

Скорость течения

ПЛАН ТЕМЫ:

- Распределение скоростей в водном потоке;
- Распределение скоростей по глубине потока;
- Распределение скоростей в живом сечении потока;
- Классификация методов измерения скоростей течения воды;

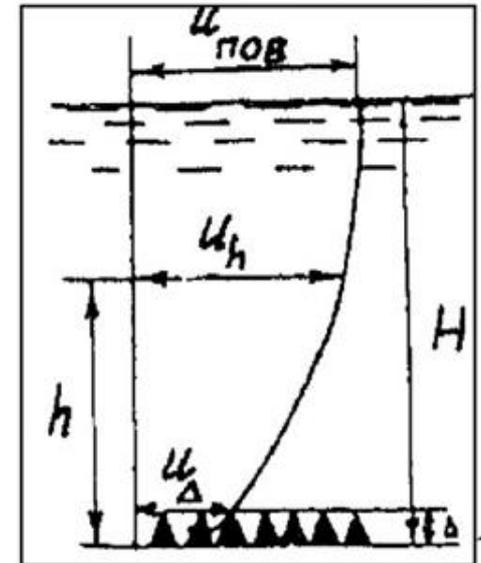
Лектор: доцент Д. Назаралиев

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ В ВОДНОМ ПОТОКЕ

Скорости течения воды изменяются как вдоль потока, так и по его ширине и глубине.

Они зависят от многих факторов:

- уклона дна,
- свободной поверхности воды,
- шероховатости русла,
- морфометрических характеристик водного сечения (R , $h_{\text{ср}}$, B),
- извилистости потока в плане,
- русловых образований (плесов, перекатов, гряд и т.п.)

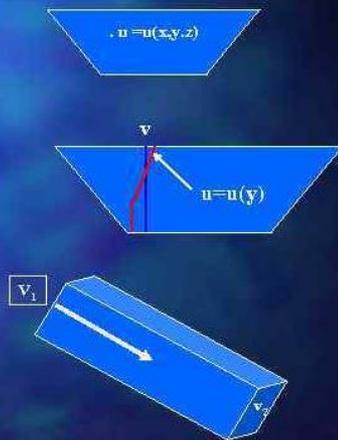


Изменение и различия скоростей

В одной и той же точке скорость течения непостоянна, она непрерывно колеблется – пульсирует, изменяясь по числовому значению и по направлению.

Скорость движения воды

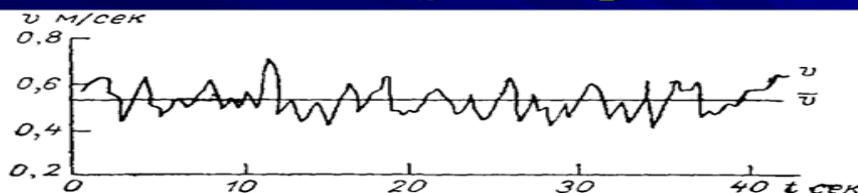
- в конкретной точке потока – местная скорость u , м/с
- средняя скорость по глубине водного потока v , м/с
- средняя скорость в поперечном сечении реки V , м/с



В связи с этим различают:

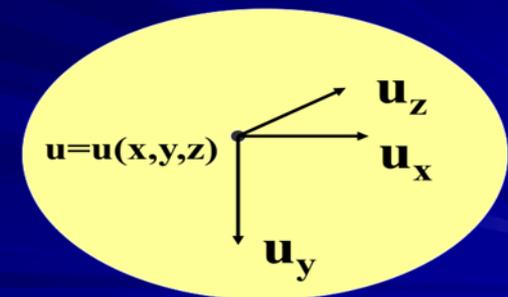
- мгновенную и;
- осредненную местные скорости.

Изменение продольной составляющей скорости



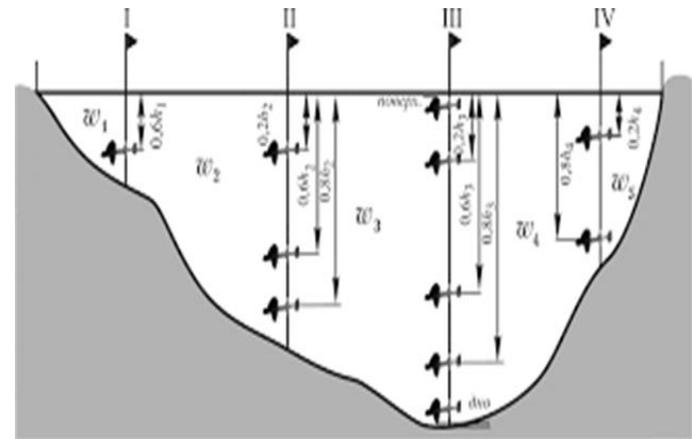
Для рек характерен турбулентный режим движения воды, и скорость течения в любой точке речного потока подвержена турбулентным пульсациям

Компоненты местной мгновенной скорости



Местные и мгновенные скорости

Мгновенной скоростью называют скорость в точке потока в данное мгновение, а **осредненной – скорость** в точке за достаточно продолжительный период времени.



Продолжительность периода осреднения зависит от степени турбулентности потока:

- чем больше турбулентность,
- тем больше период осреднения.

В гидрометрии в большинстве случаев имеют дело с осредненными скоростями течения. Допустимым периодом осреднения считается 100 секунд.

Если за это время скорость течения не стабилизировалась, продолжительность измерения увеличивают.

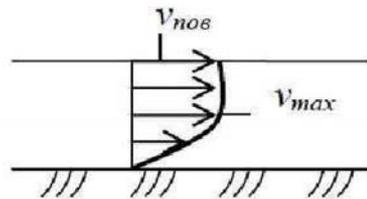


Распределение скоростей по глубине потока

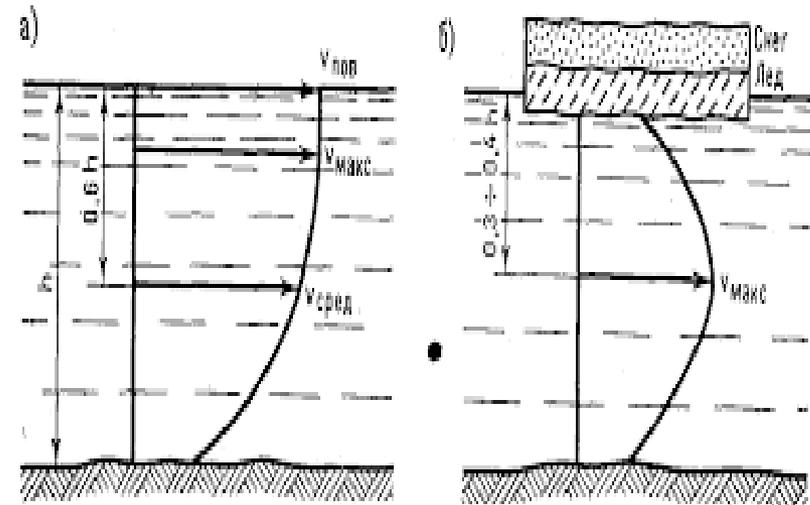
Распределение местных скоростей в вертикальной плоскости, перпендикулярной живому сечению потока, называется **эпюрой скоростей**.

ДВИЖЕНИЕ ВОДЫ В РЕКАХ Эпюры скоростей

- Речным потокам свойственно турбулентное движение. В этом случае оперируют с осредненными скоростями потока.



Эпюра скоростей в реке

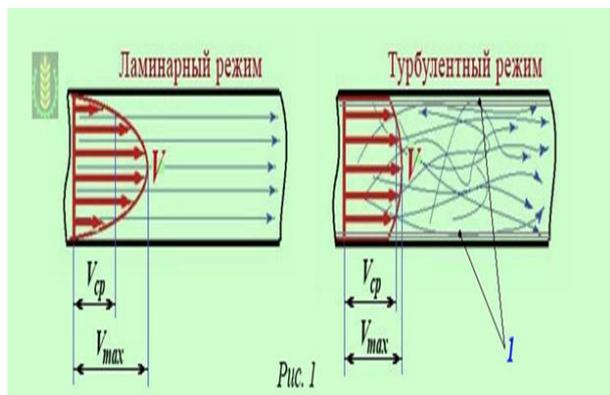


Эпюру скоростей строят в прямоугольных координатах, откладывая по вертикальной оси значения глубины h точек, в которых измерялись скорости,

а по горизонтальной – значения измеренных осредненных скоростей u . Концы горизонтальных отрезков соединяют плавной линией.

Вид эпюры скоростей зависит от:

- ❑ положения вертикали в потоке,
- ❑ состояния русла (его шероховатости, наличия водной растительности, русловых деформаций и т.п.),
- ❑ характера течения (напорное, безнапорное) и других факторов.



Распределения эпюры скоростей напорных и без напорных потоках

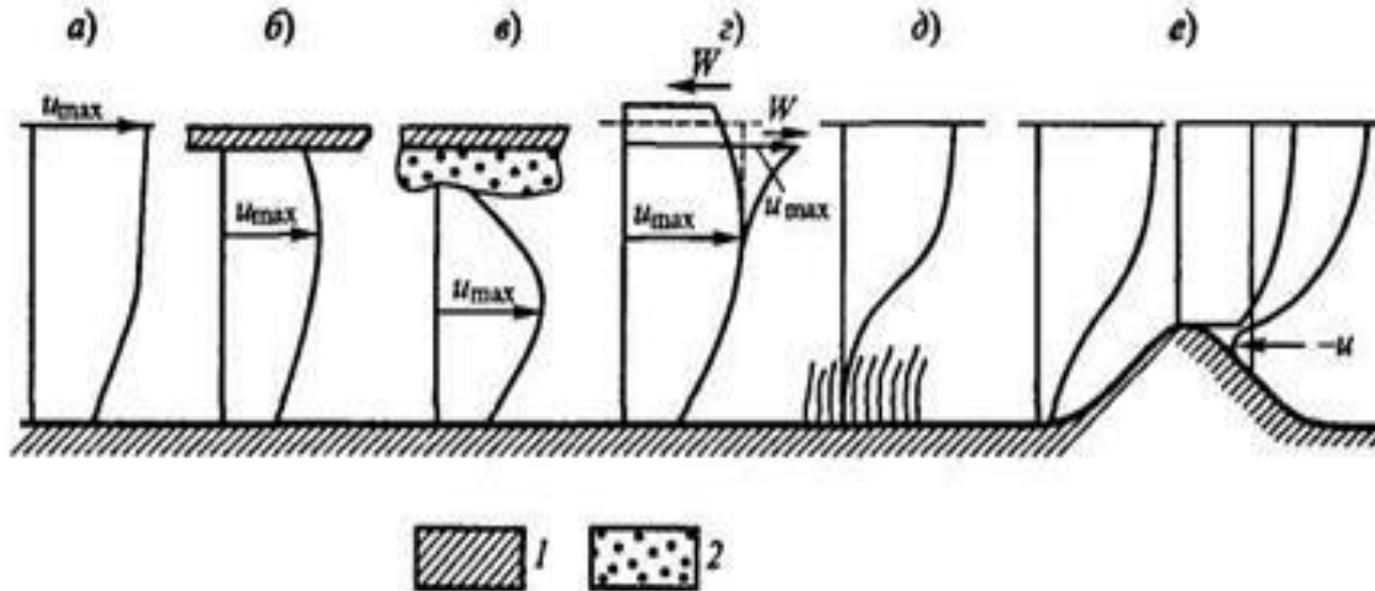
В безнапорных потоках со свободной поверхностью воды скорости плавно возрастают от дна, достигая наибольшего значения на поверхности. Наличие ледяного покрова приводит к смещению максимальной скорости на некоторую глубину от поверхности.



Рис. 5.1. Распределение местных осредненных скоростей течения по вертикали: а – в безнапорном потоке; б – при ледяном покрове; в – в напорном потоке.

В напорных потоках (трубах) максимальная скорость находится на оси потока.

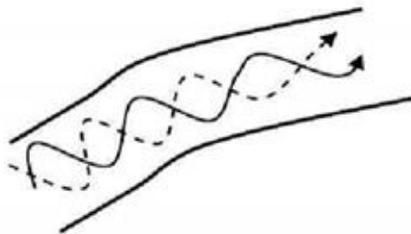
Вертикальное распределение скоростей течения в речном потоке



а – типичное; б – под ледяным покровом; в – под слоем внутриводного льда (шуги); г – при попутном и встречном ветре; д – при влиянии растительности; е – при влиянии неровностей дна; 1 – ледяной покров; 2 – слой шуги; W – направление ветра; u_{max} – максимальная скорость течения; $-u$ – обратное течение.

