

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области сельского хозяйства в качестве
учебно-методического пособия для студентов учреждений,
обеспечивающих получение высшего образования I ступени
по специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство*

Горки
БГСХА
2021

УДК 627.1(075.8)
ББК 40.6я73
И62

*Рекомендовано методической комиссией
мелиоративно-строительного факультета 26.10.2020 (протокол № 2)
и Научно-методическим советом БГСХА 28.10.2020 (протокол № 2)*

Авторы:

доктор сельскохозяйственных наук, профессор *В. И. Желязко*;
кандидат технических наук, доцент *В. К. Курсаков*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *В. М. Лукашевич*;
старший преподаватель *Г. Н. Рудковская*;
старший преподаватель *И. А. Левцунов*

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент *А. С. Анженков*;
доктор географических наук, профессор *А. А. Волчек*

Инженерная гидрология и регулирование стока : учебно-методическое пособие / В. И. Желязко [и др.]. – Горки : БГСХА, 2021. – 112 с.
ISBN 978-985-882-133-3.

Представлены описания конструкций метеорологических и гидрологических приборов и устройств, применяемых при измерении метеорологических величин и гидрологических характеристик водотоков, последовательность проведения опытов, измерений и вычислений, приведены контрольные вопросы.

Для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования I ступени по специальности 1-74 05 01 Мелиорация и водное хозяйство.

УДК 627.1(075.8)
ББК 40.6я73

ISBN 978-985-882-133-3

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов исследований, применяемым в инженерной гидрологии и регулированию стока, являются наблюдения, так называемые измерения и качественная оценка атмосферных процессов. Эти процессы отличаются изменчивостью во времени и пространстве, имеют сложный характер взаимодействия с земной поверхностью и космосом. Во всех странах света организованно работает сеть гидрометеорологических наблюдений, которая позволяет непрерывно следить за состоянием атмосферы на всем земном шаре, у поверхности земли и на различных высотах. Эта сеть состоит из большого количества гидрометеорологических станций, которые проводят регулярные наблюдения по единой глобальной программе при помощи различных приборов.

Современная гидрометеорологическая служба использует различные приборы, которые предназначены для измерения и регистрации физических характеристик земной атмосферы и подстилающей поверхности.

Гидрология – это наука, изучающая гидросферу, ее свойства и протекающие в ней процессы и явления во взаимосвязи с атмосферой, литосферой и биосферой. В зависимости от объектов исследования гидрология суши подразделяется на гидрологию рек, гидрологию озер, гидрологию болот и др.

В гидрологии вод суши выделяют инженерную гидрологию, разрабатывающую методы гидрологических расчетов и прогнозов. При гидрологических расчетах определяются основные гидрологические характеристики реки при наличии, недостаточности или отсутствии натуральных гидрометрических данных.

Гидрометрия – самостоятельный раздел гидрологии суши. Это наука о методах и средствах определения величин, характеризующих движение и состояние воды, и режим водных объектов. В задачу гидрометрии входит определение уровней, глубин, рельефа дна и свободной поверхности потока; напоров и давлений; параметров волн; гидравлических уклонов; расходов воды; мутности потока; расходов наносов; элементов термического и ледового режимов потоков.

Лабораторные работы по инженерной гидрологии и регулированию стока для специальности 1-74 05 01 – мелиорация и водное хозяйство позволяют познакомить студентов с организацией гидрометеорологических наблюдений, устройством и работой метеорологических и актинометрических приборов и устройств, методами наблюдений и первичной обработки их результатов.

Кроме того, знание метеорологических величин и явлений позволит учесть их влияние при проектировании, строительстве и эксплуатации различных гидротехнических и водохозяйственных объектов, мостов, мелиоративных систем и др.

Гидрометрические измерения и наблюдения на водных объектах позволяют получить сведения и характеристики по гидрологическому режиму водоемисточника, необходимые для обоснования проектов водохозяйственного, гидромелиоративного, строительства, а также для составления водного баланса.

Работа 1. АКТИНОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Актинометрические наблюдения проводятся для получения сведений о солнечной радиации, необходимой для научного и практического использования в различных отраслях народного хозяйства.

Различают следующие виды лучистой энергии Солнца.

Прямой солнечной радиацией S называется радиация, которая поступает на перпендикулярную поверхность непосредственно от солнечного диска.

Прямая солнечная радиация, которая приходит на горизонтальную поверхность, определяется по формуле

$$S' = S \cdot \sin h, \quad (1.1)$$

где h – высота солнца над горизонтом, град.

Рассеянной радиацией D называется часть лучистой энергии солнца, которая поступает на земную поверхность со всего небесного свода.

Сумма прямой S' и рассеянной D радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, называется *суммарной радиацией* Q :

$$Q = S' + D. \quad (1.2)$$

Отраженной радиацией R_k называется часть суммарной радиации, которая отражается от земной поверхности.

Отношение отраженной от земной поверхности радиации R_k к суммарной Q называется альбедо A и выражается в процентах:

$$A = \frac{R_k}{Q} \cdot 100. \quad (1.3)$$

Разность между суммарной и отраженной радиацией называется *поглощенной* B_k или коротковолновой, радиацией:

$$B_k = Q - R_k. \quad (1.4)$$

Нагреваясь за счет солнечной радиации, поверхность земли и атмосфера излучают тепло. Это длинноволновая радиация. Разность между излучением земной поверхности E_z и встречным излучением атмосферы E_a называется эффективным излучением $E_{эф}$:

$$E_{эф} = E_z - E_a. \quad (1.5)$$

Единицей измерения радиационных излучений является киловатт на квадратный метр (кВт/м^2). Часовые и суточные суммы радиационных излучений выражаются в мегоджоулях на квадратный метр (МДж/м^2).

Актинометрические измерения обеспечивают определение часовых и суточных сумм радиационных излучений с точностью до $0,01 \text{ МДж/м}^2$. Месячные суммы радиационных излучений вычисляются с точностью до целых, а годовые – до десятков МДж/м^2 . Для перехода от внесистемных единиц до единиц системы СИ необходимо помнить, что $1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}$; $1 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин} = 697,8 \text{ Вт/м}^2$; $1 \text{ Вт/м}^2 = 1 \text{ Дж/с} \cdot \text{м}^2$; $1 \text{ ккал/см}^2 = 41,9 \text{ МДж/м}^2$.

Для проведения актинометрических наблюдений используются следующие актинометрические приборы: актинометр, универсальный пирометр (походный альбедометр) и балансомер.

Актинометр предназначен для измерения прямой солнечной радиации S .

