ)	10 ¹ / ₈
16	2	5 (вверхъ)	19 ¹ / ₆	"	6	5 (внизъ)	13 ⁹ / ₁₀
"	3	13 (внизъ)	10 ¹ / ₂	35	7	6 (вверхъ)	9 ³ / ₄
17	4	3 (вверхъ)	23	"	6	7 (внизъ)	1 ³ / ₈
"	8	8 (внизъ)	59	36	8	6 (вверхъ)	4 ⁹ / ₁₀
18	7	18 (внизъ)	6 ¹ / ₂	"	4	5 (внизъ)	5 ¹ / ₂
"	3	4 (вверхъ)	19	37	1	5 (внизъ)	18 ³ / ₁₀

Углы наибольшаго отклоненія въ вертикальной плоскости.

№№ поперечных проф.	№№ точек на профили.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ горизонт. плоскости въ градусахъ.	№№ поперечных проф.	№№ точек на профили.	Наибольшій уголъ отклоненія въ градусахъ.	Отклоненіе тѣхъ же струй въ горизонт. плоскости въ градусахъ.
37	5	7 (вверхъ)	2 ¹ / ₄	58	4	10 (вверхъ)	10 ³ / ₆
38	7	8 (вверхъ)	8 ⁵ / ₈	"	7	2 (внизъ)	4
"	4	13 (внизъ)	20 ¹ / ₃	59	7	10 (вверхъ)	12 ¹ / ₅
39	5	7 ¹ / ₂ (вверхъ)	19 ¹ / ₂	"	5	2 (внизъ)	2 ³ / ₈
"	7	10 (внизъ)	19 ¹ / ₂	60	4	13 (вверхъ)	12 ¹ / ₈
40	1	5 (внизъ)	3 ⁵ / ₈	61	2	8 (вверхъ)	2 ¹ / ₂
"	6	8 (вверхъ)	8 ¹ / ₈	"	7	8 (внизъ)	7 ⁷ / ₁₀
41	4	5 (внизъ)	20 ¹ / ₂	62	7	10 (вверхъ)	23 ¹ / ₂
"	1	9 (вверхъ)	5 ¹ / ₂	"	7	6 (внизъ)	24
42	3	7 (вверхъ)	4	63	7	8 (вверхъ)	25
"	4	5 (внизъ)	4	"	8	2 (внизъ)	23 ⁵ / ₆
43	4	8 (вверхъ)	9	64	5	9 (вверхъ)	15
"	5	11 ¹ / ₂ (внизъ)	10 ¹ / ₂	"	1	3 (внизъ)	3
44	3	5 (вверхъ)	28 ¹ / ₃	65	1	12 (вверхъ)	15 ² / ₅
"	2	15 (внизъ)	3 ¹ / ₄	"	1	5 (внизъ)	3
45	5	10 (вверхъ)	23 ¹ / ₃	66	5	7 (вверхъ)	23 ⁹ / ₁₀
46	4	10 (вверхъ)	18	67	4	10 (вверхъ)	2 ¹ / ₂
47	1	7 (вверхъ)	10	"	3	3 (внизъ)	5 ¹ / ₅
48	2	10 (вверхъ)	6 ¹ / ₄	68	2	9 (вверхъ)	25 ¹ / ₃
49	5	9 (вверхъ)	19 ¹ / ₄	"	4	6 (внизъ)	17
"	3	9 (внизъ)	12 ¹ / ₆	69	5	8 (вверхъ)	9 ⁸ / ₁₁
50	1	16 (вверхъ)	10 ¹ / ₂	"	6	2 (внизъ)	9 ¹ / ₃
51	3	9 (вверхъ)	9	70	4	10 (вверхъ)	15 ¹ / ₉
"	1	5 (внизъ)	22	71	5	10 (вверхъ)	8 ¹ / ₇
52	1	10 (вверхъ)	23 ¹ / ₆	"	3	7 (внизъ)	3 ⁵ / ₆
"	1	4 (внизъ)	28 ¹ / ₄	72	6	11 (вверхъ)	15 ¹ / ₂
53	1	10 (вверхъ)	28 ¹ / ₉	73	4	10 (вверхъ)	2 ² / ₅
54	2	11 (вверхъ)	8 ¹ / ₈	74	4	10 (вверхъ)	3 ¹ / ₂
"	4	4 (внизъ)	11	"	1	8 (внизъ)	1
55	1	6 (внизъ)	15 ⁵ / ₈	75	7	10 (вверхъ)	15
"	5	11 (вверхъ)	3 ¹ / ₈	"	6	2 (внизъ)	8 ¹ / ₄
56	5	11 (вверхъ)	2	76	6	7 (вверхъ)	1
"	1	3 (внизъ)	10	"	2	3 ¹ / ₂ (внизъ)	8 ³ / ₄
57	4	12 (вверхъ)	7 ¹ / ₁₀	77	4	6 (вверхъ)	12 ¹ / ₂
"	3	2 (внизъ)	4 ³ / ₅	"	3	1 (внизъ)	6 ¹ / ₂

Слѣдовательно, и въ данномъ случаѣ возможны значительныя отклоненія отъ нормали къ профилю:

- | | | |
|---------------------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| а) въ горизонтальной плоскости: | } | до $59\frac{3}{7}^{\circ}$ при одновременномъ отклоненіи въ вертик. плоскости 4° (вверхъ) |
| б) въ вертикальной плоскости: | } | а) вверхъ до 16° при одновременномъ отклоненіи въ гориз. плоскости $10\frac{1}{2}^{\circ}$,
б) внизъ до 18° при одновременномъ отклоненіи въ гориз. плоскости $6\frac{1}{2}^{\circ}$. |

Такимъ образомъ, по измѣреніямъ съ помощью подводнаго флюгера инженера *Лелаяскаго*, оказывается, что живое, т.-е. нормальное къ струямъ, сѣченіе должно быть, согласно расположенію струй, кривою поверхностью, различно изогнутою какъ въ горизонтальныхъ, такъ и въ вертикальныхъ плоскостяхъ.

Колебанія
вертушекъ.

Другую причину, препятствующую точности измѣреній, производимыхъ посредствомъ употребляемыхъ до сего времени вертушекъ, представляютъ колебанія, которыя при малой длинѣ вертушекъ должны проявляться съ бѣльшею силою, непрерывно качая ихъ во все стороны, чрезъ что вращеніе винтовъ и лопастей, подвергающихся наклоннымъ ударамъ струй, не можетъ быть однообразнымъ и потому не можетъ соответствовать дѣйствительнымъ скоростямъ струй. Это послѣднее обстоятельство служитъ причиною уменьшенія измѣренныхъ скоростей противъ дѣйствительныхъ, въ особенности около дна, гдѣ колебанія, какъ оказалось по произведеннымъ наблюденіямъ, проявляются сильнѣе. По этой-то причинѣ и оказывается крайне необходимымъ при исчисленіи расходовъ брать не самыя измѣренныя скорости, а ихъ проекціи на нормали къ поперечному сѣченію. Для этой цѣли могутъ служить:

- 1) Подводный флюгеръ инженера *Лелаяскаго*, приспособленный къ измѣренію скоростей течения одновременно съ измѣреніями ихъ направленія;
- 2) Вертушка проф. *Harlacher'a*, дающая не скорость v , а самую проекцію на нормаль къ поперечному сѣченію;
- 3) За неимѣніемъ того или другого изъ вышеуказанныхъ приборовъ можетъ служить способъ, указанный въ гл. V § 16, опредѣленія по измѣреннымъ простой *Woltmann'sкой* вертушкой пяти (или тремъ) проекціямъ дѣйствительной скорости.

Расположеніе
струй въ сѣ-
ченіяхъ у
моста.

Затѣмъ, по отношенію вліянія быковъ и устоевъ моста на измѣненіе направленій струй, замѣчается въ общемъ, что направленіе оси моста Екатерининской жел. дороги почти нормально къ берегамъ и принято совпадающимъ съ промѣрнымъ профилемъ № 9 (см. ниже таб-

лицу); въ 10 саж. выше этого профиля взять № 8 и въ 10 саж. ниже— № 10. Изъ чертежа видимъ, что даже въ части, гдѣ лежитъ судоходный фарватеръ имѣются слѣдующія отклоненія отъ нормали къ площади живого сѣченія:

	Проф. № 8	Проф. № 9.	Проф. № 10.
Въ гориз. плоскости	въ среднемъ 20—25 ⁰ наибольшее 50 ⁰	въ среднемъ 30 ⁰ наибольшее 37 ⁰	въ среднемъ 25 ⁰ наибольшее 49 ⁰
Въ вертик. плоскости	въ среднемъ 4—5 ⁰ наибольшее 18 ⁰	въ среднемъ 3 ⁰ —4 ⁰ наибольшее 10 ⁰	въ среднемъ 3 ⁰ —4 ⁰ наибольшее 9 ⁰

Только на самомъ фарватерѣ струи почти горизонтальны и лишь у дна уклоняются внизъ, и въ планѣ имѣютъ почти одинаковое направленіе. Вліяніе мостовыхъ опоръ на расположеніе струй слабо сказывается во всѣхъ трехъ профиляхъ, что безъ сомнѣнія зависитъ отъ величины отверстія между быками; отклоняются быками только близко лежація къ нимъ струи; другія же во всѣхъ пролетахъ сохраняютъ общее наклонное направленіе, какъ и на выше лежащемъ профилѣ.

Въ виду важности изслѣдованій подобнаго рода, какъ въ отношеніи гидравлическомъ (распределенія скоростей), такъ и строительномъ (устойчивости сооружений) весьма желательно продолжать эти работы съ помощью прибора инженера *Делявскаго*.

Ошибки въ величинѣ измѣряемаго расхода.

Въ дополненіе ко всему вышеизложенному приводимъ ниже таблицу съ подсчетами расходовъ для нѣкоторыхъ профилей р. Десны. Въ ней показаны какъ расходы воды, опредѣленные обычнымъ способомъ на основаніи наблюденій, такъ и расходы, при опредѣленіи коихъ скорости вычислялись, умножая наблюдаемыя скорости на косинусы вертикальныхъ и горизонтальныхъ угловъ отклоненія.

№№ профи-лей.	Расходъ воды куб. саж.		Разность въ % отъ нор-мального расхода	№№ профи-лей	Расходъ воды куб. саж.		Разность въ % отъ нор-мального расхода.
	Наблюдаемый обыкновеннымъ способомъ	Нормальный.			Наблюдаемый обыкновеннымъ способомъ	Нормальный	
9	16,182	15,491	4,14	63	23,361	22,063	6,78
15	17,696	16,801	5,33	64	26,039	24,407	6,68
16	17,942	16,896	6,19	65	24,447	23,167	5,52
17	19,032	17,437	9,02	66	23,824	21,353	10,32
18	22,143	20,143	9,93	68	22,940	21,622	6,00
19	20,220	18,822	7,42	69	23,330	22,799	2,41
38	25,118	23,096	4,26	70	23,366	22,796	2,50
44	28,301	26,893	5,88	74	24,308	22,879	6,23
50	25,710	25,267	1,73	76	23,229	22,282	4,23

Какъ видимъ, въ данномъ случаѣ эта разность доходитъ до 10,32%, хотя въ общемъ, благодаря ли хорошему выбору профилей и точекъ измѣренія, погодѣ или аккуратной работѣ, она незначительна. Это еще можетъ быть объяснено тѣмъ обстоятельствомъ, что вертушка *Леявскаю* дальше отстоитъ отъ штанги, нежели то наблюдается при употребленіи вертушекъ *Woltmann'a* и *Amsler'a*, и потому подвергается меньшему колебанію. Въстѣ съ тѣмъ, конечно, трудно быть увѣреннымъ, при большой длинѣ оси флюгера, что показываемая имъ скорость соответствуетъ имѣющейся въ разсматриваемой точкѣ профиля.

Обстоятельства, влияющія на увеличеніе погрѣшностей въ измѣреніяхъ скоростей гидрометрическими приборами.

§ 26. Въ заключеніе, на основаніи всего вышесказаннаго, надо замѣтить, что какой бы инструментъ ни употребляли (т.-е. поплавки, вертушку, трубку), ошибка въ измѣреніи ими скорости въ сущности всегда будетъ незначительна, не превосходя даже въ самыхъ неблагоприятныхъ случаяхъ 10—15% отъ истинной скорости. Поэтому одними погрѣшностями инструментовъ нельзя объяснять тѣхъ громадныхъ отступленій, которыя замѣчаются иногда между двумя измѣренными въ разные моменты или между вычисленнымъ теоретически и непосредственно измѣреннымъ расходами. Причину этого надо искать въ неопытности или небрежности наблюдателя, въ нераціональности приемовъ для опредѣленія коэффициентовъ и расходовъ, и наконецъ въ невѣрности теоріи движенія воды.

Наибольшую достовѣрностью отличаются измѣренія при среднихъ и умѣренно-высокихъ горизонтахъ воды; наибольшія погрѣшности принадлежатъ всегда опредѣленію расходовъ при предѣльныхъ горизонтахъ какъ при низкомъ, такъ и при самомъ высокомъ; почему при высокой водѣ, для избѣжанія большихъ погрѣшностей въ показаніяхъ приборовъ и колебаній горизонта, измѣренія скоростей по точкамъ цѣлесообразнѣе замѣнить измѣреніемъ скорости только на поверхности.

Г Л А В А IX.

Выборъ и сравнительныя достоинства различныхъ наиболѣе употребляемыхъ въ практикѣ гидрометровъ и нѣкоторыхъ ихъ частей.

§ 1. Выборъ того или другого инструмента для измѣреній скорости воды въ потокахъ прежде всего зависитъ отъ цѣли, для которой предназначаются предполагаемыя изслѣдованія и работы.

Для практическихъ цѣлей, когда быстрота производства работъ и дешевизна приборовъ и приспособленій къ нимъ поставлены на первомъ мѣстѣ, хотя бы и съ нѣкоторымъ ущербомъ совершенной точности показаній, приходится брать приборы возможно простые какъ по конструкціи, такъ и по управленію ими, а нерѣдко и завѣдомо менѣе точныя.

Инструменты же, примѣняемые для научныхъ спеціальныхъ изслѣдованій, вслѣдствіе ихъ сложности, не всегда могутъ быть рекомендованы для практики. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ возможная точность показаній приборовъ является основнымъ условіемъ какихъ либо научныхъ выводовъ, почему и должны быть выбираемы инструменты, обладающіе меньшими погрѣшностями.

Въ случаяхъ измѣреній съ практическими цѣлями, не смотря на самыя тщательныя измѣренія, при самыхъ даже благопріятныхъ обстоятельствахъ, нельзя поручиться за точность результата болѣе, чѣмъ 10—15% [94,168], чаще же много меньшую¹⁾.

Наиболѣе употребляемые, изъ всѣхъ вышеописанныхъ, приборы, отличающіеся деталями своихъ устройствъ, по принципамъ конструкціи подраздѣляются на три категоріи:

1. Вертушки.
2. Гидрометрическія трубки
- и 3. Поплавки.

Каждая изъ нихъ имѣетъ свои преимущества и недостатки при употребленіи ихъ въ соответственныхъ случаяхъ.

Основанія выбора того или другого гидрометрическаго прибора для измѣренія скоростей.

Наиболѣе употребляемые въ практикѣ приборы.

А. Вертушки.

Наиболѣе употребляемая система вертушекъ; ихъ достоинства и недостатки.

§ 2. Въ общемъ какъ при научныхъ изслѣдованіяхъ, такъ и для практическихъ цѣлей предпочтеніе отдается вертушкамъ. Что касается различныхъ видовъ приборовъ этой категоріи, то изъ сказаннаго выше при описаніи ихъ явствуетъ сѣдующее.

Малыя глубины и скорости.

При малыхъ глубинахъ и скоростяхъ теченія воды, опредѣляютъ скорости съ достаточною, въ предѣлахъ практики, точностью, помощью *Woltmann*'ской вертушки съ колеснымъ счетчикомъ оборотовъ; при этихъ условіяхъ не особенно чувствительна потеря времени на необходимое послѣ каждаго наблюденія выниманіе прибора изъ воды. Причемъ, какъ было указано выше при описаніи, старая *Woltmann*'ская вертушка, прикрѣпляемая на извѣстной высотѣ къ штангѣ, устанавливается автоматически по направленію теченія и свободно вращается въ горизонтальномъ направленіи. Употребленіе штангъ при измѣреніи скоростей непосредственно подъ поверхностью воды уменьшаетъ точность показаній аппарата вслѣдствіе образованія подпора передъ штангою.

Вертушки съ электрической сигнализацией.

Система вертушки съ электрической сигнализацией съ успѣхомъ примѣняется при всѣхъ условіяхъ, а при большихъ глубинахъ, широкихъ руслахъ и большихъ скоростяхъ имѣетъ несомнѣнное преимущество по быстротѣ и точности работы. Наиболѣе употребительнымъ въ настоящее время является приборъ *Amsler*'а—*Laffon*'а (фиг. 1—4, Табл. X) съ электрической сигнализацией, имѣющей вмѣстѣ съ тѣмъ и колесный счетчикъ числа оборотовъ. Распространенію этой вертушки много способствуетъ сравнительная дешевизна прибора (600 франк.) при наличности удобствъ вообще электрической передачи, указанныхъ выше при описаніи устройства. *Amsler*, какъ было выше указано, устраиваетъ свою вертушку вращающейся въ горизонтальномъ и вертикальномъ направленіяхъ съ цѣлью измѣрять скорость воды всегда въ направленіи теченія. Это многими [94] считалось за безспорное достоинство прибора для измѣренія расхода воды, но, на основаніи всего вышеизложеннаго, можно сдѣлать скорѣе противоположный выводъ, а именно: Этотъ аппаратъ можетъ быть пригоденъ только для опредѣленія имѣющихся въ руслѣ наибольшихъ скоростей независимо отъ ихъ направленія, но никакъ не съ цѣлью болѣе или менѣе точнаго опредѣленія расхода воды въ потокахъ.

Указанными для вертушки *Amsler*'а удобствами одинаково обладаютъ и новѣйшія вертушки *Hajós*'а и *Haskell*'я, которыя, кромѣ того, вслѣдствіе особаго очертанія крыльевъ, даютъ болѣе вѣрные результаты и для которыхъ характеристичная кривая остается прямой на болѣе значительномъ протяженіи. Затѣмъ, передача совершается помощью безконечнаго винта и соотвѣтственнаго колеса съ контактомъ на бо-

ковой поверхности; такимъ образомъ приборъ освобожденъ отъ лиш-
нихъ точекъ тренія въ видѣ механическаго счетчика. Поэтому вполне
возможно предположить, что этимъ вертушкамъ предстоитъ такое же,
если не большее, распространеніе и вмѣстѣ съ тѣмъ преимущественное
положеніе въ силу особенныхъ достоинствъ этихъ приборовъ, которые
могутъ быть примѣняемы какъ для точныхъ научныхъ изслѣдованій,
такъ и для измѣреній съ практическими цѣлями.

Для опредѣленія скоростей съ цѣлью нахождения возможно точ-
ной величины расхода (равнаго произведенію изъ площади живого сѣ-
ченія на скорость, направленную перпендикулярно къ этому сѣченію)
единственно пригоденъ приборъ *Harlacher*'а съ электрической передачей,
усовершенствованный фирмой „*Albert Ott*“, съ шариковыми подшипниками
и примѣненіемъ алюминія²⁾ въ соответственныхъ случаяхъ, дающій
возможность счета каждаго отдѣльнаго оборота.

Точное опре-
дленіе рас-
хода воды.

§ 3. Изъ приборовъ русскихъ изобрѣтателей заслуживаетъ наи-
большаго вниманія, какъ приборъ, для котораго можетъ быть будущ-
ность, это—„измѣритель рѣчныхъ струй“ инженера *Лелявскаго*³⁾. Этотъ
приборъ служитъ для изученія расположенія рѣчныхъ теченій, а соеди-
ненный съ вертушкой—для болѣе точнаго опредѣленія расхода, ибо
одновременно даетъ величину и направленіе скорости, а слѣдовательно
даетъ возможность легко найти и составляющую ея, строго нормальную
къ площади живого сѣченія. Оба типа подводныхъ флюгеровъ могутъ
быть соединены съ вертушкой. При примѣненіи перваго типа флюгера
весь приборъ для чтенія показаній надо вынимать, подобно простой
Woltmann'ской вертушкѣ; второй же типъ прибора соответствуетъ вер-
тушкѣ *Amsler*'а. Въ обоихъ случаяхъ вертушка имѣетъ возможность
вращаться какъ въ вертикальной, такъ и въ горизонтальной плоско-
стяхъ вмѣстѣ съ флюгеромъ, т. е. обладаетъ тѣми же недостатками,
что и приборъ *Amsler*'а. Къ числу же достоинствъ этого устройства
надо отнести возможность передвиженія прибора по вертикальной штангѣ,
подобно системѣ *Harlacher*'а; благодаря этому, уклоненій отъ вертикали,
подобныхъ имѣющимся при употребленіи вертушки *Amsler*'а⁴⁾, не будетъ,
и показанія получатся вполне соответствующія данной вертикали и
опредѣленной глубинѣ. Недостатки этихъ приборовъ, сознаваемые и
самимъ изобрѣтателемъ суть слѣдующіе: сложность устройства, громозд-
кость, большой вѣсъ самого прибора и всѣхъ приспособленій, требую-
щія аккуратности и осторожности при употребленіи.

Измѣритель
рѣчныхъ
струй *Леляв-*
скаго.

Примѣненная *Н. С. Лелявскимъ* механическая рычажная вертушка—
сложна и тяжела, имѣетъ много лишнихъ сопротивленій и подобно вер-
тушкѣ *Amsler*'а даетъ полную возможность сомнѣваться въ вѣрности
и точности ея показаній. Кромѣ того, продолжительность наблюденія,

принятая *Лелювскимъ* въ 1 минуту, какъ вполне достаточная, не можетъ служить достаточной гарантiей вѣрности опредѣленія скорости.

Точныя наблюденія *Harlacher'a*, какъ-то мы видѣли выше, показали, что вода имѣетъ пульсирующее движеніе и какъ величина, такъ и направленіе движенія въ данной точкѣ не остаются постоянными; вслѣдствіе этого онъ нашелъ необходимымъ держать приборъ въ одномъ пунктѣ отъ 3 до 5 минутъ. Удлинненіе прибора вообще, а тѣмъ болѣе примѣненіе цѣлой доски вмѣсто легкаго флюгера, хотя и можетъ дать меньше колебаній, но зато и значительно уменьшаетъ, по нашему мнѣнію, вѣроятность точности измѣренія направленія струи въ данной точкѣ. Врядъ ли при длинномъ флюгерѣ возможно (въ смыслѣ, конечно, точности опредѣленія) соединеніе прибора съ вертушкой.

Возможны
улучшенія
прибора *Лелювскаго*.

Дальнѣйшія усовершенствованія этого аппарата вполне возможны и желательны; но, конечно, это достижимо лишь въ томъ случаѣ, если съ приборомъ будутъ работать: только по мѣрѣ получаемыхъ результатовъ⁵⁾ возможно будетъ вводить и улучшенія какъ въ отношеніи упрощенія конструкторіи, такъ и уменьшенія вѣса прибора. Казалось бы возможнымъ въ ближайшемъ будущемъ сдѣлать въ этомъ приборѣ слѣдующія усовершенствованія.

Прежде всего, употребляя приборъ съ цѣлю опредѣленія величинъ скоростей (для полученія Q), надо замѣнить рычажную вертушку электрической—это уже послужитъ къ улучшенію прибора и уменьшенію его вѣса. Просматривая описанные выше типы вертушекъ, легко замѣтить, что эта замѣна вполне возможна и никакихъ громоздкихъ дополнительныхъ приспособленій не потребуетъ, а, наоборотъ, скорѣе уменьшитъ число уже имѣющихся.

Штангу слѣдуетъ сдѣлать безъ щели, а съ направляющимъ выступомъ снаружи, какъ это было указано при описаніи устройствъ новѣйшихъ вертушекъ; этимъ можно достигнуть бѣльшей прочности штанги при той же толщинѣ стѣнокъ, въ чемъ чувствуется надобность.

Установку флюгера на штангѣ можно было бы сдѣлать автоматической, пользуясь сдѣланными сбоку штанги отверстиями, расположенными на разстояніяхъ по 0,05 см. по высотѣ, и соединяя штифтъ (чекъ) съ пружиной. Горизонтальный рычагъ при подъемѣ его сверху отодвигаетъ пружину и штифтъ отъ отверстій и тѣмъ даетъ вертушкѣ возможность свободно двигаться до слѣдующаго отверстия.

Заключенія о
выборѣ типа
вертушки для
измѣренія
скоростей.

§ 4. Вертушки съ механическими счетчиками, на основаніи вышеописанныхъ недостатковъ и подсчета погрѣшностей, не должны быть совсѣмъ употребляемы. Замѣна ихъ гидрометрическими трубками вполне цѣлесообразна и достигаетъ, какъ мы уже видѣли, значительно бѣльшей точности въ опредѣленіи скоростей.

Вертушки съ электрической передачей должны имѣть контакты на оси или, въ болѣе простомъ случаѣ, контактъ на зубчатомъ колесѣ безконечнаго винта, подобно устройству въ вертушкахъ *Hajös'a* и *Haskell'a*; конструкціи же, подобныя *Amsler'*овскому устройству, надо считать нецѣлесообразными по причинѣ большого сопротивленія вращенію и малой точности въ опредѣленіи числа оборотовъ вслѣдствіе изнашиваемости трущихся частей.

Вертушки всѣхъ системъ, свободно и независимо отъ наблюдателя вращающіеся около горизонтальной и вертикальной осей, могутъ служить лишь для опредѣленія имѣющихся въ руслѣ наибольшихъ скоростей независимо отъ ихъ направленія, т. е. для опредѣленія расхода воды въ точномъ смыслѣ этого слова онѣ непригодны.

Измѣритель рѣчныхъ струй *Лелявскаго*, какъ дающій одновременно величину и направленіе скоростей, можетъ служить, для болѣе точнаго, нежели вертушкой *Amsler'a*, опредѣленія расхода воды; причѣмъ конечно это заключеніе будетъ еще болѣе справедливымъ, если рычажная вертушка будетъ замѣнена электрической. При этомъ не нужно забывать, что направленіе струи за время наблюденія непостоянно, флюгеръ, а слѣдовательно и вертушка колеблется въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ направленіяхъ; вслѣдствіе этихъ колебаній струи ударяются въ лопатки крыльевъ подъ различными постоянно измѣняющимися углами и сами лопатки встрѣчаютъ разнообразныя за время наблюденія сопротивленія своему вращенію. Такимъ образомъ на волюнѣ точное опредѣленіе расхода этимъ приборомъ разсчитывать нельзя, тогда какъ для изученія расположенія струй приборъ флюгеръ заслуживаетъ большого вниманія.

Въ вертушкѣ *Harlacher'a*, какъ мы видѣли выше⁶⁾, измѣряется приборомъ прямо составляющая, нормальная къ площади живого сѣченія, и такъ какъ, по наблюденіямъ *Frese'*⁷⁾, косое направленіе струй (въ предѣлахъ угла α —отъ 0° до 10°) почти не вліяетъ на измѣненіе работы вертушки, сравнительно съ прямымъ по оси ея направленіемъ, то нельзя не согласиться съ тѣмъ, что для точного опредѣленія расхода мы въ данное время имѣемъ только вертушку *Harlacher'a*, усовершенствованную *A. Ott'*омъ. Если же къ этому прибору примѣнить еще устройство крыльевъ по системѣ *Hajös'a*, *Haskell'a* или *Schmidt'a*, то получимъ, по всей вѣроятности, гидрометръ, который, на основаніи всего вышесказаннаго, долженъ дать степень точности, доселѣ не полученную.

§ 5. Не смотря на измѣненія скорости въ каждой точкѣ по величинѣ и направленію, расходъ въ цѣломъ сѣченіи и площадь живого сѣченія за время наблюденія не измѣняются. Слѣдовательно, скорости

Наилучшій способъ измѣренія скоростей.

въ точкахъ каждаго поперечнаго сѣченія мѣняются такимъ образомъ, что съ уменьшеніемъ величинъ ихъ въ одной—онѣ увеличиваются въ другой, и обратно. Является вопросъ, какъ послѣдовательно поставить приборъ въ точки, чтобы получить именно среднюю величину скорости; какъ найти эти соотвѣтственные другъ другу точки, когда и точный законъ измѣненія скорости неизвѣстенъ; тогда какъ работа измѣренія скорости во многихъ точкахъ даннаго живого сѣченія требуетъ не менѣе цѣлаго дня?

Казалось бы, что самый лучший способъ измѣренія скоростей съ болѣе точными результатами былъ бы въ томъ случаѣ, если бы по всему сѣченію было одновременно установлено большое число вертушекъ или какихъ либо другихъ гидрометрическихъ приборовъ.

Кромѣ того, выборъ вертикалей и точекъ измѣренія таковъ, что при площади живого сѣченія 25—50 кв. саж. выбирается для измѣренія гидрометрическими приборами, въ зависимости отъ ихъ размѣровъ.

1/500 — 1/1000 часть площади, и затѣмъ это распространяется на всю площадь⁸⁾. Понятно, что тутъ крайне малая надежда на то, чтобы измѣренныя такимъ образомъ скорости струй охарактеризовали бы среднюю величину скорости для всей площади и дали бы возможность получить сколько нибудь вѣрное опредѣленіе расхода въ данномъ сѣченіи.

Кажется, что для достиженія этой цѣли надо въ каждомъ пунктѣ измѣренія захватить возможно большее число струй, почему заслуживаетъ серьезнаго вниманія устройство, подобное прибору *Lapointe'a*, и состоящее въ томъ, что вертушку помѣщаютъ въ трубу опредѣленнаго діаметра съ раструбомъ на концѣ для болѣе правильнаго подведенія воды къ вертушкѣ (фиг. 5, табл. IX; гл. III, § 26).

Наконецъ, въ виду того, что и въ этомъ случаѣ направленіе подходящей къ прибору воды будетъ неопредѣленное и измѣняющееся, самымъ лучшимъ устройствомъ для опредѣленія расхода воды въ потокахъ могло бы быть какое либо приспособленіе, состоящее изъ направляющаго и рабочаго колесъ, чтобы на лопатки рабочаго колеса вода вступала подъ вполне опредѣленнымъ угломъ.