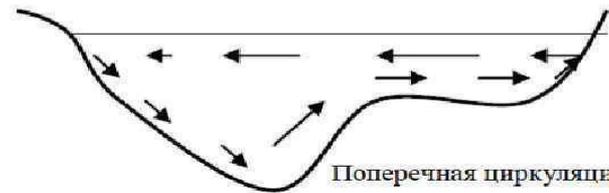
Направление струй в плане и поперечном своре

- Отдельные струи в речном потоке имеют не только различные скорости, но и различные направления.

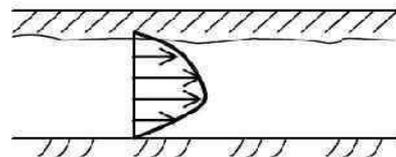


Направление струй воды в плане

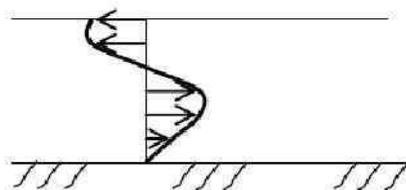
- На поворотах реки поверхностные слои потока, имеющие большие скорости и центробежные силы, направляются в сторону вогнутых берегов. Здесь они отражаются, опускаются вниз, в глубинные слои и направляются к выпуклому берегу, где снова поднимаются на поверхность.



Поперечная циркуляция

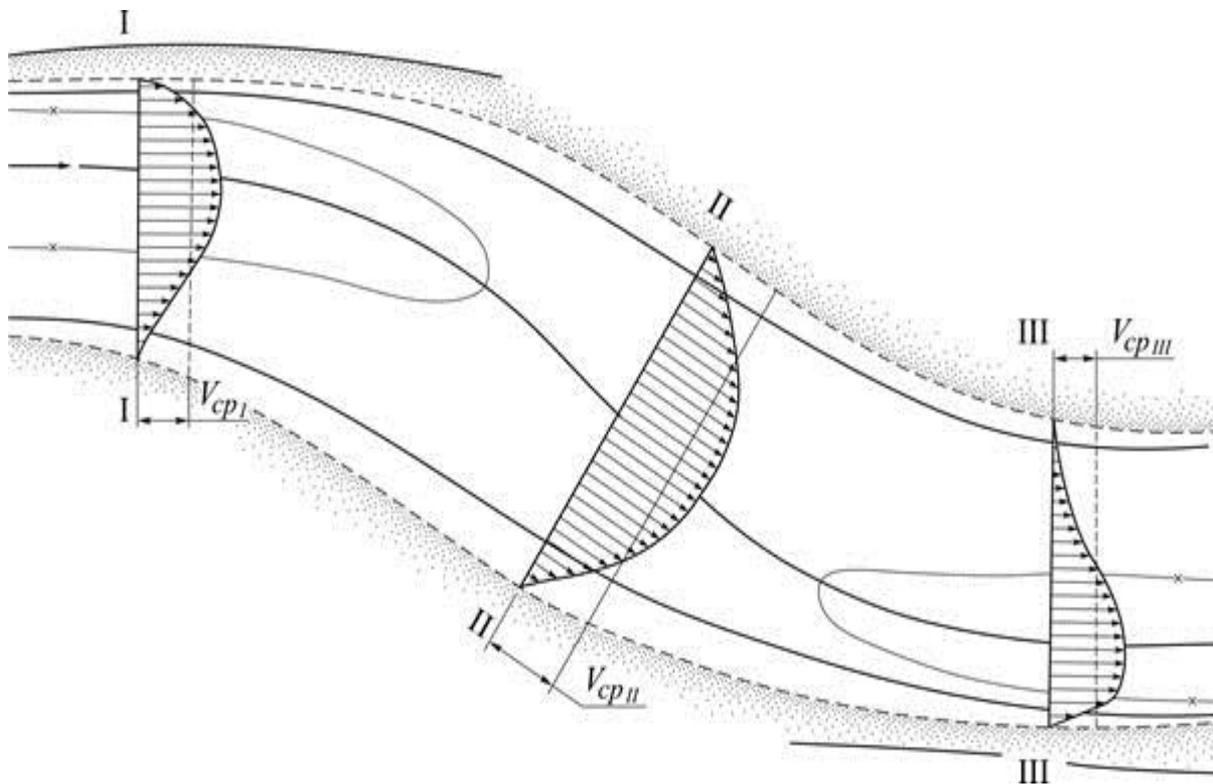


Эпюра скоростей при наличии ледяного покрова



Эпюра скоростей в устьевом участке реки с обратными течениями

Распределение средних скоростей течения на перекатном участке реки



Распределение скоростей в живом сечении потока

Скорости течения меняются и по ширине потока. Наиболее наглядную картину их распределения в живом сечении потока дают линии равных скоростей – **изотахи**, которые строят по данным измерения скоростей на вертикалях.



Для потока со свободной поверхностью воды изотахи имеют вид плавных кривых, а их значения, соответствующие им скорости, убывают к берегам и дну.

Под влиянием ледяного покрова происходит переформирование поля скоростей и смещение изотахи с максимальным значением скорости в глубь потока

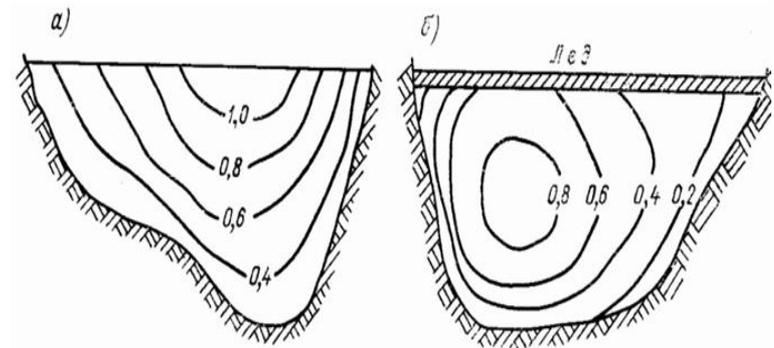
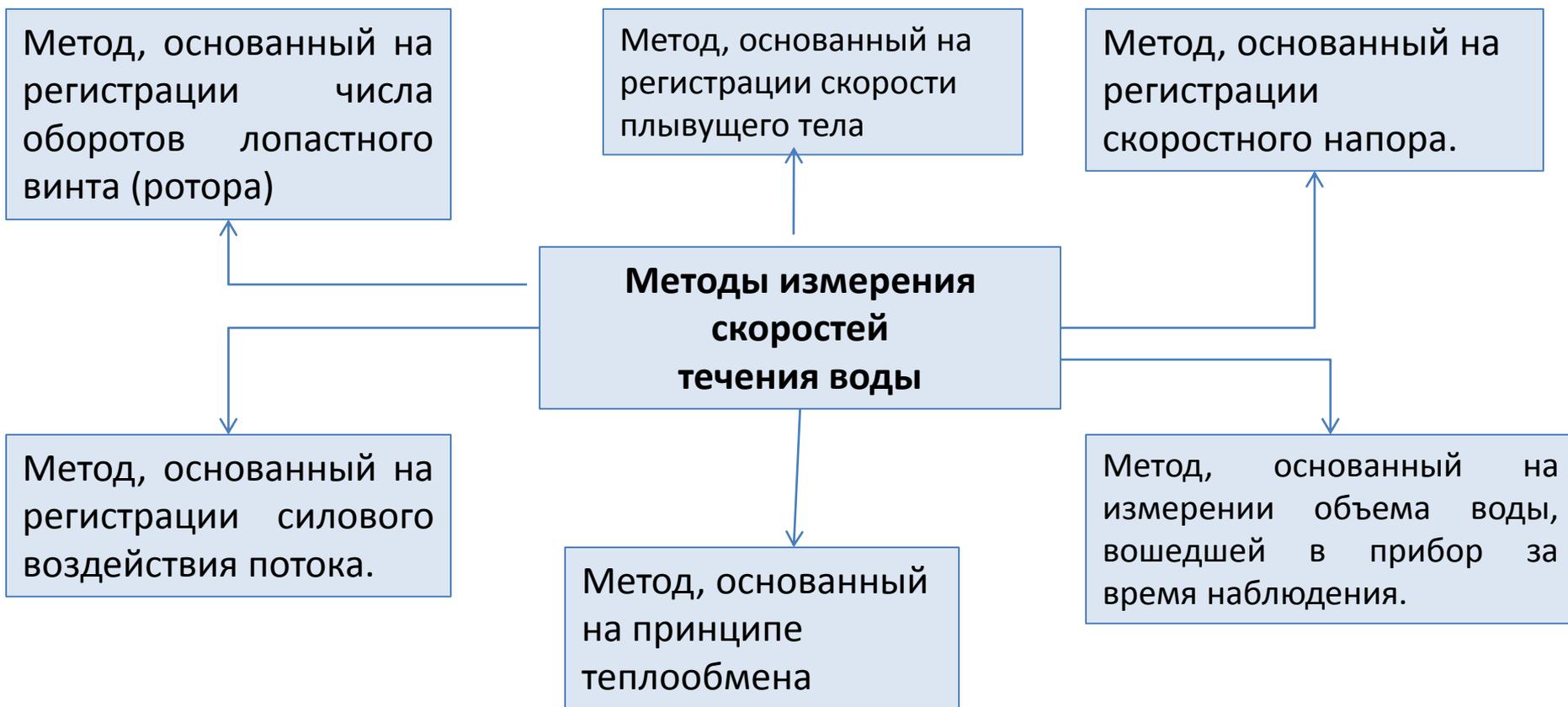


Рис. 5.2. Изотахи в открытом русле (а) и подо льдом (б).

Классификация методов измерения скоростей течения воды

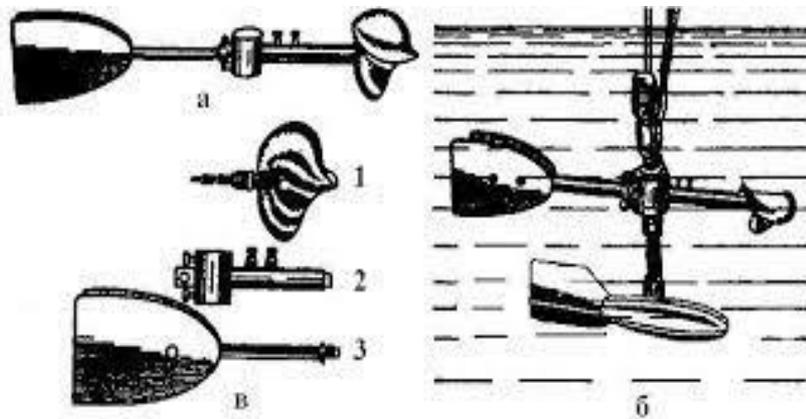
Существует большое количество методов для измерения скоростей течения воды и приборов, действие которых основано на различных физических принципах. В гидрометрии могут быть применены следующие.



Метод, основанный на регистрации числа оборотов лопастного винта (ротора)

Наиболее распространенные приборы для измерения скорости течения – гидрометрические вертушки.

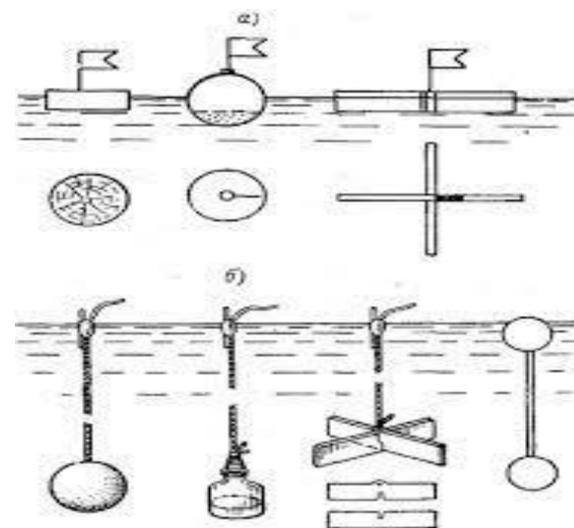
Ими обычно измеряется местная скорость течения в отдельных точках потока.



Реже применяют вертушки для интеграционного определения средней скорости на вертикали или, например, средней поверхностной скорости потока.

Метод, основанный на регистрации скорости плавущего тела.

Для измерения скорости используются различного рода поплавки, которые могут запускаться как на поверхность потока, так и на требуемую глубину.