Термоэлектрический актинометр Савинова -Янишевского состоит из приемной части, в качестве которой служит черный диск, сделанный из серебряной фольги и направленный на Солнце. На противоположной стороне диска приклеены активные спаи термоэлектрической батареи из константана и манганина, которые имеют вид звезды. Пассивные спаи приклеены к медному кольцу, которое закреплено на нижнем конце трубки 7 актинометра (рис. 1.1). Внутри трубки имеются семь диафрагм, которые предохраняют приемную часть от воздействия ветра, рассеянной и отраженной радиации.

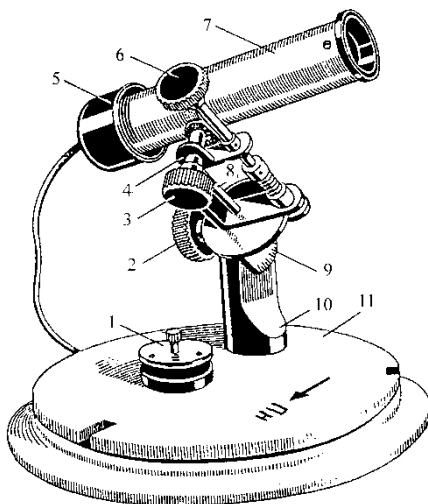


Рис. 1.1. Актинометр термоэлектрический.

Для наблюдений актинометр устанавливается так, чтобы его основание 11 и штатив 10 были ориентированы стрелками на север. Затем актинометр устанавливают по широте. Для этого ослабляют винт 2 и ставят сектор широт 9 соответственно широте места. С помощью винтов 3 и 6 направляют трубу 7 на Солнце. Ось 8 штатива и винт 6 располагаются по сторонам света. Можно вращать винт 6 и вести трубку за Солнцем, корректируя ее наклон на оси 4, соответственно магнитному азимуту. Направление трубки на Солнце осуществляется при помощи экрана 5 на нижнем конце трубки, где должна концентрично располагаться тень от оправы на верхнем конце трубки. Колпачок 1 одевается на трубу при определении контроля места нуля. Термобатарея актинометра при помощи электрических проводов соединяется с гальванометром или интегратором.

Универсальный пиранометр (альбедометр) служит для измерения рассеянной радиации (D) при затемнении его темным экраном, суммарной радиации (Q) и отраженной радиации (R_r), что поступает на горизонтальную поверхность.

На практике он применяется главным образом для измерения альбедо деятельной поверхности. Альбедометры бывают двух типов: стационарные и походные.

Они состоят из приемника (термоэлектрической батареи) от пирометра 1, карданного подвеса 2, который способен самоуравновешиваться и рукоятки 3 (рис. 1.2).

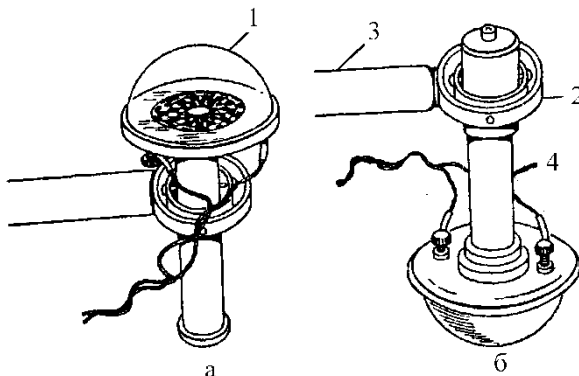


Рис. 1.2. Альбедометр термоэлектрический:
а – положение вверх; б – положение вниз.

Такое устройство обеспечивает горизонтальное положение приемной части альбедометра в двух положениях: приемником вверх для измерения суммарной и рассеянной радиации (рис. 1.2 а) и приемником вниз (рис. 1.2. б) для измерения отраженной радиации. Для осуществления наблюдений рукоятка 3 прикрепляется к трубке 4. С помощью трубки альбедометру придается соответствующее положение. После определения суммарной и отраженной радиации, вычисляется альбедо по формуле (1.3).

Балансомер термоэлектрический применяется для измерения радиационного баланса (В) деятельной поверхности. Прибор представляет собой круглую плоскую оправу 1 диаметром 100 мм, в середине которой располагается приемник в виде квадратных медных пластинок 2 (рис. 1.3).

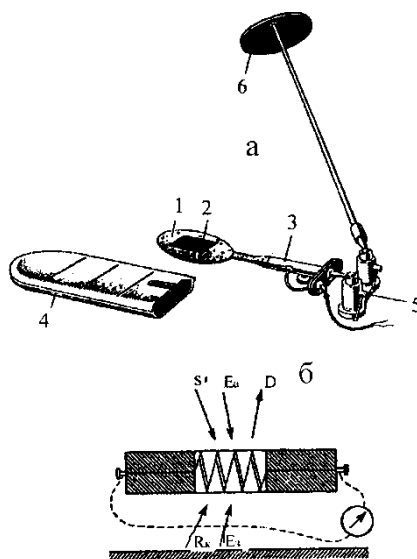


Рис. 1.3. Балансомер термоэлектрический:
а – общий вид; б – схема.

Наружная поверхность этих пластинок затемнена. К оправе присоединена рукоятка 3. Между медными пластинами располагаются 10 специальных термобатарей. Каждая батарея представляет медный брусок, который имеет изоляционное покрытие. На это покрытие намотана константовая стружка. Половина каждого витка катушки изолирована, а вторая посеребрена. Все батареи соединены между собой последовательно. Провода от первой и последней батареи через рукоятку 3 выходят наружу. Балансомер в нерабочем состоянии закрывается крышкой 4. В комплект балансомера входит колодка с двумя шарнирами 5. К одному шарниру прикрепляется балансомер, а к другому – теневой экран 6. Последний необходим для затемнения прибора от прямой солнечной радиации. Балансомер устанавливается строго горизонтально и подключается к гальванометру или интегратору.

При измерении днем приемник, который направлен к небосводу, принимает суммарную радиацию Q и встречное излучение атмосферы E_a . Приемник, который направлен к земной поверхности, принимает отраженную радиацию R_k и собственное излучение земной поверхности E_z .

Суммарная радиация и встречное излучение атмосферы представляют собой приходные составляющие, а отраженная радиация и собственное излучение земной поверхности – расходные составляющие радиационного баланса. Днем радиационный баланс положительный, а ночью – отрицательный. Ночью, когда суммарной радиации нет, радиационный баланс равен эффективному излучению ($B = E_{\text{эф}}$).

Все вышеперечисленные приборы (актинометр, пиранометр, балансомер) по отдельности соединяются с помощью проводов со стрелочным гальванометром ГСА-1 или интегратором, которые предназначены для измерения тока, возникающего в термобатареях актинометрических приборов. Так как гальванометр и интегратор не показывают интенсивность радиации, а дают пропорционально ей силу тока, то для перевода отсчетов в энергетические единицы (кВт/м^2 , МДж/м^2 , $\text{кал/см}^2 \cdot \text{мин}$). Необходимо умножить эти отсчеты на переводной коэффициент данной пары приборов (цена одного деления гальванометра или интегратора).