Для той или другой группы предѣльныхъ скоростей вертушка со всѣми своими частями должна имѣть соотвѣтственные размѣры, причемъ число лопастей во всѣхъ случаяхъ можетъ быть 2, 3 или 4, для чего соотвѣтственно увеличивается размѣръ каждой лопасти.

Одно и тоже колесо не должно служить для скоростей разныхъ предѣльныхъ группъ, уменьшая лишь число рабочихъ лопастей, какъ напр. изъ 4-хъ, снимая двѣ. Съ одной стороны отъ этого пострадаетъ прочность и точность самого прибора, а съ другой, измѣнится коэффициентъ, если снятыя лопасти при вставленіи обратно не совсѣмъ точно

Необходимость захвата большого числа струй и знанія угла встрѣчи струй съ приборомъ.

Возможное наилучшее устройство приборовъ.

Нужное число лопастей въ крыльяхъ вертушки.

придется въ свои гнѣзда. Самое удобное, по нашему мнѣнію, колесо 3-хълопастное⁹⁾, каковое и заказано нами къ точному прибору системы *Harlacher*'а для гидравлической лабораторіи Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища.

Въ самое послѣднее время проф. *Schmidt* оми въ Мюнхенѣ, на основаніи ряда опытныхъ работъ, предложено особое трехлопастное колесо, какъ дающее очень хорошіе результаты. Въ немъ строго сохранена форма винта, но при этомъ отдѣльныя лопасти не прикрѣпляются къ спицамъ, а доходятъ до втулки колеса (фиг. 7, табл. XII А). Производящая винта имѣетъ направленіе подъ угломъ въ 45° къ оси вертушки; уголъ сектора трехъ площадей равенъ приблизит. 90° ; діаметръ около 20 с./м.; ходъ винта=65—70 с./м. Это колесо выписано нами для гидравлической лабораторіи И. М. И. У.

Колесо профессора *Schmidt* а.

В. Трубки.

Достоинства, недостатки и предѣлы примѣненія наиболѣе заслуживающихъ вниманія гидрометрическихъ трубокъ ниже разсматриваются для каждаго прибора отдѣльно.

§ 6. Трубка *Darcy* имѣетъ наибольшее изъ всѣхъ приборовъ второй категоріи примѣненіе. Она исключаетъ, какъ и всѣ приборы этой категоріи: необходимость наблюденія времени. Этотъ гидрометръ даетъ только ту скорость струи, которую она имѣетъ въ моментъ запиранія крана и которая, разумѣется, отлична отъ средней скорости течения въ данной точкѣ вертикали; почему для возможности опредѣлить крайнія величины происходящихъ въ извѣстный промежутокъ времени колебаній скорости въ данной точкѣ измѣренія и необходимо сдѣлать 30—60 наблюденій, какъ то было выше описано, тѣмъ болѣе, что время, требующееся для этого, очень небольшое. Трубка *Darcy* служитъ особенно хорошо при малыхъ глубинахъ, при измѣреніи скоростей у поверхности воды, у береговыхъ стѣнокъ, или, при неглубокихъ руслахъ, у самаго дна, потому что для полученія удара воды требуется незначительное погруженіе отверстій трубокъ¹⁰⁾.

Трубка *Darcy*.

Это конечно очень важно для точнаго изслѣдованія закона измѣненія скоростей какъ въ каждой вертикали, такъ и по горизонтальному направленію, что для вертушекъ почти недостижимо, ибо сравнительныхъ работъ съ малыми новѣйшими вертушками (съ крыльями изъ алюминія) мы въ данное время не имѣемъ. Вообще для специальныхъ научныхъ изслѣдованій, для которыхъ достаточна рѣка глубиною 1.25 метра, эта трубка почти незамѣнима.

Для измѣренія въ общемъ случаѣ съ практическими цѣлями обыкновенная трубка *Darcy*, какъ мы видѣли выше, при подсчетѣ ве-

личины погрѣшностей, при скоростяхъ, меньшихъ 0,30 метр./сек. не можетъ быть вовсе употребляема; при скоростяхъ же бѣльшихъ 0,30 метр./сек. и меньшихъ 1,00 метр./сек. употребленіе возможно, но лишь при допущеніи болѣе или менѣе значительныхъ погрѣшностей даже бѣльшихъ, чѣмъ для вертушекъ, и наконецъ, при скоростяхъ бѣльшихъ 1,00 метр./сек. она должна быть предпочтена вертушкамъ *Baumgarten*'а, *Woltmann*'а и *Amsler*'а. Только усовершенствованная вертушка—интеграторъ *Harlacher*'а должна повидимому занимать въ настоящее время первое мѣсто въ смыслѣ точнаго прибора.

Проф. *Tume* при изслѣдованіяхъ гидравлической силы рѣки Ижоры [133,34—35] отдалъ предпочтеніе предъ вертушкой трубки *Darcy* „какъ прибору болѣе простому и менѣе подверженному разстройству при измѣреніяхъ въ тѣсныхъ пространствахъ при ничтожной толщинѣ слоя воды въ каналахъ ($3\frac{1}{2}$ "') и часто при довольно нечистой водѣ“; трубки примѣнялись при морозахъ 10° — 18° Р [134,206]; при этомъ приборъ отогрѣвался послѣ каждыхъ двухъ—трехъ наблюденій; едва ли такую работу могла выдержать вертушка, хотя послѣднюю и рекомендуется при работахъ зимою обливать соленою водою.

Bazin [6] и *Graëff* [31, т. II, 213] для опытовъ научныхъ, имѣющихъ цѣлью опредѣлить измѣненіе скорости съ глубиною, отдають также трубкѣ *Darcy* предпочтеніе предъ всѣми другими приборами.

Для измѣренія же средней скорости, во избѣжаніе усложненій въ операціяхъ измѣреній и расчетахъ, въ особенности же на бѣльшихъ глубинахъ и бѣльшихъ рѣкахъ, практики отказываются отъ этого прибора и отдають предпочтеніе во многихъ случаяхъ шестамъ (*A. Cunningham*—на каналѣ *Gange*; *R. Gordon* на р. *Jirrawady*; *Humphreys* и *Abbot*—на р. *Mississippi*; *Graëff* [31, т. II, 222] на р. *Loire* и т. д.).

Къ обстоятельствамъ, стѣсняющимъ употребленіе этой трубки, но не къ недостаткамъ, можно отнести необходимость устройства прочныхъ помостовъ для приданія прибору точнаго вертикальнаго положенія.

При примѣненіи же керосина внутри трубокъ уменьшается погрѣшность въ отчитываніи высотъ въ 10 разъ, а слѣдовательно этотъ приборъ безусловно по праву долженъ занять во всѣхъ случаяхъ первое мѣсто предъ вертушками *Baumgarten*'а, *Woltmann*'а, *Amsler*'а и *Делявскаю* (рычажной).

Трубки *Ritter*'а.

§ 7. Всѣ трубки *Ritter*'а представляютъ собою, какъ мы видѣли выше при описаніи ихъ (гл. III, §§ 12—18), видоизмѣненную трубку *Darcy* и въ нѣкоторыхъ случаяхъ могутъ быть употребляемы съ хорошими результатами.

Сравненіе съ трубкой *Darcy*.

Въ трубкахъ *Ritter*'а: 1) упрощено устройство нижней части прибора; а) совершенно отсутствуетъ кранъ *Z* (фиг. 22, Табл. VI) со

шнурами *и*, *b*) уменьшены размѣры поддерживающихъ частей *s* (фиг. 3, Табл. VII А), а значитъ уменьшенъ возможный подпоръ воды предъ приборомъ; 2) руль располагается на высотѣ приемныхъ отверстій трубокъ, что даетъ возможность устанавливаться прибору подъ влияниемъ струй, скорости которыхъ измѣряются; 3) примѣненъ манометръ, дающій возможность наблюдателю находиться на любой высотѣ и разстояніи отъ прибора.

Всѣ трубки *Ritter'a*—съ подвѣсной штангой, такъ что поддерживающія ихъ части должны быть неподвижно укрѣпляемы надъ поверхностью воды; тогда какъ трубка *Darcy* прикрѣпляется къ штангѣ, прочно установленной въ грунтѣ дна ложа; нерѣдко послѣднему расположенію приходится отдавать преимущество.

Что касается самихъ трубокъ *Ritter'a*, то каждый изъ его приборовъ примѣнимъ лишь въ извѣстныхъ границахъ скорости и глубины,—иначе давленіе воды на трубки и поддерживающія приборъ части можетъ очень затруднить работу. Лучшимъ и болѣе точнымъ изъ трехъ видовъ трубокъ *Ritter'a* можно признать гидротахиметръ (фиг. 4—7, 18, Табл. VII А) для малыхъ глубинъ (*hydrotachymètre plongeur* и *Pitot de roche*). Самымъ неточнымъ является *hydrotachymètre sondeur* (фиг. 10—15, 19, Табл. VII А). Приборъ, служащій для измѣренія скорости только у поверхности потока—*tachymètre de surface* (фиг. 5, Табл. VII) и *hydrotachymètre flotteur* (фиг. 5, 6, 8, 9, Табл. VII А),—занимаетъ по точности даваемыхъ результатовъ среднее между ними мѣсто; грузъ, увеличивающій вѣсъ прибора, долженъ быть расположенъ выше уровня воды.

Сравненіе трубокъ *Ritter'a* между собою.

Во время паводковъ или половодья достиженіе при измѣреніи скоростей особенно точныхъ результатовъ не составляетъ необходимости,—обыкновенно стремятся имѣть величину приблизительную, но за то полученную возможно скоро. Въ такихъ случаяхъ, употребленіе поверхностнаго тахиметра или гидротахиметра *Ritter'a* имѣетъ преимущество передъ всѣми другими гидрометрическими приборами. Но при этомъ не нужно забывать, что вышеуказанная неточность (не болѣе 10⁰/₀ въ величинѣ расхода) увеличивается, какъ и въ трубкѣ *Darcy*, вслѣдствіе пульсирующаго движенія воды, а слѣдовательно и колебанія горизонтовъ ртути или спирта въ трубкахъ манометра. Полученныя при помощи этихъ приборовъ величины расходовъ не могутъ служить основаніемъ для какихъ-либо общихъ научныхъ выводовъ и кромѣ непосредственнаго и мѣстнаго примѣненія не могутъ имѣть и значенія. Измѣренія особенно удобны съ мостовъ, устоевъ и быковъ плотинъ и т. п. постоянныхъ сооружений.

Возможность употребленія поверхностныхъ гидротахиметра и тахиметра.

Сравненіе по-
верхност-
ныхъ тахи-
метра и ги-
дротаксиме-
тра между
собою.

Самъ изобрѣтатель, сравнивая *hydrotachymètre flotteur* и *tachymètre de surface* между собою, отдаетъ преимущество первому предъ послѣднимъ [139, 854—855].

Tachymètre съ спирально свернутыми капиллярными приемными трубками (фиг. 5, Табл. VII) съ теоретической точки зрѣнія болѣе точенъ; но при этомъ приемники должны быть точно горизонтальны, ибо при малѣйшемъ отклоненіи ихъ изъ нормальнаго положенія манометръ даетъ замѣтно ошибочныя показанія; эта ошибка увеличивается входящими чрезъ капиллярныя трубки пузырьками воздуха.

Hydrotachymètre имѣетъ болѣе простое устройство; негоризонтальность положенія его приемниковъ не влечетъ за собой ошибокъ въ показаніяхъ прибора, разъ только само приемное отверстіе находится въ водѣ; точность показаній его въ практикѣ можетъ быть признана достаточною.

Трубка
Frank'a на
поплавкахъ.

§ 8. Измѣренія скоростей помощью прибора *Frank'a* на поплавкахъ производится чрезвычайно быстро. На р. Рейнѣ [71, 87; 100, 178] пользовались для этого артелью изъ 20 рабочихъ; когда послѣдніе приобрѣли надлежащую сноровку, оказалось возможнымъ производить въ день измѣреніе скорости по два раза въ 250 пунктахъ, т.-е. всего 500 измѣреній; причемъ производство работъ затруднялось весьма оживленнымъ судоходствомъ, такъ что во многихъ случаяхъ приходилось по нѣсколько разъ отдавать и вновь натягивать проволочныя канаты. Подобная быстрота для поперечныхъ сѣченій, находящихся на мостовъ, не можетъ быть достигнута никакимъ другимъ приборомъ. Когда особой точности не требуется, а между тѣмъ надо въ короткое время произвести измѣренія скоростей на значительномъ участкѣ рѣки, какъ то было напр. на р. Рейнѣ, приборъ этотъ оказывается незамѣнимымъ и результаты, даваемые имъ, признаются вполне достаточными для полученія ясной картины распредѣленія скоростей.

Усовершен-
ствованная
трубка
Frank'a для
измѣренія
среднихъ
скоростей
вертикали.

§ 9. Что касается трубки *Frank'a*, то хотя этотъ приборъ находится въ употребленіи съ 1893 года, но до сихъ поръ точныхъ и многочисленныхъ изслѣдованій правильности его показаній сравнительно съ вертушкой-интеграторомъ не сдѣлано. Тѣмъ не менѣе этотъ приборъ долженъ быть поставленъ выше всѣхъ гидрометрическихъ трубокъ и сравнивать его нужно съ тѣми вертушками, качества которыхъ для подобныхъ измѣреній дознаны опытомъ.

Трубка *Frank'a* имѣетъ слѣдующія преимущества:

Исключаетъ наблюденія времени и связанныя съ этимъ ошибки (такъ же, какъ и трубка *Darcy*);

Манометръ съ плавучей скалой требуетъ наблюденія только за однимъ (внѣшнимъ) уровнемъ w_1 , w_2 , на которомъ наблюдатель и сосредоточиваетъ свое вниманіе, легко слѣдя за всѣми его колебаніями;

Разъ установленныя постоянныя прибора и его шкалы не мѣняются, такъ какъ нѣтъ подвижныхъ частей, подверженныхъ поломкѣ или изнашиванію. При вертушкахъ же достаточно легкаго толчка крыльчатого колеса, чтобы вызвать измѣненіе коэффициента, а слѣдовательно и ошибку въ наблюденіи. Возможна только поломка стеклянной трубки, замѣна которой новой, запасной, не представляетъ трудности и не вліяетъ на работу прибора;

Употребленіе этой трубки крайне просто и удобно; не требуется никакихъ вспомогательныхъ приборовъ;

Не требуется никакихъ вычисленій, такъ какъ приборъ показываетъ прямо среднюю скорость для цѣлой вертикали;

При большихъ глубинахъ потока измѣреніе скорости совершается значительно быстрѣе, нежели другими приборами, такъ какъ для трубки *Frank'a* достаточно одного измѣренія для цѣлой вертикали независимо отъ глубины; тогда какъ напр. вертушкой приходится съ тою же цѣлью дѣлать цѣлый рядъ отдѣльныхъ измѣреній на различныхъ глубинахъ одной и той же вертикали. Это преимущество выдѣляется тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше измѣряемая глубина потока. При такихъ качествахъ прибора его можно особенно рекомендовать для тѣхъ наблюденій, когда ихъ нужно выполнить быстро, какъ напр. въ половодье, при наводкахъ, у водяныхъ двигателей и т. п.

Къ недостаткамъ этого прибора можно отнести нижеслѣдующее:

Можно сомнѣваться въ томъ, что проходящая черезъ маленькія дырочки въ трубку R_1 , а затѣмъ и въ трубки R_2 , R_3 и E_1 вода производитъ дѣйствительно среднее гидравлическое давленіе текущей воды для всей данной вертикали. Отверстія сравнительно съ діаметромъ трубки R_1 очень малы, какъ напр., для трубы длиною 5 м. діаметръ самой трубы 30 м/м., діаметръ отверстій 2 м/м., при разстояніи между ними 25 м/м. Вслѣдствіе этого предъ приборомъ непременно образуется подпоръ; затѣмъ бѣлая часть струй, считая по ширинѣ трубки и разстоянію между отверстіями, ударяется въ самую трубку, не попадая въ отверстія; эти струи, отражаясь отъ поверхности трубки подъ разными углами, отклоняютъ и тѣ струи, которыя направляются къ отверстіямъ; наконецъ вода, входящая въ трубку черезъ отверстія, сжимаясь при проходѣ, несомнѣнно должна образовать водовороты внутри трубки.

Какъ подпоръ, такъ и эти отклоняющіяся вслѣдствіе удара о наружную поверхность трубки струйки, а затѣмъ и водовороты не могутъ не вліять на правильность показаній прибора, уменьшая дѣйствительное

среднее гидравлическое давление, а значить соответственную высоту столба воды и среднюю скорость вертикали, которую мы прочитываемъ на поплавкѣ. Положимъ, что эта неточность можетъ быть исправлена нѣкоторымъ коэффициентомъ α , но этотъ послѣдній врядъ ли остается постояннымъ для одного и того же прибора, но для разныхъ глубинъ, — вслѣдствіе указанныхъ выше причинъ. Затѣмъ, тарированіе поплавка, помѣщенного внутри манометра, путемъ сравненія съ показаніями другихъ провѣренныхъ нормальныхъ приборовъ слишкомъ затруднительно, и врядъ ли возможно достиженіе точнаго подраздѣленія шкалы; пусть эта неточность также исправляется нѣкоторымъ коэффициентомъ β . Такимъ образомъ, общій коэффициентъ μ трубки *Frank'a* составитъ изъ двухъ отдѣльныхъ коэффициентовъ α и β , зависящихъ отъ разныхъ причинъ.

Слѣдовательно, точное тарированіе этого прибора весьма затруднительно, а исправленіе коэффициента въ зависимости отъ глубины потока уже на мѣстѣ во время работъ прямо невозможно.

С. Поплавки (поверхностный и двойной) и гидрометрическіе шесты.

§ 10. Наконецъ третья категорія приборовъ — поверхностный поплавокъ — естественное и простѣйшее средство, — примѣнимъ всюду, если этому не мѣшаетъ вѣтеръ, а поверхностный уклонъ потока на протяженіи избраннаго участка не представляетъ очень ломанной линіи. При этомъ слѣдуетъ замѣтить, что какъ собственныя скорости поплавокъ, такъ и сообщенныя имъ теченіемъ зависятъ отъ состоянія и формы ихъ поверхности. Поплавки, сдѣланные изъ одного и того же матеріала, но различной формы и обдѣлки поверхности, а также поплавки разнаго матеріала и вѣса при однихъ и тѣхъ же остальныхъ условіяхъ движутся неодинаково [128; 94, 395]. Поэтому наблюденія, сдѣланныя разными поплавками, до нѣкоторой степени, несравнимы между собою. Этотъ приборъ представляетъ прекрасное и простое средство для провѣрки показаній другихъ приборовъ; онъ можетъ служить не только для измѣренія скорости у поверхности, но и для приблизительнаго, въ нужныхъ для тѣхъ или иныхъ цѣлей предѣлахъ, опредѣленія средней скорости въ вертикали и даже въ цѣломъ рѣчномъ профилѣ. Надо только имѣть въ виду, что поплавкомъ опредѣляется средняя скорость нѣкотораго участка рѣки между избранными профилями, а не того именно сѣченія, для котораго вычисляется площадь и расходъ воды, почему измѣряемый профиль долженъ быть расположенъ на этомъ участкѣ, а не вѣдъ его.

Поплавками нельзя опредѣлять скорости чрезъ произвольно малые промежутки по ширинѣ рѣки, какъ другими инструментами, ибо пути

Поверхностный поплавокъ.

поплавокъ могутъ перекрещиваться. Да это, собственно говоря, и не представляется существеннымъ и не можетъ служить доказательствомъ непригодности ¹¹⁾ поплавокъ для точныхъ ¹²⁾ работъ.

Для бôльшей точности опредѣленія расхода воды и средней скорости, какъ и при измѣреніяхъ помощью другихъ инструментовъ, совершенно не нужно брать какъ можно больше мѣстъ (чаще расположенныхъ) для измѣренія,—это—скорѣе прямой путь къ ошибкамъ; напротивъ, слѣдуетъ уменьшить число мѣстъ измѣреній, выбравъ ихъ тщательно ¹³⁾, а самыя наблюденія произвести возможно точнѣе и аккуратнѣе.

§ 11. Скорость, получаемая помощью двойного поплавка, какъ ^{Двойной (глубинный) поплавокъ.} для всей вертикали, такъ и на глубинѣ нижняго поплавка, не представляетъ дѣйствительной величины измѣряемой скорости, а нѣсколько преувеличена и тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше глубина. Это можно объяснить слѣдующими неправильностями, замѣченными [13,46—71; 5; 12; 23; 24; 92] *Vazin*'омъ и *Cunningham*'омъ:

1. Соединяющая поплавки веревка обыкновенно принимаетъ косое, сильно натянутое положеніе, особенно, если нижній поплавокъ не шаръ; подобное явленіе объясняется тѣмъ обстоятельствомъ, что поплавки не лежатъ въ одной вертикали (отклоненіе нижняго поплавка).
2. Верхній поплавокъ и веревка всегда представляютъ нѣкоторую площадь, на которую дѣйствуетъ потокъ, и въ большинствѣ случаевъ они увлекаютъ нижній поплавокъ и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ длиннѣе и толще веревка или, что тоже, чѣмъ больше глубина.
3. При неправильномъ, пульсирующемъ, движеніи жидкости, постоянно сохраняющемся, нижній поплавокъ не остается на желаемой глубинѣ, а перемѣщается въ вертикальномъ направленіи въ струю жидкости съ бôльшею скоростью; это тѣмъ болѣе вѣроятно, чѣмъ абсолютная скорость потока больше, и было замѣчено уже при 1,5 метр./сек.

Двойной поплавокъ—внизу бочка или бутылка, вверху—малый поплавокъ изъ пробковаго дерева или доски—не выполняетъ своей задачи, ибо верхній поплавокъ не идетъ со скоростью нижняго; кромѣ того, такой поплавокъ не можетъ показать скорость въ какой-либо точкѣ живого сѣченія, а получается средняя скорость, соотвѣтствующая площади жидкости, дѣйствующей на то или другое сѣченіе бочки [31, т. II, 213].

Вслѣдствіе перечисленныхъ неудобствъ и неточностей примѣненіе двойныхъ поплавокъ для опредѣленія скорости всей вертикали или въ точкѣ той же вертикали должно быть избѣгаемо.

Гидрометри-
ческіе шесты.

§ 12. Къ категоріи же поплавокъ можно отнести и гидрометри-
ческіе шесты, о которыхъ инженеръ *A. Cunningham* [13; 23; 92, 353, 365],
изъ своихъ наблюденій на Гангскомъ каналѣ (1874—1879 гг.), дѣла-
етъ слѣдующій выводъ: „вертикально уравновѣшенные стержни (шесты)
даютъ быстро и довольно точно среднюю скорость на вертикали, осо-
бенно, когда глубина не превышаетъ 15 фут. (4,50 метр.); при этомъ полу-
чаемый расходъ отличается отъ истиннаго не болѣе, какъ на 3%“. Самъ приборъ простъ, не ломокъ, удобенъ для переноски, дешевъ и
проченъ. Неточности отъ наклоненія шестовъ къ вертикали сводятъ
къ минимуму, располагая центръ тяжести шеста возможно ниже.

На этихъ основаніяхъ шесту въ нѣкоторыхъ случаяхъ надо отдать
предпочтеніе предъ прочими инструментами¹⁴⁾, измѣряющими среднюю
скорость вертикали, если, конечно, существующія условія благоприятны
для его примѣненія. Но въ виду того, что шестъ не доходитъ до дна
ложа, т.-е. не подвергается дѣйствию наиболѣе малыхъ скоростей
потока, казалось вполнѣ естественнымъ предположить, что шестъ дви-
жется со скоростью, болѣе „средней скорости вертикали“. Дѣйстви-
тельно измѣренія на р. Рейнѣ у Базеля [72,9] показали, что шестъ дви-
жется со скоростью, средней между поверхностной и средней въ вер-
тикали, а иногда даже со скоростью у поверхности. Подобные же ре-
зультаты, полученные и на нѣкоторыхъ другихъ рѣкахъ, послужили
препятствіемъ широкому примѣненію шестовъ. Тѣмъ не менѣе про-
стота и удобство употребленія шестовъ очевидны.

Формула
Francis's a.

*Francis*¹⁵⁾ пытался устранить происходящую при примѣненіи ше-
стовъ ошибку въ опредѣленіи средней скорости вертикали введеніемъ
особаго поправочнаго коэффициента, меньшаго единицы. Онъ произвелъ
большое число сравнительныхъ опредѣленій расхода воды, полученна-
го истеченіемъ чрезъ водосливъ—съ одной стороны и найденнаго по
измѣренному шестомъ среднимъ скоростямъ вертикали—съ другой сто-
роны. На основаніи этихъ сравненій получена имъ слѣдующая форму-
ла для коэффициента гидрометрическихъ шестовъ:

$$k = 1,000 - 0,116 \left[\sqrt{1 - \frac{l}{H}} - 0,1 \right],$$

гдѣ H — глубина воды и l — длина находящейся подъ водой части шеста,
выраженныя въ однородныхъ любыхъ мѣрахъ. Такимъ образомъ, дѣй-
ствительная средняя скорость вертикали:

$$V_{mh} = k \cdot w,$$

гдѣ w — наблюдаемая скорость шеста.

Необходимая
длина шеста.

Выполненія въ широкихъ размѣрахъ инженеромъ *Cunningham* омъ
[13] наблюденія на Гангскомъ каналѣ съ шестами, а затѣмъ и выве-
денная имъ теорія движенія шестовъ [13,240—246] показали, что ско-
рость [13,237, 244—245] шеста w , погруженная часть котораго $= l = z$,
всегда меньше средней скорости v_z части вертикали h глубиною z (отъ

поверхности), меньшей всей глубины H ; другими словами, средняя скорость V_{mh} вертикали, равной всей глубинѣ H , равна скорости w шеста, котораго погруженная длина l немного меньше H . Сдѣланные имъ выводы основаны на 543 опредѣленіяхъ скоростей помощью шеста, причѣмъ каждое измѣреніе повторено до 6 разъ. Наблюденія произведены на Гангскомъ каналѣ, наибольшемъ изъ всѣхъ, протекающихъ въ Сѣверной Индіи. Онъ имѣетъ длину около 560 килом. и въ наиболѣе широкомъ мѣстѣ—около 60 метр. ширины и 3 метр. глубины; полный расходъ достигаетъ до 200 куб. метр./сек.; рукава этого канала, служащіе для цѣлей орошенія имѣютъ ширину отъ 60 до 20 метр.; каналъ раздѣленъ водосливами на нѣсколько отдѣльныхъ бьефовъ.

Уравненіе движенія шеста, связанное съ уравненіемъ параболы (въ предположеніи распредѣленія скоростей въ вертикали по параболѣ) даетъ возможность опредѣлить, для случаевъ обыкновенно встрѣчающихся въ практикѣ и для условія, чтобы скорость w шеста равнялась средней скорости V_{mh} вертикали всей глубины потока H , необходимую длину погруженія шеста въ среднемъ¹⁶⁾ равною $0,94 H$. При этомъ оказывается, что скорость V_{mh} соотвѣтствуетъ скорости струи потока въ среднемъ на глубинѣ $h = (0,593 \sqrt[3]{\frac{2}{3}}) H$.

Данныя *Cunningham*'а говорятъ въ пользу употребленія шестовъ для измѣренія средней скорости вертикали, вслѣдствіе быстроты и простоты опредѣленія скорости, удобства, простоты и дешевизны конструкции и большей продолжительности службы; необходимо только, чтобы шесты при измѣреніи находились въ условіяхъ, благопріятныхъ для ихъ употребленія. Эти условія—тѣ же, что и для употребленія поплавковъ: участокъ и сѣченіе должны быть однообразные, болѣе или менѣ правильные; уклонъ постоянный на возможно болѣе длинѣ; ложе возможно одинаковой (по длинѣ пути) глубины. Наибольшая глубина рѣки не должна быть болѣе 4,5 метр. Самые длинныя шесты, употреблявшіеся при опытахъ *Cunningham*'а были $\infty 3,5$ метр.

Вышеуказанная формула *Francis*'а для коэффициента k до сихъ поръ еще не была подтверждена другими не менѣ точными и аккуратными опытами. На основаніи вышецитированныхъ точныхъ работъ и данныхъ *Cunningham*'а, можно заключить, что скорость шестовъ, тщательно выбранныхъ, не можетъ быть больше средней скорости соотвѣтственной вертикали; если же иногда получается обратное, то такой результатъ надо приписать нарушенію условій, при которыхъ шесты даютъ надежныя показанія.

Для такихъ случаевъ ($w > V_{mh}$) и надо, по нашему мнѣнію, примѣнять формулу *Francis*'а. Подтвержденіе этому мы находимъ въ составленныхъ нами нижепомѣщаемыхъ двухъ таблицахъ для 36 случаевъ¹⁷⁾ наблюденій *Cunningham*'а, наиболѣе отходящихъ отъ дѣйствительности, для которыхъ получена скорость шестовъ $w > V_{mh}$.

Примѣненіе
формулы
Francis'а.