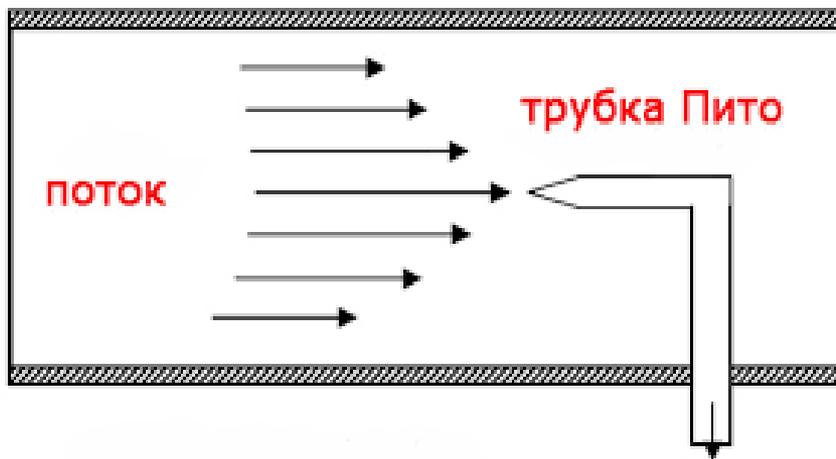


При поплавочных измерениях получаем значение скорости, осредненное для участка потока по траектории движения поплавка.

Метод, основанный на регистрации скоростного напора

Для измерения скоростей используются гидрометрические трубки различной конструкции, прообразом которых является трубка Пито (1732 г.).

Скорость определяется в зависимости от скоростного напора, для этого трубка вводится в поток отверстием навстречу течению.



к измерителю



Скоростной напор измеряется непосредственно по высоте подъема уровня в трубке. Гидрометрические трубки дают местную скорость в отдельных точках потока.

Метод, основанный на регистрации силового воздействия потока.

Для измерения скорости используют приборы, в которых имеется чувствительный элемент, воспринимающий силовое воздействие потока (тензометр).

Они позволяют исследовать пульсацию скоростей, делать непрерывную запись значений скоростей в отдельных точках потока.

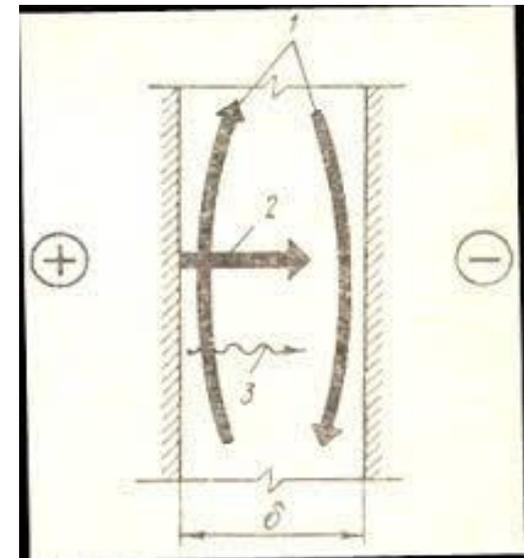
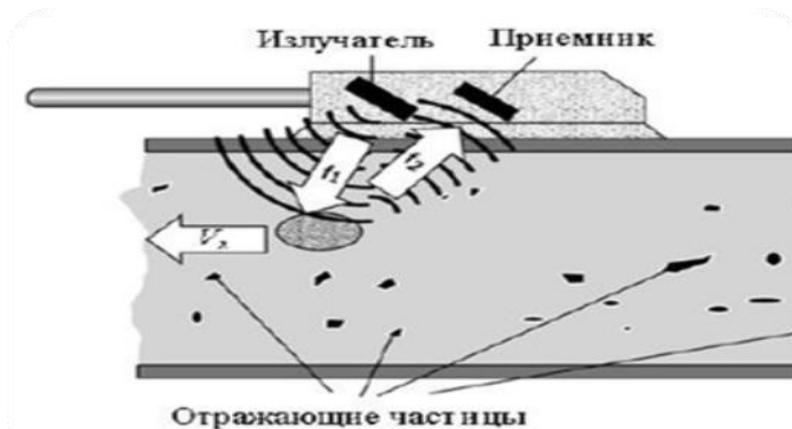


Метод, основанный на принципе теплообмена

Для измерения скорости используются приборы, имеющие в качестве рабочего органа нагретый элемент.

Скорость течения определяется в зависимости от быстроты охлаждения чувствительного элемента:

- ❑ чем больше скорость,
- ❑ тем выше темп охлаждения.



С помощью таких приборов измеряют скорости обычно с непрерывной записью.

Метод, основанный на измерении объема воды, вошедшей в прибор за время наблюдения.

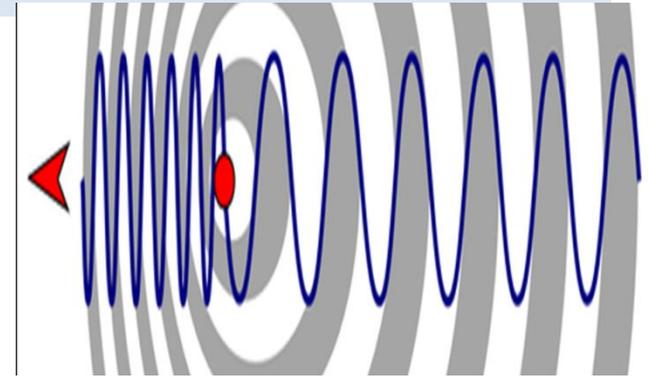
В поток помещается прибор – батометр, входным отверстием навстречу течению, и выдерживается определенное время, после чего вынимается; измеряется объем воды, вошедший в прибор.

Скорость определяется по тарировочному графику в зависимости от объема воды, вошедшей за единицу времени.

Метод, основанный на применении ультразвука.

При распространении ультразвуковых колебаний в движущейся среде, в частности в воде, скорость ультразвука относительно неподвижной системы координат равна векторной сумме скорости звука и скорости самой среды. Основная часть прибора – генератор и приемник звуковой волны, в месте измерения скорости помещается отражатель звуковой волны.

В настоящее время скорость течения воды в реках, каналах, водохранилищах чаще всего измеряется гидрометрическими вертушками. Реже применяются поплавки. Однако при аэрофотосъемках применяются поплавки. Остальные из перечисленных методов применяются в основном при выполнении научно-исследовательских работ.



Акустический доплеровский профилограф Stream Pro



Приборы для измерения скорости течения воды

ВОДЫ

Для измерения скорости течения воды в реках и каналах наиболее широко применяются:

- гидрометрические поплавки и
- гидрометрические вертушки.

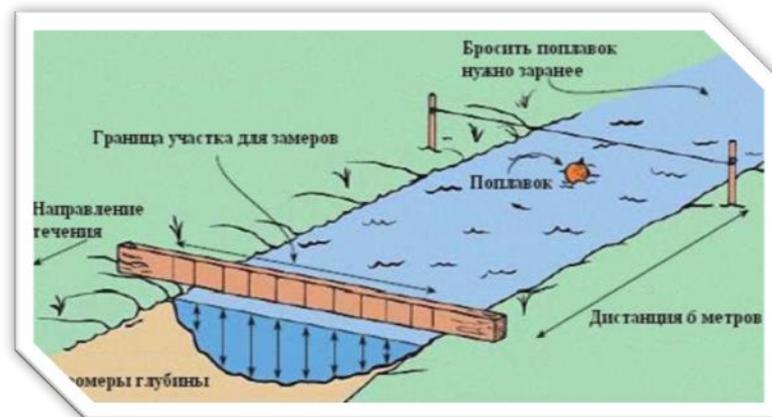


Рис. 5.3. Поверхностные поплавки.

При проведении научно-исследовательских работ в лабораторных условиях используются также и другие приборы:

- гидрометрические трубки,
- флюгеры и
- динамометры,
- ультразвуковые и лазерные измерители скорости,
- микровертушки и др.



Гидрометрические поправки

Тело, опущенное в поток, приобретает скорость, равную скорости движения воды. На этом и основано применение поплавков для измерения скорости течения воды.

Поверхностные поправки

Гидрометрические поправки

Глубинные поправки

Поплавки-интеграторы



Поверхностные поправки применяют для измерения поверхностных скоростей и направлений течения.

Поплавки-интеграторы применяются для определения средней скорости течения на вертикали V_v



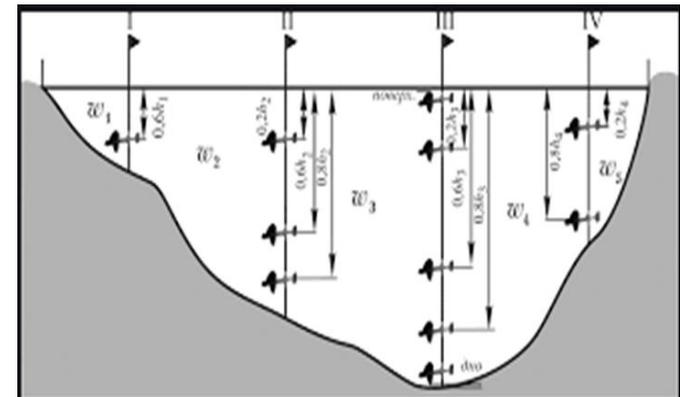
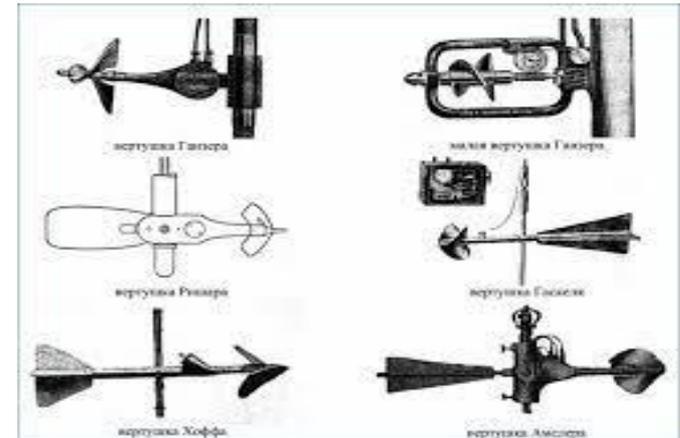
Глубинные поправки применяют для измерения скорости и направления течения на некоторой глубине.

Гидрометрические вертушки.

Гидрометрическая вертушка – основной и наиболее распространенный прибор для измерения скорости течения речных потоков. Конструкции гидрометрических вертушек постоянно совершенствуются.

Различаются они по ряду признаков:

- ❑ направлению оси вращения,
- устройству лопастного винта или ротора,
- ❑ устройству контактного и счетного механизмов,
- ❑ способу опускания вертушки в воду и пр.

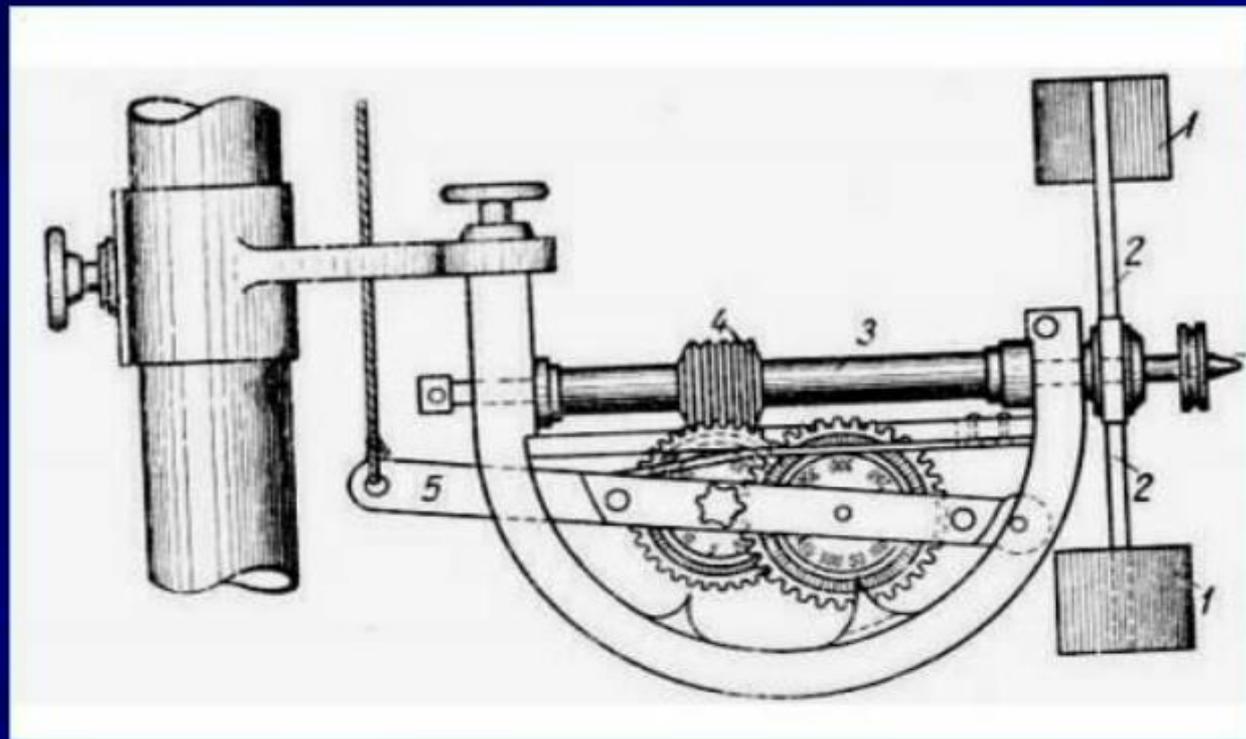


Принципы действия гидрометрических вертушек

Чувствительным элементом вертушки (датчиком), воспринимающим действие движущегося потока жидкости, является лопастной винт (ротор), вращающийся на оси.