Гальванометрами называют приборы, предназначенные для измерения слабых токов ($\sim 10^{-5}$ А и менее). Переводной коэффициент вычисляют путем сравнения приборов с абсолютным прибором или вычисляют на основании данных паспорта актинометрических приборов и гальванометра по формуле

$$a = \frac{\alpha}{1000k} (R_{\text{б}} + R_{\text{г}} + R_{\text{д}}), \quad (1.6)$$

где a – переводной коэффициент;

α – цена деления шкалы гальванометра, мА;

k – чувствительность прибора, $\text{мВ} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{мин/кал}$;

$R_{\text{б}}$ – сопротивление термобатареи прибора, Ом;

$R_{\text{г}}$ – внутреннее сопротивление гальванометра, Ом;

$R_{\text{д}}$ – дополнительное сопротивление гальванометра, включенное в наружную цепь, Ом.

Величины a , k , $R_{\text{б}}$, $R_{\text{г}}$, $R_{\text{д}}$ приводятся в поверочных свидетельствах приборов.

Задачи лабораторной работы

1. Изучить устройство термоэлектрического актинометра, измерить прямую солнечную радиацию и рассчитать интенсивность ее на горизонтальную поверхность.

2. Изучить устройство и принцип работы универсального пиранометра (альбедометра) для измерения рассеянной, суммарной и отра-

женной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, а также альбедо различных поверхностей.

3. Изучить устройство и принцип работы термоэлектрического балансомера для измерения радиационного баланса деятельной поверхности.

Порядок выполнения работы

1. Знакомятся с устройством и принципом работы актинометрических приборов: актинометра, пиранометра, альбедометра и балансомера [1, с. 39...45; 2, с. 19...28], изучают методические указания.

2. Снимают крышку с трубки актинометра, включают электрическую лампу, имитирующую искусственное солнце и наводят трубку актинометра на лампу. Если солнечный день, то трубку актинометра наводят на солнце.

3. Подключают два выводных провода от актинометра к клеммам гальванометра «+» и «Р» так, чтобы стрелка отклонилась вправо от нуля. Если стрелка отклоняется влево, то провода меняют местами.

4. Медленно поворачивают трубку актинометра в вертикальной и горизонтальной плоскости, добиваясь максимального отклонения стрелки гальванометра вправо.

5. Закрывают трубку актинометра крышкой, не нарушая его положения, и через 1 минуту берут отсчет по шкале гальванометра с точностью до 0,1. Это нулевое положение стрелки N_1^0 , называемое еще «место нуля», записывают в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Результаты вычислений прямой солнечной радиации S по показаниям актинометра и гальванометра

Место нуля			Отсчеты по гальванометру			Средний отсчет $N_{ср}$	Поправка к гальванометру ΔN	Исправленный отсчет $N_{испр.}$	Фактическое отклонение стрелки гальванометра N	Переводной коэффициент a	Интенсивность радиации S , кал/см ² ·мин
N_1^0	N_2^0	$N_{ср}^0$	N_1	N_2	N_3						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

6. Снимают крышку с трубки актинометра и по истечении 1 мин берут первый отсчет по шкале гальванометра N_1 , затем с интервалом 10...15 с берут еще два отсчета N_2 и N_3 . Отсчеты производят в целых и десятых долях делений (десятые доли отсчитываются на глаз) и записывают в табл. 1.1.

7. Закрывают крышкой актинометр и выжидают 1...2 мин отсчитывают нулевое положение стрелки N_2^0 гальванометра после измерений.

8. Определяют среднее значение места нуля по зависимости

$$N_{cp}^0 = \frac{N_1^0 + N_2^0}{2} \quad (1.7)$$

и средний отсчет по гальванометру

$$N_{cp} = \frac{N_1 + N_2 + N_3}{3} \quad (1.8)$$

9. По поверочному свидетельству, в зависимости от величины среднего отсчета N_{cp} , определяют поправку на шкалу гальванометра ΔN и температурную поправку ΔN_t и находят исправленную величину среднего отсчета $N_{испр}$ по формуле

$$N_{испр} = N_{cp} \pm \Delta N + \Delta N_t. \quad (1.9)$$

10. Определяют величину фактического отклонения стрелки гальванометра N по разности между исправленным отсчетом $N_{испр}$ и средним местом нуля N_{cp}^0 :

$$N = N_{испр} - N_{cp}^0. \quad (1.10)$$

11. Вычисляют интенсивность прямой солнечной радиации S в кал/см²·мин путем умножения фактического отклонения стрелки гальванометра N на переводной коэффициент прибора, который дается в поверочном свидетельстве или определяется по формуле (1.6)

$$S = a \cdot N. \quad (1.11)$$

Результаты вычислений заносят в табл. 1.1. Поправки на шкалу гальванометра ΔN представлены в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1.2. Шкаловые поправки к гальванометру ΔN

Деление шкалы	5	10	15	20	30	40
Поправка ΔN	- 0,7	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2

Контрольные вопросы

1. Что называется солнечной радиацией?
2. В каких единицах измеряется интенсивность лучистой энергии?

3. Что понимают под прямой, рассеянной, суммарной и отраженной радиацией?
4. Что такое излучение Земли, атмосферы и эффективное излучение?
5. Что такое альбедо, от чего зависит его величина?
6. Что такое радиационный баланс земной поверхности и как записывается уравнение баланса для дня и ночи?
7. Какие приборы используются для измерения прямой солнечной радиации? Их устройство и принцип работы.
8. Устройство и принцип работы приборов, которые используются для измерения суммарной, отраженной радиации и радиационного баланса.

Р а б о т а 2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА

На метеорологических станциях измеряют температуру воздуха, почвы, воды и снега. Температура является одной из основных характеристик погоды и климата. Для измерения температуры используют различные типы термометров: жидкостные, термоэлектрические, электротермометры сопротивления и деформационные термометры.

Наиболее распространены жидкостные термометры. Принцип действия жидкостных термометров основан на изменении объема жидкости в зависимости от повышения или понижения температуры. В качестве жидкости в таких термометрах используется ртуть, спирт и толуол. По своему строению жидкостные термометры делятся на два типа: со вставной шкалой и палочные. В последнем термометре шкала нанесена непосредственно на наружную сторону капиллярной трубки. Отсчеты во всех термометрах делают с точностью 0,1 °С.