Глубина <i>H</i> фут.	Длина песта <i>l</i> фут.	$\frac{l}{H}$	Скорость фут./сек.			<i>H</i> .	<i>l</i> .	$\frac{l}{H}$.	Скорость фут./сек.			<i>H</i> .	<i>l</i> .	$\frac{l}{H}$.	Скорость фут./сек.		
			<i>V_m</i> .	<i>w</i> .	<i>v_f</i> .				<i>V_m</i> .	<i>w</i> .	<i>v_f</i> .				<i>V_m</i> .	<i>w</i> .	<i>v_f</i> .
7,60	7,00	0,91	3,37	3,75	3,62	8,33	8,00	0,96	2,51	2,73	2,70	8,70	8,00	0,91	3,39	3,43	3,33
3,97	3,00	0,75	5,38	5,18	5,23	8,30	8,00	0,96	2,77	2,80	2,77	"	"	"	3,43	3,37	3,49
3,98	3,00	0,75	5,30	5,36	5,30	"	"	"	2,79	2,83	2,80	8,33	8,00	0,94	3,29	3,33	3,17
"	"	"	5,44	5,30	5,25	7,06	7,00	0,99	2,71	2,96	2,96	9,33	9,00	0,96	3,68	3,77	3,73
"	"	"	5,48	5,69	5,43	7,00	6,89	0,98	2,77	2,97	2,90	8,80	8,00	0,91	3,24	3,31	3,23
6,30	5,00	0,77	2,77	2,86	2,73	7,00	6,90	0,98	2,80	3,00	2,99	8,70	8,00	0,91	3,30	3,41	3,33
8,48	8,00	0,94	2,69	2,80	2,75	8,60	8,00	0,91	3,16	3,31	3,23	"	"	"	3,26	3,35	3,27
"	"	"	2,62	2,88	2,83	"	"	"	3,32	3,41	3,33	"	"	"	3,28	3,38	3,50
"	"	"	2,71	2,88	2,83	"	"	"	3,17	3,43	3,37	"	"	"	3,25	3,31	3,23
8,17	8,00	0,94	2,62	2,80	2,76	"	"	"	3,28	3,41	3,33	"	"	"	3,22	3,34	3,26
8,33	8,00	0,96	2,56	2,84	2,91	"	"	"	3,39	3,47	3,39	8,60	8,00	0,91	3,25	3,36	3,28
8,35	8,00	0,96	2,65	2,80	2,77	"	"	"	3,37	3,43	3,35	"	"	"	3,25	3,32	3,24

$\frac{l}{H}$	Число наблюдений.	Сумма.			Среднее.			Примѣчанія.
		V_{mh} .	w .	v_f .	V_{mh} .	w .	v_f .	
0,75	4	21,80	22,23	21,21	5,45	5,56	5,30	$v_f < V_{mh}$.
0,77	1	—	—	—	2,77	2,86	2,73	$v_f < V_{mh}$.
0,91	17	56,13	58,01	56,60	3,30	3,41	3,33	$V_{mh} < v_f < w$.
0,94	5	13,93	14,89	14,64	2,79	2,98	2,93	$V_{mh} < v_f < w$.
0,96	6	17,54	17,87	17,68	5,83	5,86	5,89	$V_{mh} < v_f < w$.
0,98	2	5,57	5,97	5,89	2,79	2,99	2,93	$V_{mh} < v_f < w$.
0,99	1	—	—	—	2,71	2,96	2,96	$w = v_f$.

Принятые обозначения в этих таблицах:

V_{mh} —средняя скорость вертикали для глубины h , равной l ;

w —наблюдённая скорость движения шеста;

v_f —скорость по формулѣ *Francis'a*.

Величина V_{mh} определена какъ средняя изъ скоростей v_0 (на поверхности), v_1 (на 1 футъ ниже), $v_2 \dots v_h$ (на h фут. ниже поверхности).

Изъ таблицъ видно, что для $\frac{l}{H} \geq 0,94$ величина $v_f > V_{mh}$, но ближе къ w и стремится къ послѣдному съ увеличеніемъ $\frac{l}{H}$ и при $\frac{l}{H} = 0,99$, $v_f = w$; для $\frac{l}{H} < 0,94$ замѣчается стремленіе къ V_{mh} и при дальнѣйшемъ уменьшеніи ($\frac{l}{H} < 0,90$) v_f дѣлается меньше V_{mh} .

Такимъ образомъ, опыты обоихъ экспериментаторовъ (*Francis'a* и *Cunningham'a*), производившіеся независимо другъ отъ друга и при томъ въ неодинаковыхъ условіяхъ (одинъ въ Америкѣ, другой въ Индіи), сходятся и даваемая ими величина средней скорости вертикали, считая до дна, можетъ быть приблизительно принимаема равною скорости шеста для $\frac{l}{H} \geq 0,94$.

Заключеніе.

§ 13. При изслѣдованіяхъ рѣкъ Голландіи [132] скорости теченія съ 1812 до 1873 гг. опредѣлялись исключительно при помощи гидрометрическихъ шестовъ. Невозможность опредѣленія степени ихъ рѣка въ Голландіи. Примѣненіе шестовъ въ рѣкахъ Голландіи. точности заставляла недовѣрчиво относиться къ получаемымъ результатамъ; произведенныя затѣмъ одновременныя сравнительныя измѣренія съ вертушкой *Woltmann'a* были не въ пользу гидрометрическаго

шеста. Вслѣдствіе такихъ неблагопріятныхъ выводовъ употребленіе этого прибора было совершенно оставлено и съ тѣхъ поръ изслѣдованія производились уже исключительно вертушкой *Woltmann*'а.

Это заключеніе, на основаніи всего вышеизложеннаго о шестахъ, не можетъ быть, по нашему мнѣнію, общимъ, а присуще лишь тѣмъ рѣкамъ или даже частямъ рѣкъ Голландіи, на которыхъ сравнительныя работы производились, такъ какъ условія были совершенно не подходящія для возможности примѣненія шестовъ. На избранныхъ участкахъ рѣкъ по направленію движенія поплавокъ очень сильно и часто мѣнялась глубина и главнымъ пунктомъ противъ примѣненія шестовъ былъ слѣдующій: „длина шеста не можетъ быть болѣе наименьшей глубины, встрѣчаемой между двумя крайними профилями того участка рѣки, для котораго опредѣляется скорость, такъ что для многихъ прочихъ мѣстъ длина шеста оказывается недостаточною, а потому получаемыя скорости преувеличены“.

D. Сравненіе достоинствъ приборовъ всѣхъ трехъ группъ по даннымъ практики.

Данныя изъ
практики.

§ 14. Если взять показанія приборовъ всѣхъ трехъ категорій, поставленныхъ въ одни и тѣ же условія, но въ предѣлахъ примѣненія каждаго изъ нихъ, то, отбрасывая сравненіе быстроты показанія, при вѣрныхъ коэффициентахъ и тщательномъ наблюденіи, эти показанія будутъ почти одинаковы. Это видно изъ нижеприводимой таблицы, составленной по измѣреніямъ, произведеннымъ проф. *Wagner*'омъ [72] на указанныхъ въ первой графѣ этой таблицы рѣкахъ. (См. табл. стр. 237).

Baumgarten при своихъ ¹⁸⁾ наблюденіяхъ въ потокахъ съ различными скоростями замѣтилъ, что скорость сферическихъ поплавокъ, діаметр. 0,14—0,08 метр., почти точно равнялась скоростямъ, получаемымъ на основаніи показаній 4-хъ вертушекъ, изъ которыхъ двѣ были съ крыльями плоскими и двѣ — съ крыльями гелиссоидальными.

На р. Кубани были сдѣланы довольно точныя сравнительныя наблюденія на довольно прямой части рѣки и оказалось, что разницы между измѣреніями поплавкомъ и вертушкою почти нѣтъ ¹⁹⁾.

При изслѣдованіяхъ на рѣкахъ Голландіи [132, 13—14] изъ цѣлаго ряда многолѣтнихъ наблюденій была составлена таблица для выясненія разностей расходовъ, получаемыхъ при непосредственномъ измѣреніи скоростей на различныхъ глубинахъ и при вычисленіи средней скорости по скорости на поверхности, опредѣленной въ томъ и другомъ случаѣ помощью вертушки *Woltmann*'а. Наибольшая разница оказалась 5—6%; въ среднемъ же 2—3%. При сравненіи расхода, опредѣленнаго по среднимъ скоростямъ на поверхности, найденнымъ при помощи поплавокъ, съ расходомъ, опредѣленнымъ непосредственными измѣ-

Названіе рѣки.	Глубина погруженія прибора метр.	Глубина рѣки метр.	Наименованіе прибора.	Разстояніе отъ лѣв берега метр.	Средняя разность высотъ изъ 60 наблюдений м/м.	Полученная скорость во метр/сек.	Средняя скорость метр/сек.	Отклоненіе отъ средней въ 0/0.
Рейнъ.	0,25 м. подъ уровнемъ водн.	5 метровъ.	Вертушка <i>Wolmann'a</i> .	20,7	—	1,788	1,784	0,39
			Трубка <i>Darcy</i> .	19,3	—	1,780		
			Вертушка <i>Wolmann'a</i> .	20,0	161,2	1,777	1,777	
			Трубка <i>Darcy</i> .	37,7	—	1,976	1,937	
			15 поплавокъ.	36,3	—	1,966		
—	37,0	190,5	1,940					
					$\frac{200,63}{102} = 1,961$		0,20	
							въ ср. 0,59	
Везеръ.	0,103	3 метра.	Вертушка <i>Hartacher'a</i> .	—	—	(1) 0,374	1) 0,3733	0,09
	0,100		6 поплавокъ.	—	—	(2) 0,362		
	для 0,103			—	—	(1) 0,373	2) 0,3635	0,24
	для 0,100			—	—	(2) 0,3615		
Эльба.	|	|	Вертушка <i>Wolmann'a</i> .	—	—	0,707	0,7043	0,35
			4—8 поплавокъ.	—	—	0,702		
Океръ.	|	|	Вертушка <i>Wolmann'a</i> .	—	—	0,240	0,2375	1,03
			7 поплавокъ.	—	—	0,235		

реніями скоростей на разныхъ глубинахъ помощью вертушки *Wolmann'a*, оказались уклоненія не превосходящія 5⁰/0. Сравненіе способовъ вычисленія расхода по средней скорости, опредѣленной посредствомъ поплавковъ или посредствомъ гидрометрическихъ шестовъ, показываетъ, что оба эти способа мало отличаются другъ отъ друга по степени точности. Сравненіе результатовъ непосредственныхъ опредѣлений расхода при одномъ и томъ же горизонтѣ рѣки, при измѣреніи скорости по-

мощью вертушки *Woltmann*'а въ разное время дня и въ разные дни дали очень малыя разницы и показали точность дѣйствія вертушекъ,—уклоненія въ среднемъ не превосходили $3,1\%$.

Пределы скоростей ²¹⁾ для примѣненія каждой группы приборовъ.

Дѣлая теперь сравненіе всѣхъ разсмотрѣнныхъ инструментовъ для опредѣленія скоростей теченія воды, можно придти къ такому общему выводу ²⁰⁾.

- 1) Для малыхъ скоростей (до 0,30 м/сек. и при полномъ отсутствіи вѣтра—лучше всего употреблять поплавки и шесты. Работа съ поплавкомъ довольно хлопотлива и если дѣлать измѣренія всей рѣки поплавками, на это потребуется времени въ 5—6 разъ больше, чѣмъ при измѣреніи вертушкой. Если бросать поплавковъ на каждой вертикали для каждой глубины, то въ теченіе дня не окончатъ работы на профилѣ шириною 200 саж.; тогда какъ вертушкою, при измѣреніи скоростей на поверхности чрезъ каждыя 5 саж., можно пройти весь профиль въ 3—4 часа. Если поверхность дна въ продольномъ профилѣ очень волниста, и шесту не можетъ быть придана длина, согласно опытамъ *Cunningham*'а, равная $\frac{9}{10}$ глубины, приходится брать шесть нѣсколько укороченный и пренебрегать малыми скоростями струй у дна. Получаемая средняя скорость вертикали (=скорости движенія шеста) будетъ нѣсколько больше дѣйствительной. При измѣреніяхъ неточныхъ этой ошибкой, по малости ея, пренебрегаютъ. При измѣреніяхъ возможно точныхъ эта ошибка, въ предѣлахъ точности наблюдений, можетъ быть исправлена формулою *Francis*'а. (См. выше § 12). При значительномъ измѣненіи глубинъ по пути хода поплавокъ слѣдуетъ употребить способъ измѣреній помощью какихъ-либо другихъ гидрометровъ.
- 2) Для средних ²¹⁾ скоростей (0,30—1,00 м/сек.) могутъ быть допущены вертушки *Baumgarten*'а, *Woltmann*'а, *Amsler*'а при условіи неподвижной ихъ установки.
- 3) Для большихъ ²¹⁾ скоростей ($> 1,00$ м/сек.)—трубки.
- 4) Для измѣренія скоростей лишь у поверхности, главнымъ образомъ въ половодье, могутъ быть примѣняемы:
 - а) Трубка *Frank*'а на поплавкахъ—при измѣреніи скорости въ любомъ сѣченіи свободного потока;
 - б) Плавающая вертушка *Ott*'а, *Ritter*'а или поверхностный гидротаксиметръ *Ritter*'а—при измѣреніи скорости съ моста.

Но если имѣютъ въ виду производить наблюденія однимъ какимъ-либо приборомъ, то лучше всего употребить вертушку *Harlacher*'а, усовершенствованную *A. Ott*'омъ, съ крыльями *Schmidt*'а, *Hajós*'а или *Haskell*'я—какъ инструментъ, по качествамъ превосходящій поплавки и трубки.

Е. Цилесообразная форма некоторых частей приборов.

§ 15. О подвѣшиваемых штангахъ и способахъ ихъ укрѣпленія Употребленіе штангъ сравнительно съ цѣвью и проволочнымъ канатомъ при вертушкахъ. говорилось уже выше²²); во избѣжаніе сложныхъ приспособленій, могущихъ требоваться для полученія еще одной или нѣсколькихъ точекъ опоры, подвѣшенная штанга должна быть употребляема только въ небольшихъ руслахъ. Въ рѣкахъ же измѣренія могутъ производиться точно при примѣненіи стоячей штанги²³), по которой не прикрѣпленный къ ней приборъ по мѣрѣ надобности можетъ быть передвигаемъ подъ водой на желаемую глубину. Матеріалъ и конструкція штангъ зависятъ отъ измѣряемыхъ глубинъ, величины наибольшихъ скоростей, числа точекъ опоръ штанги и т. п. Длина штанги обыкновенно соответствуетъ глубинѣ воды и верхній конецъ ея долженъ выходить изъ воды около 1,50 метр. Она представляетъ собою брусъ или свободно лежащій на двухъ и болѣе опорахъ, или закрѣпленный однимъ концомъ и нагружена перпендикулярно оси; причемъ размѣры поперечнаго сѣченія опредѣляются по наибольшему изгибающему моменту. При болѣшихъ глубинахъ и скоростяхъ она должна имѣть болѣе поперечное сѣченіе; въ случаѣ трубчатой формы — съ болѣшимъ наружнымъ діаметромъ и болѣе толстыми стѣнками и при достаточной толщинѣ ихъ можетъ состоять изъ нѣсколькихъ свинчиваемыхъ звеньевъ. Большія глубины (10—15 метр.) не представляютъ опасеній при употребленіи штанги достаточнаго сѣченія вслѣдствіе небольшихъ скоростей; болшія рѣки, несущія въ половодье много воды съ большою скоростью представляютъ болшія затрудненія употребленію стоячихъ штангъ, такъ какъ давленіе воды на штангу увеличивается пропорціонально квадрату скорости воды. Тѣмъ не менѣе до 15 метр. глубины примѣненіе штанги (фиг. 4, Табл. XXV) возможно [39, 3,59] и желательно, такъ какъ она даетъ возможность всѣ работы по измѣренію производить легко и очень точно: передвиженіе прибора строго вертикально, ось крыльевъ—горизонтальна, всякія неправильности хода легко замѣчаются и препятствія могутъ быть тотчасъ устранены.

При глубинахъ больше 15—20 метр. и значительныхъ скоростяхъ проф. *Hartacher* рекомендуетъ способъ установки по фиг. 5, Табл. XXV, дающій тѣ же результаты, что и штанга. Здѣсь штанга замѣнена кольчатой цѣвью или проволочнымъ направляющимъ канатомъ²⁴) съ подвѣшеннымъ внизу тяжелымъ грузомъ, имѣющимъ малую поверхность для ударнаго давленія воды. Эта цѣвь или канатъ можетъ быть почти отвѣсно натянута помощью лебедки съ храповикомъ и тормазомъ, а грузъ закрѣпленъ еще якоремъ сверху по теченію. Глубина измѣряется здѣсь этимъ же канатомъ, а не штангой, какъ въ предыдущемъ случаѣ, вслѣдствіе чего точность этого измѣренія не зависитъ отъ строенія

грунта. Приборъ движется по этой цѣпи также правильно, какъ и по штангѣ помощью тонкаго проволочнаго каната, намотаннаго вверху на барабанъ лебедки.

Работы съ вертушкой *Amsler*'а, опускаемой на проволочномъ канатѣ (фиг. 6, Табл. XXV), страдаютъ большими неточностями, что замѣчено еще *Baumgarten*'омъ [на р. Гарониѣ въ 40-хъ годахъ и на Босфорѣ 1859 г.]; проф. *Harlacher*'омъ на р. Эльбѣ, р. Дунаѣ, и многими другими; у насъ—при работахъ на р. Днѣпрѣ ²⁵⁾, р. Волгѣ ²⁶⁾ и т. д. Грузъ, приборъ и канатъ, вслѣдствіе дѣйствія воды, настолько отклонялись отъ вертикали, что было неизвѣстно на какой глубинѣ находится приборъ. Скорость въ одной и той же точкѣ подвержена значительнымъ колебаніямъ; положеніе подвѣшеннаго прибора зависитъ отъ силы ударовъ воды; приборъ *Amsler*'а вслѣдствіе свободнаго подвѣшенія легко вращается около центра какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскостяхъ. Такимъ образомъ, къ измѣняющемуся положенію оси крыльевъ и отклоненію прибора отъ вертикали присоединяются еще качательныя движенія всего приспособленія по направленіямъ, указаннымъ стрѣлками (фиг. 6, Табл. XXV). Это безъ сомнѣнія должно сильно вліять на точность наблюденій, особенно при большихъ скоростяхъ (отъ 3 метр.) и при кратковременномъ наблюденіи въ отдѣльныхъ точкахъ.

Примѣненіе
подвѣснаго
каната при
работахъ на
р. Днѣпрѣ.

§ 16. При измѣреніяхъ весною 1895 г. расхода воды на р. Днѣпрѣ [114, 63—64] у Кіева въ профилѣ, находящемся въ 100 саж. выше цѣпнаго Николаевскаго моста, встрѣтились большія затрудненія вслѣдствіе быстроты теченія. Баркасъ, съ котораго производились измѣренія вертушкой *Amsler*-а, иногда не могъ удерживаться на 2-хъ якоряхъ; двѣ вертушки были повреждены во время работы ударами пльвншихъ корчей и кустовъ и только при помощи третьей удалось окончить наблюденія. Скорость мѣстами достигала 8 фут. въ секунду. Конечно при такой скорости не могло быть даже предположенія о вертикальномъ направленіи проволочнаго подвѣснаго каната вертушки съ 3-хъ пудовымъ грузомъ внизу. Приборъ относился силою теченія (фиг. 16, Табл. XXV) изъ желаемаго положенія *b* въ *c*; уголъ α уклоненія каната отъ вертикальнаго положенія достигалъ до 30° и даже [115, 118) до 45° .

При такихъ условіяхъ вычисленныя скорости по воображаемой вертикали *ab* собственно должны быть отнесены къ наклонной линіи *ac*, дающей значительно бѣльшую глубину вертикали; такъ напр. при 30° , $ac = \frac{ab}{\cos \alpha} = \frac{l}{\cos 30^\circ} = 1,15 l$. Поэтому частные, а по нимъ и полный расходы воды безъ сомнѣнія приняты преувеличенными.

§ 17. Въ рѣкахъ большихъ, быстрыхъ и большой глубины, особенно при высокихъ горизонтахъ, измѣренія вертушкою могутъ производиться съ понтона (плота или парома) особаго устройства, имѣющаго особую раму, могущую служить для болѣе точныхъ промѣровъ глубинъ.

Способъ опусканія гидрометрическихъ приборовъ на большихъ и быстрыхъ рѣкахъ.

Одно изъ такихъ устройствъ, примѣнявшееся на р. Рейнѣ между Bingen'омъ и St. Goar'омъ, описано было ²⁷⁾ выше (фиг. 7, 8, Табл. V).

Приспособленіе, употреблявшееся [50, 289—290; 116, 160—161] на р. Дунай, Fiza и притокахъ (въ Венгріи), заключается въ слѣдующемъ (Фиг. 6, Табл. XXI). Судно (паромъ), служившій для большинства измѣреній, представляетъ помость длиною 9,5 метр. и шириною 5 метр., установленный на двухъ трубахъ-понтахъ изъ листового желѣза, имѣющихъ длину 10 метр., діаметръ 85 с/м. и толщину 3 м/м., расположенныхъ на разстояніи 2,5 метр. ось отъ оси. Трубамъ придана надлежащая жесткость и онѣ соединены другъ съ другомъ. Каждая труба раздѣлена на три водонепроницаемыхъ отдѣленія. Помость находится на 1 метръ выше уровня воды. На передней части желѣзныхъ понтоновъ находятся зажимы *R*, которые захватываютъ канатъ, натянутый надъ живымъ сѣченіемъ, и удерживаютъ паромъ на изслѣдуемомъ мѣстѣ. На козлахъ, прочно прикрѣпленныхъ къ остову парома, подвѣшенъ при помощи двухъ троссовъ, движущихся по блокамъ *E*, *F*, грузъ *A* изъ ковannaго желѣза, имѣющій 3 метра длины и 10 сантиметровъ діаметромъ. Вертушка *CD* помѣщается на концѣ этого груза на желѣзномъ стержнѣ *B* длиною 1 метръ. Троссы, поддерживающіе грузъ, сходятъ съ лебедки *G*, барабанъ которой, имѣющій 1 метръ въ окружности, позволяетъ отмѣчать при помощи связаннаго съ нимъ счетчика глубину, на которой находится вертушка, безъ перерыва работы. Козлы подъ снастями и руль дополняютъ оборудованіе парома. Будка наблюдателя и ящики для инструментовъ и батарей равно служатъ для удобства работы.

§ 18. Линза, употребляемая при вертушкахъ *Amsler's*, имѣетъ форму по фиг. 17, Табл. XXV, а именно: продолговатую (*A*) или круглую (*B*)—въ планѣ и вмѣстѣ съ тѣмъ плоскую (см. разр. по *ab*)—по высотѣ. Такая форма не можетъ считаться удобопримѣнимою въ естественныхъ потокахъ; извѣстно уже, что въ нихъ струи движутся не параллельно другъ другу, направленіе теченія мѣняется весьма разнообразно, почему линза указанной выше формы, находящаяся на вѣсу, подвержена самымъ сильнымъ толчкамъ и колебаніямъ, опаснымъ какъ для сохраненія ворота и каната, такъ слѣдовательно и всего устройства.

Рациональная форма груза при вертушкахъ, подвѣшиваемыхъ къ проводочному канату.

Слѣдуетъ предпочесть форму сферическую. Какъ хорошій примѣръ такой линзы можетъ служить чугунный шаръ, употреблявшійся инж. Ritter'омъ [2; 12, 109—116]. Диаметръ его былъ 0,22 метр., полный вѣсъ 40 килогр.; онъ состоялъ изъ 4-хъ сегментовъ, наложенныхъ другъ на друга и снимаемыхъ, когда нужно имѣть грузъ въ 10, 20, 30 килогр. Величина тяжести зависитъ отъ имѣющейся скорости теченія и для $v=0,6$ м./сек. достаточенъ грузъ въ 10 килогр., для $v=1$ м./сек. — 20 килогр. и т. д.

Г Л А В А X.

Способы опредѣленія расходовъ воды по извѣстнымъ скоростямъ, измѣреннымъ помощью какого-либо изъ вышеописанныхъ инструментовъ.

§ 1. Какъ видно изъ помѣщеннаго выше описанія и сравненія приборовъ, всѣ наиболѣе употребляемые въ практикѣ инструменты, по характеру опредѣляемой ими скорости потока, могутъ дать:

Подраздѣленіе гидрометрическихъ приборовъ по характеру опредѣляемой ими скорости.

- а) наибольшую скорость на поверхности—какъ напр. поверхностные поплавки, поверхностный тахиметръ *Ritter*'а, трубка *Frank*'а на поплавкахъ и плавающія вертушки *Ott*'а и *Ritter*'а;
- б) среднюю скорость для цѣлой вертикали, какъ гидрометрическіе шесты, усовершенствованная трубка *Frank*'а и механическій интеграторъ *Harlach*'а;
- в) скорость струй въ любой точкѣ вертикали и поперечнаго сѣченія потока, какъ двойные поплавки, гидрометрическая трубка *Darcy* и вертушки разныхъ системъ.

При этомъ въ менѣе важныхъ случаяхъ довольствуются измѣреніемъ скорости у поверхности (случай а); при болѣе же точныхъ опредѣленіяхъ расхода, измѣренія скоростей производятся на всю глубину рѣки (случай б и в). Употребляемые способы перехода во всѣхъ этихъ случаяхъ къ расходу потока описываются въ §§ этой главы.

А. Нахожденіе средней скорости для всего сѣченія или для цѣлой вертикали по скоростямъ, измѣреннымъ инструментами только у поверхности.

§ 2. Поверхностный поплавокъ, поверхностный тахиметръ *Ritter*'а, трубка *Frank*'а на поплавкахъ и плавающія вертушки *Ott*'а и *Ritter*'а всегда даютъ наибольшую скорость V_0 на поверхности (или, вѣрнѣе, у поверхности), причѣмъ эту скорость опредѣляютъ:

Первая группа приборовъ.

или 1) только для струй, расположенныхъ близъ середины потока и нѣсколько подъ поверхностью воды при правильномъ ложѣ и малыхъ размѣрахъ русла;

или 2) выбирается по ширинѣ рѣки цѣлый рядъ вертикалей, для которыхъ отдѣльно получаютъ наибольшую поверхностную скорость $v'_0, v''_0, v'''_0, \dots$. Способы наблюденія и опредѣленія ея выше описаны въ Гл. V.

Затѣмъ, въ первомъ случаѣ отъ наибольшей скорости V_0 у поверхности переходятъ непосредственно къ средней скорости V_m всего сѣченія, пользуясь извѣстнымъ отношеніемъ между V_m и V_0 , вывѣреннымъ многими гидравликами изъ многочисленныхъ наблюденій:

$$V_m = \phi \cdot V_0, \dots \dots \dots (1)$$

гдѣ коэффициентъ ϕ заключается въ предѣлахъ отъ 0,80 до 0,95. Для руселъ небольшой глубины (0,30—1,00 метр.) ϕ берется ближе къ большому предѣлу; для потоковъ широкихъ съ гладкой поверхностью ложа этотъ коэффициентъ равенъ 0,95; для глубинъ большихъ значеніе ϕ ближе къ меньшему предѣлу; наконецъ, вообще ϕ тѣмъ меньше, чѣмъ дно болѣе неправильно и чѣмъ потокъ уже:

Лучше пользоваться формулой и таблицами *Vazin'a*, дающими отношеніе $\frac{v_m}{v_0}$ для $\frac{RI}{v^2_m} = 0,00015 - 0,003$ и для $R = 0,01 - 6,0$ метр.

Потомъ, по измѣреннымъ глубинамъ вертикалей и разстояніямъ между ними вычерчивается поперечный профиль потока въ мѣстѣ производящихся измѣреній. При правильномъ ложѣ вычисляютъ площадь Ω одного любого живого сѣченія (на измѣряемомъ участкѣ), соответствующаго имѣвшемуся въ моментъ наблюденій горизонту воды, не измѣнявшемуся за время наблюденій или приведенному ¹⁾. При неправильномъ ложѣ берутъ за площадь Ω среднее изъ нѣсколькихъ профилей, взятыхъ на разсматриваемомъ участкѣ; при этомъ для пользованія формулой *Vazin'a* надо имѣть для каждаго профиля соответственные R_1, R_2, R_3, \dots и для R формулы принять $R = \frac{\sum R}{n}$. Послѣ этого расходъ Q опредѣлится простымъ перемноженіемъ ²⁾ Ω на V_m .

Во второмъ случаѣ, т. е. при опредѣленіи поверхностной скорости $v'_0, v''_0, v'''_0, \dots$ во многихъ точкахъ по ширинѣ, переходятъ къ среднимъ скоростямъ $V_{m,h}$ соответственныхъ вертикалей. *Ritter*, какъ и многіе другіе гидротехники, на основаніи многочисленныхъ наблюденій помощью вертушекъ *Baumgarten'a* и *Harlacher'a* въ профиляхъ большого сѣченія, очень разнообразныхъ формы, глубины и скоростей, нашель, что средняя скорость вертикали $V_{m,h}$ равна 0,85 скорости $v_{0|h}$, измѣренной у поверхности на той же вертикали; при этомъ отступленія не превосходили 0,05. Обыкновенно и принимаютъ $V_{m,h} = 0,85 \cdot v_{0|h}$. Зная среднія скорости вертикалей, легко найти полный расходъ способомъ, указаннымъ далѣе въ этой же главѣ. Принимая $V_{m,h} = 0,9 \cdot v_{0|h}$, получимъ

высшій предѣлъ расхода, который будетъ отличаться отъ расхода, получаемаго при точномъ измѣреніи, не болѣе, чѣмъ на 10%.

В. Полученіе средней скорости всей вертикали однимъ измѣреніемъ инструмента.

§ 3. Гидрометрическій шестъ, трубка *Frank'a* и интеграторъ *Har-* Вторая груп-
па прибо-
ровъ.
lacher'a даютъ непосредственно среднюю скорость $V_{m,h}$ струй цѣлой избранной вертикали. Способъ получения этой скорости двумя первыми инструментами былъ выше описанъ; здѣсь же необходимо остановиться на такъ наз. механической интеграціи, т. е. на опредѣленіи средней скорости струй цѣлой вертикали способомъ интеграціоннымъ, или *Treviriana* (по имени изобрѣтателя—*Trevirianus'a*).

§ 4. Способъ опредѣленія средней скорости всей вертикали помощью вертушки [29, 68—69; 35, 153—157; 39; 50; 67, 54; 72; 137] заключается въ слѣдующемъ: по возможности равномерно съ небольшою скоростью (не болѣе 0,05 саж./сек.) вертушка погружается отъ поверхности до дна или поднимается въ обратномъ направленіи. При этомъ вертикальномъ движеніи крылья на всякой глубинѣ вращаются съ соответственной скоростью. Замѣчаютъ время T сек., потраченное на опусканіе прибора до дна и полное число оборотовъ N вертушки за это время (это послѣднее помощью электрической передачи). Скорость, соответствующая числу оборотовъ за одну секунду, т. е. $\frac{N}{T}$, принимается за среднюю скорость всѣхъ струй вертикали до нижайшаго возможнаго положенія вертушки.