Чем больше скорость течения, тем быстрее вращение ротора, тем больше делает он оборотов (n) в единицу времени. На этом и основывается принцип действия гидрометрической вертушки: скорость течения воды и определяется в зависимости от числа оборотов ротора n в точке измерения.

Первая гидрометрическая вертушка Вольтмана (1790)



Создателем гидрометрической вертушки считают немецкого гидротехника Рейнгарда Вольтмана (1767 – 1837 г.), впервые применившего такой прибор в 1790 г. для определения скорости течения реки Эльбы.

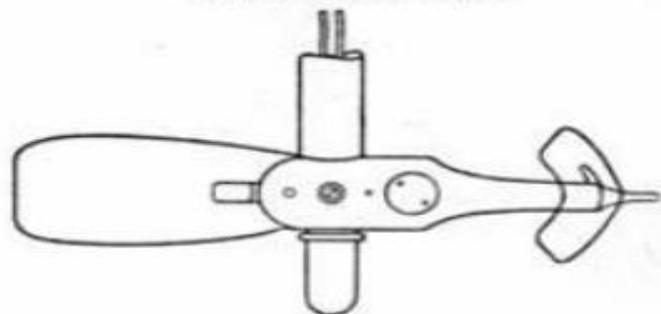
Вертушки конца XIX века



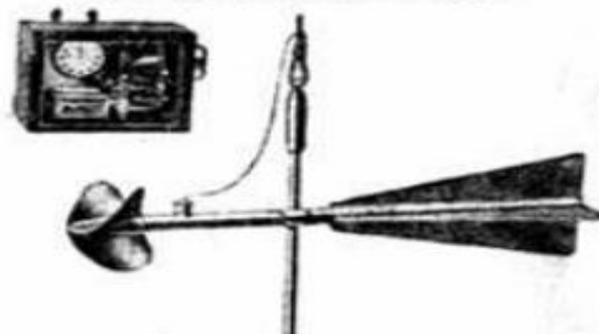
вертушка Ганзера



малая вертушка Ганзера



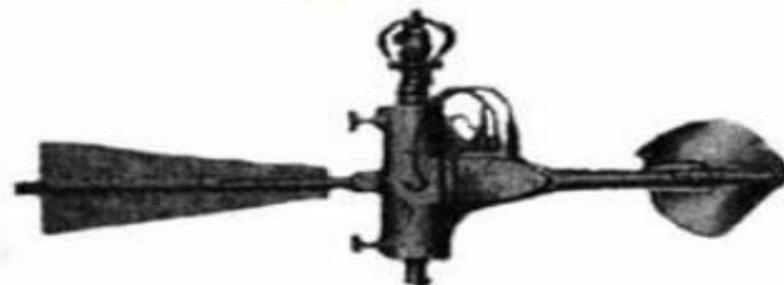
вертушка Ришара



вертушка Гаскеля

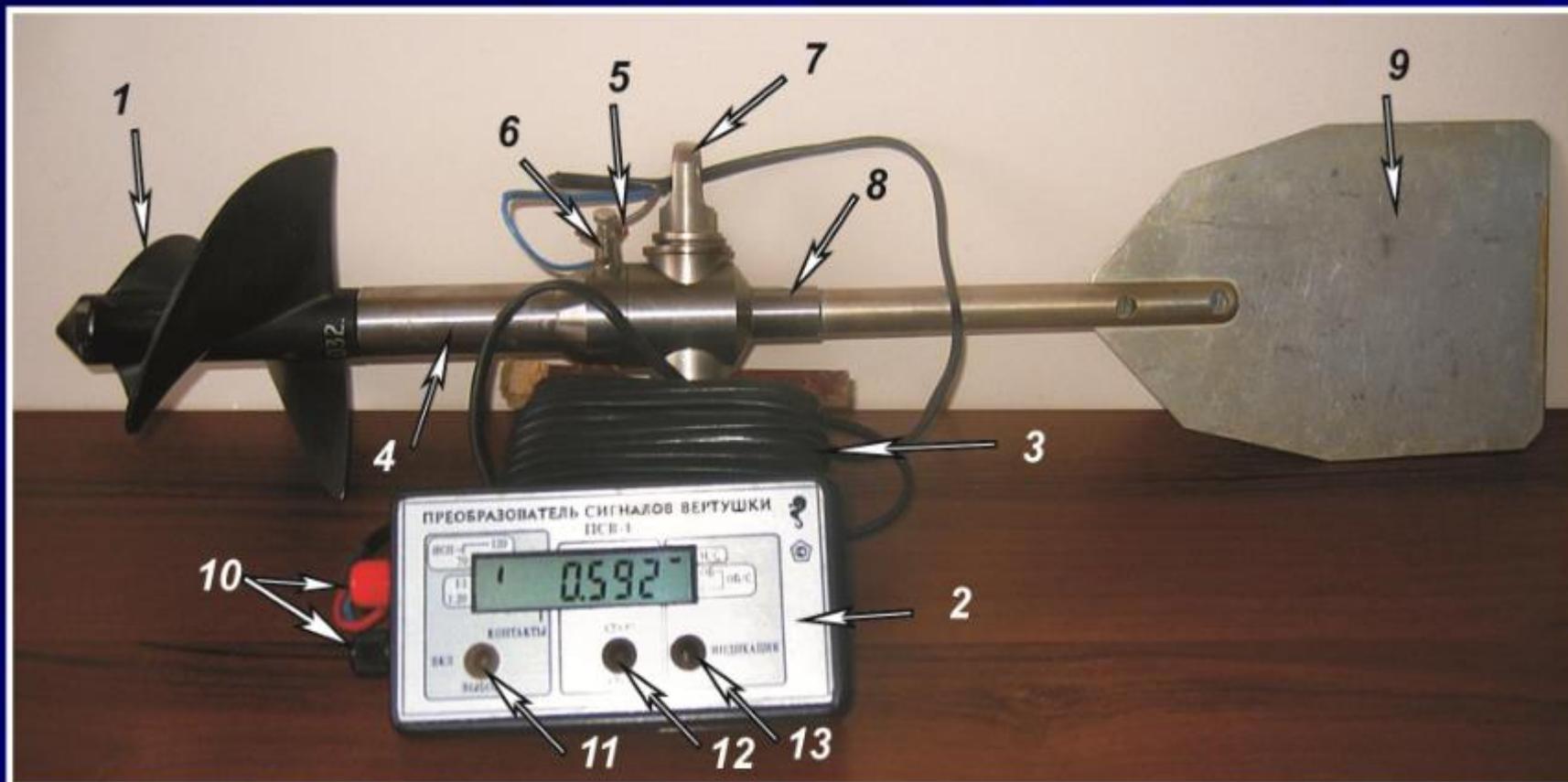


вертушка Хоффа



вертушка Амслера

Измеритель скорости потока (ИСП-1М)



1 – лопастной винт; 2 – преобразователь сигналов вертушки; 3 – электрический провод; 4 – ось вертушки (находится внутри под ее корпусом); клеммы: 5 – изолированная, 6 – соединенная с корпусом; 7 – вертлюг, 8 – винт стабилизатора, 9 – стабилизатор; 10 – контакты преобразователя; кнопки преобразователя сигналов: 11 – ВЫБОР, 12 – СТАРТ/СТОП, 13 – ИНДИКАЦИЯ

Градуировка гидрометрических вертушек

Гидрометрической вертушкой непосредственно измеряют число оборотов ротора N и время t , в течение которого продолжается процесс измерения.

По результатам измерений число оборотов в 1 с:
$$n = \frac{N}{t}.$$

Для определения скорости течения в точке измерения необходимо иметь зависимость числа оборотов лопастного винта вертушки в секунду n от скорости набегающего потока u . Эту зависимость получают опытным путем. Испытания, в результате которых устанавливается зависимость $u=f(n)$ между скоростью течения и числом оборотов лопастного винта, называют **градуировкой** или **тарированием гидрометрической вертушки**.

Градуировку производят в специальных градуировочных каналах или в круглых бассейнах. Основным способом градуировки является перемещение вертушки в неподвижной воде в прямолинейном канале с различными скоростями.

Способы обработки градуировки вертушки

Результаты градуировки вертушки обрабатываются:

- графическим или
- аналитическим способом.

Графический способ заключается в том, что по данным градуировки строится график связи $u=f(n)$

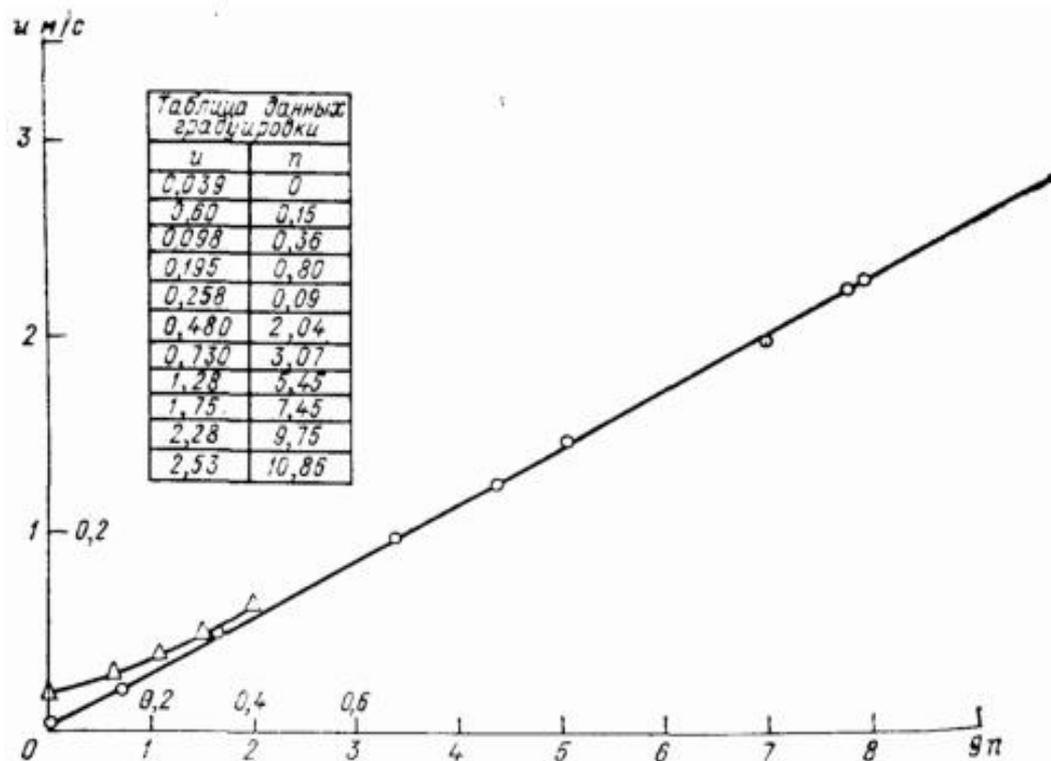


Рис. 5.8. Градуировочная (тарировочная) кривая гидрометрической вертушки.

Аналитический способ обработки градуировки вертушки

Аналитический способ обработки результатов градуировки вертушки заключается в подборе коэффициентов уравнений градуировочной кривой. Криволинейный участок аналитически описывается уравнением гиперболы:

$$u = an + \sqrt{bn^2 + u_0^2},$$

а прямолинейный – уравнением прямой, проходящей через начало координат: $u = k \cdot n,$

где n – число оборотов лопастного винта в секунду, u_0 – начальная скорость вертушки по данным градуировки, k – гидравлический шаг лопастного винта, a и b – параметры.