Температура по Международной практической шкале (МПС) выражается в градусах Цельсия (°С). Интервал между точками плавления льда (0°С) и кипения воды (100 °С) разделен на 100 равных частей; 1/100 часть соответствует 1°С. Для оценки термодинамического состояния атмосферы используется термодинамическая температурная шкала (ТТШ) – Кельвина (ТК). Шкалы отличаются одна от другой началом отсчета. Переход от практической шкалы к термодинамической шкале Кельвина выражается следующим уравнением:

$$TK = 273,2^{\circ} + t^{\circ}C. \quad (2.1)$$

Измерение температуры почвы. На метеорологических станциях наблюдения за температурой почвы осуществляются как на поверхности почвы, так и на различных глубинах. Для этого выбирают площад-

ку размером 4×6 м, которую очищают от травяного покрова, а почву взрыхляют.

Для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова используют срочный, максимальный и минимальный термометры. Термометры устанавливают в середине оголенной площадки на расстоянии 5...6 см один от другого резервуарами на восток в приведенной ниже последовательности: первый с севера – срочный для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова, второй – минимальный, третий – максимальный. Срочный и минимальный термометры необходимо положить на поверхность строго горизонтально, а максимальный с небольшим наклоном в сторону резервуара. Термометры должны лежать на почве таким образом, чтобы их резервуары и наружная оболочка были наполовину заглублены в почву.

Срочный термометр применяется для измерения температуры поверхности почвы и снежного покрова в данный момент (сроки наблюдений). Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром. Он имеет вставную шкалу с ценой деления 0,5°.

Минимальный термометр применяют для измерения самой низкой температуры за период между сроками наблюдений. Это термометр спиртовой, с ценой деления 0,5° со вставной шкалой и цилиндрическим резервуаром. Минимальные показания термометра определяются по легкому штифтику 1 (рис. 2.1), изготовленному из темного стекла с утолщениями на концах. При подъеме резервуара термометра штифтик свободно перемещается в спирте, но не выходит из него, так как благодаря своей легкости не может прорвать поверхностную пленку 2, ограничивающую мениск спирта.

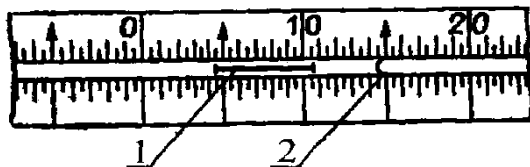


Рис. 2.1. Приспособление для отсчета минимальной температуры.

Штифтик подобран таким образом, что силы трения его о стенки капилляра больше силы расширения спирта и меньше силы поверхностного натяжения спирта. Поэтому при повышении температуры спирт, расширяясь, свободно обтекает штифт, а при понижении температуры, как только поверхностная пленка дойдет до штифтика, последний перемещается этой пленкой в сторону резервуара. Двигается он до тех пор, пока температура понижается. При повышении темпе-

ратуры движение его прекращается. Положение конца штифта, который наиболее удален от резервуара, показывает по шкале минимальную температуру, а мениск спирта – температуру в данный срок измерения. Для приведения минимального термометра в рабочее положение резервуар термометра приподнимают вверх и держат до тех пор, пока штифт не соприкоснется с мениском спирта.

Максимальный термометр служит для измерения самой высокой (максимальной) температуры за период между сроками наблюдений. Это ртутный термометр с цилиндрическим резервуаром и вставной шкалой. Цена деления шкалы $0,5^{\circ}$. Показания максимальных значений температуры этим термометром сохраняются благодаря стеклянному штифту 2, который впаивается в дно резервуара 1 (рис. 2.2).

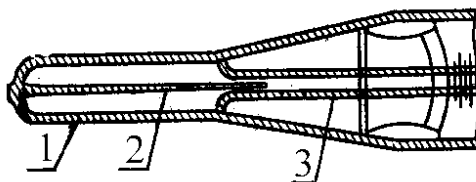


Рис. 2.2. Приспособление для сохранения максимальных показаний термометра.

Верхний конец штифта 2 входит в капилляр 3. В результате этого выход из резервуара в капилляр очень сужен. При повышении температуры ртуть в резервуаре расширяется и поднимается по капилляру, так как силы расширения ртути больше сил трения в месте сужения. При понижении температуры ртуть начинает уменьшаться в объеме, однако находящаяся в капилляре ртуть не может вернуться в резервуар, так как силы трения в месте сужения значительно превышают силы сцепления ртути. Столбик ртути, который останется в капилляре, показывает максимальную температуру за определенный промежуток времени. После отсчета максимальный термометр необходимо встряхнуть несколько раз сильными, но плавными движениями руки. После встряхивания показания максимального термометра должны быть близкими к показаниям срочного.

Для измерения температуры почвы на различных глубинах применяют ртутные коленчатые термометры Савинова и вытяжные термометры.

Ртутные коленчатые термометры Савинова (рис. 2.3) служат для измерения температуры почвы на глубинах 5, 10, 15 и 20 см

(пахотный слой). Это комплект из четырех термометров, которые имеют вставную шкалу с ценой деления $0,5^{\circ}$. Резервуары термометров цилиндрические. Резервуар термометров изогнут под углом 135° . Капилляр от резервуара до начала шкалы изолирован термоизоляционным материалом. Термоизоляция уменьшает влияние конвективных токов воздуха в стеклянной оболочке, которые могут возникнуть вследствие разницы температуры почвы на различных глубинах.

Термометры Савинова устанавливают на одной площадке с термометрами для измерения температуры поверхности почвы в направлении с востока на запад. Их устанавливают весной после оттаивания почвы и убирают осенью. Для установки каждого коленчатого термометра выкапывают траншею в виде трапеции ABCD (рис.2.3).

Северная сторона АВ траншеи отвесная. В ней в углубления, параллельно поверхности почвы, вставляют резервуары термометров по мере возрастания глубины. После установки необходимо проверить угол наклона выступающей части термометра к поверхности почвы. Этот угол должен быть равен 45° . Затем траншею засыпают землей, сохраняя последовательность вынутых пластов.

В сроки измерений наблюдатель становится с северной стороны и последовательно снимает показания, начиная с термометра, который установлен на глубине 5 см.

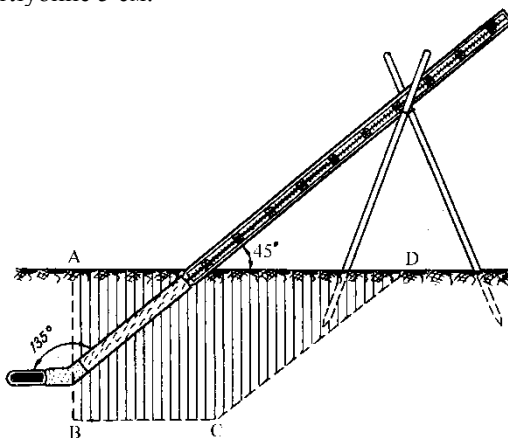


Рис. 2.3. Установка почвенных коленчатых термометров Савинова.