Для бѣльшей ясности представимъ себѣ распредѣленіе скорости по вертикали какъ изображено на фиг. 15, Табл. XXV. Раздѣливъ вертикаль AB на m равныхъ частей, можно безъ большой погрѣшности принять, что площадь $ABia$ равна суммѣ площадей прямоугольниковъ 1, 2, . . . $(m-1)$, m , и скорость распредѣлена уступами. По равномерности вертикальнаго движенія вертушка находилась въ каждомъ дѣленіи 1, 2, . . . m по $\frac{T}{m} = t$ секундъ и при этомъ сдѣлала въ каждомъ дѣленіи $N_1, N_2, N_3, \dots, N_m$ оборотовъ. Тогда для вертушки соответствующія скорости въ разныхъ дѣленіяхъ будутъ:

$$\begin{aligned} v_1 &= \alpha + \beta \cdot \frac{N_1}{t} \\ v_2 &= \alpha + \beta \cdot \frac{N_2}{t} \\ v_3 &= \alpha + \beta \cdot \frac{N_3}{t} \\ &\dots\dots\dots \\ v_m &= \alpha + \beta \cdot \frac{N_m}{t} \end{aligned}$$

Суммируя объ части всѣхъ полученныхъ равенствъ, имѣемъ:

$$\sum_{i=1}^{i=m} v_i = m\alpha + \frac{\beta}{t} \cdot \sum_{i=1}^{i=m} N_i = m\alpha + \frac{\beta}{t} \cdot N, \dots \dots \dots (2)$$

Средняя же скорость вертикали до нижайшаго возможнаго положенія вертушки будетъ:

$$V'_{mh} = \frac{\sum V_i}{m} = \alpha + \frac{\beta \cdot N}{t \cdot m} = \alpha + \beta \cdot \frac{N}{T} = \alpha + \beta \cdot n \dots \dots \dots (3)$$

Для всей же вертикали до дна дѣйствительная средняя скорость = $V_{mh} = \zeta \cdot V'_{mh}$, гдѣ ζ — эмпирическій поправочный, подлежащій опредѣленію, коэффициентъ зависимости отъ разстоянія оси вертушки до дна.

Изъ 200 выполненныхъ наблюденій проф. *Harlacher* [39, 59] составилъ нижеслѣдующую таблицу коэффициента ζ для глубинъ отъ 0,50 м. до 8,00 метр. и для разстояній оси крыльевъ отъ нижняго края башмака $c = 0,15$ и 0,20 метр.

Глубина метр.	Значенія ζ для $c =$		Глубина метр.	Значеніе ζ для $c =$	
	0,20 м.	0,15 м.		0,20 м.	0,15 м.
0,50	0,861	0,892	2,60	0,971	0,978
0,60	0,878	0,903	2,80	0,973	0,980
0,70	0,891	0,913	3,00	0,973	0,982
0,80	0,904	0,925	3,30	0,978	0,984
0,90	0,914	0,933	4,00	0,981	0,986
1,00	0,922	0,940	4,30	0,983	0,987
1,20	0,933	0,950	5,00	0,984	0,988
1,40	0,945	0,957	5,30	0,985	0,989
1,60	0,953	0,963	6,00	0,986	0,990
1,80	0,958	0,968	6,30	0,987	0,990
2,00	0,963	0,971	7,00	0,988	0,991
2,20	0,967	0,974	7,30	0,988	0,991
2,40	0,969	0,976	8,00	0,989	0,992

Здѣсь выведена зависимость ζ только отъ c , что, какъ увидимъ ниже, нельзя считать вполнѣ правильнымъ. *Harlacher* [39, 56—59] для интеграціи пользовался сначала барабаномъ съ часовымъ механизмомъ при равномерномъ движеніи съ желаемой скоростью отъ поверхности до дна; вполслѣдствіи онъ употреблялъ упрощенный барабанъ съ зубчатой передачей и рукояткой, допускающій интегрированіе въ обоихъ направленіяхъ.

Этот способ простъ, быстро даетъ искомый результатъ, уменьшая стоимость работы и отчасти избавляя отъ дѣйствія измѣчивости погоды, но даетъ обыкновенно большія величины средних скоростей, чѣмъ остальные, что объясняется слѣдующимъ обстоятельствомъ. Вертушка не доходитъ до дна на нѣкоторую величину c — разстояніе оси крыльевъ отъ нижняго края башмака. Приборъ въ каждой точкѣ вертикали остается слишкомъ короткое время, такъ что результатъ измѣренія зависитъ отъ имѣющейся въ данный моментъ въ этихъ точкахъ скорости; кромѣ того при переходѣ вертушки чрезъ струи воды съ разными скоростями переменна скорости оборотовъ не наступаетъ немедленно; затѣмъ, характеристичное ур-іе движенія вертушки не представляется прямой линіей, почему нераціонально вычислять среднюю величину скоростей, неправильно измѣняющихся вдоль вертикали.

С. Нахожденіе средней скорости всей вертикали по скоростямъ, измѣреннымъ инструментами въ нѣсколькихъ точкахъ этой вертикали.

§ 5. Въ общемъ случаѣ для опредѣленія средней скорости цѣлой вертикали поступаютъ такъ. Непосредственно приборомъ получаемыя и соответственнымъ коэффициентомъ исправленныя скорости струй различныхъ точекъ наносятся въ любомъ масштабѣ графически для каждой вертикали (фиг. 7—11, Табл. XXV); причемъ глубина t всей вертикали образуетъ ось ординатъ, а горизонтъ воды—ось абсциссъ. Измѣренныя глубины наносятся, какъ ординаты, а скорости, соответствующія этимъ глубинамъ, въ болѣе крупномъ масштабѣ, какъ абсциссы. Полученныя точки соединяются плавной кривой, въ нѣкоторыхъ довольно рѣдкихъ случаяхъ подходящей къ параболѣ, обыкновенно же эта фигура очень неправильна и представляетъ ломаную линію. При этомъ для полученія точекъ кривой для скоростей у поверхности и у дна продолжаютъ кривыя пропорціонально.

Скорости измѣренны въ большомъ числѣ точекъ. Третья группа приборовъ.

Эти кривыя измѣненія скорости по вертикали показываютъ, что: 1) наибольшія скорости вертикали обыкновенно находятся въ зависимости отъ глубины вертикали и направленія случайнаго сильнаго вѣтра, на нѣкоторой незначительной глубинѣ t' подъ поверхностью воды (рѣдко глубже 1 метра при значительныхъ глубинахъ); 2) наименьшія скорости лежатъ у дна.

Вычерченныя кривыя даютъ возможность опредѣлить среднюю скорость V_{mh} каждой вертикали; для этого нужно, напр. въ профилѣ фиг. 10, вычислить по формулѣ Симпсона, если кривая можетъ быть выражена ур-іемъ вида $y=f(x)$, или взять сумму площадей многоугольниковъ, на которые фигура можетъ быть разбита, или наконецъ опредѣлить помощью полярнаго планиметра *Amsler*'а заштрихованную на фигурѣ площадь

и раздѣлить величину ея на глубину этой вертикали, какъ бы превративъ такимъ образомъ неправильную фигуру въ прямоугольникъ высоту t и шириною V_{mh} . Величину заштрихованной площади лучше опредѣлять двумя способами для провѣрки и сравненія; получаемые этими способами результаты должны отличаться другъ отъ друга лишь незначительно. Такимъ образомъ дѣлается геометрически интегрированіе:

$V_{mh} \cdot h = \int_0^h v_{z|h} dz$, гдѣ $v_{z|h}$ скорость частицы на глубинѣ z подъ свободной поверхностью на данной вертикали; V_{mh} средняя скорость вертикали, полная глубина которой равна h .

Если бы въ данномъ случаѣ для распредѣленія скоростей примѣнима была формула *Bazin'a* или *Boussinesq'a*, т. е. $v_{z|h}$ было бы связано съ z уравненіемъ параболы, то интегралъ $\int_0^h v_{z|h} dz$ могъ бы быть вычисленъ безъ посредства всякаго инструмента ³⁾. Это возможно при измѣреніяхъ на искусственныхъ каналахъ, тогда какъ для рѣкъ эти формулы, за рѣдкими исключеніями, оказываются не вполне точными; почему въ этомъ послѣднемъ случаѣ обыкновенно вычисляютъ площадь кривой скоростей вертикали, полученныхъ опытомъ въ данномъ потокѣ.

Скорости измѣрены въ трехъ точкахъ вертикали.

§ 6. Для бѣльшей простоты и быстроты измѣреній наблюдаютъ скорости только въ трехъ точкахъ вертикали: у поверхности, по срединѣ глубины и у дна; затѣмъ изъ всѣхъ трехъ величинъ берутъ среднее ариѳметическое, которое и принимаютъ за среднюю скорость струй всей вертикали. Точность, получаемая при семъ, какъ показалъ еще *Prud'homme* [12, 151], вполне достаточна для обыкновенныхъ случаевъ практики.

Видъ формулы для величины средней скорости вертикали, выраженной по тремъ и двумъ скоростямъ, измѣреннмъ на той же вертикали.

§ 7. При равномерномъ движеніи воды и правильномъ руслѣ кривая распредѣленія скоростей по вертикали теоретически, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ и практически, есть парабола, т. е. скорости измѣняются съ измѣненіемъ глубинъ такъ, какъ измѣняются ординаты параболы, считая ось абсциссъ горизонтальной.

Принимая эту кривую за параболу и пользуясь уравненіями гидравлики для равномернаго движенія воды въ рѣкахъ, а также уравненіями параболы и площади ея [12, 152—153; 13, 177, 211—216], можно получить для величины средней скорости вертикали выраженіе, зависящее только отъ 3-хъ и даже 2-хъ скоростей, измѣреннхъ на той же вертикали. Вотъ нѣкоторыя изъ значеній:

$$V_{mh} = \frac{1}{6} [v_0 + 4v_{h/2} + v_h] \dots\dots\dots (4)$$

$$V_{mh} = \frac{1}{3} [2v_{h/2} - v_{h/4} + 2v_{3/4}] \dots\dots\dots (5)$$

$$V_{mh} = \frac{1}{4} [v_0 + 3v_{\frac{1}{2}h}] \dots \dots \dots (6)$$

$$V_{mh} = \frac{1}{7} [3v_{\frac{1}{6}h} + 4v_{\frac{1}{2}h}] \dots \dots \dots (7)$$

$$V_{mh} = \frac{1}{4} [3v_{\frac{1}{2}h} + v_h] \dots \dots \dots (8)$$

Формула (6) дает лучшие результаты.

Подтверждение такого распределения и зависимости можно найти въ опытахъ и подсчетахъ *Cunningham*'а на каналахъ Индіи [13].

§ 8. Разсматривая и разбирая вышеуказанныя уравненія въ различныхъ случаяхъ, *Cunningham* [13, 215] нашелъ, что средняя скорость вертикали равняется скорости струи въ точкѣ той же вертикали, лежащей на глубинѣ $= 0,577h$ до $0,667h$, т. е. въ среднемъ $= \frac{5}{8}h = 0,625h$ всей глубины вертикали отъ поверхности ⁴⁾. Между тѣмъ близъ береговъ каналовъ прямоугольнаго сѣченія скорость, равная по величинѣ средней скорости вертикали, находится ⁵⁾ въ среднемъ на $0,728h$; но при этомъ такая же скорость здѣсь наблюдается и на глубинѣ $0,105h$ подъ поверхностью.

Мѣсто нахождения средней скорости цѣлой вертикали по глубинѣ последней.

Такимъ образомъ, измѣривъ скорость только въ одной точкѣ, т. е. въ общемъ на $\frac{5}{8}$ (или около береговъ $\frac{1}{10}$) глубины, получаютъ приблизительно значеніе средней скорости вертикали.

Desfontaines [31, т. III, 41—42] изъ своихъ измѣреній нашелъ, что средняя скорость вертикали находится на $\frac{3}{5}$ глубины; *Humphreys* и *Abbot* нашли ее на 0,6 глубины; тоже самое получается и изъ формулы *Vazin*'а [31, т. II, § 191].

Проф. *Бонуславскій* [83], пользуясь также уравненіями гидравлики для равномернаго движенія воды въ рѣкахъ, нашелъ три выраженія ⁶⁾ средней скорости по тремъ скоростямъ той же вертикали, а кромѣ того меньшій (изъ вышеуказанныхъ) предѣлъ мѣста нахождения скорости, эквивалентной средней скорости вертикали, а именно $0,577h$, принявъ его за $0,6h$ для всѣхъ (по ширинѣ потока) вертикалей ⁷⁾. Произведя затѣмъ на р. Днѣпрѣ измѣренія помощью вертушки *Baumgarten*'а, онъ сдѣлалъ подсчетъ средней скорости вертикали по вычисленнымъ имъ 3-мъ формуламъ и сравнилъ результаты со скоростью, измѣренной на 0,6 глубины [83]. Выведенныя нами далѣе среднія величины взяты для 34 полныхъ подсчетовъ изъ 43, приведенныхъ въ таблицѣ профессора *Бонуславскаго*.

Число измѣреній и подсчетовъ.	Среднія скорости, вычисленныя по формуламъ.			Среднее арифметич. извѣстн. изъ нихъ.	Скорость на глубинѣ 0,6 <i>h</i> .	Разность между вычисленной средн. арифм. и $v_{0,6 h}$.	
	Форм. I.	Форм. II.	Форм. III.			отъ — до	0/0.
	саж./сек.	саж./сек.	саж./сек.	саж./сек.	саж./сек.		
34	0,231	0,233	0,229	0,231	0,233	—0,011 до +0,013	средн. 0,87
1	0,359	0,378	0,370	0,369	0,397	<i>maximum</i> —0,028	<i>maximum</i> —7,56

Надо считать, что эти вертикали лежатъ не близь береговъ и что въ среднемъ его измѣренія и подсчеты, безъ большой погрѣшности, подтверждаютъ точные теоретическіе выводы и наблюденія инж. *Sinningham*'а на каналахъ Индіи относительно положенія среднихъ скоростей вертикалей близь середины потока.

При измѣреніяхъ проф. *Богуславскаго* на рр. Волгѣ и Окѣ также на 0,6 глубины и повидимому для любой вертикали получалась скорость очень близкая къ средней скорости всей вертикали [84, 182].

D. Нахождение средней скорости для всего профиля потока по найденнымъ среднимъ скоростямъ вертикалей.

Опредѣленіе V_m по извѣстнымъ $V_{m,h}$.

§ 9. Для опредѣленія средней скорости V_m для всего сѣченія по извѣстнымъ среднимъ скоростямъ $V_{m,h}$ для всѣхъ вертикалей поступаютъ такъ.

Въ произвольномъ масштабѣ, наносятъ найденныя среднія скорости $V_{m,h}$ вертикалей на линію горизонта воды *ae* (фиг. 7, табл. XXV) въ соответственныхъ точкахъ *b, c, d*. При этомъ для удобства вычерчиванія и наглядности для выясненія распредѣленія скоростей по горизонтальному направленію и въ зависимости отъ глубины, откладыванія величинъ $V_{m,h}$ производятъ не по горизонтальному направленію, перпендикулярному къ поперечному профилю, а по вертикалямъ вверхъ отъ горизонта воды. Полученныя точки *a, k, l, m, e* соединяютъ плавною кривою (кривая среднихъ скоростей вертикалей); вычисляютъ полученную площадь *aesga* и дѣлятъ ея величину на ширину горизонта воды по урѣзу $ae = B$, какъ бы превращая опять эту фигуру въ прямоугольникъ шириною *B* и высотой V_m —эта послѣдняя и представляетъ собою величину средней скорости всего профиля.

Иногда поступаютъ и нѣсколько иначе [31, т. II, 277—278], что можетъ послужить для повѣрки. Возьмемъ на линіи воды *Ox* выбраннаго поперечнаго профиля (фиг. 11, табл. XXV), совпадающаго съ осью *x*, двѣ вертикали M_1N_1 и M_2N_2 . По скоростямъ, наблюденнымъ на различныхъ глубинахъ этихъ двухъ вертикалей, построены кривыя скоро-

стей—вертикалей: $a_1 b_1 c_1 d_1$ и $a_2 b_2 c_2 d_2$. Пусть площади этих кривых будут:

$$1) M_1 a_1 b_1 c_1 d_1 N_1 = A_1 = \int_0^{h_1} v_{z|h} dz$$

$$2) M_2 a_2 b_2 c_2 d_2 N_2 = A_2 = \int_0^{h_2} v_{z|h} dz.$$

Нанесем на продолжении взятых вертикалей длины $M_1 P_1$ и $M_2 P_2$, пропорциональные A_1 и A_2 . Тогда площадь $M_1 P_1 P_2 M_2$ будет представлять интегралъ:

$$\int A \cdot dx = \int v_{z|h} dz,$$

взятый въ предѣлахъ для $x=OM_1$ и $x=OM_2$. Такимъ образомъ средняя скорость для части $M_1 N_1 N_2 M_2$ сѣченія поперечнаго профиля равняется частному отъ дѣленія только что приведеннаго интеграла на площадь ω части поперечнаго сѣченія, соответствующей этимъ самымъ предѣламъ, т. е.

$$v_m = \frac{\int A \cdot dx}{\int d\omega} = \frac{\int v_{z|h} dx \cdot dz}{\int d\omega} = \frac{\int_{\omega} v_{z|h} d\omega}{\int_{\omega} d\omega} \dots \dots \dots (9).$$

Построивъ всю кривую $VP_1 P_2 RT$ площадью $A = \int v_{z|h} dz$ и раздѣливъ площадь этой кривой $OV P_1 P_2 RTS$ на площадь всего живого сѣченія $ON_1 N_2 S$, найдемъ среднюю скорость въ этомъ сѣченіи:

$$A = \int_0^h v_{z|h} dz.$$

$$\int_0^B A \cdot dx = \int_0^B dx \cdot \int_0^h v_{z|h} dz = \int_{\Omega} v_{z|h} d\omega.$$

Отсюда:

$$V_m = \frac{\int_{\Omega} v_{z|h} d\omega}{\int_{\Omega} d\omega} = \frac{\int_{\Omega} v_{z|h} d\omega}{\Omega} \dots \dots \dots (10).$$

Какъ видно, этотъ способъ простъ, но требуетъ большого числа наблюдений скорости.

Е. Опредѣленіе расходовъ при измѣреніи скоростей на всю глубину.

Аналитическій способъ опредѣленія расхода воды въ данномъ поперечномъ сѣченіи.

§ 10. а) Если (фиг. 19, табл. XXV) въ какой либо точкѣ (x, y) площади живого сѣченія существуетъ скорость v , то чрезъ безконечно малую площадку вокругъ этой точки: $d\Omega = dx \cdot dy$, протекаетъ въ единицу времени расходъ

$$dQ = v \cdot d\Omega = v \cdot dx \cdot dy, \dots \dots \dots (11)$$

равный объему приз.м сѣченіемъ $d\Omega$ и высотой v . Расходъ воды для всего сѣченія:

$$Q = \int \int v \cdot dx \cdot dy = \int \int f(x, y) dx \cdot dy, \dots \dots \dots (12)$$

такъ какъ $v = f(x, y)$.

Такое же опредѣленіе справедливо и въ томъ случаѣ (фиг. 14, табл. XXV), когда направленіе движенія всѣхъ струй не перпендикулярно къ плоскости профиля AB , а составляетъ съ нормалью къ ней нѣкоторый $\angle \alpha$, т. е. когда профиль выбранъ неправильно. Объемъ будетъ тотъ же:

$$dQ = v \cdot dx \cdot dy = v_1 \cdot \text{Cosa} \cdot dx \cdot dy \dots \dots \dots (13)$$

Ставя ось вертушки нормально къ поперечному профилю, непосредственно получаемъ $v = v_1 \text{Cosa}$.

б) Отъ скоростей въ отдѣльныхъ точкахъ переходятъ, какъ описано выше, къ среднимъ скоростямъ вертикалей; зная или измѣривъ инструментомъ эти послѣднія, переходятъ къ средней скорости всего сѣченія. Далѣе уже простымъ умноженіемъ Ω на V_m получаютъ полный расходъ Q .

в) Нѣсколько точкѣ поступаютъ такъ: дѣлятъ (фиг. 13, табл. XXV) подводную часть поперечнаго профиля на n частей шириною каждая около 5 метр.; площадь $\omega_1 \omega_2 \dots \omega_n$ каждой части умножается на соответствующую ординату кривой среднихъ скоростей, проходящей черезъ средину площади, т. е. на среднюю скорость $v_1, v_2 \dots v_n$, соответствующую части сѣченія, и получается расходъ воды черезъ разсматриваемую площадку. Суммируя найденныя такимъ путемъ величины, получимъ расходъ для всего сѣченія:

$$Q = \Omega \cdot V_m = \omega_1 v_1 + \omega_2 v_2 + \omega_3 v_3 + \dots + \omega_n v_n = \sum_{i=1}^{i=n} \omega_i v_i \dots \dots \dots (14)$$

$$\text{Откуда: } V_m = \frac{Q}{\Omega} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \omega_i v_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \omega_i} \dots \dots \dots (15)$$

§ 11. Способъ *Culmann*'а вычисления расхода Q очень точенъ и состоитъ въ томъ, что для всего поперечнаго профиля вычерчиваются кривыя одинаковыхъ скоростей (изотахъ) — (фиг. 8) 10, табл. XX) по мощью кривыхъ „скоростей вертикали“ и кривой „поверхностной скорости“, а затѣмъ по нимъ уже вычисляется и расходъ [39, 26—28; 36, 21—22; 29, 94—96; 35, 174—175; 91].

Построеніе изотахъ дѣлается слѣдующимъ образомъ (фиг. 1 и 2, табл. XXI). Пусть $ACDB$ (фиг. 1а)—поперечный профиль, вычерченный по исполненнымъ промѣрамъ; кривая AbB —(фиг. 1б) представляетъ измѣненіе поверхностной скорости; кривая $bedi$ (фиг. 1с.) представляетъ измѣненіе скорости въ вертикали III III'. Положимъ, что двѣ ближайшія изотахи должны отличаться другъ отъ друга на $S=0,25$ м./сек.; тогда во всѣхъ продольныхъ профиляхъ, образуемыхъ кривою измѣненія скоростей въ вертикаляхъ I I', II II', III III' и т. д., проволать вертикальныя прямыя въ разстояніяхъ $S, 2S, 3S, \dots$ отъ ak (какъ напр. это сдѣлано для вертикали III на фиг. 1с); точки пересѣченія этихъ прямыхъ съ кривою $bedi$ переносятъ на соотвѣтственную вертикаль поперечнаго профиля. Такъ, въ случаѣ, показанномъ на фиг. 1с для $v=1,5$ м., имѣемъ двѣ точки e и d пересѣченія кривой, которыя, будучи перенесены на вертикаль живого сѣченія (фиг. 1а), даютъ двѣ точки e и d изотахи $v=1,5$ м.; для $v=1,25$ м. получается одна точка— e ; для $v=1,0$ м.—одна точка f и т. д. Сдѣлавъ это для всѣхъ вертикалей, соединяютъ точки пересѣченія кривыми—изотахами. Подобнымъ же образомъ совершается нахожденіе на линіи горизонта воды живого сѣченія проекцій точекъ кривой „скоростей на поверхности“, соотвѣствующихъ тѣмъ же значеніямъ $v=1,5; 1,25; 1,0$ и т. д. (фиг. 1б). Мѣста расположенія точекъ изотахъ, находящихся между избранными вертикалями и точками поверхностной скорости, опредѣляются приблизительно интерполированіемъ. На фиг. 12 и 13, табл. XX представленъ профиль р. Эльбы у Herrnskretschен'а съ нанесенными на немъ изотахами [36, т. III]. На фиг. 2, табл. XXI изображено полное построеніе изотахъ для перспективно представленнаго секунднаго объема воды (расхода).

Этотъ объемъ и надо вычислить. Онъ ограниченъ (фиг. 2): 1) вертикальной плоской поверхностью $AaBkA$ (поперечный профиль живого сѣченія), затѣмъ 2) горизонтальной плоской поверхностью горизонта воды $AaBbA$ (профиль „скоростей на поверхности“), 3) цилиндрической поверхностью дна и стѣнокъ (если скорость на днѣ и у стѣнокъ не равна нулю, какъ это принято на фиг. 1 и 2 для большей ясности) и наконецъ 4) сфероидальной поверхностью, проходящей чрезъ кривыя „скоростей вертикалей“. Для опредѣленія этого объема поступаютъ такъ же, какъ и при вычисленіи объемовъ земли: раздѣляютъ его на части вертикальными плоскостями, параллельными площади живого

Графическій способъ *Culmann*'а опредѣленія расхода воды.

Построеніе изотахъ.

Опредѣленіе расхода воды.

сѣченія и отстоящими на $S=0,25$ м. другъ отъ друга (какъ это было взято для нахождения изотакъ); затѣмъ, вычисливъ объемъ каждой части, все объемы суммируютъ и прибавляютъ еще объемъ отсѣченной части $cc'd$ (фиг. 1c). Каждый объемъ, ограниченный двумя параллельными вертикальными плоскостями:

$$\Delta Q = \frac{1}{2}(F_1 + F_2) \cdot S, \dots \dots \dots (16)$$

гдѣ F_1 и F_2 —площади, образуемая двумя послѣдовательными изотакми и горизонтомъ воды, найденныя планиметромъ; болѣе же точно:

$$\Delta Q = \frac{1}{3} \cdot S [F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 F_2}] \dots \dots \dots (17)$$

Первое (16), какъ по большей простотѣ, такъ и вслѣдствіе небольшого уклоненія отъ второго, употребляется чаще. Слѣдовательно общій объемъ (полный расходъ) для данного профиля составитъ такъ:

$$Q_1 = S \cdot \frac{F_1 + F_2}{2}, \quad Q_2 = S \cdot \frac{F_2 + F_3}{2} \dots \dots Q_{n-1} = S \cdot \frac{F_{n-1} + F_n}{2}$$

$$Q = S \left[F_1 + F_1 + \dots + F_n - \frac{F_1 + F_n}{2} \right] = S \left[\sum_{i=1}^{i=n} (F) - \frac{F_1 + F_n}{2} \right]. \quad (18)$$

Къ этому надо еще прибавить объемъ передней сферической части параболоида.

Этотъ способъ впервые примѣненъ *Baumgarten*'омъ (1847 г.) и позднѣе усовершенствованъ *Harlacher*'омъ; онъ удобно примѣняется для большихъ и неправильныхъ поперечныхъ профилей русла.

§ 12. Опредѣливъ тѣмъ или другимъ способомъ среднюю скорость V_{mh} въ отдѣльныхъ вертикаляхъ поперечнаго профиля рѣки, можно построить кривую этихъ скоростей $A_1 DB_1$ (фиг. 3, табл. XXVI) и графическимъ способомъ *Harlacher*'а [39, 27—28; 67, 48; 64, 20—22; 72; 35, 175—176] вычислить расходъ воды въ данномъ поперечномъ сѣченіи ACB слѣдующимъ образомъ. Для вертикальной полосы глубиною t ($=aC$) и шириною dx расходъ воды будетъ:

$$dQ = V_{mh} t \cdot dx = \frac{k \cdot V_{mh} t \cdot dx}{k}, \dots \dots \dots (19)$$

гдѣ k —произвольная постоянная величина (длина, основаніе), избираемая равной единицѣ или цѣлому числу единицъ. Если обозначить

$$\frac{V_{mh} \cdot t}{k} = f, \text{ то}$$

$$dQ = k \cdot f \cdot dx \dots \dots \dots (20)$$

Графическій способъ *Harlacher*'а опредѣленія расхода воды.

При этом f опредѣляется изъ отношенія: $\frac{k}{t} = \frac{V_{mh}}{t}$ сторонъ двухъ подобныхъ Δ —въ abC и abC_1 , построенныхъ способомъ, указаннымъ на фигурѣ для одной вертикали. Найдя такія f для всѣхъ избранныхъ вертикалей и соединивъ ихъ концы кривой AC_1B получаютъ затрихованную площадь $AC_1BA = F$, которая можетъ быть опредѣлена планиметромъ и тогда:

$$Q = k \cdot \int f \cdot dx = k \cdot F \dots \dots \dots (21)$$

и для $k=1$, $Q = F \dots \dots \dots (22)$

Этотъ способъ проще, быстрее ведетъ къ цѣли и точнѣе, чѣмъ ранѣе описанный, при которомъ планиметромъ приходится проходить большее количество кривыхъ.

§ 13. Графическій способъ опредѣленія расхода воды, примѣнявшійся въ послѣднее время въ Венгріи инженеромъ *Hajós*'омъ (34; 50; 116), пользуется всѣми преимуществами интеграціоннаго способа относительно простоты и быстроты производства измѣреній, отличаясь отъ него только тѣмъ, что число оборотовъ вертушки не суммируется, а расходы, измѣренные во всѣхъ по возможности точкахъ вертикали рассматриваются отдѣльно; онъ значительно точнѣе обыкновенно употребляемаго способа измѣренія по опредѣленнымъ точкамъ и заключается въ слѣдующемъ.

Графическій способъ опредѣленія расхода воды, примѣнявшійся *Hajós*'омъ.

Вертушку погружаютъ до дна русла, какъ и при вышеописанномъ интеграціонномъ способѣ, медленнымъ и равномернымъ движеніемъ со скоростью 1—2 дециметра въ секунду. Во время опусканія хронографъ выдвигаетъ бумажную ленту, длина которой пропорціональна (1:10) глубинѣ погруженія прибора, т. е. механически опредѣляетъ (записываетъ) глубину каждой проходимой приборомъ точки; затѣмъ, на этой лентѣ механически записываетъ въ одной строкѣ продолжительность опусканія (слѣды каждой полусекунды), а въ другой строкѣ знаки, представляющіе числа оборотовъ крыльцевъ въ каждомъ ея положеніи. Такимъ образомъ вписываются всѣ данныя, нужныя для детальнаго графическаго построенія скоростей въ каждой вертикали, и каждый спускъ вертушки даетъ два измѣренія для одной и той же вертикали.

Этотъ способъ примѣнялся уже давно проф. *Harlacher*'омъ при его точныхъ работахъ помощью своей вертушки—интегратора; названіе за этимъ способомъ онъ оставилъ то же, т. е. „интеграціонный“; хронографъ, примѣнявшійся *Harlacher*'омъ, по своему устройству нѣсколько отличается отъ хронографа *Hajós*'а.

При измѣреніяхъ въ Венгріи для возможно точнаго опредѣленія характеристичнаго вида кривой „скоростей вертикали“, въ предѣлахъ

возможнаго на практикѣ достиженія, нашли вполне достаточнымъ опредѣлять скорости для точекъ, отстоящихъ на 20 с/м. по вертикали, для чего лента была раздѣлена на полоски въ 2 с/м. каждая. Оказывается, что, по мѣрѣ уменьшенія высоты слоевъ, скорость которыхъ опредѣляется, кривая „скоростей вертикали“, все болѣе приближается къ параболѣ.