Методика измерения скорости течения воды

Измерение скорости течения гидрометрическими поплавками

При измерении скорости течения воды поверхностными поплавками на одном из берегов выбранного прямолинейного участка реки или канала разбивают базис и перпендикулярно к нему три створа: верхний, средний и нижний. Расстояние между верхним и нижним створами назначают таким образом, чтобы продолжительность хода поплавков между ними была не менее 20 секунд (для равнинных рек). При скоростях течения более 2 м/с принимают меньшую продолжительность хода поплавков, но не менее 10 с. Кроме того, в 5 м выше верхнего створа намечают пусковой створ АБ. На нешироких реках ($B < 100$ м) по среднему створу натягивают трос, размеченный хорошо заметными с берега метками; нулевое деление должно быть совмещено с базисом. На широких реках створы закрепляют вешками, а в одной из точек базы са устанавливают угломерный геодезический инструмент (мензула, теодолит, гониометр и т.п.).

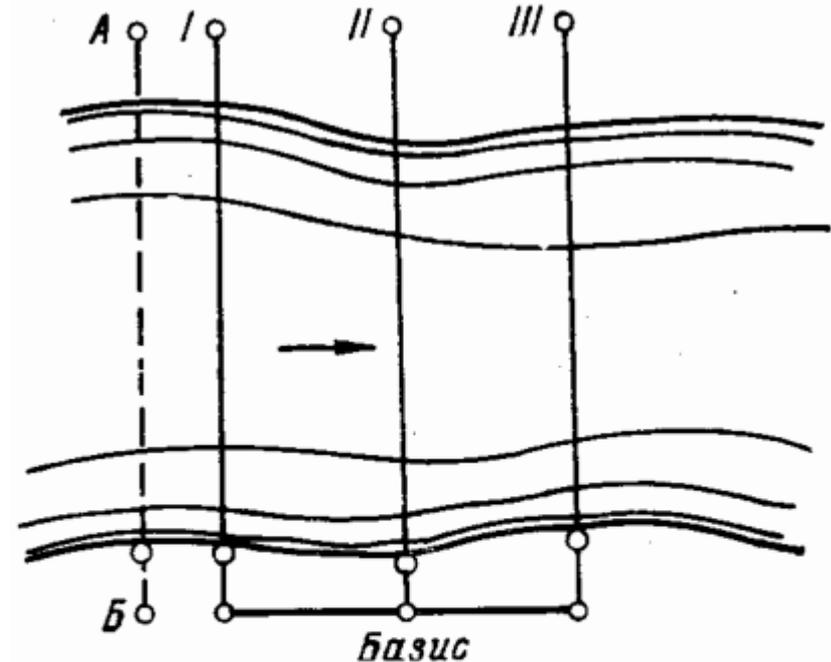


Рис. 5.9. Схема к измерению скоростей течения поверхностными поплавками: I – верхний створ; II – основной створ; III – нижний створ; АБ – пусковой створ.

Измерение скоростей течения поплавками

Измерение скоростей течения поплавками производят в такой последовательности:

1. На пусковом створе с берега или лодки последовательно забрасывают 15–25 поплавков с таким расчетом, чтобы через основной створ II они проходили группами по два-четыре штуки и распределялись по всей ширине;
2. При прохождении каждого поплавок через створы наблюдатели дают сигналы: когда поплавок проходит верхний створ, включают секундомер, а когда проходит нижний – выключают. Таким образом определяется время t п прохождения каждым поплавком расстояния L между верхним и нижним створами.
3. На среднем створе по размеченному тросу или способом геодезических засечек определяют расстояние от постоянного начала до точки, в которой поплавок пересек гидрометрический створ II.
4. По результатам измерений вычисляют поверхностные скорости течения воды в точках прохождения поплавков через гидроствор:

$$u_{пов} = \frac{L}{t_n}.$$

Данные по замеру скоростей течения воды

поплавками заносят в табл. Вычисление скоростей течения воды поверхностными гидрометрическими поплавками

№ поплавок	Расстояние прохождения поплавок от постоянного начала, через створ II, м	Расстояние между створами I–III, м	Время хода поплавок между створами I–III, с	Скорость поплавок $u_{пов} = \frac{L}{t_n}$, м/с	Примечание
1	2	3	4	5	6

Материалы измерений поверхностными поплавками используются для уточнения направления гидроствора, построения эпюры распределения поверхностных скоростей по ширине потока и вычисления расхода воды.

Измерение скорости течения гидрометрической вертушкой.

Гидрометрической вертушкой измеряют местные скорости течения воды **u** в строго фиксированных точках потока на заранее назначенных вертикалях. Вертикали, на которых измеряют скорости течения, называют скоростными. Вертикали обозначаются порядковыми номерами, начиная от постоянного начала. Номера вертикалей проставляются на марках разметочных канатов и у меток на конструкциях гидротехнических сооружений, расстояние от постоянного начала заносится в книжку (КГ-ЗМ). Число точек измерения скорости зависит от глубины на вертикали, состояния водотока, требуемой точности измерений, размеров лопастного винта вертушки.

Рабочей глубиной на вертикали называется глубина от поверхности воды до дна, а при ледяном покрове – от нижней поверхности льда до дна; при наличии подледной шуги – от нижней поверхности шуги до дна.

В зависимости от состояния русла водного потока и требуемой точности измерения скорости течения производят несколькими способами

Способы измерения скорости течения гидрометрической вертушкой на вертикали с учетом состояния русла

Состояние русла	Число точек измерения по глубине вертикали
<i>Многоточечный (детальный) способ</i>	
Если русло свободно от водной растительности и льда	В пяти точках: у поверхности воды; на 0,2; 0,6; 0,8 рабочей глубины и у дна
При наличии в русле водной растительности и под ледяным покровом	В шести точках: у поверхности воды/ при наличии ледяного покрова у нижней поверхности льда; на 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 рабочей глубины и у дна
При проведении научно-исследовательских работ, когда глубина на вертикали больше 1,5 м	В десяти точках: у поверхности; на 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 рабочей глубины и у дна
<i>Основной и сокращенный способ</i>	
В свободном русле и при ледяном покрове	В двух точках: 0,2 и 0,8 рабочей глубины, а если глубина менее 0,75 м – в одной точке, соответственно на 0,6 или 0,5 рабочей глубины
При наличии в русле водной растительности	В трех точках: 0,15; 0,5 и 0,85 рабочей глубины, а при недостаточной глубине на 0,5 рабочей глубины
<i>Одноточечные измерения</i>	
В свободном русле	0,6 рабочей глубины
При наличии льда и водной растительности	0,5 рабочей глубины

Измерения скорости у поверхности воды

Для измерения скорости у поверхности воды ($u_{\text{пов}}$) ось вертушки должна быть погружена в воду на глубину $0,15$ м, а для измерения скорости у дна ($u_{\text{дон}}$) ось вертушки при работе со штанги устанавливается на расстоянии $0,15$ м от дна.

При креплении вертушки на тросе это расстояние зависит от способа подвешивания груза и обычно составляет $15\text{--}40$ см. На рисунке приведена схема расположения вертушки при детальном способе измерения скорости течения. Схема дана для русла, свободного от ледяного покрова.

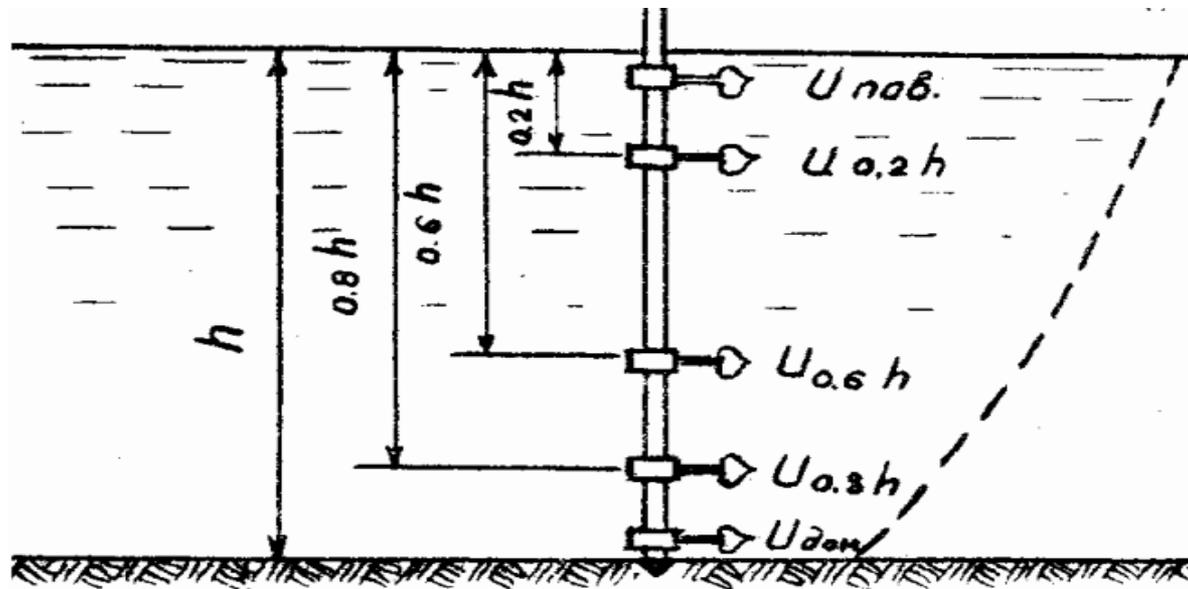
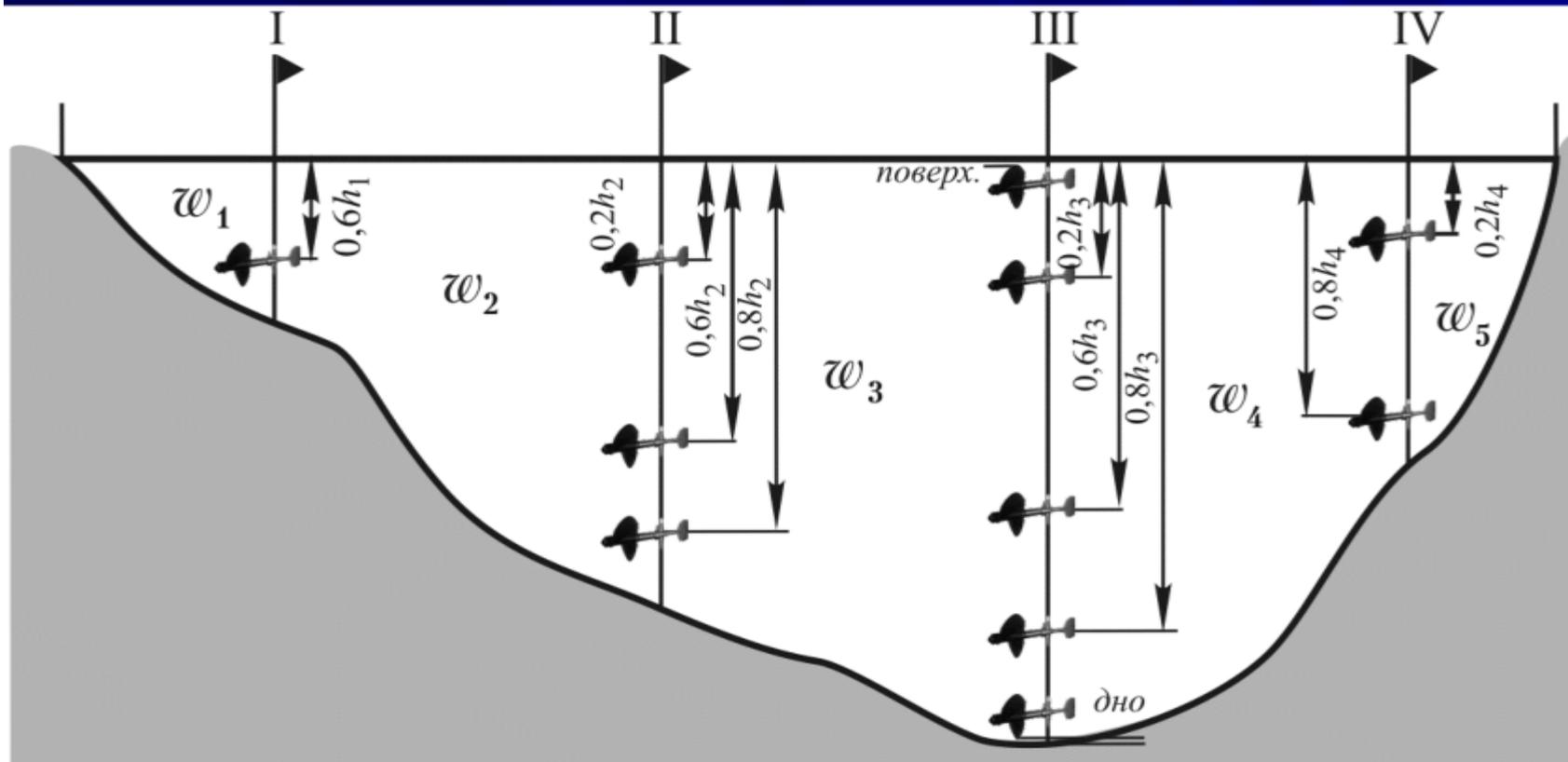
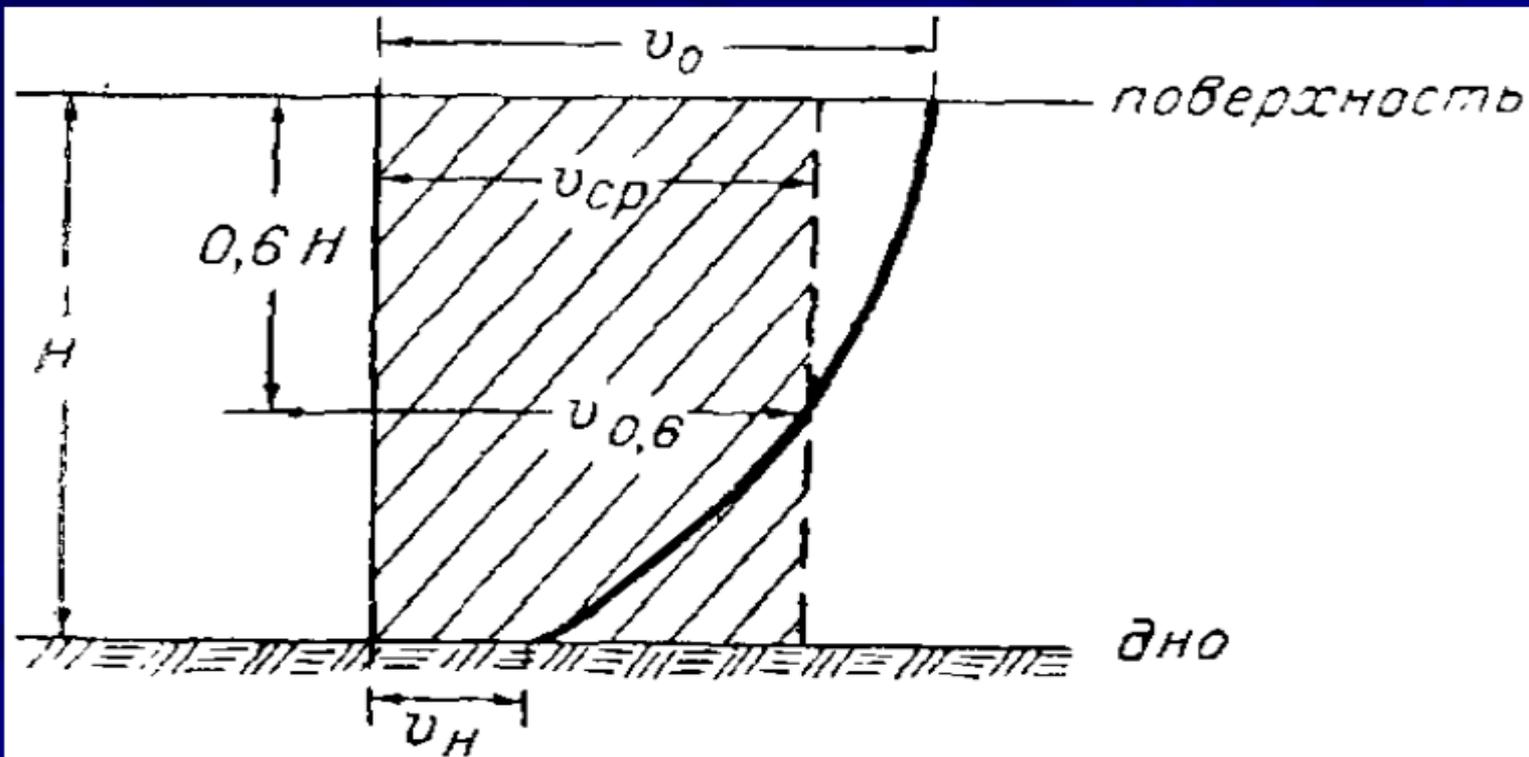