С целью уменьшения влияния внешней среды в момент отсчета термометр 1 вмонтирован в специальную оправу 2 с металлическим колпачком 3 (рис. 2.4). Для лучшего теплового контакта и увеличения инерции термометра пространство между резервуаром термометра и стенками колпачка заполнено медными опилками. Оправа с термометром крепится на деревянной штанге 4, длина которой зависит от глубины установки термометра. Штанга заканчивается колпачком 5 с кольцом 6, за которое термометр вынимают из почвы.

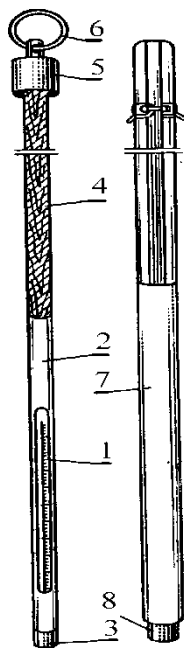


Рис. 2.4. Термометр вытяжной.

Вытяжные термометры размещают на открытом месте с естественным покровом. С помощью бура делают скважины нужной глубины и

в них устанавливают трубы 7 в один ряд через каждые 50 см в направлении с востока на запад. Трубы должны выступать над поверхностью почвы на 40...50 см во избежание заноса их снегом в зимний период. После установки труб в них опускают термометры. Чтобы почва вокруг термометров не уплотнялась, отсчет по ним производят со специального помоста, расположенного с северной стороны термометров.

В сроки наблюдений термометры по очереди, начиная с наименьшей глубины, достают из трубки 7 за кольцо 6 и снимают отсчеты температуры. После этого термометр опускается в трубку. Наблюдения по термометрам на глубинах 60, 80, 120, 160, 320 см проводят на протяжении года один раз в сутки, днем, а на глубинах 20 и 40 см – во все сроки наблюдений.

Измерение температуры воздуха. На метеорологических станциях для измерения температуры воздуха применяются термометры: психрометрический (срочный), максимальный и минимальный. Для непрерывной регистрации температуры воздуха служит термограф.

Психрометрический термометр. Температуру воздуха измеряют при помощи сухого термометра, который является частью психрометра, и в свою очередь предназначен для измерения влажности воздуха. Наиболее широкое применение получили два типа психрометров – стационарные и аспирационные.

Психрометрический термометр – ртутный, с шаровидным резервуаром и металлическим колпачком в верхней части с ценой деления $0,2^{\circ}$. Стационарный психрометр устанавливают в психрометрической будке 1 (рис. 2.5).

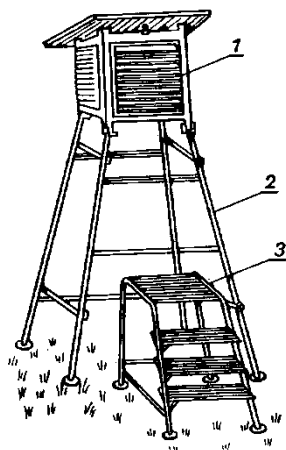


Рис. 2.5. Психрометрическая будка.

Стенки психрометрической будки состоят из двойных жалюзи, расположенных одна над другой под углом 45° к горизонту. Жалюзийные стенки защищают термометры от прямого попадания солнечных лучей и вместе с тем не препятствуют свободному доступу воздуха. Будка ориентируется дверцей на север, чтобы во время отсчетов на термометры не падали солнечные лучи, и укрепляется на подставке 2 высотой 175 см. Для удобства отсчетов около будки устанавливают лесенку 3.

Внутри будки имеется штатив 6 (рис. 2.6), на котором крепятся вертикально два психрометрических термометра: слева – сухой 1, по которому определяют температуру воздуха, справа – смоченный 2. Максимальный 4 и минимальный 5 термометры располагают резервуарами к востоку на особые дугообразные лапки, прикрепленные к нижней перекладине штатива, причем максимальный термометр устанавливают в верхней паре лапок, а минимальный – в нижней паре лапок горизонтально.

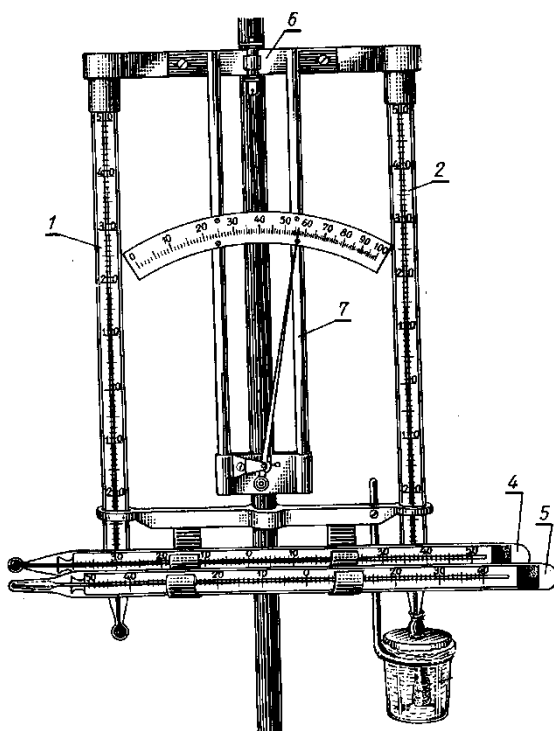


Рис. 2.6. Установка термометров в психрометрической будке.

После отсчета температуры максимальный термометр встряхивают и повторно делают второй отсчет. Штифтик минимального термометра подводят к мениску спирта.

Термограф. Термограф служит для непрерывной записи изменений температуры воздуха на протяжении суток или недели. Поэтому термографы бывают суточные и недельные. Он состоит из трех основных частей: приемной, передающей и регистрирующей (рис.2.7). Приемником термографа является биметаллическая пластинка 1, изготовленная из металлов с различным термическим коэффициентом линейного расширения. В результате этого биметаллическая пластинка изгибается пропорционально изменению температуры. Один конец биметаллической пластинки закреплен неподвижно к колодке 2, а второй – перемещается. К свободному концу биметаллической пластинки прикреплен рычаг 3, который соединен тягой 4 с рыча-

гом 5 коленчатого вала. Вторым рычагом коленчатого вала является стрелка 6, заканчивающаяся пером, которое касается ленты барабана 7. Перо заполняется специальными чернилами с примесью глицерина.