Сравненіе
способовъ из-
мѣреній и
опредѣленій
расходовъ
воды.

§ 14. Измѣреніе въ опредѣленныхъ точкахъ — способъ наиболее точный, дающій возможность устранить неправильности отъ водоворотовъ и пульсацій воды при соответственномъ выборѣ инструмента. Неудобство его—продолжительность работъ, благодаря чему могутъ произойти за время наблюденій значительныя измѣненія горизонта, уклона, расхода и, въ рѣкахъ съ подвижнымъ дномъ, даже русла. При работахъ, продолжающихся нѣсколько дней, перемены могутъ быть настолько велики, что ими нельзя будетъ пренебречь, а также и нельзя опредѣлить ихъ вліяніе помощью какихъ-либо формулъ.

Точныя работы проф. *Harlacher*'а [39, 56—59] на р. Дунай и Дунайскомъ каналѣ двумя ниже указываемыми способами дали слѣдующіе результаты:

Мѣсто наблю- деній.	Число вертика- лей.	Средняя скорость вертикали.		Разность.		Разность въ ‰.		
		<i>J_a</i> метр.	<i>P</i> метр.	отъ метр.	до метр.	отъ	до	средн.
Donaucanal	I—V	1,016—1,993	1,032—1,990	-0,036	+0,062	0,15	3,73	1,61
Donau	10	0,878—2,316	0,802—2,268	-0,043	+0,098	0,00	9,50	2,30

гдѣ: *J_a* — значенія, полученныя интеграціоннымъ способомъ помощью опусканія вертушки со скоростями, исправленными коэф-томъ ζ зависимости отъ разстоянія оси вертушки до дна (см. выше § 4 этой главы); *P* — значенія, полученныя при измѣреніяхъ въ опредѣленныхъ точкахъ. Найденныя разности показываютъ, что введеніе коэффиціента ζ (зависящаго только отъ *c*) не покроетъ неточностей, зависящихъ и отъ другихъ вышеперечисленныхъ (§ 4) причинъ.

Способъ интеграціонный, давая въ общемъ не очень большія разности сравнительно со способомъ измѣренія въ опредѣленныхъ точкахъ профили и кромѣ того въ виду вышеуказанныхъ достоинствъ, можетъ быть примѣняемъ въ соответственныхъ случаяхъ наравнѣ съ послѣднимъ, но при этомъ необходимо, чтобы на одной и той же вертикали было не менѣе 2-хъ наблюденій—одно опусканіемъ прибора, другое—поднятіемъ. Если результаты окажутся не одинаковыми и разность будетъ незначительна, то берутъ среднее; при большой расходимости на-

блюдения надо повторить. При многократных наблюдениях на р. Сухонь [137, 39—40] было замечено, что средние скорости, определенные способом интеграционным, отличались от средней скорости, выведенной из наблюдений в отдельных точках, не более как на 3%.

Сравнительные измерения скоростей и расходов тремя более точными способами (измерение в определенных точках, способ интеграционный и способ *Hajòs'a*) на р. Fizza в живом сечении у Pispoki дали следующие результаты [34; 50; 116], сведенные нами в таблицу. Обозначим для краткости результаты соответственно определенные способами:

- 1) *Hajòs'a*—при поднимании вертушки H_e ;
- 2) *Hajòs'a*—при опускании " " H_d ;
- 3) измерения в определенных точках P ;
- 4) интеграционным—при поднимании вертушки J_e ;
- 5) интеграционным—при опускании J_d ;

№ № сравнений.	Сравниваемые способы измерений.	Разность в %.		
		Средняя скорость вертикали.		Расход.
		от	до	
1	$H_e - H_d$	-1,1	+5,7	+1,4
2	$H_e - P$	-4,6	+7,6	+0,75
3	$H_e - J_e$	-7,7	+1,4	-2,3
4	$H_d - J_d$	-5,5	-0,1	-1,9
5	$J_e - J_d$	-4,0	+6,7	+1,8

Отсюда видно, что результаты, полученные способом *Hajòs'a*, от наблюдений по точкам отличаются незначительно и могут быть ближе к действительности; достигается значительная экономия во времени и издержках. Наблюдения по точкам для вертикали глубиной 12—14 метр. требуют $\frac{3}{4}$ —1 час.; способ же *Hajòs'a*—maximum 5 минут, т. е. в 9—12 раз быстрее; в половоде на р. Fizza первым способом для измерения расхода в живом сечении требовалось при усиленной работе не менее дня, вторым—2 часа.

Аналитический способ вычисления расхода имеет за собою преимущество скорости и простоты, но отличается тем недостатком, что приходится принимать разграничение участков от вертикали к вертикали прямыми линиями или плоскостями, что не соответствует действительности. При графическом же способе (как напр. *Culmann'a*, *Harlacher'a*) эта неправильность допущения отсутствует, и получается

ясная картина распределения скоростей по живому сечению; но этот способ требует больше времени. Так, при работах на р. Свв. Двинь [137, 41—42, 89—93] инженеру Юстусу на полное определение расхода с вычерчиванием всех графиков необходимо было около трех дней; площади определялись планиметром четырехкратным обводом периметра. Определенные для некоторых профилей р. Свв. Двинь расходы по двум способам дали следующие разности:

№ № профилей.	Расход по способу		Разность	
	Аналитическому кб./сж.	Графическому <i>Culmann'a</i> кб./сж.	от графического кб./сж.	%
VIII	180,720	182,208	-1,488	-0,82
XIII	107,900	106,237	+1,663	+1,53
XIV	103,183	101,927	+1,256	+1,18
XV	110,523	111,623	-0,898	-0,80

Хотя разность между результатами очень мала, тем не менее, по нашему мнению, преимущество в точности следует отдать способу графическому; всего лучше применять одновременно оба способа определения расхода, придавая аналитическому способу значение повѣрочнаго.

Графические способы *Harlacher'a* и *Culmann'a* отличаются друг от друга очень малым, а потому и результаты вычислений не должны много различаться друг от друга. При определении расхода р. Днѣпра у Киева [115, 114—115] по этим двум способам пределы неточности чертежа и механическаго определения помощью планиметра не превосходили $\frac{1}{2}$ %.

§ 15. Измѣренія на рѣкахъ Голландіи [132, 16—17] въ 1879—1881 гг.

дали возможность сдѣлать слѣдующія интересныя заключенія о разныхъ способахъ определения расхода:

Средняя ошибка¹³⁾ при определении расхода по скоростямъ въ разныхъ частяхъ вертикалей, наблюденныхъ помощью вертушки *Woltmann'a*, равна 1,2 %.

При вычислении расхода изъ скоростей на поверхности, определенныхъ помощью той же вертушки⁹⁾, средняя ошибка равна 1,3 %.

Такимъ образомъ, оба метода определения расхода при посредствѣ вертушки отличаются одинаковой степенью точности.

При вычислении расхода по скоростямъ на поверхности, определеннымъ помощью поплавковъ, средняя случайная ошибка получается равной 1,7 %.

Выводы от-
носительно
разныхъ спо-
собовъ опре-
деления рас-
хода воды на
рѣкахъ Гол-
ландіи.

Средняя разность между величинами расходов, определенных на основании показаний вертушки и на основании показаний поплавковой равна ¹⁰⁾ 4,8% и может быть доведена ¹¹⁾ до 2,8%.

При вычислении расхода по скоростям, определенным помощью гидрометрических шестов средняя случайная ошибка равна 2,8% т. е. этот способ оказался наименее точным из всех применявшихся ¹²⁾.

Средняя разность между расходами, определенными помощью вертушки и помощью шеста оказались равной 2,8%.

Расход, как было выше изложено, аналитически может быть определен так:

- а) каждый профиль разбивается на большое число малых площадок; каждая из этих последних умножается на соответственную среднюю скорость, взятую по чертежу; все полученные элементарные произведения суммируются, или
- б) разбивается профиль только на такое число частей, сколько есть вертикалей, на которых непосредственно измерялась скорость; в остальном поступают по предыдущему.

Средняя ошибка от употребления упрощенного способа (второго) оказалась равной 1,7%.

Зимний расход реки под льдом, по сравнению с расходом при том же горизонте в летнее время, составляет всего от 25 до 20%.

§ 16. [39, 29—30; 35, 176—205; 70, 70—74; 136, 284—292]. При измерениях почти всегда (особенно в половодье) необходимо принимать во внимание большие или меньшие колебания уровня воды. Для чего обыкновенно устанавливаются на обоих берегах 2 рейки, связанные отметкой с каким-либо постоянным репером, и по ним делаются точные наблюдения уровня воды во все время измерений в каждой вертикали.

Наблюдение горизонта воды за время наблюдений. Средний уровень.

Взяв среднее из наблюдений по обьему рейкам, получают положение горизонта воды (высота над морем или над нулем рейки) для каждой вертикали (фиг. 6, Табл. XXVI):

$$\begin{array}{cccccccc} I, & II, & III, & \dots & N. \\ H_1, & H_2, & H_3, & \dots & H_n \end{array}$$

Арифметическое среднее из всех этих H , т. е.

$$(H) = \frac{1}{n} [H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n] \dots \dots \dots (23)$$

принимается за горизонт, к которому должны быть отнесены произведенные измерения скоростей и расхода.

Дѣйствительный средний уровень воды.

Однако, какъ это видно изъ фиг. 3 и 4, Табл. XXVI, расходъ воды, соответствующій вертикалямъ близъ стрежня потока, значительно больше расходовъ для вертикалей, лежащихъ близъ береговъ; поэтому измѣненія уровня воды въ среднихъ вертикаляхъ имѣютъ больше значенія, чѣмъ въ вертикаляхъ береговыхъ, и, слѣдовательно, вышеуказанный способъ нахождения (H) не можетъ быть признанъ точнымъ. Проф. *Harlach* болѣе правильно опредѣляетъ этотъ дѣйствительный средний уровень (H) слѣдующимъ образомъ. Пусть среднія скорости въ вертикаляхъ будутъ V'_{mh} , V''_{mh} , V'''_{mh} ... и приходящіяся на эти вертикали части площади поперечнаго профиля— ω_1 , ω_2 , ω_3 ,...; тогда частичные расходы будутъ:

$$Q_1 = \omega_1 V'_{mh}; \quad Q_2 = \omega_2 V''_{mh}; \quad Q_3 = \omega_3 V'''_{mh}; \quad \dots$$

а полный расходъ: $Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots$

и для (H) беретъ слѣдующее значеніе:

$$(H) = \frac{H_1 Q_1 + H_2 Q_2 + H_3 Q_3 + \dots + H_n Q_n}{Q} \quad (24)$$

Идеальная средняя скорость въ вертикали.

Соответственно этому уровню нужно затѣмъ опредѣлить и такъ наз. идеальныя скорости (V_{mh}) для каждой вертикали.

Если не имѣть въ виду рѣзкихъ измѣненій горизонта воды, то среднія скорости одной и той же вертикали при различныхъ глубинахъ (h) и h будутъ относиться, какъ къ некоторой степени α глубинъ т. е.

$$(V_{mh}) = V_{mh} \cdot \left[\frac{(h)}{h} \right]^\alpha \quad (25)$$

гдѣ V_{mh} —непосредственно измѣренная (интеграціей или какъ средняя ордината параболы) средняя скорость въ вертикали;

(h)—идеальная глубина вертикали при уровнѣ (H), вычисляемая по глубинѣ h , измѣренной при уровнѣ H , по формулѣ:

$$(h) = h + [(H) - H] \dots \dots \dots (26)$$

α —приблизительно можно положить равнымъ $\frac{1}{2}$, или же для болѣе точнаго вычисленія надо опредѣлить его измѣняемость съ глубиной.

Идеальный расходъ воды.

Дальнѣйшій расчетъ ведется для скоростей (V_{mh}), по которымъ должны быть вычерчены и новыя кривыя измѣненія скоростей по вертикали (см. пунктиръ фиг. 5, Табл. XXVI); по нимъ вычерчиваются изотакхи и кривыя среднихъ „скоростей вертикали“ и затѣмъ вычисляется расходъ, какъ описано выше.

Значеніе степени α .

Степень α глубинъ для приближительнаго подсчета можетъ быть принимаема равною 0,5, какъ сказано выше. Это слѣдуетъ изъ того,

что среднія скорости въ профилѣ почти пропорціональны квадратному корню изъ средней глубины. Такъ, мы имѣемъ:

$$V_m = c\sqrt{Rj}; \quad v = \frac{Q}{\Omega}; \quad R = \frac{\Omega}{p},$$

откуда: $J = \frac{p \cdot Q^2}{c^2 \Omega^3}$ и $Q = c \sqrt{\frac{\Omega^3 J}{p}} \dots \dots \dots (27)$

Но для рѣкъ можно приблизительно принять:

$$p = b; \quad \Omega = bt_m; \quad R = t_m,$$

гдѣ V_m —средняя скорость, Q —расходъ, Ω —площадь живого сѣченія, p —смачиваемый периметръ, R —гидравлическій радіусъ, b —ширина рѣки по урѣзѣ, t_m —средняя глубина. Поэтому:

$$J = \frac{Q^2}{c^2 b^2 t_m^3}; \quad Q = c \cdot b \cdot \sqrt{J t_m^3} \dots \dots \dots (28)$$

Слѣдовательно: $V_m = \frac{Q}{\Omega} = \frac{Q}{b \cdot t_m} = c \sqrt{J t_m} \dots \dots \dots (29)$

На основаніи ряда произведенныхъ проф. *Harlacher*’омъ наблюденій [39, 31—53] на р. Дунай (при Klosterneuburg’ѣ), Дунайскомъ каналѣ (при Nussdorf’ѣ) и на рѣкѣ Эльбѣ (при Tetschen’ѣ) надъ скоростями, имъ найдена зависимость измѣренныхъ v отъ измѣренныхъ h и оказалось, что для разсматривавшихся имъ случаевъ, съ цѣлью достиженія большей точности, вмѣсто $\alpha=0,5$ нужно было взять $\alpha=0,7$.

Поправка $\alpha=0,7$ вмѣсто 0,5 не даетъ значенія для всѣхъ рѣкъ постояннаго; въ каждомъ частномъ случаѣ она должна быть найдена, если хотятъ получить результаты возможно точные; для приближенныхъ же значеній достаточно взять безъ всякихъ подсчетовъ $\alpha=0,5$.

§ 17. Поперечный профиль рѣки, вышедшей изъ береговъ, въ которомъ (фиг. 11, Табл. XXVI) долженъ быть опредѣленъ расходъ, необходимо разсматривать какъ состоящій изъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ частей: [12, 77—78; 31, т. II, 268] ложе наибольшее (собственно русло рѣки) *CDEF* и двѣ боковыя меньшія *ABC* и *FGH*. Какъ части сѣченія, такъ среднія скорости и продольный поверхностный уклонъ (по возможности) должны быть опредѣляемы для каждаго ложа отдѣльно. Въ этомъ убѣждаетъ слѣдующее сравненіе подсчетовъ при цифровыхъ данныхъ показанныхъ на фигурѣ и общемъ прод. уклонѣ $J=0,0005$.

Опредѣленіе расхода воды въ рѣкѣ, вышедшей изъ береговъ.

Все сѣченіе *ABCDEFGH* полностью.

Площадь поперечнаго сѣченія: $\Omega=40,04$ (м.)². Смачиваемый периметръ: $p=77,88$ м. Гидравлическій радіусъ: $R = \frac{\Omega}{p} = 0,514$ м. Пользуясь

таблицами *Darcy - Bazin* находимъ; для $R=0,514$ м. и земляного русла:

$$A = \frac{RJ}{U^2} = 0,00096;$$

затѣмъ получимъ:

$$U = \sqrt{\frac{RJ}{A}} = 0,517 \text{ м/сек.} = V_m$$

Поэтому полный расходъ будетъ:

$$Q = \Omega \cdot V_m = 20,70 \text{ (м)}^3 \dots \dots \dots (30)$$

При раздробленіи всего сѣченія на три отдѣльныя части.

Сѣченіе ABC.	Сѣченіе CDEF.	Сѣченіе FGH.
$\Omega' = 8,00 \text{ (м)}^2.$	$\Omega'' = 26,42 \text{ (м)}^2.$	$\Omega''' = 5,62 \text{ (м)}^2$
$p' = 30,00 \text{ (м)}$	$p'' = 17,88 \text{ м.}$	$p''' = 30,00 \text{ м.}$
$R' = \frac{\Omega'}{p'} = 0,267 \text{ м.}$	$R'' = \frac{\Omega''}{p''} = 1,478 \text{ м.}$	$R''' = 0,187$
$A' = 0,0016.$	$A'' = 0,000517.$	$A''' = 0,00215.$
$U' = 0,29 \text{ м/сек.} = V_m'$	$U'' = 1,20 \text{ м/сек.} = V_m''$	$U''' = 0,209 \text{ м/сек.} = V_m'''$
$Q' = \Omega' \cdot V_m' = 2,32 \text{ (м)}^3$	$Q'' = \Omega'' \cdot V_m'' = 31,70 \text{ (м)}^3$	$Q''' = 1,17 \text{ (м)}^3$

Въ этомъ второмъ случаѣ полный расходъ:

$$Q = Q' + Q'' + Q''' = 35,19 \text{ (м)}^3 \dots \dots \dots (31)$$

Такимъ образомъ, оказывается разница: $35,19 - 20,70 = 14,49 \text{ (м)}^3$, т. е. въ 70% отъ опредѣленнаго Q для всего ложа ($20,70 \text{ м}^3$).

Постоянство расхода за время производства измѣреній.

§ 18. Во всѣхъ случаяхъ и при всѣхъ способахъ измѣренія расходовъ требуется для производства этого измѣренія нѣкоторое время. Поэтому результатъ измѣренія имѣетъ смыслъ только тогда, если расходъ остался постоянный впродолженіи всей операци. Расходъ рѣки въ разныхъ поперечныхъ профиляхъ одного и того же участка, возможно правильнаго, безъ сторонняго прихода воды (притоковъ) при отсутствіи колебанія горизонта, но при однородномъ состояніи воды (постепенной убыли или прибыли) долженъ быть одинаковый. Съ цѣлью повѣрки этого, а также результатовъ наблюденій инж. Юстусъ на рѣкѣ Сѣв. Двинѣ опредѣлилъ расходы въ 1881 году [137, 42-43,92]:

- 1) № XIII на рабочемъ профилѣ 28 и 29 іюля, при отмѣткѣ горизонта воды въ 1,225 сж., при скоростяхъ—средней=0,179 сж/сек., и наибольшей 0,26 сж./сек., расходъ: 106,257 кб. саж.
- 2) № XIV на профилѣ, отстоящемъ отъ рабочаго на 1 версту ниже; 30 іюля, при отмѣткѣ горизонта въ 1,227 сж., при ско-

ростяхъ—средней=0,149 сж./сек. и наибольшей=0,20 сж./сек.
расходъ: 101,927 кб. саж.

Такимъ образомъ, разность между этими расходами равна 4,33 кб. саж., что составляетъ 4,2% отъ средняго расхода (104,092 кб. сж.); полученный результатъ дѣйствительно болѣе, чѣмъ удовлетворителенъ въ отношеніи точности производства наблюдений.

При этомъ необходимо помнить, что для провѣрки точности и правильности опредѣленія расхода воды слѣдуетъ: 1) измѣренія производить въ нѣсколькихъ поперечныхъ профиляхъ одного и того же избраннаго участка рѣки и 2) во время измѣреній сличать показанія примѣняемаго прибора съ показаніями другого гидрометра, помѣщаемаго въ той же точкѣ профиля. Такая повѣрка не можетъ представить собою точнаго контроля, но даетъ возможность сужить, насколько можно полагаться на коэффициентъ даннаго прибора.

Слѣдуетъ также помнить, что при измѣреніяхъ расхода воды въ рѣкахъ и каналахъ необходимо соблюдать всѣ предосторожности, относящіяся къ безопасности наблюдателя и окружающихъ людей.

1881 г. — 1882 г. — 1883 г. — 1884 г. — 1885 г. — 1886 г. — 1887 г. — 1888 г. — 1889 г. — 1890 г. — 1891 г. — 1892 г. — 1893 г. — 1894 г. — 1895 г. — 1896 г. — 1897 г. — 1898 г. — 1899 г. — 1900 г.

Въ настоящее время въ Россіи не существуетъ ни одного гидрометрическаго прибора, который бы удовлетворялъ всѣмъ требованіямъ, предъявляемымъ къ нему. Поэтому при измѣреніяхъ расхода воды въ рѣкахъ и каналахъ необходимо пользоваться приборами, которые хотя и не удовлетворяютъ всѣмъ требованіямъ, но въ то же время и не представляютъ опасности для жизни и здоровья наблюдателя. Къ такимъ приборамъ относятся: 1) приборы, которые употребляются для измѣренія расхода воды въ небольшихъ рѣкахъ и каналахъ; 2) приборы, которые употребляются для измѣренія расхода воды въ большихъ рѣкахъ и каналахъ. Къ первымъ приборамъ относятся: 1) приборы, которые употребляются для измѣренія расхода воды въ небольшихъ рѣкахъ и каналахъ; 2) приборы, которые употребляются для измѣренія расхода воды въ большихъ рѣкахъ и каналахъ. Къ вторымъ приборамъ относятся: 1) приборы, которые употребляются для измѣренія расхода воды въ небольшихъ рѣкахъ и каналахъ; 2) приборы, которые употребляются для измѣренія расхода воды въ большихъ рѣкахъ и каналахъ.

ПРИЛОЖЕНИЕ I.

Краткія, но необходимыя свѣдѣнія изъ теоріи вѣроятностей для подсчета ошибокъ при измѣреніяхъ приборами. — Объ измѣреніяхъ вообще. — Правила приближеннаго вычисленія и численныя выкладки.

[79, §§ 19—30; 80, § 44; 87; 104, 1—20; 119; 130, 92—114; 143].

Объ ошибкахъ измѣреній (наблюденій).

§ 1. Съ какою бы тщательностью и точностью ни производилось измѣреніе, наблюдатель вообще не можетъ избѣжать хотя, можетъ быть, и весьма малыхъ ошибокъ въ результатахъ измѣреній. Ошибки происходятъ отъ несовершенной точности самого инструмента, отъ вліянія окружающей наблюдателя среды, отъ личныхъ свойствъ наблюдателя, отъ несовершенства его органовъ чувствъ: зрѣнія, слуха и т. п. Эти ошибки могутъ быть систематическія, происходящія отъ постоянныхъ причинъ, опредѣленные не только по величинѣ, но и по знаку; и случайныя, происходящія отъ причинъ непостоянныхъ, неопредѣленныхъ, до безконечности разнообразныхъ; величина и знакъ этихъ послѣднихъ погрѣшностей для отдѣльнаго наблюденія совершенно случайное явленіе, такъ какъ они зависятъ отъ числа элементарныхъ причинъ, давшихъ единицу погрѣшности со знакомъ $+$ и числа причинъ, давшихъ ту же единицу со знакомъ $-$. Разыскать въ каждомъ отдѣльномъ рядѣ наблюденій величину систематической ошибки есть обязанность всякаго добросовѣстнаго и заботливаго наблюдателя въ виду того, что ошибки этого рода не могутъ исчезнуть ни при какой изъ возможныхъ комбинацій результатовъ отдѣльныхъ наблюденій. Разысканіе же ошибокъ случайныхъ составляетъ предметъ особаго отдѣла математики, называемаго теоріей вѣроятностей. Всѣ ошибки отъ постоянныхъ причинъ не могутъ быть изслѣдуемы способами теоріи вѣроятностей, а потому предъ опредѣленіемъ случайныхъ ошибокъ должны быть найдены и устранены.

Истинную величину случайной ошибки измерить нельзя, а потому помощью теории вероятностей ищут вероятнейшее ее значение. Ошибки наблюдений тем меньше вероятны, чем они больше по абсолютной величине; слишком большие ошибки в тщательных измерениях даже почти совсем невозможны. Если бы нам была известна точно какая-либо измеряемая величина x и мы бы затем делали вновь измерения различными приборами и получали бы значения A_1, A_2, \dots, A_n , то заметили бы отклонения полученных из наблюдений величин на $\pm\Delta$, при чем эти отклонения могут быть различны по величине и по знаку, но в общем все-таки суть величины малыя, такъ какъ произведенныя измерения не должны заключать въ себѣ грубыхъ ошибокъ.

Δ —(или dx) наз. случайной абсолютной ошибкой на одно измерение или на всю измеряемую величину.

$\frac{\Delta}{x}$ (или $\frac{dx}{x}$) наз. случайной относительной ошибкой измеряемой величины; эта ошибка даетъ понятие о точности произведеннаго наблюдения (измерения).

Когда данная величина измерена несколько разъ сряду, то изъ степени согласія отдѣльныхъ результатовъ, пользуясь теоріей вероятностей, можно составить себѣ сужденіе о вероятныхъ границахъ погрѣшности.

Принимая всѣ отдѣльныя наблюдения A_1, A_2, \dots, A_n измеряемой величины заслуживающими одинаковой степени довѣрія, найдемъ (начало арифметической середины), что среднее арифметическое изъ результатовъ отдѣльныхъ (равноточныхъ) наблюдений даетъ наиболѣе вероятный результатъ для измеряемой величины, т. е.

$$\xi = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n} \dots \dots \dots (1).$$

Это допущеніе при большомъ числѣ измереній n весьма близко къ истинѣ и дѣлается вполне точнымъ при $n = \infty$, когда $\xi = x$. Слѣдовательно, одно изъ условій приближительной вѣрности всѣхъ выводовъ, при допущеніи этого начала, есть большое число наблюдений, и величину ξ считаютъ за ту величину, въ которой по возможности устранено вліяніе случайныхъ ошибокъ измерения. Такимъ образомъ, если x — истинное значеніе искомой величины и ему равно ξ , то:

$$x - A_1 = \Delta_1$$

$$x - A_2 = \Delta_2$$

$$\dots \dots \dots$$

$$x - A_n = \Delta_n.$$

Суммируя, получимъ:

$$nx = [A_1 + A_2 + \dots + A_n] + [\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n].$$

Откуда:

$$x = \frac{[A_1 + A_2 + \dots + A_n]}{n} + \frac{[\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n]}{n} \dots \dots \dots (2)$$

и нужно, чтобы $\frac{\sum \Delta_i}{n} = 0$ при $n = \infty$. Въ этомъ случаѣ нѣтъ никакихъ основаній изъ ряда наблюдений произвольно выбрасывать нѣкоторыя только потому, что они не стоятъ въ согласіи съ большинствомъ; эти наблюдения, какъ единичныя, имѣютъ лишь незначительное вліяніе на средній результатъ.

§ 2. Отдѣльные значенія случайныхъ погрѣшностей при маломъ числѣ n не могутъ дать понятія о достоинствѣ употребленныхъ для измѣренія приемовъ или приборовъ, а также о величинѣ ошибки въ опредѣленіи x . Вслѣдствіе этого для ошибки результатовъ измѣренія берется средняя величина ошибки нѣсколькихъ измѣреній, приходящаяся на одно наблюдение. При этомъ, чтобы избѣжать вліянія знаковъ ошибокъ наблюдений на среднюю величину ошибки, берутъ квадратный корень изъ средняго ариметическаго вторыхъ степеней абсолютныхъ ошибокъ числа n наблюдений:

Средняя, вѣроятная и предѣльная ошибки (погрѣшности) отдѣльнаго наблюденія.

$$m = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (\Delta_i)^2}{n}} \dots \dots \dots (3).$$

Эта величина m наз. среднею квадратическою ошибкою и принимается за среднюю погрѣшность каждаго отдѣльнаго (изъ числа n) наблюденія. Средняя квадратическая ошибка не допускаетъ взаимно уничтожаться величинамъ случайныхъ ошибокъ, встречающимся съ разными знаками въ наблюденияхъ, а потому при вычисленіи ея большія по абсолютной величинѣ случайныя ошибки сильнѣе отражаются на ея величинѣ m . По величинѣ m можно судить о степени точности произведенныхъ наблюдений; чѣмъ она меньше, тѣмъ точнѣе рядъ этихъ наблюдений.

Но при наблюденияхъ, какъ истинное значеніе x , такъ и истинныя случайныя ошибки неизвѣстны, а потому и величина m не можетъ быть точно найдена. Поэтому-то намъ приходится довольствоваться вѣроятнымъ значеніемъ x , а именно ξ и въ величину средней квадратической ошибки вмѣсто $\Delta_i = x - A_i$ вводитъ $\delta_i = \xi - A_i$, т. е. разность между наблюденными числовыми значеніями A_1, A_2, \dots, A_n и вѣроятною вели-

чиною неизвѣстнаго ξ . Ошибки δ_i называютъ вѣроятнѣйшими, что не слѣдуетъ смѣшивать съ вѣроятными. Такъ какъ

$$A_1 = \xi - \delta_1; A_2 = \xi - \delta_2, \dots, A_n = \xi - \delta_n,$$

то, подставляя въ выраженіе (3) для m вмѣсто A_1, A_2, \dots, A_n ихъ значенія чрезъ δ_i , послѣ сокращеній и преобразованій получаемъ:

$$\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \Delta_i^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i^2}{n-1}.$$

Отсюда:

$$(m) = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{s}{n-1}} \quad (4)$$

гдѣ $s = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2 = \sum_{i=1}^{i=n} \delta_i^2$.

Вмѣсто средней ошибки въ практикѣ употребляется иногда вѣроятная ошибка, которая представляетъ собою величину, находящуюся какъ разъ посрединѣ ряда погрѣшностей всѣхъ наблюденій, расположенныхъ по абсолютной величинѣ, т. е. половина ряда погрѣшностей больше ея, а другая меньше. Величина этой ошибки выводится въ теоріи вѣроятностей [119, 123—124] и имѣетъ слѣдующія значенія.