Рис. 5.10. Расположение вертушки при детальном способе измерения скорости течения.

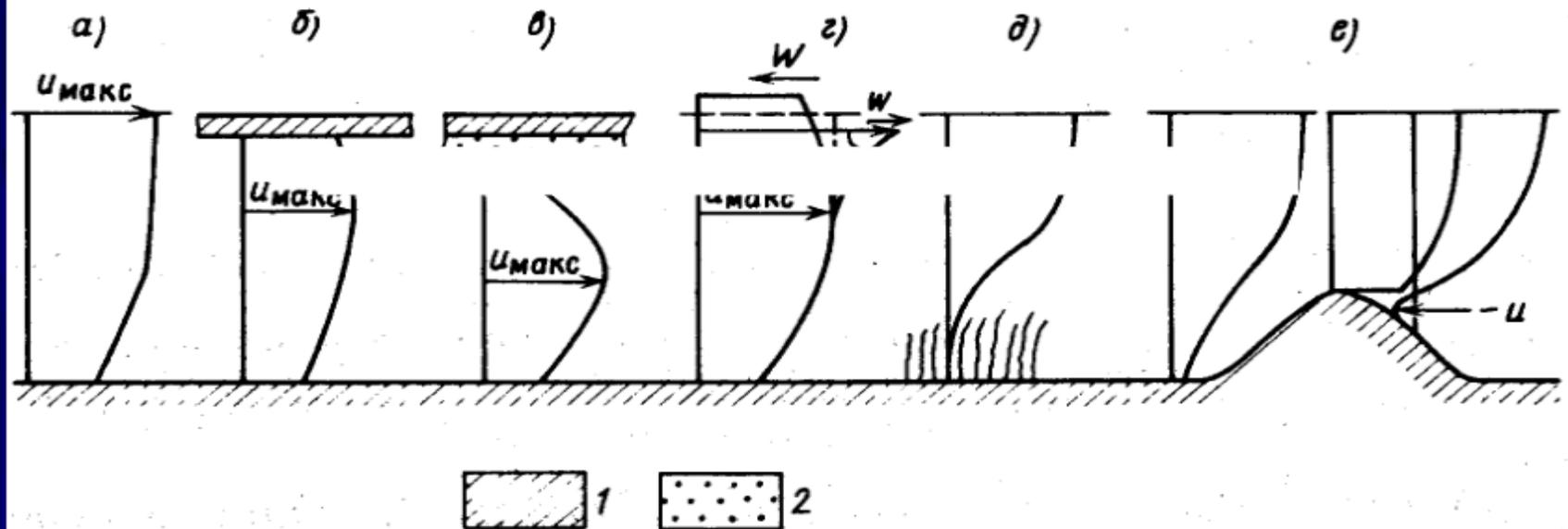
Схема расположения точек на скоростных вертикалях гидрометрического створа



Характерная эпюра распределения скорости по вертикали речного потока



Этюды местных скоростей



а — типичное, б — под ледяным покровом, в — под слоем внутриводного льда (шуги), г — при попутном и встречном ветре, д — при влиянии растительности, е — при влиянии неровностей дна, 1 — ледяной покров, 2 — слой шуги, W — направление ветра, $u_{\text{макс}}$ — максимальная скорость течения, $-u$ — обратное течение

1-лед, 2 -шуга

Определение средней скорости

Средняя скорость на скоростной вертикали определяется в зависимости от состояния русла и числа точек измерения по одной из следующих формул:

а) при свободном русле:

в случае измерения в пяти точках на вертикали

$$v_e = 0,050u_{пов} + 0,347(u_{0,2h} + u_{0,6h}) + 0,173u_{0,8h} + 0,083u_{дон} \quad (5.8)$$

или при монотонном убывании скорости от поверхности ко дну

$$v_e = 0,1(u_{пов} + 0,3u_{0,2h} + 3u_{0,6h} + 2u_{0,8h} + u_{дон}); \quad (5.9)$$

в случае измерения в десяти точках на вертикали

$$v_e = 0,1(u_{пов} + u_{0,2h} + u_{0,3h} + u_{0,4h} + u_{0,5h} + u_{0,6h} + u_{0,7h} + u_{0,8h} + u_{0,9h} + u_{дон}); \quad (5.10)$$

в случае измерения в двух точках на вертикали

$$v_e = 0,5(u_{0,2h} + u_{0,8h}); \quad (5.11)$$

при измерении в одной точке на вертикали

$$v_e = u_{0,6h}; \quad (5.12)$$

б) при наличии ледяного покрова и растительности:

в случае измерения в трех точках на вертикали

$$v_e = \frac{1}{3}(u_{0,15h} + u_{0,5h} + u_{0,85h}); \quad (5.13)$$

при измерении в одной точке на вертикали

$$v_e = ku_{0,5h}, \quad \text{где } k = 0,9. \quad (5.14)$$

Обработка полевых данных по измерению скорости течения гидрометрической вертушкой

По данным измерений гидрометрической вертушкой вычисляются местные скорости течения на скоростных вертикалях, а затем средние скорости

Журнал измерения и обработки скоростей течения воды
р. Камчатка – пос. Паратунка, 15.07.2002 г.

№ вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Рабочая глубина, м	Глубина опускания вертушки		Отсчет по штанге, м	Число оборотов за прием	Отсчеты по секундомеру, с								Сумма оборотов, N	Число оборотов n, с	Скорость в точке, м/с	Средняя скорость на вертикали, м/с
			в долях рабочей глубины	в метрах			1	2	3	4	5	6	7	8				
I	6,0	2,10	пов.	0,10	2,0	20	21	43	65	86	108	130				120	0,92	0,15
			0,2	0,42	1,68		24	48	70	93	113	134			120	0,89		
			0,6	1,26	0,84		39	74	113	145					80	0,55		
			0,8	1,68	0,42		39	77	115	153					80	0,52		
			дно	2,0	0,10		50	102	155	205					80	0,39		
II	12,0	2,29	пов.	0,10	2,19	20	18	37	56	75	94	114				120	1,05	0,20
			0,2	0,46	1,83		20	40	62	84	103	121			120	0,99		
			0,6	1,37	0,92		21	42	63	84	105	127			120	0,94		
			0,8	1,83	0,46		25	51	77	102	132	158			120	0,76		
			дно	2,19	0,10		34	69	104	140					80	0,57		
III	16,0	2,19	пов.	0,10	2,09	20	17	34	52	69	87	105				120	1,14	0,23
			0,2	0,44	1,75		18	35	55	72	90	107			120	1,12		
			0,6	1,31	0,88		1,8	35	54	72	89	108			120	1,11		
			0,8	1,75	0,44		21	42	63	83	107	130			120	0,92		
			дно	2,09	0,10		32	63	97	128					80	0,62		
IV	22,0	2,23	пов.	0,10	2,13	20	28	55	82	108						80	0,74	0,14
			0,2	0,45	1,78		29	54	81	110					80	0,72		
			0,6	1,34	0,89		27	58	85	112					80	0,71		
			0,8	1,78	0,45		49	95	146	194					80	0,41		
			дно	2,13	0,10		54	110	164	224					80	0,36		
V	26,0	2,14	пов.	0,10	2,04	20	28	57	86	115						80	0,70	0,12
			0,2	0,43	1,71		31	62	94	126					80	0,63		
			0,6	1,28	0,86		36	72	96	146					80	0,54		
			0,8	1,71	0,43		47	95	144	192					80	0,42		
			дно	2,04	0,10		56	114	170	227					80	0,35		

Вычисления

Вычисления выполняются в следующей последовательности:

1. По формуле (5.15) подсчитываем суммарное число оборотов лопастного винта вертушки за время измерения в каждой точке (графа 16): $N = p \cdot s$. Например, на скоростной вертикали I (графа 1) при измерении скорости у поверхности число приемов $s_1 = 6$. Поскольку ротор вертушки делает 20 оборотов за прием, суммарное число оборотов за время измерения $N = 20 \cdot 6 = 120$.

2. По формуле (5.4) вычисляем число оборотов лопастного винта в точках измерения за секунду (графа 17): $n = N / t$. Для рассмотренной в п.1 точки $n_1 = 120/130 = 0,92 \text{ об./с}$.

3. По градуировочной таблице (табл. 5.4) или по градуировочному графику (см. рис.) определяем скорость течения в точках измерения (графа 18). В частности, при $n_1 = 0,92 \text{ об./с}$ местная скорость $u_1 = 0,20 \text{ м/с}$.