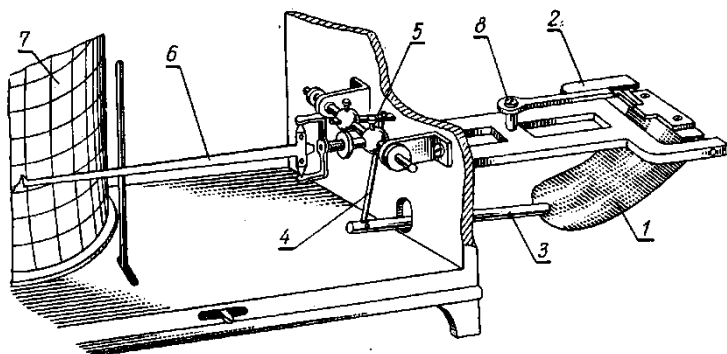


Рис. 2.7. Термограф биметаллический.

Барабан вращается при помощи часового механизма вокруг оси, а перо, касаясь бумажной ленты, вычерчивает на ней график, который соответствует изменениям температуры воздуха.

Регистрирующая часть термографа – барабан 7 с часовым механизмом внутри. Благодаря часовому механизму барабан вращается вокруг неподвижной оси укрепленной на основании корпуса. В зависимости от скорости вращения барабана термографы делятся на суточные и недельные.

Часовые механизмы бывают двух типов: суточные (продолжительность одного оборота барабана 26 ч) и недельные (продолжительность одного оборота барабана 176 ч). Бумажная лента термографа расчерчена прямыми горизонтальными и вертикальными дугообразными линиями. Горизонтальные линии образуют шкалу температуры с ценой деления 1°C . Вертикальные дугообразные линии образуют шкалу времени с ценой деления 15 мин для суточного термографа, 2 часа – для недельного. Перед запуском термографа на ленте делается засечка с указанием времени и температуры воздуха.

Задачи лабораторной работы

1. Произвести обработку ленты термографа (суточного хода изменения температуры воздуха).

2. Построить графики годового хода температуры почвы на различных глубинах по данным одной из метеостанций.

3. Построить графики годового хода среднемесячной температуры воздуха, абсолютного максимума и абсолютного минимума температуры воздуха по данным одной из метеостанций.

Порядок выполнения работы

Подготовка термографа к работе.

1. На барабан термографа накладывают ленту и закрепляют ее специальной пружиной.

2. В таком виде барабан надевают на неподвижную ось корпуса и к нему подводят стрелку с пером.

3. В месте установки пера на ленте засечками отмечают время и температуру воздуха в данный момент.

4. Заводят часовой механизм на сутки и закрывают крышку термографа.

5. На открытой площадке термограф устанавливают в жалюзийной будке.

6. По истечении суток на ленте самописца отмечают время окончания записи и температуру воздуха. После этого производится обработка ленты термографа.

Обработка записи на ленте термографа

1. Выделяют при помощи карандаша на графике хода температуры каждый час в промежутке времени между засечками, сделанными в «срочные» часы наблюдений.

2. Снимают и записывают в таблицу ежеhourные показания температуры термографа с точностью до $0,1^{\circ}\text{C}$.

3. Заносят в таблицу действительные значения температуры воздуха, полученные в сроки наблюдений по сухому термометру психрометра.

4. Вычисляют разность между действительными значениями температуры, полученными в «сроки» наблюдений, и показаниями термографа. Эта разность температур представляет собой поправку к показаниям записи термографа в сроки наблюдений.

5. Определяют поправки для всех остальных часов в промежутке между сроками наблюдений. Для этого необходимо найти разность поправок двух соседних сроков наблюдений и разделить эту разность на количество часов между ними с точностью до $0,01$. Полу-

ченная величина будет средним значением поправки термографа за каждый час.

Например, поправка в 12 ч была $-0,4^{\circ}$, в 18 ч стала $+0,2^{\circ}$. За 6 ч работы поправка изменилась на $0,6^{\circ}$ (от $-0,4$ до $0,2^{\circ}$) а за 1 час – на $0,1^{\circ}$. Зная изменение поправки за 1 ч, можно рассчитать значение поправок для каждого часа. В нашем примере получаются следующие величины.

Часы	12	13	14	15	16	17	18
Поправка, $^{\circ}\text{C}$	$-0,4$	$-0,3$	$-0,2$	$-0,1$	$0,0$	$+0,1$	$+0,2$

6. Алгебраически суммируя поправку с показаниями термографа в соответствующие часы, получают исправленные значения температуры по термографу. Аналогичная работа проводится и для других участков ленты термографа.

7. Определяют по графику на ленте самое высокое (абсолютный максимум) и самое низкое (абсолютный минимум) значения температуры воздуха с учетом поправок, отмечают время наступления экстремальных температур, определяют амплитуду суточных температур воздуха.

По данным одной из метеостанций (приложение 1) построить графики годового хода температуры почвы на различных глубинах. Определить величину годовой амплитуды, месяц начала и время (в сутках) опоздания максимума и минимума для каждой глубины.

Используя данные одной из метеостанций (приложение 2), построить графики годового хода среднемесячной температуры воздуха, абсолютного максимума и абсолютного минимума температуры воздуха.

Контрольные вопросы

1. Какие типы термометров используются в метеорологии?
2. Устройство и принцип работы жидкостных термометров.
3. Температурные шкалы. Переход от температуры одной шкалы к другой.
4. Устройство и принцип работы термометров для измерения температуры поверхности почвы (срочный, максимальный и минимальный).
5. Почвенные термометры и их устройство.
6. Термометры для измерения температуры воздуха.
7. Назначение и устройство термометра.
8. Последовательность обработки ленты термографа.

Р а б о т а 3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА

Водяной пар, находящийся в воздухе, характеризует влажность воздуха. Он поступает в атмосферу в результате испарения с поверхности Мирового океана, рек, озер, поверхности суши, ледяного и снежного покрова, растительности и т.д.

Содержание водяного пара в воздухе характеризуется следующими величинами: абсолютной влажностью, парциальным давлением (упругостью) водяного пара, относительной влажностью, дефицитом упругости водяного пара, точкой росы.

Абсолютная влажность a – количество водяного пара в граммах, содержащееся в 1 м³ воздуха при данной температуре (г/м³).

Парциальное давление (упругость) водяного пара e – давление, которое имел бы водяной пар, находящийся в воздухе, если бы он занимал объем, равный объему воздуха при той же температуре.

Парциальное давление в Международной системе единиц СИ измеряется в гПа. 1гПа = 100 Па, парциальное давление может также измеряться в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.), 1 мм рт. ст. = =1,33гПа.

Между абсолютной влажностью и парциальным давлением существует зависимость

$$a = \frac{0,81 \cdot e}{1 + \alpha \cdot t}, \quad (3.1)$$

где a – абсолютная влажность, г/м³;

e – парциальное давление водяного пара, гПа;

t – температура воздуха, °С,

α – объемный коэффициент теплового расширения воздуха, °С⁻¹.