Вѣроятная ошибка отдѣльнаго наблюденія:

$$(r) = \frac{0,4769}{(h)} = 0,4769 \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} = 0,6744 \cdot \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} = 0,6744 (m);$$

[0,4769 \times 1,4142 = 0,67443198],

или обратно:

$$(m) = 1,4826 (r).$$

Приблизительно принимаютъ:

$$(r) = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{s}{n-1}} = \frac{2}{3} (m), \quad (5)$$

откуда

$$(m) = \frac{3}{2} (r). \quad (6)$$

Предѣльная (максимальная) ошибка (l) измѣренія не можетъ быть строго теоретически выражена чрезъ среднюю ошибку; но въ виду того, что изъ 1000 возможныхъ ошибокъ одинаково хорошихъ наблюдений число возможныхъ ошибокъ, заключающихся между 0 и 4,4 вѣроятной ошибки, равно 997 и слѣдовательно при этомъ предѣлѣ только три ошибки превышаютъ его; принимаютъ:

$$(l) = \pm 4,4 (r), \dots\dots\dots (7)$$

или, выражая вѣроятную ошибку по средней:

$$(l) = \pm 2,98 (m),$$

или проще: $(l) = 3 m = 3 \sqrt{\frac{s}{n-1}}, \dots\dots\dots (8)$

т.-е., что предѣльная ошибка наблюдений равна утроенной средней.

Что же касается до знака погрѣшности, то вообще результатъ и бѣльшій, и мѣньшій истиннаго одинаково вѣроятны; это выражаютъ знакомъ \pm , поставленнымъ передъ численною величиною вѣроятной и предѣльной погрѣшностей.

Мѣра точности измѣренія и средняго результата n равнооточныхъ наблюдений.

§ 3. Точность измѣреній прямо пропорціональна нѣкоторому коэффициенту h , соответствующему данному измѣренію, который названъ Гауссомъ мѣрою точности измѣренія. Чѣмъ болѣе коэффициентъ h , тѣмъ точность измѣренія считается выше. Наивѣроятнѣйшее значеніе мѣры точности, на основаніи математическихъ выводовъ опредѣляется величиной [119,118—120, 124—129]:

$$h = \frac{1}{m \cdot \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}} \dots\dots\dots (9)$$

Въ случаѣ разсмотрѣнія вѣроятнаго значенія измѣряемой величины мѣра точности выразится такъ:

$$(h) = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum (\xi - A_i)^2}{n-1}}} \dots\dots\dots (10)$$

Сравнивъ послѣднее наивѣроятнѣйшее значеніе мѣры точности (h) съ прежде найденнымъ выраженіемъ h , замѣчаемъ, что значеніе (h) мѣнѣ значенія h ; но разница между ними незначительна и тѣмъ мѣнѣ, чѣмъ болѣе число n наблюдений. Въ видахъ осторожности слѣдуетъ брать меньшую величину, т.-е. (m) и (h), чтобы не имѣть преувеличен-

ных суждений о мѣрѣ точности наблюдений измѣряемой величины; поэтому и выше были взяты (r) и (l) .

Для двухъ наблюдений, мѣры точности и средня ошибки которыхъ соответственно равны (h) , (h_1) , (m) , (m_1) , находимъ:

$$(h) = \frac{1}{(m)\sqrt{2}} \quad | \quad (h_1) = \frac{1}{(m_1)\sqrt{2}}$$

Откуда: $(h) : (h_1) = (m_1) : (m), \dots\dots\dots (11)$

т.-е. отношеніе мѣръ точности двухъ наблюдений обратно пропорціонально отношенію ихъ среднихъ ошибокъ.

Мѣра точности средняго результата (или ариѳметической средины) отъ n равноточныхъ наблюдений имѣетъ значеніе [119,122]:

$$H = \frac{1}{M\sqrt{2}} = h \cdot \sqrt{n}, \dots\dots\dots (12)$$

или $(H) = \frac{1}{(M) \cdot \sqrt{2}} = (h) \cdot \sqrt{n}, \dots\dots\dots (13)$

т.-е. болѣе мѣры точности отдѣльнаго наблюдения въ \sqrt{n} разъ и вообще прямо пропорціональна корню квадратному изъ числа наблюдений, для которыхъ опредѣлена ариѳметическая средина.

§ 4. Раздѣляя величину средней ошибки (m) отдѣльнаго наблюдения на корень квадратный изъ числа наблюдений, которая вошла въ вычисленіе ариѳметической средины, получаютъ такъ называемую среднюю погрѣшность результата, или среднюю ошибку ариѳметической средины: Средняя, въ-роятная и предѣльная погрѣшности результата.

$$(M) = \pm \frac{(m)}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{s}{n(n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \delta_i^2}{n(n-1)}} = x - \xi \dots (14)$$

Вѣроятная ошибка средняго результата (арифметической средины) n равноточныхъ измѣреній:

$$\begin{aligned} (R) &= \frac{0,4769}{(H)} = \frac{0,4769}{(h)\sqrt{n}} = 0,4769 \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{s}{n-1}} = \\ &= 0,6744 \cdot \sqrt{\frac{s}{n(n-1)}} = 0,6744 (M); \quad (M) = 1,4826 (R), \end{aligned}$$

или приблизительно принимаютъ:

$$(R) = \frac{2}{3} (M); \quad (M) = \frac{3}{2} (R) \dots\dots\dots (15)$$

Предельная ошибка среднего результата n равнооточных измѣреній по предыдущему будетъ:

$$[L] = 3 \cdot \sqrt{\frac{s}{n(n-1)}} = 3(M) \dots \dots \dots (16)$$

Вѣсь наблю-
денія; общая
арифметиче-
ская средина;
нормальное
наблюденіе.

§ 5. Отдѣльные результаты, изъ которыхъ вычисляется оконча-
тельный, не всегда одинаково надежны, т.-е. могутъ быть неравноточны.
Въ этомъ случаѣ вѣроятнѣйшая величина неизвѣстной не будетъ уже
простая арифметическая средина изъ этихъ измѣреній. Это стараются
принимать во вниманіе, придавая отдѣльнымъ результатамъ различный
„вѣсъ“, т.-е. умножая ихъ при нахожденіи среднего, смотря по обстоя-
тельствамъ на 2, 3, 4, ... (двойной, тройной и т. д. вѣсъ). Это понятно само-
собою въ случаѣ такихъ отдѣльныхъ результатовъ, которые сами были
выведены изъ нѣсколькихъ равнооточныхъ наблюденій; ихъ вѣсъ прямо
полагается равнымъ числу произведенныхъ наблюденій, ибо, вычисляя
такимъ образомъ, мы получимъ тотъ же результатъ, какъ если бы взяли
среднее изъ всѣхъ единичныхъ наблюденій.

Пусть A_1, A_2, \dots, A_n суть результаты n —неравнооточныхъ наблю-
деній, т.-е. среднія арифметическія изъ равнооточныхъ воображаемыхъ
измѣреній, число которыхъ g_1, g_2, \dots, g_n ; эти g_i —суть вѣса наблюденій.
Среднее значеніе этихъ результатовъ (общая арифметическая средина)
будетъ:

$$\xi = \frac{g_1 A_1 + g_2 A_2 + \dots + g_n A_n}{g_1 + g_2 + \dots + g_n} = \frac{\sum g_i A_i}{\sum g_i} = \frac{\sum g_i A_i}{M} \dots \dots \dots (17)$$

такъ что $M = \sum g_i$ есть число всѣхъ произведенныхъ наблюденій.

Наивѣроятнѣйшее значеніе ξ , получаемое послѣ n вышеуказанныхъ
неравнооточныхъ наблюденій равно среднему результату x , получаемому
какъ среднее арифметическое изъ M воображаемыхъ результатовъ ра-
внооточныхъ нормальныхъ измѣреній, т.-е.

$$\xi = \frac{\sum g_i A_i}{M} = x \dots \dots \dots (18)$$

Самое слово „вѣсъ наблюденій“ происходитъ отъ тождественности
формулы (17) съ формулою механики, опредѣляющей положеніе точки
приложенія равнодѣйствующей суммы вѣсовъ.

Вѣсъ измѣренія также опредѣляетъ степень точности измѣренія
[119,130]. Положимъ, что мы имѣемъ n неравнооточныхъ наблюденій,
мѣры точности которыхъ пусть будутъ: h_1, h_2, \dots, h_n . Вообразимъ еще
наблюденіе, мѣра точности котораго есть η , и примемъ вѣсъ его за

единицу, причѣмъ наблюдѣніе это будемъ называть нормальнымъ. Выберемъ затѣмъ числа g_1, g_2, \dots, g_n , удовлетворяющія уравненіямъ:

$$\frac{h_1^2}{g_1} = \frac{h_2^2}{g_2} = \dots = \frac{h_n^2}{g_n} = \eta \dots \dots \dots (19)$$

Числа g_1, g_2, \dots, g_n наз. вѣсами соответствующихъ наблюдѣній. Указанное опредѣленіе вѣсовъ показываетъ, что вѣса суть числа, пропорциональныя квадратамъ мѣръ точности.

Изъ соотношеній (19) будемъ имѣть:

$$h_1 = \eta \sqrt{g_1}, \quad h_2 = \eta \sqrt{g_2}, \quad \dots, \quad h_n = \eta \sqrt{g_n} \dots \dots \dots (20)$$

Эти равенства даютъ возможность нѣсколько иначе толковать понятіе о вѣсѣ наблюдѣнія. Такъ, если имѣемъ g нормальныхъ наблюдѣній, (съ мѣрою точности η) и средній ихъ результатъ, то мѣра точности его будетъ:

$$h = \eta \cdot \sqrt{g} \dots \dots \dots (20')$$

Эта формула, если числу g приписывать значенія g_1, g_2, \dots, g_n , дастъ мѣры точности h_1, h_2, \dots, h_n . Слѣдовательно можно сказать, что вѣсѣ наблюдѣнія есть число, показывающее сколько нужно произвести нормальныхъ измѣреній, чтобы ихъ средній результатъ имѣлъ мѣру точности, равную мѣрѣ точности данного наблюдѣнія.

§ 6. Мѣра точности наибѣроятнѣйшаго результата ξ имѣетъ значеніе [119,129—136]:

$$H = \sqrt{h_1^2 + h_2^2 + \dots + h_n^2}; \dots \dots \dots (21)$$

но
$$\frac{h_1^2}{g_1} = \frac{h_2^2}{g_2} = \dots = \frac{h_n^2}{g_n} = \eta^2,$$

Мѣра точности и вѣсѣ наибѣроятнѣйшаго результата; мѣра точности нормального измѣренія.

а потому:

$$H = \eta \cdot \sqrt{M} \dots \dots \dots (22)$$

гдѣ h_1, h_2, \dots, h_n — мѣры точности n неравноточныхъ наблюдѣній; η — мѣра точности нормального наблюдѣнія (измѣренія), вѣсѣ котораго равенъ единицѣ.

Обыкновенно за единицу вѣса принимаютъ:

- a) для измѣреній линий — вѣсѣ одного измѣренія линии въ 100 саж. длины;
- b) для измѣреній направленій — вѣсѣ одного наблюдѣнія направленія при обоихъ положеніяхъ трубы;
- c) для измѣреній угловъ — вѣсѣ одного наблюдѣнія угла при обоихъ положеніяхъ трубы;

d) для нивелировки—вѣсь нивелированія въ одинъ конецъ линіи въ одну версту длиною.

Такимъ образомъ, число M есть вѣсь наивѣроятнѣйшаго результата ξ . Если имѣемъ: 1) неизвѣстную измѣряемую величину x ; 2) неизвѣстную мѣру точности нормального наблюденія η ; 3) n измѣреній, вѣса которыхъ даны g_1, g_2, \dots, g_n , то мѣры точности отдѣльных измѣреній:

$$h_1 = \eta\sqrt{g_1}, h_2 = \eta\sqrt{g_2} \dots h_n = \eta\sqrt{g_n}$$

и мѣра точности среднего результата:

$$H = \sqrt{\sum h_i^2}$$

будутъ еще неизвѣстны.

Мѣра точности нормального измѣренія въ этомъ случаѣ будетъ [119, 136]:

$$\eta = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum g_i (\xi - A_i)^2}{n-1}}} \dots \dots \dots (23)$$

Вліяніе погрѣшностей наблюденія на результатъ.

§ 7. Когда результатъ складается изъ данныхъ нѣсколькихъ, независимыхъ другъ отъ друга, наблюденій, то формула окончательнаго результата будетъ сочетаніемъ нѣсколькихъ наблюденныхъ величинъ. Изъ нихъ нѣкоторыя могутъ содержать ту или другую погрѣшность, и можно опредѣлить вліяніе на окончательный результатъ погрѣшности лишь того или другого наблюденія въ отдѣльности, не обращая вниманія на погрѣшности остальныхъ.

Каждая изъ этихъ погрѣшностей, естественно, будетъ дѣлать результатъ больше или меньше, и, смотря по случайному сочетанію знаковъ погрѣшностей отдѣльныхъ наблюденій, общая погрѣшность будетъ имѣть ту или другую величину.

Наибольшая величина ея получится, если мы вѣсь частныя погрѣшности возьмемъ съ одинаковыми знаками.

Ожидаемую же среднюю погрѣшность результата находятъ, складывая квадраты частныхъ погрѣшностей и извлекая изъ ихъ суммы квадратный корень.

Погрѣшность F результата X , происходящая отъ погрѣшности f наблюденія измѣряемой величины x возрастаетъ вообще пропорціонально послѣдней, такъ что можно написать: $F = f \cdot \frac{dX}{dx} \dots \dots \dots (24)$

Правила приближеннаго вычисленія надъ малыми величинами.

§ 8. Расчетъ погрѣшности можетъ быть почти всегда очень со-
кращенъ примѣненіемъ приближенныхъ формулъ для вычисленій надъ малыми величинами. Если въ математическое выраженіе входятъ нѣ-

которыя величины весьма малыя по сравненію съ другими, то часто можно прилатъ выраженію болѣе удобную форму, примѣняя формулы приближеннаго вычисленія. Обыкновенно лучше всего преобразовать данное выраженіе сперва такъ, чтобы членъ, служащій поправкою, входилъ лишь какъ придаваемая къ 1 или вычитаемая изъ 1 дробь, притомъ дробь весьма малая по отношенію къ самой 1; нерѣдко прямо имѣется выраженіе въ такой формѣ. Послѣ этого уже можно часто пользоваться для упрощенія выраженія нижеслѣдующими формулами. Въ этихъ формулахъ буквы δ , ϵ , ζ , ξ , ... обозначаютъ величины весьма малыя по сравненію съ 1, именно настолько малыя, что ихъ вторыя и высшія степени δ^2 , ϵ^2 , ... также какъ ихъ произведенія $\delta\epsilon$, $\delta\xi$, ... , которыя въ свою очередь очень малы сравнительно съ δ , ϵ , ... , могутъ быть на дѣлѣ совершенно отброшены. При этихъ условіяхъ мы будемъ имѣть формулы ¹⁾, въ которыхъ выраженіе вправо отъ знака равенства большею частью удобнѣе для вычисленія. Гдѣ въ формулахъ передъ величинами стоитъ \pm или \mp , тамъ должно вездѣ брать величины или всѣ съ верхнимъ, или всѣ съ нижнимъ знакомъ. Формулы эти слѣдующія:

$$[1 \pm \delta]^m = 1 \pm m\delta \dots \dots \dots (25)$$

$$[1 \pm \delta]^2 = 1 \pm 2\delta \dots \dots \dots (26)$$

$$\sqrt{1 \pm \delta} = 1 \pm \frac{1}{2}\delta \dots \dots \dots (27)$$

$$\frac{1}{1 \pm \delta} = 1 \mp \delta \dots \dots \dots (28)$$

$$\frac{1}{(1 \pm \delta)^2} = 1 \mp 2\delta \dots \dots \dots (29)$$

$$\frac{1}{\sqrt{1 \pm \delta}} = 1 \mp \frac{1}{2}\delta \dots \dots \dots (30)$$

$$(1 \pm \delta)(1 \pm \epsilon)(1 \pm \zeta) \dots = 1 \pm \delta \pm \epsilon \pm \zeta \pm \dots \dots \dots (31)$$

$$\frac{(1 \pm \delta)(1 \pm \zeta) \dots}{(1 \pm \epsilon)(1 \pm \eta) \dots} = 1 \pm \delta \pm \zeta \pm \dots \mp \epsilon \mp \eta \mp \dots \dots \dots (32)$$

Вмѣсто геометрическаго средняго двухъ мало отличающихся величинъ p_1 и p_2 можно брать среднее арифметическое, т. е.

$$\sqrt{p_1 p_2} = \frac{1}{2}(p_1 + p_2) \dots \dots \dots (33)$$

§ 9. Вычисленіе результата всегда можетъ быть сдѣлано лишь съ Правила для
численныхъ
выкладокъ. ограниченнымъ числомъ цифръ, что при болѣе части выкладокъ исключаетъ полную точность. И здѣсь тоже важно, чтобы желаемая степень точности была достигнута безъ лишней затраты труда и времени. Вообще надо держаться правила: давать результатъ со столькими цифрами, чтобы послѣдняя изъ нихъ, вслѣдствіе погрѣшностей наблюденія не могла уже претендовать на точность, но чтобы предпослѣдняя могла еще

считаться довольно точною. Въ сомнительныхъ случаяхъ лучше брать одну цифру больше, нежели одну меньше. Всѣ приводимыя въ результатѣ вычисленія цифры не должны имѣть погрѣшности, обусловленной собственно выкладками. Поэтому по крайней мѣрѣ длинныя вычисленія должны производиться съ одною лишнею цифрою противъ того, сколько хотятъ дать въ результатѣ; потому что, вслѣдствіе отбрасыванія, послѣдняя остающаяся цифра можетъ мало по малу стать невѣрною на нѣсколько единицъ. Въ окончательномъ же результатѣ послѣднюю цифру отбрасываютъ, и если она больше 5, то предпослѣднюю увеличиваютъ на единицу.

Въ числахъ, въ которыхъ послѣдняя цифра не 5, а 0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, то предпослѣднюю цифру отбрасываютъ, и если она больше 5, то предпослѣднюю увеличиваютъ на единицу.

- (1) $10^0 = 1$
- (2) $10^1 = 10$
- (3) $10^2 = 100$
- (4) $10^3 = 1000$
- (5) $10^4 = 10000$
- (6) $10^5 = 100000$
- (7) $10^6 = 1000000$
- (8) $10^7 = 10000000$
- (9) $10^8 = 100000000$
- (10) $10^9 = 1000000000$
- (11) $10^{10} = 10000000000$
- (12) $10^{11} = 100000000000$
- (13) $10^{12} = 1000000000000$
- (14) $10^{13} = 10000000000000$
- (15) $10^{14} = 100000000000000$
- (16) $10^{15} = 1000000000000000$
- (17) $10^{16} = 10000000000000000$
- (18) $10^{17} = 100000000000000000$
- (19) $10^{18} = 1000000000000000000$
- (20) $10^{19} = 10000000000000000000$
- (21) $10^{20} = 100000000000000000000$
- (22) $10^{21} = 1000000000000000000000$
- (23) $10^{22} = 10000000000000000000000$
- (24) $10^{23} = 100000000000000000000000$
- (25) $10^{24} = 1000000000000000000000000$
- (26) $10^{25} = 10000000000000000000000000$
- (27) $10^{26} = 100000000000000000000000000$
- (28) $10^{27} = 1000000000000000000000000000$
- (29) $10^{28} = 10000000000000000000000000000$
- (30) $10^{29} = 100000000000000000000000000000$
- (31) $10^{30} = 1000000000000000000000000000000$
- (32) $10^{31} = 10000000000000000000000000000000$
- (33) $10^{32} = 100000000000000000000000000000000$
- (34) $10^{33} = 1000000000000000000000000000000000$
- (35) $10^{34} = 10000000000000000000000000000000000$
- (36) $10^{35} = 100000000000000000000000000000000000$
- (37) $10^{36} = 1000000000000000000000000000000000000$
- (38) $10^{37} = 10000000000000000000000000000000000000$
- (39) $10^{38} = 100000000000000000000000000000000000000$
- (40) $10^{39} = 1000000000000000000000000000000000000000$
- (41) $10^{40} = 10000000000000000000000000000000000000000$
- (42) $10^{41} = 100000000000000000000000000000000000000000$
- (43) $10^{42} = 1000000000000000000000000000000000000000000$
- (44) $10^{43} = 10000000000000000000000000000000000000000000$
- (45) $10^{44} = 100000000000000000000000000000000000000000000$
- (46) $10^{45} = 1000000000000000000000000000000000000000000000$
- (47) $10^{46} = 10000000000000000000000000000000000000000000000$
- (48) $10^{47} = 100000000000000000000000000000000000000000000000$
- (49) $10^{48} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (50) $10^{49} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (51) $10^{50} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (52) $10^{51} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (53) $10^{52} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (54) $10^{53} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (55) $10^{54} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (56) $10^{55} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (57) $10^{56} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (58) $10^{57} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (59) $10^{58} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (60) $10^{59} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (61) $10^{60} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (62) $10^{61} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (63) $10^{62} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (64) $10^{63} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (65) $10^{64} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (66) $10^{65} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (67) $10^{66} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (68) $10^{67} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (69) $10^{68} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (70) $10^{69} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (71) $10^{70} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (72) $10^{71} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (73) $10^{72} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (74) $10^{73} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (75) $10^{74} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (76) $10^{75} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (77) $10^{76} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (78) $10^{77} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (79) $10^{78} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (80) $10^{79} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (81) $10^{80} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (82) $10^{81} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (83) $10^{82} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (84) $10^{83} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (85) $10^{84} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (86) $10^{85} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (87) $10^{86} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (88) $10^{87} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (89) $10^{88} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (90) $10^{89} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (91) $10^{90} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (92) $10^{91} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (93) $10^{92} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (94) $10^{93} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (95) $10^{94} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (96) $10^{95} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (97) $10^{96} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (98) $10^{97} = 10000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (99) $10^{98} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (100) $10^{99} = 1000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$
- (101) $10^{100} = 100000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000$

Въ числахъ, въ которыхъ послѣдняя цифра не 5, а 0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, то предпослѣднюю цифру отбрасываютъ, и если она больше 5, то предпослѣднюю увеличиваютъ на единицу.

П Р И Л О Ж Е Н І Е П.

[12, 142—151; 47, 254—259; 52, 13—14; 36; 37; 35, 173; 39, 35—36, 40, 50—51, 57—58].

Въ дополненіе всего вышеизложеннаго мы приводимъ здѣсь для примѣра формы таблицъ съ расположенными въ нихъ записями данныхъ наблюденій и вычисленій, относящихся къ измѣренію скоростей и опредѣленію расходовъ воды въ открытыхъ руслахъ. Разсмотрѣны случаи примѣненія: 1) поверхностныхъ поплавковъ (табл. № 1—3), 2) гидрометрическихъ шестовъ (табл. № 4), 3) трубки *Darcy* (табл. № 5), 4) вертушекъ съ механическимъ счетчикомъ (табл. № 6), 5) вертушекъ съ электрической сигнализацией (табл. № 7) и 6) интегратора *Harlacher*'а (табл. № 8)

Какъ хорошій примѣръ вычерченнаго профиля живого сѣченія со всѣми данными промѣровъ и измѣренія скоростей приведенъ на табл. XXVII профиль р. Дуная выше г. Вѣны по измѣреніямъ проф. *Harlacher*'а въ 1878 г. [39, р. III].

Т а б л и ц а № 1.

Скорость измерена поверхностными поплавками.

Расходъ воды въ рѣкѣ опредѣленъ приблизительно къ поперечному сѣченію по фиг. 9 табл. XXVI (ложе правильное)

Мѣсто-положеніе участка рѣки.	Длина пути поплавокъ s метр.	П л о щ а д и частныхъ сѣченій.					Время пробѣга секундъ		Число поплавокъ n	Время пробѣга въ среднемъ t сек.	Средняя поверхн. скорость $V_0 = \frac{s}{t}$ м./сек.	Средняя скорость для всего сѣченія $V_m = 0,8 V_0$ м./сек.	Расходъ $Q = \Omega \cdot V_m$ куб. м.	Примѣчанія.
		№ подраздѣленій.	Глубина (средняя) метр.	Ширина метр.	sh (метр.) ² .	Всего живого сѣченія Ω (метр.) ² .	каждаго поплава t_i	$\Sigma t_i = T$.						
Рѣка Magne на 500 м. ниже знака № 15.	500	I	1,00	5,00	5,00	81,30	180	1.117	6	186	2,68	2,14	174,41	
		II	2,50	5,00	12,50									
		III	3,00	5,00	15,00									
		IV	2,90	5,00	14,50									
		V	2,65	5,00	13,25									
		VI	2,00	5,00	10,00									
		VII	1,50	5,00	7,50									
		VIII	0,75	5,00	3,75									

Т а б л и ц а № 2.

Скорость измерена поверхностными поплавками.

Ложе правильное (фиг. 9, табл. XXVI).

Мѣсто-положеніе участка рѣки.	Длина пути поплавокъ s метр.	П л о щ а д и				Всего живого сѣченія Ω (м.) ² .	Время пробѣга t сек.	Скорость каждаго полавка v_0 м./сек.	Σv_0 сек.	Число полавковъ n	Средняя поверхн. скорость V_0 м./сек.	Средняя скорость для всего сѣченія $V_m = 0,8 V_0$ м./сек.	Расходъ $Q = \Omega V_m$ куб. м.	Примѣчанія.	
		Частныхъ сѣченій.													
		№№ подраз-дѣленій.	Средняя глубина метр.	Ширина метр.	ω_i (метр.) ² .										
Рѣка на метр. выше № 10.	500	I	1,00	5,00	5,00	81,50									
		II	2,50	5,00	12,50									180	2,778
		III	3,00	5,00	15,00									160	3,125
		IV	2,90	5,00	14,50									166	3,047
		V	2,65	5,00	13,25									166	3,047
		VI	2,00	5,00	10,00									175	2,857
		VII	1,50	5,00	7,50									270	1,852
		VIII	0,75	5,00	3,75										
Итого:										16,706	6	2,784	2,227	181,50	

Т а б л и ц а № 3.

Скорость измерена поверхностными поплавками.

Ложе неправильное.

Мѣсто положе- ние участ- ка рѣки.	№№ поперечныхъ профилей.	Площ. живото- го сѣченія Ω_i (м.) ²	$\Sigma \Omega_i$ (м.) ²	Средняя пло- щадь живото- го сѣченія Ω (м.) ²	p_i метр.	$R_i = \frac{\Omega_i}{p_i}$ метр.	Средн. R метр.	U по табли- V цамъ, <i>Darcy</i> - <i>Bazin</i> а для R	№№ поплавковъ.	Путь пробѣ- га поплав- ковъ метр.	Время про- бѣга t_i сек.	$\Sigma t_i = T$ сек.	Средняя по- верхн. ско- рость $V = V_0$ м/сек.	Средняя ско- рость для все- го сѣченія $U = V_m$ м/сек.	Расходъ $Q = \Omega \cdot V_m$ (м) ³ .	Примѣчанія.
Рѣка ...	I	20	195.	19,5	14	1,429	1,3584	0,7552	1	310	2,959	0,619	0,310	9,943		
.....	II	18			14	1,286			2	300						
на.....	III	17			15	1,133			3	320						
метр....	IV	18			14	1,286			4	290						
ниже....	V	19			15	1,267			5	278						
№ 20.	VI	20			16	1,250			6	300						
	VII	22			15	1,467			7	292						
	VIII	22			14	1,371			8	287						
	IX	20			13	1,538			9	292						
	X	19			14	1,337			10	290						
					$\Sigma R_i = \frac{13,581}{10}$				$\frac{200 \times 10}{2,959}$		$0,6759 \times 0,7552$					

Т а б л и ц а № 4.
Скорость измерена гидрометрическими шестью.

(Фиг. 8 и 10, Табл. XXVI).

Мѣстоположеніе измѣряемаго сѣче- ніа	№№ вертикалей.	Ч а с т н ы я п л о щ а д и .			Дѣйствитель- ная средняя скорость вер- тикали $V_{m,h}$ м/сек.	Частные рас- ходы $q = \omega \cdot V_{m,h}$ кб. м.	Полный рас- ходъ $Q = \sum q_i$ кб. м.	П р и м ѣ ч а н і я .
		Глубина вер- тикалей h метр	Ширина тра- пецій l метр.	Площадь тра- пецій $\omega = lh$ (м) ²				
Рѣка	1	1,00	5,00	5,00	1,72	9,17		
.....	2	2,50	5,00	12,50	2,25	28,32		
на.....	3	3,00	5,00	15,00	2,45	36,70		
метр.....	4	2,95	5,00	14,75	2,42	35,60		
выше.....	5	2,65	5,00	13,25	2,43	33,65	182,08	
№ 12.....	6	2,00	5,00	10,00	2,32	23,20		
	7	1,50	5,00	7,50	1,65	12,39		
	8	0,75	5,00	3,75	0,73	2,75		

Таблица № 5.

Скорость измерена трубкою *Darcy*.

(фиг. 10, Табл. XXVI).

№ № верти- калей.	Точки измѣ- ренія.	Высота воды въ трубкѣ метр.		Средняя разность высотъ. <i>h</i> метр.	Скорость по формулѣ $v = \varphi \sqrt{2gh}$ при $\varphi' = 0,81$	Частныя площади.			Частные расходы $q = \omega \cdot v$. кб./м.	Полный расходъ $Q = \Sigma q$. кб./м.	Примѣчанія.
		скорост- ной.	уровня воды.			Глубина <i>z</i> метр.	Ширина <i>l</i> метр.	$\omega = z \cdot l$. (м) ² .			
1	{ а) у поверх- ности.... б) на $\frac{1}{2}$ глу- бины в) у дна	0,28	0,00	$\frac{2,13 - 1,00}{3}$	1,71	1,00	5,00	5,00	8,53	178,30	
		0,71	0,50								
		1,14	1,00								
		2,13	1,50	0,21							
2	{ а) б) в)										
—											
—											
8	{ а) б) в)										

Т а б л и ц а № 6.

Скорость измѣрена вертушкою съ механическимъ счетчикомъ.

(Фиг. 9, табл. XXVI).