4. Далее определяем средние скорости на скоростных вертикалях (графа 19). При этом в зависимости от числа точек измерения скорости по глубине и состояния русла применяем одну из формул (5.8) – (5.14). В данном примере на всех вертикалях скорости измерялись в пяти точках и поэтому использовалась формула (5.9): $v = 0,1(u_{\text{пов}} + 0,3u_{0,2h} + 3u_{0,6h} + 2u_{0,8h} + u_{\text{дон}})$.

Для первой вертикали $V_{в1} = 0,1 \cdot (0,20 + 3 \cdot 0,20 + 3 \cdot 0,12 + 2 \cdot 0,11 + 0,08) = 0,15 \text{ м/с}$.

Градуировочная таблица вертушки ГР-21 № ____ (скорости в м/с)

n	0	2	4	6	8	n	0	2	4	6	8
0	0	0,009	0,018	0,027	0,036	0,7	0,155	0,160	0,164	0,169	0,173
0,1	0,045	0,046	0,047	0,048	0,049	0,8	0,177	0,180	0,186	0,190	0,195
0,2	0,050	0,053	0,056	0,059	0,062	0,9	0,200	0,204	0,208	0,213	0,218
0,3	0,065	0,069	0,074	0,078	0,083	1,0	0,222	0,227	0,231	0,236	0,240
0,4	0,087	0,092	0,096	0,101	0,105	1,1	0,245	0,249	0,254	0,258	0,262
0,5	0,110	0,114	0,119	0,123	0,128	1,2	0,267	0,272	0,276	0,281	0,285
0,6	0,132	0,137	0,141	0,146	0,150	1,3	0,290	0,294	0,299	0,303	0,308



***Крепление
вертушки
при работе с
троса на
лебедке***

Использование гидрометрической вертушки



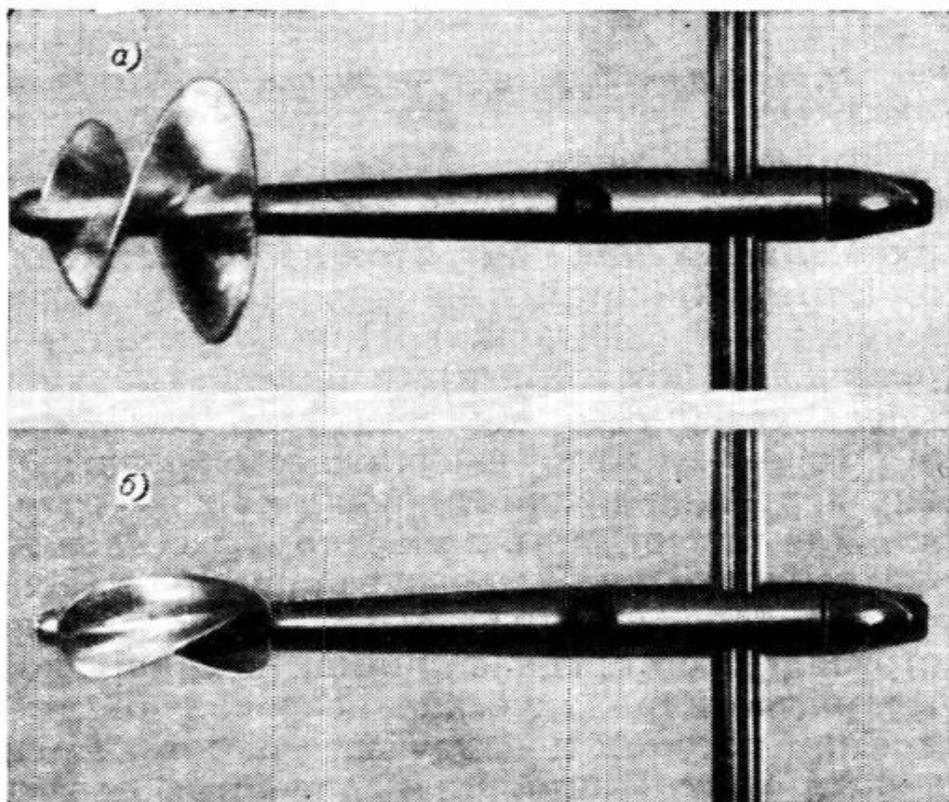


Рис. 11.16. Лабораторная гидрометрическая вертушка фирмы Отта.

а — с лопастным винтом диаметром 50 мм; б — с лопастным винтом диаметром 20 мм.

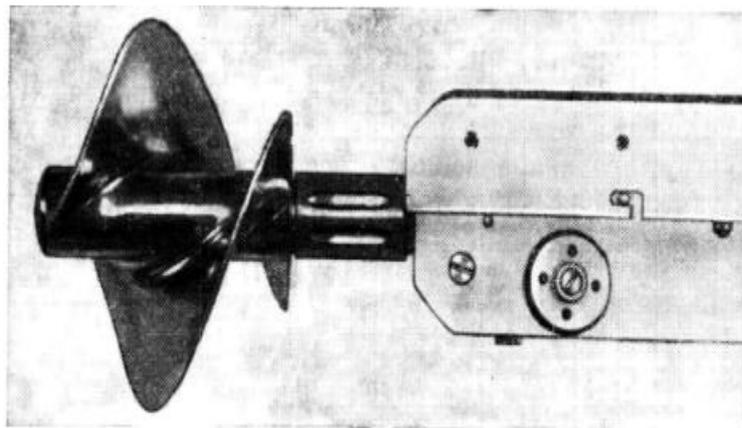


Рис. 11.11. Гидрометрическая вертушка Отта-V с лопастным винтом типа А, компонентным до 45°.

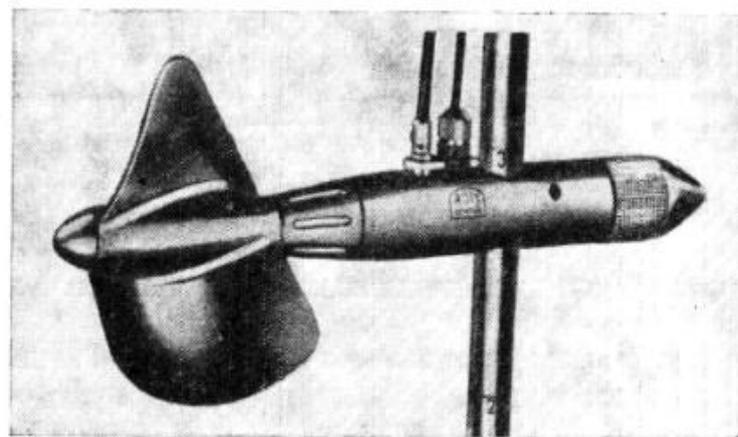


Рис. 11.12. Универсальная вертушка Отта С-31 (10.002).

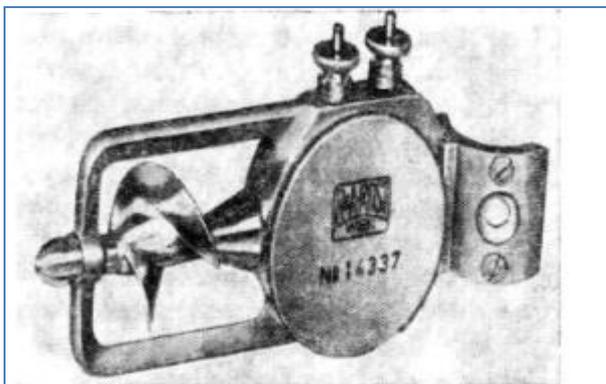


Рис. 11.14. Малогабаритная вертушка фирмы Рост (Австрия).



Рис. 19. Индукционный измеритель скорости потока Nautilus C2000

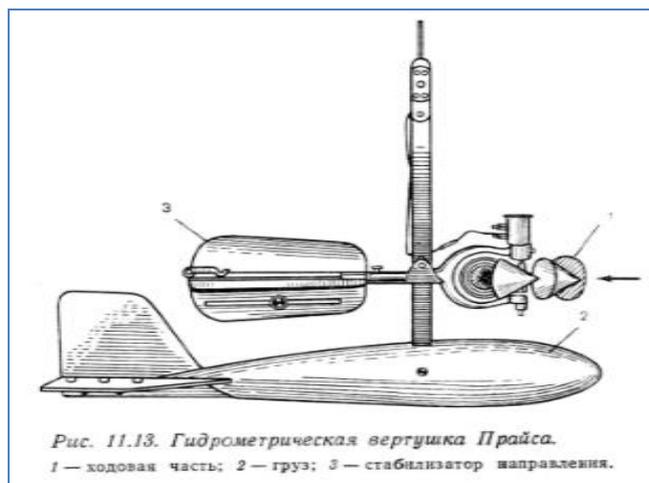


Рис. 11.13. Гидрометрическая вертушка Прайса.
1 — ходовая часть; 2 — груз; 3 — стабилизатор направления.

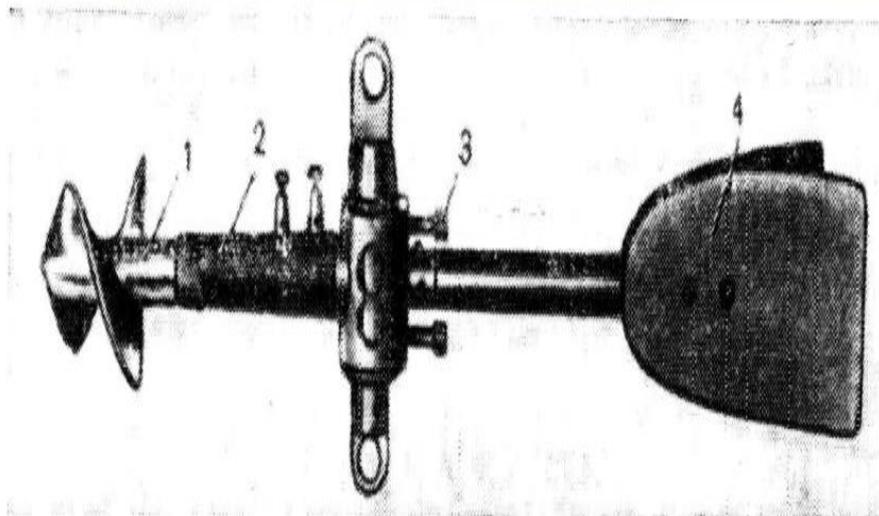


Рис. 11.8. Гидрометрическая вертушка ГР-55.

1 — ходовая часть; 2 — корпус; 3 — зажимные винты; 4 — стабилизатор.

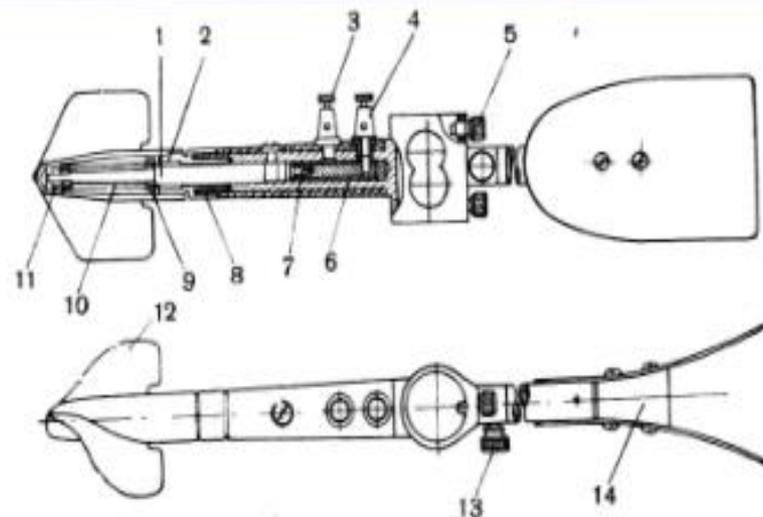
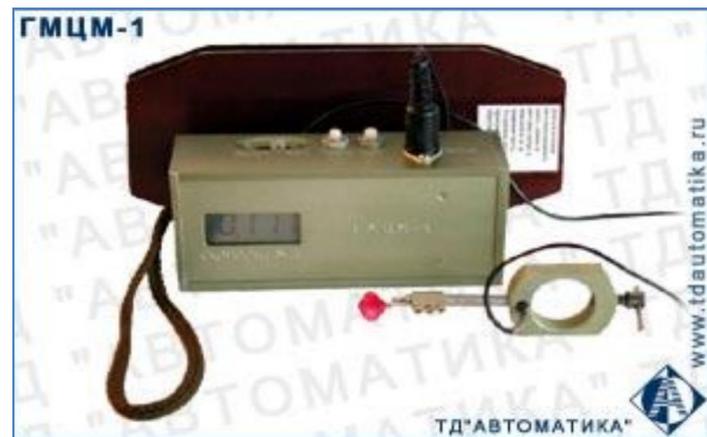
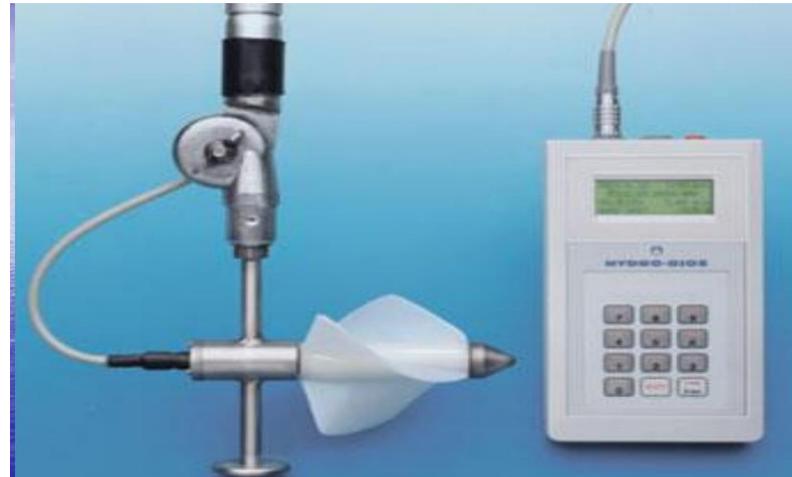


Рис. 11.9. Устройство гидрометрической вертушки ГР-55.