$\alpha = 0,00366 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Парциальное давление (упругость) водяного пара, находящегося в воздухе, может возрастать до определенного предела, который называется давлением (упругостью) насыщенного водяного пара E . Вычисленные значения давления насыщенного водяного пара над плоской поверхностью чистой воды представлены в приложении 3.

Парциальное давление (упругость) водяного пара вычисляется по психрометрической формуле

$$e = E' - A P (t - t'), \quad (3.2)$$

где e – парциальное давление (упругость) водяного пара, гПа;

E' – давление (упругость) насыщенного водяного пара, взятое по показаниям смоченного термометра, гПа (прилож.3);

P – атмосферное давление, гПа;

t – температура сухого термометра, °С;
 t' – температура смоченного термометра, °С;
 A – психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха около резервуара смоченного термометра, °С⁻¹.

Для стационарного психрометра $A = 0,0007947$ °С⁻¹, для аспирационного $A = 0,000662$ °С⁻¹.

Относительной влажностью f называется отношение парциального давления (упругости) водяного пара к давлению (упругости) насыщенного водяного пара при данной температуре, выраженное в процентах. Относительная влажность характеризует степень насыщения воздуха водяным паром при данной температуре и выражается формулой

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100. \quad (3.3)$$

Дефицитом упругости водяного пара d называется разность между давлением насыщенного водяного пара E находящегося в воздухе при данной температуре и парциальным давлением e . Дефицит упругости водяного пара измеряется в гПа.

$$d = E - e. \quad (3.4)$$

Точкой росы t_d называется температура, до которой должен охладиться воздух при данном давлении, чтобы содержащийся в нем водяной пар стал насыщенным.

При $f = 100$ % фактическая температура воздуха совпадает с точкой росы. Зная парциальное давление водяного столба e , можно определить точку росы t_d по таблицам упругости насыщенного водяного пара E (приложение 3).

Влажность воздуха может быть измерена несколькими методами. Наибольшее распространение получили психрометрический и гигрометрический методы. Приборы, которые используются при измерении влажности воздуха психрометрическим методом, называются психрометрами.

Психрометрический метод. Влажность воздуха определяется по разности показаний двух одинаковых психрометрических термометров – сухого и смоченного. С поверхности резервуара смоченного термометра происходит испарение, которое зависит от влажности окружающего воздуха. Чем суше воздух, тем интенсивнее испарение с резервуара смоченного термометра и тем ниже его показания по сравне-

нию с сухим термометром. Следовательно, по разности показаний сухого и смоченного термометров можно определить влажность воздуха.

Гигрометрический метод измерения влажности воздуха основан на использовании свойства обезжиренного человеческого волоса менять свою длину при изменении влажности окружающего воздуха. Удлинение волоса с изменением относительной влажности воздуха происходит неравномерно.

Станционный психрометр состоит из двух одинаковых психрометров с ценой деления $0,2^\circ$, помещенных рядом на особом штативе в психрометрической будке и стаканчика для дистиллированной воды (см. рис. 2.5). Левый термометр – «сухой», предназначен для измерения температуры воздуха, а правый – «смоченный», служит для измерения температуры собственного резервуара. Резервуар смоченного термометра плотно обернут батистом, нижний конец которого погружен в стаканчик с дистиллированной водой 2. При помощи батиста обеспечивается капиллярное поступление воды к поверхности резервуара и непрерывное поддержание его во влажном состоянии.

Отсчеты по психрометрическим термометрам производят быстро, причем сначала отсчитывают десятые доли, а потом целые градусы. Для определения влажности воздуха психрометры используются при температурах не ниже -10°C .

При температуре ниже 0°C батист обрезают на 2 – 3 мм ниже термометра и стаканчик с водой убирают. Смачивают батист за 30 мин до отсчета водой комнатной температуры, погружая резервуар смоченного термометра в стаканчик. Стаканчик убирают после того, как температура смоченного термометра повысится на 2 – 3° выше 0° ; это значит, что лед на батисте растаял.

Аспирационный психрометр очень удобен для измерения влажности воздуха в полевых условиях. По принципу действия он аналогичен станционному.

Аспирационный психрометр (рис. 3.1) состоит из двух одинаковых психрометрических термометров 1 и 2 с резервуарами цилиндрической формы.

Термометры закреплены в оправе, состоящей из трубки 3, раздваивающейся книзу на две трубочки 5, 6, планок 4 и аспиратора 7. В трубочках 5, 6 имеются еще внутренние трубки 11, 12, в которых помещаются резервуары термометров. Двойные трубки защищают резервуары от нагревания солнечными лучами. Чтобы тепло от корпуса не передавалось к резервуарам, трубки изолируются от него пластмассовыми кольцами 9, 10. Важной частью аспиратора является пружина, которую заводят ключом 8. В результате работы аспиратора вокруг резервуаров термометров создается постоянный ток воздуха со скоростью 2 м/с. Поэтому показания прибора не зависят от скорости ветра.

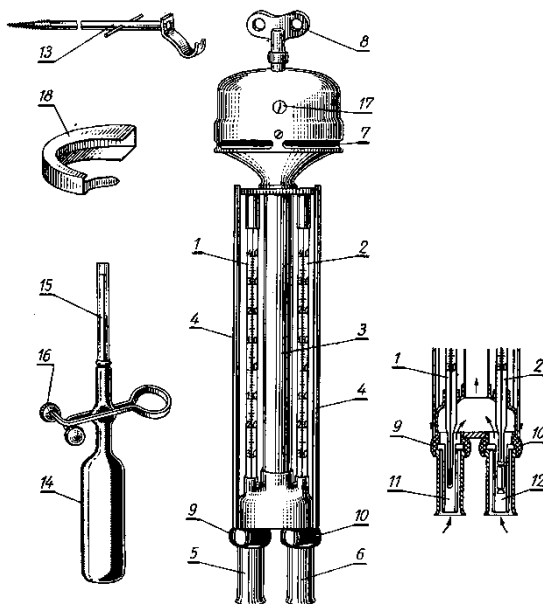


Рис. 3.1. Аспирационный психрометр.

Для лучшего отражения солнечных лучей металлические части прибора никелированы.

Психрометр подвешивают за железный крюк-подвес 13, который может быть ввинчен в деревянный столб на требуемую высоту.

Для смачивания батиста пользуются резиновой грушей 14 со стеклянной пипеткой 15 и зажимом 16.