№№ вертикалей	Точки измѣренія.	Показанія счетчика.		Число оборотовъ		Продолжительность наблюдений		Среднее число оборотовъ въ сек. $n = \frac{N}{T}$.	Средняя скорость м./сек. $v = an$ или $v = a + \beta n$ при a и β изв.	Частныя площади.			Частныя расходы $q = \omega \cdot v$ (м) ³ .	. Полный расходъ $Q = \Sigma q$ (м) ³ .	Примѣчанія.
		предъ измѣреніемъ	послѣ измѣренія	въ каждой точкѣ	для всей вертушки, N	въ каждой точкѣ сек.	для всей вертушки T сек.			Глубина h метр.	Ширина l метр.	$\omega = l \cdot h$ (м) ² .			
1	a) у поверхности			1.809		100		15,14	1,71	1,00	5,00	5,00	8,53	Скорость v вычислена по формулѣ $v = an$, при $a = 0,113$.	
	b) на 1/2 глубины			1.626	4.541	100	300								
	c) у дна			1.616		100									
2	a)			2.257				10,70	2,23	2,50	5,00	12,50	27,88		
	b)			2.040	5.910		300								
	c)			1.613											
3			2.526				21,33	2,44	3,00	5,00	15,00	36,60		
	. . . . .			2.115	6.465		300							
	. . . . .			1.824										
4			2.550				21,39	2,42	2,90	5,00	14,50	35,09		
	. . . . .			2.092	6.417		300							
	. . . . .			1.775										
5			2.550				21,39	2,42	2,63	5,00	13,25	32,07		
	. . . . .			2.092	6.417		300							
	. . . . .			1.775										
6			2.475				20,36	2,32	2,00	5,00	10,00	23,20		
	. . . . .			2.004	6.167		300							
	. . . . .			1.690										
7			1.663				14,48	1,64	1,50	5,00	7,50	12,30		
	. . . . .			1.483	4.343		300							
	. . . . .			1.197										
8			750				6,62	0,74	0,73	5,00	3,73	2,78		
	. . . . .			713	1.987		300							
	. . . . .			524										

178,50

Т а б л и ц а № 7.

Скорость измерена вертушкой съ электрической сигнализацией.

Amber

Мѣсто измѣренія скорости.			Отметка горизонта воды.	Продолжительность наблюдения для 100 оборотовъ вертушки сек.		Число оборот. вертушки въ 1 секунду $\frac{100}{t}$.	Скорость воды по формулѣ $v = \alpha + \beta n$ при $\alpha = 0,0017$, $\beta = 0,2166$.	Частныя площади.			Частные расходы $q = \omega \cdot v$ (м) ³ .	Полный расходъ $Q = \Sigma q$ (м) ³ .	Примѣчанія.
№ верт. калей.	№ точки на вертикали.	На глубинѣ по въ поверхность воды метр.		Въ каждой точкѣ.	Въ среднемъ t .			Глубина (средняя) h метр.	Ширина l метр.	$\omega = lh$ (м) ² .			
I	1	0,10	1,86	78	74	1,331	0,324	0,30	4,75	1,425	0,462	1,693	
				70									
				74									
"	2	0,50	"	87	85,67	1,167	0,284	0,40	5,00	2,000	0,568		
				81									
				89									
"	3	1,00	"	117	112,67	0,888	0,223	0,60	5,00	3,000	0,663		
				107									
				114									
II	1	0,10	"	55	56,33	1,776	0,413	0,30	5,00	1,50	0,623		
				57									
				57									
"	2	0,50	"	62	65,67	1,323	0,330	0,45	5,00	2,25	0,743		
				69									
				66									

и т а к ъ д а л ѣ е.

Т а б л и ц а № 8.

Скорость измѣрена интеграторомъ *Harlacher*'а.

№№ вертикалей.	Частныя площади.			Число оборот. полное при		Продолжи- тельность сек.		Число оборотовъ въ секунду.			Кoeffициенты вертушки.		Средняя скорость по формулѣ $v = a + \beta n$.	Частные расходы $q = \omega \cdot v$.	Полный расходъ $Q = \sum q$.	Примѣ- чанія.	
	Глубина (средняя) h метр.	Ширина l метр.	$\omega = h \cdot l$ (м) ² .	опус- канія.	подъ- емѣ.	опус- канія.	подъ- ема.	При опус- канія.	При подъ- емѣ.	Въ сред- немъ n .	α .	β .					

ПРИМЪЧАНІЯ КЪ ГЛАВАМЪ.

ГЛАВА I.

ГЛАВА II.

1. Хотя проф. *Боуславскій* [86, 707] указываетъ на длину шеста въ 2,50 саж. (= 5,33 метра), какъ на предѣльную.
2. См. также объ этомъ [90].
3. Подробное описаніе см. [62]; краткое указаніе—[35, 134; 64, 14].
4. Подробное описаніе см. [68; 118]; краткое описаніе приведено см. [35, 134—135; 64, 14—15].
5. Что видно изъ похвального отзыва Управленія работъ по выправленію р. Эльбы на запросъ изъ Рижскаго порта [118, 23—24].
6. Въ статьѣ [126] приборъ *Stecher*'а, повидимому, приписанъ проф. *Harlacher*'у.
7. Приборъ освидѣтельствованъ Комиссіей изъ С.-Петербурга въ 1887 г.; нами осмѣтрѣнъ лѣтомъ 1900 г. во время командировки съ осмотромъ портовъ Балтійскаго моря.
8. Подобныя же устройства примѣнялись и на р. Миссисипи. См. [12, 88—90].

ГЛАВА III.

1. См. также [96, 237—239].
2. Какъ это дѣлали: *Voileau* въ 1845 г. [31, т. II, 212; 24, 348], *Bazin* [5, 43—44], *Cunningham* [13; 23; 92].
3. Какъ дѣлалъ *Cunningham* при измѣреніяхъ на Гангскомъ каналѣ [13, 154—159]; въ его употребленіи были двойные поплавокъ нижеслѣдующихъ размѣровъ [Таб. VI, фиг. 8]:
— а) Наибольшая глубина погруженія 2,75 метра; нижній поплавокъ—шаръ изъ очень тонкой листовой мѣди толщиной 0",02; діаметръ

его $= 1\frac{5}{8}$ "; шелковая нить толщиною $\left(\frac{1}{80} - \frac{1}{120}\right)''$; верхній поплавокъ—тонкій крѣпкій кружокъ пробки діаметромъ 1" и толщиною $\frac{1}{4}$ "; отношеніе поверхностей, подверженныхъ дѣйствию воды $= \frac{S}{S_1} = \frac{\text{пов. (поплавка + нити)}}{\text{пов. нижняго поплавка}} = 0,29$ при макс. глубинѣ.

— б) Наибольшая глубина погруженія 3,05 метр.; нижній поплавокъ—шаръ изъ тяжелаго дерева (*Acacia Catechu*) діаметромъ 3"; тонкая мѣдная проволока толщиною 0,012"; верхній поплавокъ—деревянный дискъ (англійской ели) діам. 3" и толщиною $\frac{3}{8}$ "; отношеніе $\frac{S}{S_1} = 0,55$ при наибольшей глубинѣ.

4. Достаточно прочную для удержанія шара и тонкую, чтобы не представлять большой площади для дѣйствія воды.

5. Шесты, употреблявшіеся имъ, имѣли размѣры:

— а) Дерев. шестъ цилиндрич. діам. 1", погруженная длина $= (6-10)$ фут., возвышеніе надъ поверхн. (1—3) дюйм.

— б) Дерев. шестъ цилиндрич. діам. $2\frac{1}{2}$ ", погруженная длина $= 3, 9, 12$ фут., возвышеніе надъ поверхн. (1—3) дюйм.

— в) Жестяной трубчатый шестъ діам. 1", погруженная длина $= 2\frac{1}{2} - 9$ фут., возвышеніе надъ поверхн. (1—3) дюйм.

6. Болѣе подробное объясненіе о выборѣ длины гидрометрическихъ шестовъ для опредѣленія средней скорости всей вертикали см. глава IX, § 12, стр. 232—235.

7. Такъ, *Dubuat* [7, 149], производившій точные опыты, двигалъ трубку *Pitot* съ разными скоростями въ стоячей водѣ и получилъ слѣдующіе результаты:

Скорость v : 0^m,78....1^m,08...1^m,80

Отношеніе h къ $\frac{v^2}{2g}$: 1,22....1,11...1,08

8. Первоначальное устройство ея показано въ *M* на фиг. 20, Табл. VI [31, т. II, 225; т. III. pl. I, fig. 21].
9. Не менѣ одной минуты, достаточной однако для того, чтобы стеклянная трубка наполнилась водою и установилось равновѣсіе воды въ трубкахъ и въ водѣ.
10. Предѣльный діаметръ капиллярныхъ трубокъ для воздуха и воды $= 5,50$ м/м. [опыты инж. *Ritter*'а].
11. Капиллярное дѣйствіе можетъ проявиться въ слѣдующемъ. Воздухъ, входя въ трубки въ видѣ пузырьковъ, заполняетъ все сѣченіе и разрываетъ такимъ образомъ имѣющійся столбъ жидкости. При

- трубкахъ большаго ($> 5,50$ м/м.) діаметра этого явленія не замѣчается. Поэтому діаметръ металлическихъ (мѣдныхъ) трубокъ долженъ быть не менѣе 6 м/м., а гибкихъ (каучуковыхъ)—7—8 м/м.
12. Приборы *Ritter*'а можно выписать отъ фирмы „*A. Demischel-Succ^r M^oa J. Salleron*. Paris. Rue Pavée-au-Marais, 24“.
 13. 1 рубль (золотой) равенъ по стоимости 3,24 М.; 1 рубль (кредитный) колеблется по курсу отъ 1,50 до 2,50 М.; или 1 М.—отъ 0,67 до 0,40 руб. и въ среднемъ=0,50 руб. По курсу, въ данное время, 1 М.=49,29 коп., что здѣсь при переводѣ и принято.
 14. Приборъ этотъ изобрѣтенъ инженеромъ *A. Frank*'омъ совместно съ фирмой „*G. Falter und Sohn*“ (при выписываніи обращаться по адресу: An das mechanische Institut von *Falter und Sohn*, München).
 15. Результаты сравненій см. [9, 288—289].
 16. Вертушка съ контактомъ на оси вращенія лопастей имѣется въ музеумѣ Института инженеровъ путей сообщенія, сдѣланная по заказу проф. *Богуславскаго*.
 17. Сравнительная оцѣнка примѣненія штангъ и подвѣснаго каната сдѣлана ниже. Гл. IX, § 15, стр. 239—240.
 18. О выборѣ рациональной формы этого груза см. Гл. IX, § 18, стр. 241—242.
 19. *Harlacher*.—профессоръ политехнической школы въ Прагѣ.
 20. Пользуясь шестомъ и штативомъ вертушки, можно обойтись безъ проволоки k_2 .
 21. При выписываніи приборовъ обращаться по адресу: An das mathematisch-mechanisches Institut von *Alber Ott*, Kempten (Bayern).
 22. По преись-куранту [48], 1899 г. приборъ № I.
 23. По преись-куранту [48], 1899 г. Приборъ № III.
 24. По преись-куранту [48], 1899 г. Приборъ № IV.
 25. По преись-куранту [48], 1899 г. Приборъ № VII.
 26. Часы кромѣ обыкновеннаго циферблата съ часами и минутами имѣютъ еще циферблатъ, на которомъ стрѣлка дѣлаетъ полный оборотъ въ 100 секундъ. Движеніемъ рычага на часахъ замыкается электрической токъ и приводится въ дѣйствіе счетчикъ оборотовъ крыла. Ровно черезъ 100,200.... (до любого времени) секундъ часы самостоятельно прерываютъ токъ, счетчикъ останавливается и звонокъ извѣщаетъ о времени для считыванія показаній.
 27. Въ большихъ аппаратахъ, снабженныхъ всѣми вспомогательными приборами, эти послѣдніе укрѣпляются на общей доскѣ, такъ что инженеръ можетъ легко слѣдить за всѣми дѣйствіями отдѣльныхъ частей. Такъ, по фиг. 4 Таб. XIII: *A*—часы съ автоматическимъ

перерывомъ тока; *B*—счетчикъ оборотовъ оси вертушки; *C*—счетчикъ оборотовъ барабана лебедки; *D*—хроноскопъ; *E*—звонокъ для каждаго 20—50 оборотовъ; *F*—звонокъ, дающій сигналъ, когда приборъ доходитъ до дна; *G*—звонокъ, отмѣчающій каждыя 100, 200... секундъ и дающій сигналъ для считыванія числа оборотовъ; *H*—переключатель; *K*—зажимы для прикрѣпленія проводниковъ; *L*—гальванометръ.

28. По каталогу *Ott*'а [48] 1901 г. приборъ № VII.
29. По каталогу *Ott*'а [48] 1901 г. приборъ № IX.
30. Цѣлесообразность примѣненія ея можетъ быть оспариваема.

ГЛАВА IV.

1. Какъ и многія другія русскія изобрѣтенія и открытiя [131].
2. Приборы эти находились въ употребленіи на Московско-Брестской и Московско-Рязанской ж. д., но получить какія-либо свѣдѣнія о нихъ намъ, къ сожалѣнію, не удалось.
3. Примѣненіе этого прибора для измѣренія скорости воды было на р. Невѣ и р. Волгѣ; для опредѣленія же скорости вѣтра—на Морскомъ каналѣ въ С.-Петербургѣ въ іюнь 1887 г. (показаніе прибора: $v = 45$ фут./сек., показаніе обсерваторіи: $v = 43,034$ фут./сек.).
4. Къ сожалѣнію, мы не имѣли ни чертежей, ни самого прибора; въ литературѣ имѣется только протоколъ испытанія прибора на р. Волгѣ у моста Николаевской ж. д. съ краткимъ его описаніемъ, по которому и составлена нами схема (фиг. 3. Табл. XIV). Первый приборъ изготовленъ былъ зимою 1886/87 г. для изслѣдованій на р. Невѣ по порученію и на средства географическаго общества, гдѣ и предполагался „обширный“ докладъ осенью 1887 г. о результатахъ работъ на р. Невѣ.
5. Но и только.
6. Подробное описаніе и чертежи см. [108; 109; 110].
7. Инженеръ *Fargue* на основаніи того, что выпуклые берега будто бы отражаютъ воду къ фарватеру, основалъ свое правило выпуклаго очертанія обоихъ береговъ на перегибахъ русла.
8. Такъ какъ мѣста пересѣченій сохраняли нѣкоторое постоянство, то обстоятельство это не могло быть приписано случайнымъ причинамъ, какъ-то: порывамъ вѣтра, волненію, производимому проходомъ пароходовъ и проч., тѣмъ болѣе, что наблюденія производились при тихой погодѣ, а проходящіе пароходы предупреждались посредствомъ рупоровъ держаться поодаль поплавокъ.
9. Такъ какъ части прибора, оказывающія сопротивленіе свободному движенію воды и порождающія этимъ колебанія струй, не могли

быть сдѣланы еще болѣе меньшихъ размѣровъ безъ ослабленія прочности ихъ.

10. Не имѣя возможности здѣсь привести всѣхъ фигуръ, мы помѣстили только нѣкоторыя, наиболѣе характерныя, отсылая читателя въ случаѣ надобности къ трудамъ *Н. С. Лелявскаго* [109; 110; 111].

Г Л А В А V.

1. Какъ наприм. Сѣв. Двина [137, 32] при ширинѣ 450 саж.; Дунай [39]; Волга и Ока [84, 179—186]. Цифры русскихъ мѣръ не составляютъ перевода метровъ; онѣ взяты самостоятельно изъ данныхъ практики въ Россіи.
2. Какъ напр. Ока [84]; Вага [137]; Fiszta [50, 300].
3. Работы проф. *Проскуракова*.
4. Работы инж. *Чарномскаго* со льда [135].
5. Какъ напр. то было на р.р. Сухонѣ и Сѣв. Двинѣ [137, 38—39].
6. Какъ это принято и выработано для рѣкъ Венгріи [50; 116].
7. При работахъ инж. *Чарномскаго* въ мартѣ 1900 г. [135, 55—74] вертушками на каждой вертикали выбиралось 8 точекъ наблюдений черезъ каждыя 0,5 саж., причѣмъ измѣренія начинались на глубинѣ не меньше 1 саж. и не ниже 4,5 саж. [что объяснялось: сверху — толщиной ледяного покрова до $\frac{3}{4}$ саж., а внизу — присутствіемъ доннаго льда], даже и при глубинахъ до 6,5 саж.
8. Проф. *Болуславскій* [86, 723—724; 85; 84, 179—186] такъ нормируетъ распрежденіе точекъ измѣренія скоростей по вертикали:
 - а) при глубинахъ ≤ 1 арш. — въ двухъ точкахъ: на 0,10 саж. и на 0,6 глубины, считая отъ поверхности;
 - б) при глубинахъ отъ 1 арш. до 1 с. — въ трехъ точкахъ: кромѣ предыдущихъ двухъ еще у дна (0,20 саж. выше его);
 - в) при глубинахъ ≥ 1 саж., — не менѣе, какъ въ 5 точкахъ: на 0,10 саж., на 0,20; 0,50; 0,60; 0,75 глубины, считая отъ поверхности, и у дна.
9. Неодинаковость показаній замѣчали всѣ дѣлавшіе измѣренія, какъ напр. *Baumgarten* [4] на р. Гароннѣ; *Göbel* на р. Эльбѣ, *Lagrène* на р. Сенѣ, *Wood* на р. Нилѣ и т. д. Инженеръ *Cunningham* при своихъ работахъ на Гангскомъ каналѣ (1874—1879 гг.) замѣтилъ, что движеніе воды въ большихъ открытыхъ каналахъ весьма не однообразно; даже въ томъ случаѣ, когда уклоны очень правильны на большомъ протяженіи, скорость въ нѣкоторой данной точкѣ чрезвычайно перемѣнна въ каждое мгновеніе и траекторіи различныхъ частицъ жидкости пересѣкаются во всѣхъ направленіяхъ. Пульси-

- рующее движеніе точно установлено *Harlacher*'омъ; теорія этого движенія дана *Boussinesque*'омъ [31, т. II, 223—224].
10. Какъ это дѣлалось при измѣреніяхъ на р. Миссисипи [32, 56].
 11. При измѣреніяхъ скоростей и расхода на р. Невѣ инж. *Чарномскаго* въ мартѣ 1900 г. со льда [135] примѣнялись вертушки *Woltmann*'а; онѣ прикрѣплялись къ желѣзнымъ штангамъ, наращиваемымъ по мѣрѣ опусканія прибора; вертушки были снабжены электрическими замыкателями, соединенными съ элементами *Leclanche* и электрическимъ звонкомъ, дающимъ сигналъ черезъ каждыя 100 оборотовъ вертушки. Время опредѣлялось по секундомѣру, какъ среднее изъ трехъ послѣдовательныхъ наблюденій по 100 оборотовъ въ каждомъ.
 12. При работахъ на р. Днѣпрѣ у Кіева [114, 15; 115, 114] при среднихъ скоростяхъ наблюденіе распространялось на 400 оборотовъ вертушки при каждой ея установкѣ; при этомъ въ каждой точкѣ вертикали дѣлалось по 3 измѣренія.
 13. Такое же подраздѣленіе дѣлаютъ и *Graëff* [31, т. II, 279—285].
 14. Описаніе подобныхъ работъ на большихъ рѣкахъ можно найти [25; 32; 40].
 15. О формулахъ разныхъ гидротехниковъ для зависимости v и n см. [72, 14; 61 (35), 158—161; 69, 81—82].
 16. Опредѣленіе коэффициентовъ α и β см. слѣдующую главу.
 17. Какъ это предполагалъ дѣлать инж. *Чарномскій* при работахъ на р. Невѣ, но за неимѣніемъ времени измѣрять только три проекціи [135, 57—64].
 18. Проф. *Harlacher* на р. Дунавъ вслѣдствіе сильнаго теченія и рыхлаго грунта долженъ былъ примѣнять (фиг. 4, Табл. XXI) 4 якоря сверху и 2 якоря снизу по теченію.
 19. Больше простое устройство описано было выше Гл. III, § 27, стр. 66.

ГЛАВА VI.

1. Объ измѣненіи коэффициентовъ см. далѣ гл. VIII, § 20 стр. 205—208.
2. Весьма краткое описаніе этой опытной станціи имѣется въ Ж. М. П. С. 1894 г., кн. 2 стр. 357—360.
3. Инж. *Чарномскій* съ разрѣшенія предсѣдателя Морского Техническаго Комитета опредѣлялъ коэффициенты для двухъ вертушекъ. Изъ его описанія [135, 64—69] нами взяты чертежи; испытательная станція осматривалась нами неоднократно.
4. См. выше Гл. III, § 9, стр. 46—47.
5. Численный примѣръ взятъ изъ гидравлики *Tume* [134, 212—213; 133].
6. См. [133, 38—43].
7. См. [5, 63—70, pl. IV].

8. См. [5, 302—303].
9. См. [53, 455; 88].
10. Для примѣра записей въ таблицѣ показаны нѣкоторыя цифры изъ 41 наблюденья проф. *Friedrich*'а въ Вѣнѣ [29, 62—63].
11. Такъ, при изслѣдованіяхъ русскихъ рѣкъ описными партіями М-ва П. С., число наблюденьей величинъ s , t и N дѣлалось отъ 30 до 100 [84, 179—186]; для работъ инж. *Черномскаго* на р. Невѣ коэффициенты двухъ вертушекъ были опредѣлены въ испытательномъ бассейнѣ Новаго Адмиралтейства, число наблюденьей съ разными скоростями для каждой вертушки было 40 [135, 55—74].
12. Эти величины α и β получены такъ:

Наблюденья: 1. скорости: $v_1, v_2, v_3, \dots, v_k$	скорость вычислен- ная: $v_k = \frac{s}{t_k}$
2. числа оборотовъ: $N_1, N_2, N_3, \dots, N_k$	число оборотовъ
3. за время $t_1, t_2, t_3, \dots, t_k$	въ секунду: $n_k = \frac{N_k}{t_k}$

Такимъ образомъ наблюденья данныя позволяютъ составить очень точно формулу:

$$v_k = \alpha + \beta n_k$$

или $\frac{s}{t_k} = \alpha + \frac{\beta N_k}{t_k}$; откуда $s = \alpha t_k + \beta N_k$

Послѣ этого по способу наименьшихъ квадратовъ имѣемъ:

$$\alpha = s \cdot \left[\frac{D \cdot C - E \cdot B}{A \cdot C - B^2} \right] \dots \dots (1)$$

$$\beta = s \cdot \left[\frac{E \cdot A - D \cdot B}{A \cdot C - B^2} \right] \dots \dots (2)$$

гдѣ: $A = t_1^2 + t_2^2 + \dots = \Sigma (t^2)$	$D = t_1 + t_2 + \dots = \Sigma (t)$
$B = t_1 N_1 + t_2 N_2 + \dots = \Sigma (tN)$	$E = N_1 + N_2 + \dots = \Sigma (N)$
$C = N_1^2 + N_2^2 + \dots = \Sigma (N^2)$	

По подстановкѣ значеній s , A , B , C , D , E въ формулы (1) и (2), получаются формулы (I), указанныя въ текстѣ [1, 13].

12. Департамента Navy Yard, въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣв. Америки.
14. См. выше Глава V, § 15.
15. См. Гл. VI, §§ 4—8.

ГЛАВА VII.

1. См. [44].
3. [4; 10; 74; 9, 286—289].
3. Что мы видѣли выше, въ § 14, гл. VI, при 20 наблюденьяхъ.

4. Эта таблица помѣщена въ § 8 сей главы съ сопоставленіемъ нѣкоторыхъ найденныхъ величинъ и наиболѣ важныхъ размѣровъ для 12 изъ испытанныхъ проф. *Schmidt*'омъ приборовъ.
5. Составлено по статьѣ проф. *Schmidt*'а [63, 917—923, 945—951].

ГЛАВА VIII.

6. См. *Д. Д. Гусинъ* [94, 399].
7. См. ниже гл. IX, § 14, стр. 236—238.
8. См. объ этомъ также [94, 400—406].
9. См. *Д. Д. Гусинъ* [94, 404].
10. См. „Приложеніе I^a въ концѣ книги, стр. 264—274.
11. См. выше гл. VII—о работахъ проф. *Schmidt*'а, а также [63, 951].
12. См. выше, гл. V, § 15, стр. 120—122.
13. Какъ это дѣлалъ инж. *Гусинъ* [94, 410—419].
14. Такъ, принимая скорость движенія въ 1 метр., замѣчаемъ, что разстояніе въ 0,10 м. можетъ быть пройдено въ $\frac{1}{10}$ секунды. Въ такой короткій промежутокъ времени вполне можно сомкнуть или разомкнуть вертушку раньше или позже своего времени.
15. О вліяніи ошибокъ въ α и β на опредѣленіе скорости v вертушкою см. [19, 145].
16. См. гл. VII стр. 160—161.
17. См. приборъ № 199, IX—по каталогу *Ott*'а и № 3 таблицы, приведенной въ гл. VII, стр. 169.
18. Это же условіе можно выразить (фиг. 2, Табл. XXV) и такъ [28, 912]:

$$Q = \Sigma \left\{ \left(\frac{f}{\text{Cosa}} \right) \cdot (v \cdot \text{Cosa}) \right\} = \Sigma (f \cdot v)$$
19. См. гл. IV, §§ 11—14; и [109].
20. Эти данныя (чертежи—планъ и профили р. Десны), не напечатанныя еще, были присланы *Н. С. Лелявскимъ* въ бібліотеку И. М. И. У.

ГЛАВА IX.

1. О возможныхъ погрѣшностяхъ при измѣреніи скоростей приборами см. Гл. VIII.
2. Имѣется также вертушка для измѣренія скоростей близъ дна и береговъ (въ разстояніи отъ нихъ до 3с./м.), см. выше гл. III, § 28, стр. 70.
3. См. выше гл. IV, § 6—10, стр. 87—94.
4. См. § 15, стр. 239—240 этой же главы—о выборѣ приспособленія для опусканія и подъема вертушекъ — штанга, цѣпь (канатъ) съ грузомъ на днѣ или подвѣшенный проволочный канатъ.

5. О нѣкоторыхъ выводахъ изъ работъ инж. *Лелюскаго* по опредѣленію скоростей и расходовъ см. гл. IV, § 13—14, стр. 98—102.
6. См. гл. VIII, § 21, стр. 208.
7. См. [28] и гл. VIII, § 23, стр. 209—210 сей работы.
8. Какъ объ этомъ справедливо говорилъ Предсѣдатель Съезда Гидротехниковъ въ 1898 г. Н. П. Петровъ [115, 140—141].
9. При перепискѣ затѣмъ съ проф. *Schmidt'омъ*, завѣдующимъ въ настоящее время Мюнхенской гидротехнической станціей, наше заключеніе о числѣ (3) лопастей встрѣтило подтвержденіе.
10. Хотя повѣрочныя наблюденія со старыми вертушками [29] показали, что въ этихъ случаяхъ показанія трубки не точны.
11. См. *Д. Д. Гнусинъ* [94, 398].
12. Сравненіе показаній поплавковъ съ таковыми же другихъ приборовъ см. ниже помѣщенную таблицу въ этой же главѣ, стр. 237.
13. См. гл. V, § 1—2, стр. 103—105.
14. Эту же мысль находимъ и у *Graëff'a* [31, t. II, § 204], хотя нѣкоторые инженеры другого мнѣнія; такъ, напр., *Boileau* [9, 267] относится вообще къ поплавкамъ очень критически. рекомендуетъ употреблять ихъ для измѣренія скорости только на поверхности, а шести вслѣдствіе разнообразныхъ возвышеній дна, а значить— и неточности, совсѣмъ не употреблять.
15. Подробнѣе объ этомъ см. [26, 155—208], а также [40, 309; 32, 135; 13, 239].
16. Для трехъ, вполне опредѣленныхъ, обыкновенно встрѣчающихся въ практикѣ случаевъ найдено: $\frac{l}{H} = 0,945; 0,927; 0,950$, въ среднемъ 0,94, и соотвѣтственно этому: $\frac{h}{H} = 0,61; 0,56; 0,61$,—въ среднемъ 0,593.
17. Случаи эти выбраны изъ ряда таблицъ, составленныхъ *Cunningham'омъ* см. [13, pl. XII—XXV; 24—51].
18. Какъ указываетъ *Boileau* [9, 282—283] на основаніи таблицъ *Baumgarten'a* [4, 30].
19. Замѣчанія *Жарничева* къ докладу *Максимовича* [115, 145—146].
20. См. объ этомъ также статью *Д. Д. Гнусина* [94, 419—420].
21. О предѣлахъ скоростей см. Гл. VIII.—объ ошибкахъ и погрѣшностяхъ въ показаніяхъ приборовъ.
22. См. гл. III, § 23, стр. 59; гл. V, § 19, стр. 125—127.
23. О примѣненіи стоячей штанги см. гл. V, § 19, стр. 125—127; гл. III, §§ 27 и 28, стр. 65, 68.
24. Какъ это дѣлалъ инж. *Ritter* [2; 12, 109—116].
25. См. дальше слѣдующій §
26. Работы проф. *Проскурякова*.
27. См. гл. II, § 25, 26, стр. 35, 36, а также [71, 75—85; 100, 202—210].

ГЛАВА X.

1. См. гл. I, § 5, стр. 13.
2. Примѣры записей въ таблицу данныхъ всѣхъ наблюдений и подсчетовъ приведенъ въ „Приложеніи II“, см. въ концѣ работы стр. 275—283.
3. См. также [31, t. II., 276—277].
4. Меньшій предѣлъ найденъ также для вертикали близъ середины потока проф. *Еневичемъ* [96, 175]; по *Boileau* и *Еневичу* эта величина = 0, 616 *h*. Также см. [32; 33].
5. Соответственно найденные *Cunningham'омъ* [13, 215] предѣлы: (0 — 0, 211) *h*, или 0, 105 *h* въ среднемъ; (0, 667 — 0, 789) *h*, или 0, 728 *h* въ среднемъ:
6. Инженеръ *Гнусинъ* точно такимъ же образомъ вывелъ три выраженія величины средней скорости вертикали [94, 162—167].
7. Какъ принимаетъ и *Д. Д. Гнусинъ* [94, 162], говоря: „средняя скорость всякаго вертикала въ любой точкѣ профиля живого сѣченія находится на 0,6 глубины, считая отъ поверхности воды“.
8. Профиль р. Эльбы у *Tetschen'a* по даннымъ проф. *Harlacher'a* [37].
9. Принимая среднюю скорость вертикали равной 0,88 скорости у поверхности той же вертикали.
10. Если принимать среднюю скорость вертикали = 0,88—0,89 скорости на поверхности той же вертикали.
11. Если принять для поплавковъ, что средняя скорость вертикали = 0,93 скорости на поверхности той же вертикали.
12. Такіе результаты получились, по нашему мнѣнію, лишь потому, что шесты примѣнялись въ условіяхъ, имъ несоотвѣтствующихъ. См. выше § 13, гл. IX.
13. См. „Приложеніе I“, стр. 264—274.