1 — ось с контактным механизмом; 2 — червячная шестерня с 20 зубцами и штифтом; 3 — клемма массовая; 4 — изолированная клемма (—); 5 — зажимные винты; 6 — штепсельное гнездо; 7 — токопроводящий стержень, изолированный от массы; 8 — зажимная муфта; 9 — радиальные подшипники (2 шт.); 10 — упорная втулка; 11 — осевая гайка; 12 — лопасти винт; 13 — крепежный винт стабилизатора; 14 — стабилизатор направления.



Стационарный профилограф Channel Master + SEBA Q-EYE



- Диапазон измеряемых скоростей до 5 м/с
- Точность измерения скоростей $\pm 1\% \pm 0.2$ см/с
- Максимальный диапазон профилирования 90 м
- Количество ячеек профиля до 128
- Минимальный размер ячейки 0,5 м
- Встроенный двухосевой датчик наклона



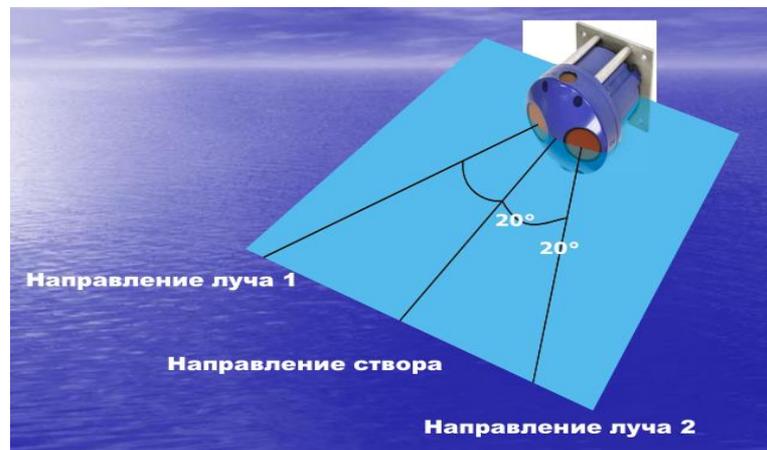
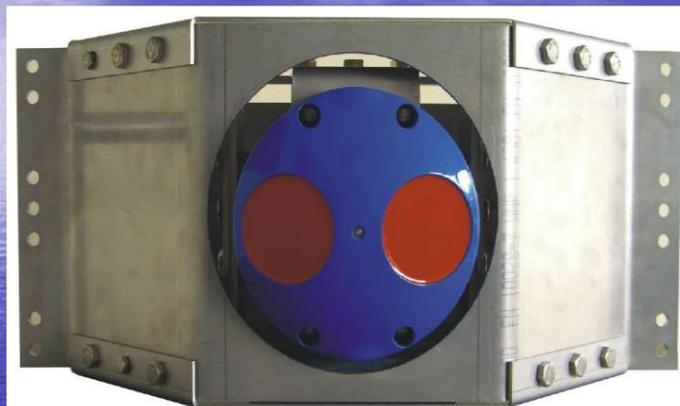
Стационарные средства измерения скорости потока Доплеровский измеритель скорости потока



Установка доплеровских измерителей скорости потока на заданном горизонте



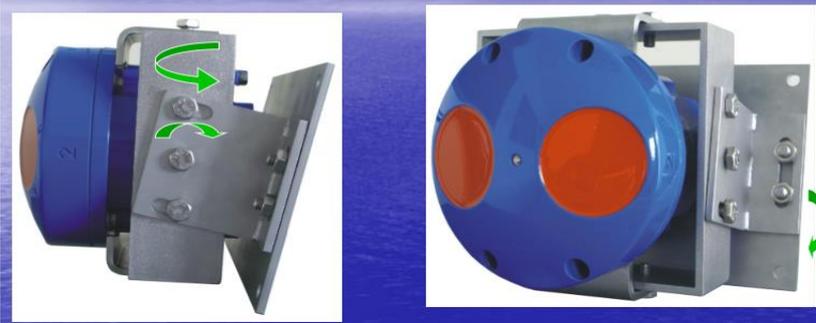
Защита датчика профилографа



Диапазон измерений по ширине потока



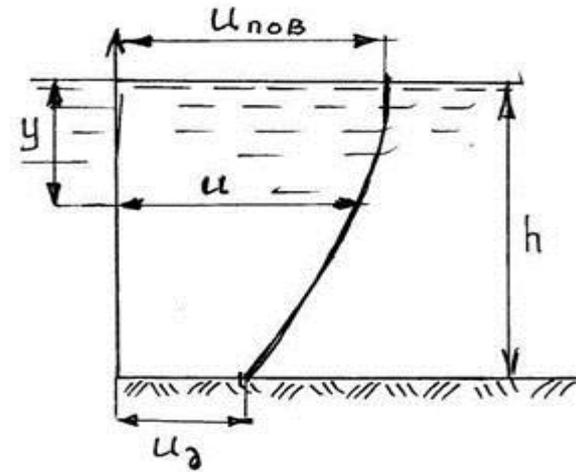
Приспособление для ориентации датчика профилографа



GPRS –модем SEBA 740



Диапазон частот	900 МГц и 1800 МГц (EGSM, двухканальный)
ВЧ выход максимальный	2Вт класс 4 при 900МГц, 1 Вт класс 1 при 1800 МГц
Импеданс антенны	50Ом
СИМ-карта	3В или 5В
Питание	8...12В постоянный ток
Ток	30 мА (режим ожидания); 100мА (прием); 1 А (передача)
Рабочая температура	-30С до +85С



Контроллер (накопитель данных)



- Восемь каналов для подключения датчиков
- Питание от аккумуляторной батареи 12 В
- интерфейсы в стандартах 4-20 мА, RS-232, RS-485
- Конфигурирование через USB-порт или дистанционно через модемное соединение
- Память до 10000 измеренных значений
- Встроенный контроль напряжения питания

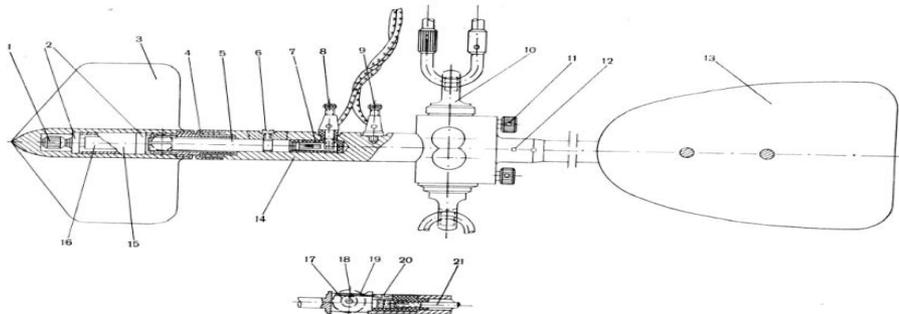
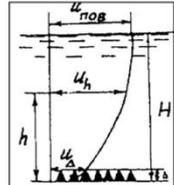


Рис. 11.7. Устройство гидрометрической вертушки ГР-21М.
 1 — осевая гайка; 2 — упорные шарикоподшипники; 3 — лопастный винт; 4 — зажимная муфта; 5 — ось ходовой части; 6 — винт створный; 7 — гильза штепселя; 8 — изоляционная клемма; 9 — клемма, соединяющая с корпусом; 10 — штепсель; 11 — зажимные винты; 12 — винт стабилизатора; 13 — стабилизатор; 14 — корпус; 15 — наружная втулка; 16 — внутренняя распорная втулка; 17 — червячная шестерня; 18 — контактный штифт; 19 — контактная пружина; 20 — контактный винт; 21 — токопроводящий стержень.

Распределение скоростей водного и воздушного потоков по вертикали

Ламинарный и турбулентный потоки различаются по характеру вертикального распределения продольных скоростей потока.

При ламинарном режиме движения скорость постепенно уменьшается от поверхностных слоев к глубинным (трение слоев жидкости друг о друга).



В турбулентных потоках распределение продольной скорости u_h описывается криволинейной зависимостью (максимум — вблизи поверхности потока, а минимум — у дна).

Донная скорость — скорость на уровне выступов шероховатости

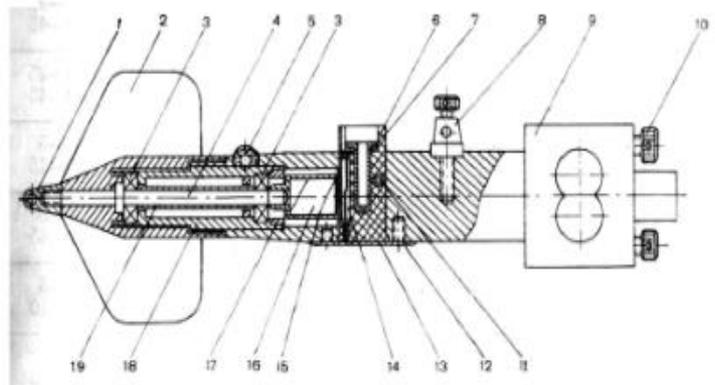


Рис. 11.10. Устройство гидрометрической вертушки ГР-99.

1 — гайка; 2 — трехлопастный винт; 3 — радиальные шарикоподшипники; 4 — ось; 5 — винт для крепления ходовой части к корпусу; 6 — изоляционная втулка; 7 — изоляционная клемма; 8 — массовая клемма; 9 — корпус вертушки; 10 — винт для крепления вертушки к штанге; 11 — винт; 12 — стержень штепселя; 13 — упорная шайба; 14 — магнитоуправляемый контакт; 15 — обойма; 16 — постоянный магнит; 17 — гайка; 18 — гильза; 19 — распорная втулка.

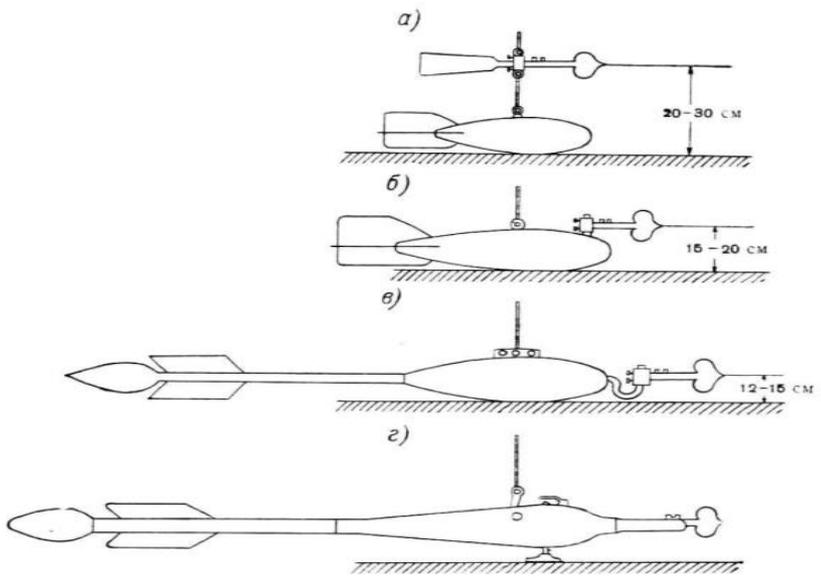


Рис. 11.18. Способы применения вертушки на тросе с грузом.