ПРИЛОЖЕНІЕ I.

1. Эти формулы заимствованы нами изъ „Руководства къ практикѣ практическихъ измѣреній *Кольрауша* [104].

ПРИЛОЖЕНІЕ II.

.....

Л И Т Е Р А Т У Р А.

1. *Amsler-Laffon*. Der hydrometrische Flügel mit Zählwerk und electrischer Zeichengebung. Schaffhausen. 1877.
2. *Ritter*. Sur quelques changements dans la disposition et les procédés de tarage des instruments de jaugeage et dans le mode de calcul des débits. Annales des ponts et chaussées, 1885, Juin, p. 1058—1182.
3. *Ritter*. Méthode et procédé de jaugeage rapide et approximatif des crues. Annales d. p. et ch. 1886, T. XII, p. 697—706.
4. *Baumgarten*. Notice sur le moulinet de Woltmann, destiné à mesurer les vitesses de l'eau, sur son perfectionnement et sur les expériences faites avec cet instrument. Le Mémoire inséré dans les Annales des Ponts et Chaussées, année 1847, T. XIV, p. 326—374.
5. *Bazin*. Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts (Mémoires présentés par divers savants à l'Académie des Sciences de l'Institut Impérial de France. T. XIX). Paris. 1865.
6. *Bazin*. Note sur le tube de Darcy. Étude comparative des formules nouvellement proposées pour calculer le débit des canaux découverts. Annales des P. et Ch. 1871, T. I, p. 9—43; Graëff, T. II, p. 213.
7. *Berthot*. Traité des Routes, Rivières et Canaux (Encyclopedie théorique et pratique des Connaissances civiles et militaires. Neuvième partie civile), Tome II—Rivières.
8. „Die Bestimmung von Normal-Profilen für die Elbe“..... bearbeitet von der Königlichen Elbstrom-Bauverwaltung zu Magdeburg. Magdeburg. 1885.
9. *Boileau*. Traité de la mesure des eaux courants. Paris. 1854.
10. *Bornemann*. Hydrometrie oder praktische Anleitung zum Wassermessen, s. 76—123. Freiberg. 1849.

11. *Krueger*. Ueber den Woltmannschen Flügel. Centralblatt der Bauverwaltung 1893. № 30, s. 312—315.
12. *Chàix*. Traité des Ponts. (Encyclopedie théorique et pratique des Connaissances civiles et militaires. Huitième partie civile) Tome I.
13. *Cunningham*. Roorkee Hydraulic Experiments. vol. I, II, III. Roorkee 1880, 1881.
14. *Compte-rendu de travaux du congrés international de navigation interieure*. La Haye. 1894.
15. *Darcy*. Les fontaines publiques de la ville de Dijon, 1856.
- 15'. *Darcy*. Note relative à quelques modifications à introduire dans le tube de Pitot. Annales des P. et Ch. 1858, serie 3, tome XV. p. 351—359.
16. *Dariès*. Calcul des canaux et aqueducs. Paris. 1899.
17. *Debauve*. Canaux et Rivières. Paris. 1875.
18. *R—r*. Schiffsgeschwindigkeitmesser nach Art der Pitot'schen Röhre. Dinglers Polytechnisches Journal 1897. Bd. 303, H. 3, s 67—68.
19. *Eisenlohr*. Wochenblatt. f. Bauk. 1887.
20. *Eleventh-Annual Report of the United-States geological Survey*. Washington, 1891.
21. *Falter und Sohn*. (Фирма въ Мюнхенъ.) Frank's hydrometrische Röhre.
22. *Fanning*. Hydraulic Engineering and Manual for Water-Supply Engineers. New-York. 1893.
23. *Flamant*. Compte rendu des expériences hydrauliques faites a Roorkee (Inde Anglaise) par le Capitaine Allan Cunningham. Annales des P. et Ch. 1882, T. IV. 2 semestre, p. 43—96.
24. *Flamant*. Hydraulique. Paris 1891.
25. *Fournié*. Sur les jaugeages du Mississipi.
26. *Francis*. Lowell Hydraulic Experiments. New-York 1883.
27. *Frank's hydrometrische Röhre*. Deutsche Bauzeitung 1888, s. 609; Zeitschr. d. Ver. deutsch. Ing. 1889, s. 871.
28. *Frese*. Versuche über die Genauigkeit von Wassergeschwindigkeitmessungen mittels Woltmann'scher Flügel bei Schräg gegen die Flügelachse gerichteter Strömung (Z. d. Ver. deutsch. Ing. 1886 Bd. XXX, s. 911—914).
29. *Friedrich*. Kulturtechnischer Wasserbau. Berlin. 1897.
30. *Horn (Gelderen)*. Ueber die Genauigkeit von Peilungen im Fluthgebiet. (Centralbl. der Bauverw. 1888, s. 302—304).
31. *Graëff*. Traité d'Hydraulique. T. I, II, III. Paris. 1883.
32. *Grebenau*. Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Canälen. München. 1867.
33. *Grebenau*. Die internationale Rhein-Strom-Messung bei Bazel. München. 1873.

34. *Hajòs*. Nouveau procédé de jaugeage et son outillage (Annales d. P. et Ch. 1898. 3 tr. p. 307—329).
35. *Handbuch* der Ingenieur-Wissenschaften. Bd. III—Wasserbau. I Abth. I Hälfte. Leipzig. 1892.
36. *Harlacher*. Beiträge zur Hydrographie des Königreiches Böhmen. 1 Lieferung... Prag. 1872.
37. *Harlacher*. Beiträge zur Hydrographie des Königreiches Böhmen. 2 Lieferung... Prag. 1873.
38. *Harlacher*. Beiträge zur Hydrographie des Königreiches Böhmen. 3. Lieferung... Prag. 1875.
39. *Harlacher*. Die Messungen in der Elbe und Donau und die hydro-metrischen Apparate und Methoden des Verfassers. Leipzig. 1881.
40. *Humphreys and Abbot*.—Mississippi Report.
41. *Kirschstein*. Selbstthätige-Peil-Apparate. Deutsche Bauzeitung, 1875, s. 84—86.
42. *Kvassay*. Note sur le moulinet de Woltmann (Annales 1877. T. XIII. 1 sem. p. 236—242).
43. *Lagrené*. Note sur la mesure des vitesses et des débits dans un cours d'eau rapide et profond. Annales des P. et Ch. 1883. T. V. 1-er semestre, p. 219—246.
44. *Lahmeyer*. Erfahrungsresultate über die Bewegung des Wassers in Flußbetten und Kanälen. Braunschweig. 1845, s. 53.
45. *Meissner*. Die Hydraulik. Jena, 1878; 1895, s. 470—489.
46. *Morin*. Hydraulique. 1865.
47. *Olive*. Traité d'Hydraulique (Encyclopedie theorique et pratique des Connaissances civiles et militaires. Douzième partie civile).
48. *Ott* in Kempton. Preis-Verzeichniss und spezial-Preisliste 1895, 1899, 1900.
49. *Parrochetti*. Manuale pratico di Idrometria. Milano 1876.
50. *Pech*. Jaugeages en Hongrie (Annales des P. et Ch. 1898 3 tr. p. 287—307).
51. *Peilapparat* Vourez. Allgemeine Bauzeitung. 1860. s. 105—107.
52. *Plenkner*. Ueber die Bewegung des Wassers in natürlichen Wasserläufen. Leipzig. 1879.
53. *Le cordage* hydrometrique Williams. La Revue Technique 1898, 10 Octobre, p. 455—456.
54. *Rheinhard und Scheck*. Kalender für Strassen-Wasserbau und Cultur Ingenieure. Wiesbaden 1899.
55. *Ritter*. Méthode des mélanges. Anwendung des Thermometers zur Bestimmung der Wassermengen kleiner Wasserläufe. Centralbl. der Bauverw. 1884, s. 402. Wochenblatt f. Arch. u. Ing. 1884. s. 403—405; Annales des P. et Ch. 1884, T. I; 1892, T. III; Schrader... s. 20.

56. *Ritter*. Tube jaugeur. Annales des P. et Ch. 1885. Juin, p. 1058—1074. Chaix... p. 121—127.
57. *Ritter*. Hydro-tachymètre flotteur (Tachymètre de surface) Annales des P. et Ch. 1886, T. XII. p. 697—724; Chaix... p. 127—132; Deutsche Bauzeitung, 1887, s. 249—251; H. d. I. W. I. Abth. 1 H. s. 146—147.
58. *Rühlmann*. Hydromechanik. Zwite Aflage. I Th.—1879; II Th.—1880. Hannover. s. 361—388.
59. *Rühlmann*. Allgemeine Maschinenlehre. I. Bd. Braunschweig 1875; zweite Auflage. Berlin, s. 129—141.
60. *Sibr*. Selbstthätige Peil-Apparate. Deutsche Bauzeitung 1875. s. 86.
61. *Schlichting*. Binnengewässer. Hydrometrische Ermittlungen (H. d. I. W. III Bd. I Abth. 1. H.).
62. *Schmid'schen* Peil-Apparate. Zeitschrift für Baukunde 1880, s. 211—220.
63. *Schmidt*. Die Gleichung des Woltmann'schen Flügels in neuer Form und die Ermittlung ihrer Koëffizienten auf graphisch-analytischem Wege (Z. d. Ver. d. Ing. 1895 Bd. XXXIX).
64. *Schrader*. Fluss-und Strombau. Weimar. 1887.
65. *Gieseler*. Verbesserung der Pitot'schen Röhre. Zeitschr. d. Ver. deutsch Ing. 1885, s. 700. Schweiz. Bauz. 1885, s. 66. № 11.
66. *Stecher*. Neuerung an selbstthätigen Peil-vorrichtungen. (Centralbl. d. Bauverw. 1891, s. 228.
67. *Strukel*. Der Wasserbau I Theil. Helsingfors, Leipzig 1897.
68. *T--t*. Thalweg-Peilung mittels einer selbstzeichnenden Peil-Vorrichtung (Patent Stecher). Centralbl. d. Bauverw. 1885 s. 349—351; Zeitschrift für Baukunde 1881; Zeitschrift. des Hann. Arch. u. Ingen. Verein. 1882.
69. *Tiefenbacher*. Die Ermittlung der Durchfluss-Profile Wien. 1888.
70. *Tolkmitt*. Grundlagen der Wasserbaukunst. Berlin. 1898.
71. *Unger*. Die Regulirung des Rheinstroms zwischen Bingen und. St. Goar. Zeitchrift für Bauwesen, 1897.
72. *Wagner*. Hydrologische Untersuchungen an der Weser, Elbe, dem Rhein und mehreren kleineren Flüssen. Braunschweig. 1881.
73. *Weber* von Ebenhof. Der Gebirgs-Wasserbau. Wien. 1892.
74. *Weisbach*. Lehrbuch der Ingenieur und Maschinen-Mechanik. I Theil. Leipzig. 1870.
75. *Wilson*. Manual of Irrigation Engineering. New-York. 1893.
76. *Hans Arnold*. Die Regulirung der Donau-Katarakte zwischen Stenka und dem Eisernen Thor. Zeitschr. d. Ver. d. Ing. 1895, Bd. XXXIX, s.s. 93—97; 159—165; 221—226; 273—280; 333—341.

77. *Бастамовъ*. Повѣрка показаній приборовъ и опредѣленіе коэффициентовъ Ж. М. П. С. 1884, Т. IV, кн. 10 стр. 122—126.
78. *Бастамовъ*. Опредѣленіе коэффициентовъ приборовъ и рациональность гидрографа Котляревскаго. Ж. М. П. С. 1884 г., т. IV, кн. 12. стр. 422—433.
79. *Бикъ*. Курсъ низшей геодезіи ч. I. Москва. 1894.
80. *Бикъ*. Курсъ низшей геодезіи ч. III. Москва. 1895.
81. *Бирилевъ*. Производство промѣровъ р. Волги. Работы навигаціонно-описной партіи лѣтомъ 1875 (Инженерныя записки 1876 г., т. III, Вып. 2, стр. 473—487).
82. *Бобылевъ*. Теоретическая механика СПБ.
83. *Боуславскій*. Опредѣленіе скоростей теченія р. Двѣпра (Ж. М. П. С. 1878 г. Т. I, кн. 2, стр. 49—55).
84. *Боуславскій*. Волга, какъ путь сообщенія СПБ. 1887.
85. *Боуславскій*. Объ опредѣленіи расхода воды въ р. Невѣ и Морскомъ каналѣ. Сборникъ Института Инженеровъ П. С. Вып. VIII. СПБ. 1887. стр. 1—20.
86. *Боуславскій*. Курсъ Геодезіи СПБ. 1897.
87. *Веселовскій*. Элементарная теорія ошибокъ наблюденій. Москва. 1897.
88. *Вильямеа* гидрометрической шнуръ для измѣренія скорости теченія. Ж. М. П. С. 1899 г. кн. 4—6, стр. 168—171 переводъ изъ журнала La Revue Technique. 1898 г.
89. *Водомѣръ* инженера Котляревскаго. Ж. М. П. С. 1887 г. кн. 35, стр. 211—216.
90. *Воиновъ*. О необходимости изображенія на планахъ рѣкъ направленія и скорости теченія. Ж. М. П. С. 1899 г. кн. 1—3, стр. 172—177.
91. *Гейзингеръ-фонъ-Валдеккъ*, Франціузъ и Зонне. Водяныя сооруженія. Ч. III. гл. V. Изслѣдованіе внутреннихъ водъ (переводъ съ нѣмецкаго) СПБ. 1882.
92. *Гидравлическія изслѣдованія* Гангскаго канала, произведенныя Купнингэмомъ. Ж. М. П. С. 1883, т. IV, кн. 22, стр. 353—382. Переводъ статьи Flamant'a Annales des P. et. Ch. 1882).
93. *Гидрометрическая станція* въ Мюнхенѣ. Ж. М. П. С. 1894, кн. 2, стр. 357—360. Краткая выдержка изъ описанія Z. d. V. d. I. 1895 г. проф. Schmidt'a.
94. 95. *Гнусинъ*. О способахъ опредѣленія скоростей и расходовъ воды въ рѣкахъ СПБ. 1880, 1881: **94**—Ж. М. П. С. 1880 г. Т. I, кн. 2; Т. II, кн. 1; Т. III, кн. 1 и 2; **95**—1881 г. Т. II, кн. 1.
96. *Евневичъ*. Курсъ Гидравлики СПБ. 1891.
97. *Жаритцевъ*. Способъ тарирования вертушекъ. См. Пренія по докладу Максимовича V съѣзду гидротехниковъ 1898 г., труды—съѣзда стр. 145—146.

98. *Жуковский*. Лекціи теоретической механики. Москва.
99. *Зброжекъ*. Курсъ внутреннихъ водяныхъ сообщеній СПб. 1897.
100. *Измѣреніе* скоростей течения на Рейнѣ. Ж. М. П. С. 1897 г. кн. 4—6, стр. 175—178. Переводъ части статьи изъ Z. f. V. 1897, s. 85.
101. *Измѣритель* скорости у поверхности Риттера; хроника Ж. М. П. С. 1888 № 1, стр. 20—24.
102. *Карачевскій—Волжъ*. Опредѣленіе отверстій искусственныхъ сооружений. Москва. 1899.
103. *Коломійцовъ*. Результаты наблюденій гидрометрическихъ станцій. Рѣка Волга. Самарская гидрометрическая станція. Москва 1899 г.
104. *Колрауизъ*. (Въ переводѣ Дрентельна). Руководство къ практикѣ физическихъ измѣреній. СПб. 1891 г.
105. Краткое содержаніе работъ проф. Гарлахера. Ж. М. П. С. 1883 г. Т. II, кн. 9, стр. 154—157. Переводъ ст. Lagrenè. Annales des P. et Ch. 1883.
106. *Котляревскій*. Гидрографъ. СПб. 1884. Такая отдѣльная брошюра приложена къ Изв. собр. инж. П. С. 1884 г. № 1 и 2 стр. 35—36; также Ж. М. П. С. 1884 г., Т. I, кн. 2, стр. 319—330.
107. *Котляревскій*. Гидроиндикаторъ. Ж. М. П. С. 1885 г. Т. II, кн. 6, стр. 361—365.
108. *Леяевскій*. О рѣчныхъ теченіяхъ и формированіи рѣчного русла СПб. 1893. Помѣщено также въ „трудахъ перваго съѣзда гидротехниковъ. СПб. 1894 г. Т. I“.
109. *Леяевскій*. Наблюденія надъ расположеніемъ рѣчныхъ струй помощью подводнаго флюгера на р. Днѣпрѣ у Екатеринослава въ 1893 г. СПб. 1894. Помѣщено также въ „трудахъ 2-го съѣзда гидротехниковъ СПб. 1895, Т. II“.
110. *Леяевскій*. Описаніе прибора измѣрителя рѣчныхъ струй СПб. 1895. Помѣщено также въ „трудахъ 2-го съѣзда гидротехниковъ СПб. 1895 г. Т. II“.
111. *Леяевскій*. Результаты работъ на р. Деснѣ.
112. *Лохтинъ*. Рѣка Чусовая. „Инженерныя записки“ 1878 г. Т. IV, вып. II.
113. *Максименко*. Курсъ гидравлики. Вып. I—V. СПб. 1889.
Ею-же. Лекціи (литографированныя) гидравлики. Москва. 1897.
114. *Максимовичъ*. Выправительныя работы на р. Днѣпрѣ у Кіева. Кіевъ. 1895.
115. *Максимовичъ* Докладъ V-му съѣзду гидротехниковъ о работахъ на р. Днѣпрѣ у Кіева. СПб. 1898.
116. *Максимовъ*. (Переводъ). О гидрометрическихъ работахъ въ Венгріи. (Изв. Собр. инж. П. С. 1899 г. № 6 и № 7).

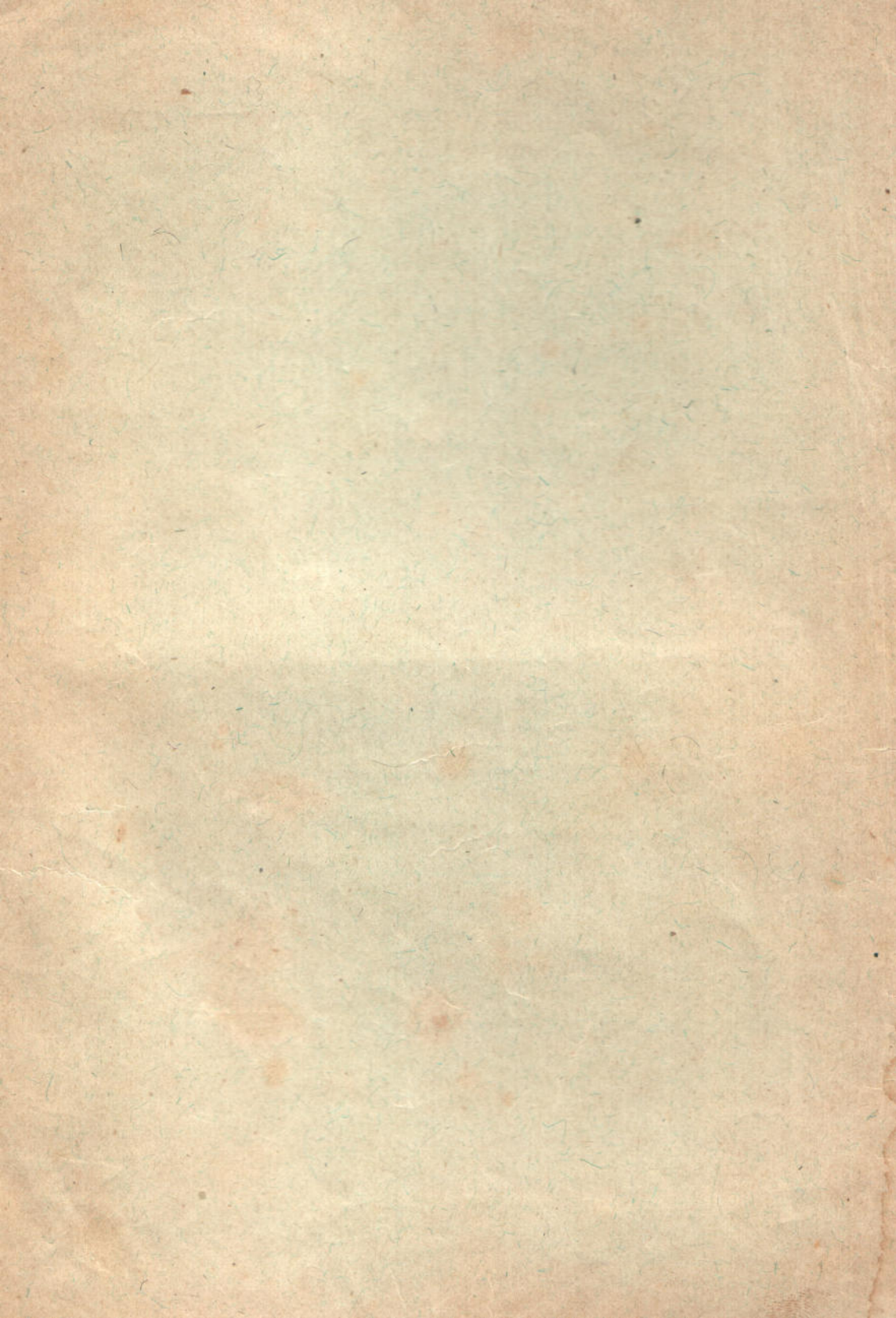
117. *Моссаковский*. Электрическая вертушка для опредѣленія скоростей. Ж. М. П. С. 1883 г. Т. I, кн. 4, стр. 72—80.
118. *Налель*. Приборъ Штехера (Изв. Собр. инж. П. С. 1888 г. № 1).
119. *Некрасовъ*. Теорія вѣроятностей. Москва. 1896 г.
120. *Николаи*. Обь опредѣленіи отверстій искусственныхъ сооружений, СПБ.
121. *Новый приборъ* для измѣренія скорости хода судна. Ж. М. П. С. 1897 г. кн. 2, стр. 153—156; переводъ ст. Dingers Polytechnisches Journal 1897. Н. III. s. 67.
122. *Нюбергъ*. Курсъ портовыхъ сооружений. СПб. 1890 г.
123. *Отзывъ* технического совѣта собранія инженеровъ путей сообщенія о гидрографѣ инженера Котляревскаго. Изв. Собр. инж. Пут. Сообщ. 1884 г. № 1 и 2 стр. 35—36. При этомъ же номерѣ приложенъ отдѣльный листокъ съ отвѣтами инженера Котляревскаго на отзывъ технического совѣта.
124. *Примѣненіе керосина* въ трубкѣ Дарси. Ж. М. П. С. 1885 г. Т. IV, кн. 10, стр. 171. Переводъ ст. Schweiz. Bauz. 1885.
125. *Примѣненіе термометра* къ опредѣленію расхода воды. Ж. М. П. С. 1885 г. Т. I, кн. 3. Стр. 490—491.
126. *Приспособленія* къ промѣрному аппарату Штехера для большихъ глубинъ. Ж. М. П. С. 1891 г. Июль—августъ, стр. 234 — 237; переводъ статьи Stecher'a изъ Centralbl. der Bauverw. 1891, s. 228.
127. *Производство* промѣровъ на Рейнѣ. Ж. М. П. С. 1897 г., кн. 1—3, стр. 153 — 156; переводъ части статьи изъ Z. f. B. 1897, s. 75.
128. *Реевскій*. О регулированіи рѣки Черной Пржемши. Ж. М. П. С. 1879, сентябрь.
129. *Смидтъ*. Изслѣдованіе внутреннихъ водъ (см. Гейнзингеръ-фонъ-Вальдеккъ). СПб. 1882.
130. *Соловьевъ*. Курсъ низшей геодезіи (литографирован.) Москва. 1898.
131. *Соломко*. Судьба русскихъ открытій. (Записки Московск. Отд. Технич. Общества вып. 9—10, стр. 80—91, 1899, Москва 1900).
132. *Танненбаумъ*. Результаты гидрометрическихъ изслѣдованій на рѣкахъ Голландіи. Ж. М. П. С. 1887, кн. 1, стр. 5—23.
133. *Тиме*. Изслѣдованіе гидравлической силы р. Ижоры. СПб. 1883.
134. *Тиме*. Курсъ гидравлики Т. I. СПб. 1894.
135. *Чариомскій*. Промѣры глубинъ и измѣреніе скоростей въ Невѣ на мѣстѣ расположенія предполагаемаго охтенскаго моста въ Петербургѣ. Ж. М. П. С. 1900 г., кн. 9, стр. 55—74.
136. *Юстусъ*. Новые гидрометрическіе приборы. Ж. М. П. С. 1881 г. Т. IV, кн. 2 и 3, стр. 284—292.

137. *Юстусъ*. Определеіе расхода воды въ рр. Сѣверной Двинѣ и Вагѣ (Ж. М. П. С. 1888 г. кн. 5 и 10 стр. 29—43; 64—97).
138. *Мунтъ*. Автоматическій лотъ. Докладъ V-му съѣзду русскихъ дѣятелей по водянымъ путямъ. (Труды Съѣзда. СПб. 1898 г. Ч. I, стр. 99—103).
139. *Ritter*. Instruments nouveaux et procédés auxiliaires des jaugeages des eaux courantes. Annales des P. et Ch. 1892, 1-er semestre, t. III. p. 805—879.
140. *Perrodil*. Notice sur un instrument. Applicable au jaugeage des eau ou plus généralement à l'observation des lois de l'hydraulique. Annales des P. et Ch. 1877, T. XIII, p. 467—475.
141. *Frank*. Die hydrometrische Prüfungsanstalt der Kgl. Technischen Hochschule in München. Centralblatt der Bauverwaltung 1885, s. 193—196.
142. *Taylor*. The new government testing tank for Ship models at the Washington, Navy-Yard. Engineering News and American Railway Journal. July-December 1899, Vol. XLII, p. 2—4.
143. *Otto Koll*. Die Theorie der Beobachtungsfehler und die Methode der kleinsten Quadrate mit ihrer Anwendung auf die Geodäsie und die Wassermessungen. Berlin, 1901.
144. [65]. *Berndt*. Verbesserung der Pitot'schen Röhre. Zeitschr. d. Ver. d. Jng. 1885, s. 982.
- 145 [27]. *Müller-Canstatt*. Ueber ein neues Instrument zur Bestimmung der Wasser geschwindigkeit. Dinglers Polytechnisches Journal, 1897, Bd. 304, Heft. 1, s. 8—10.

О Г Л А В Л Е Н І Е.

	Страницы.
Предисловіе	1— 4
Введеніе. Условія, опредѣленія и элементы движенія воды въ открытых руслахъ. Приватныя обозначенія	5— 8
Глава I. Выборъ участка рѣки и профиля для измѣреній скорости. Измѣреніе элементовъ живого сѣченія. Рабочій и условный горизонты уровня воды. Вычерчиваніе и опредѣленіе площади живого сѣченія	9— 16
Глава II. Приборы, необходимыя для производства промѣровъ. Обыкновенно употребляемые способы производства промѣровъ. Промѣры съ помощью автоматическихъ и самопишущихъ приборовъ. Приборы и производство промѣровъ на очень большихъ рѣкахъ	17— 36
Глава III. Опредѣленіе скорости воды непосредственнымъ измѣрениемъ. Описаніе устройства измѣрительныхъ приборовъ:	
А. Поплавки и шесты	37— 41
В. Гидрометрическія трубки	41— 57
С. Вертушки	58— 74
D. Статическіе измѣрители скорости	74— 76
E. Данныя о стоимости вертушекъ	76— 78
Глава IV. Гидрометрическіе приборы русскихъ изобрѣтателей	79— 94
Результаты работъ инженера <i>Лелавскаго</i> надъ расположеніемъ рѣчныхъ струй	94—102
Глава V. Выборъ и нужное число вертикалей и точекъ на нихъ для измѣренія скоростей. Продолжительность наблюденій. Подготовительныя къ измѣренію скоростей работы	103—108
Производство наблюденій гидрометрическими приборами.	
А. Поплавки и шесты	108—113
В. Гидрометрическія трубки	113—118
С. Вертушки	118—128
Глава VI. Тарированіе гидрометрическихъ трубокъ и вертушекъ. Способы наблюденій и опредѣленій постоянныхъ коэффициентовъ приборовъ	129—149

	Страницы.
Сравненіе способовъ вычисленія коэффициентовъ вертушекъ..	149—152
Численныя значенія коэффициентовъ	153—156
Способы тарированія вертушекъ, отличающіеся отъ общеупотребительныхъ	156—158
Глава VII. Новѣйшая формула вертушки, заключающая въ себѣ всѣ доселѣ употреблявшіяся формулы—какъ частные случаи.....	159—170
Примѣненіе формулы проф. <i>Schmidt</i> 'а къ опредѣленію коэффициентовъ бывшихъ въ работѣ вертушекъ.....	170—176
Глава VIII. О погрѣшностяхъ въ опредѣленіи скоростей при непосредственномъ измѣреніи ихъ гидрометрическими приборами..	177—202
Непостоянство коэффициентовъ для разныхъ скоростей; колебательныя движенія прибора. Измѣненіе коэффициентовъ отъ времени и работы. Ошибки въ величинѣ измѣряемаго расхода воды.....	203—218
Глава IX. Выборъ и сравнительныя достоинства различныхъ наиболѣе употребляемыхъ въ практикѣ гидрометровъ и нѣкоторыхъ ихъ частей	219—242
Глава X. Способы опредѣленія расходовъ по извѣстнымъ скоростямъ, измѣреннымъ помощью какого-либо гидрометрическаго прибора.	243—263
Приложеніе I. Краткія необходимыя свѣдѣнія изъ теоріи вѣроятностей для подсчета ошибокъ при измѣреніяхъ приборами. Объ измѣреніяхъ вообще. Приближенное вычисленіе.....	264—274
Приложеніе II. Примѣры записей въ таблицы данвыхъ наблюденій и вычисленій, относящихся къ измѣренію скоростей и опредѣленію расходовъ воды въ открытыхъ руслахъ.....	275—283
Примѣчанія къ главамъ.....	285—294
Литература	295—302



Визитная карточка г. Европы

№ 147

См. в. в. в.