Волосной гигрометр применяется для определения относительной влажности воздуха при температуре воздуха ниже -10°C . Он является основным прибором для наблюдений за влажностью воздуха при отрицательных температурах. Приемной частью гигрометра (рис. 3.2) служит обезжиренный человеческий волос 1, натянутый на металлическую раму 2. Один конец его закреплен в нижней части регулировочного винта 3, другой – в отверстии металлической дужки 5, насаженной на стержень 6, зажатый винтом 9. Крепление волоса внизу и вверху производится деревянными штифтами 4 и шеллаком. Стержень 6 и стрелка 8 укреплены на одной оси 11. Поэтому изменение длины волоса в результате изменения влажности воздуха вызывает поворот стрел-

ки вокруг оси и смещение ее свободного конца по шкале 10 с делениями от 0 до 100%. Цена деления равна 1% относительной влажности.

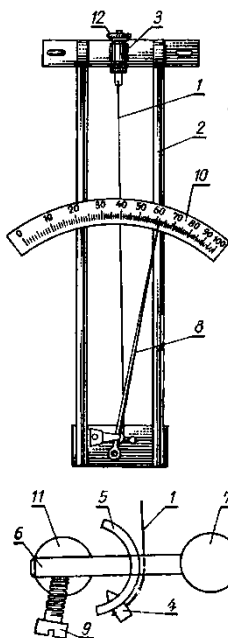


Рис. 3.2. Волосной гигрометр.

Так как волос меняет свою длину неравномерно, то и деления шкалы тоже неравные: в начале шкалы они крупнее, чем в конце.

Волосной гигрометр устанавливают в психрометрической будке между сухим и смоченным термометрами (см. рис. 2.5). Перед подготовкой гигрометра к работе стрелку устанавливают соответственно показаниям психрометра. Отсчеты по гигрометру производят с точностью до 1%. Волосной гигрометр – относительный прибор, поэтому в его показания вводят поправку, которую получают путем сравнения показаний гигрометра с показаниями психрометра.

Гигрограф волосной применяется для непрерывной регистрации изменений относительной влажности воздуха (рис. 3.3).

Приемной частью волосного гигрографа, которая реагирует на изменение относительной влажности, является пучок обезжиренных человеческих волос 1, расположенных в рамке, что располагается за

пределами корпуса прибора. Изменения длины пучка волос передаются через систему рычагов 3, 4 на стрелку 5, на конце которой крепится перо 6. В средней части пучок волос оттянут крючком 2, соединенным с криволинейным рычагом 3, способным вращаться вокруг своей оси. Криволинейный рычаг 3 скользит по другому криволинейному рычагу 4, который имеет общую со стрелкой 5 ось. Для регулировки точности записи пера 6 служит установочный винт 7, при помощи которого регулируется необходимое натяжение пучка волос. При увеличении относительной влажности пучок волос удлиняется, а стрелка с пером перемещается вниз вдоль ленты барабана.

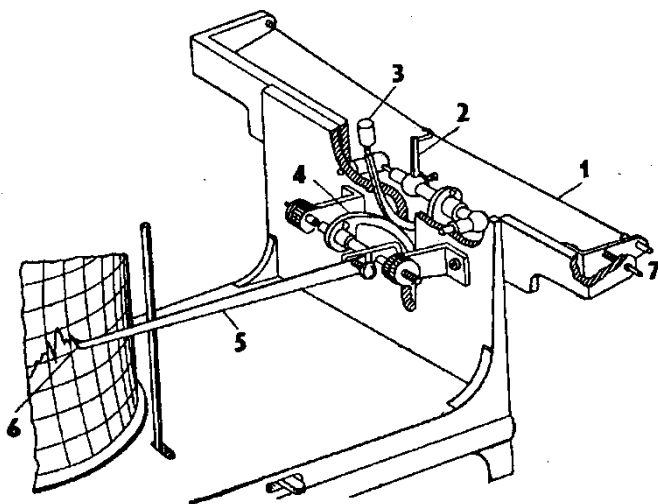


Рис. 3.3. Гигрограф волосной.

Регистрирующей частью гигрографа служит барабан с часовым механизмом. В зависимости от скорости вращения барабана гигрографы различают суточные и недельные. На барабан надевают бумажную ленту, на которой параллельные горизонтальные линии соответствуют относительной влажности воздуха в процентах, вертикальные дуги — времени; на суточных лентах одно деление равно 15 мин, а на недельных — 2 ч.

Для подготовки гигрографа к работе заводят часовой механизм, накладывают на барабан ленту, на которой отмечают время установок,

и ставят перо на заданное время и соответствующую влажность с помощью установочного винта 7.

Так как гигрограф является относительным прибором, то результаты измерения гигрографа сравнивают с показаниями психрометра. Для этой цели в сроки наблюдений по психрометру легким подъемом пера делают засечки на ленте гигрографа.

Обработка ленты гигрографа производится графическим способом. Для этого строят график по отсчетам психрометра и отсчетам, снятым с ленты гигрографа: по оси абсцисс откладывают относительную влажность воздуха по гигрографу, по оси ординат – относительную влажность по психрометру [2]. Среди полученных точек на графике проводят линию, по которой определяют исправленные показания гигрографа. Дальнейшая обработка ленты заключается в том, что, пользуясь графиком, для каждого показания гигрографа, снятого с ленты, находят с точностью до 1% соответствующее ему значение по психрометру и заносят в таблицу.

Задачи лабораторной работы

1. Изучить устройство и принцип работы стационарного и аспирационного психрометра.
2. Провести измерения по аспирационному психрометру и рассчитать парциальное давление (упругость) водяного пара, абсолютную влажность, относительную влажность воздуха, дефицит упругости водяного пара, точку росы по формулам и психрометрическим таблицам.
3. Изучить устройство и принцип работы гигрометра и гигрографа.

Порядок выполнения работы

Изучить устройство, установку и правила наблюдений по стационарному и аспирационному психрометрам. Для этого необходимо использовать литературу [1, с. 78...81; 2, с. 50...54], методические указания, аспирационный психрометр.

Измерения по аспирационному психрометру

1. Аспирационный психрометр подвешивают на столб на необходимую высоту зимой за 20 мин, а летом за 15 мин до времени отсчета показаний.
2. Его ориентируют таким образом, чтобы прямые солнечные лучи падали на планки 4, а термометры 1 и 2 находились в тени (см. рис. 3.1).

3. Смачивают батист правого термометра при помощи резиновой груши 14 зимой за 30 мин, а летом за 4 мин до момента отсчета. Для этого пипетку 15 наполняют дистиллированной водой, после слегка надавливают на грушу и подводят воду на расстояние не ближе 1 см до края пипетки, фиксируя это положение при помощи зажима 16. После этого вводят пипетку в трубку 12, где расположен резервуар термометра, обернутый батистом. Затем открывают зажим (излишки воды при этом возвращаются назад в грушу) и вынимают пипетку с трубки психрометра.

4. После смачивания термометра ключом 8 заводят пружинный механизм аспиратора, который в момент снятия отсчета должен непрерывно работать.

5. Отсчеты производят быстро. Сначала отсчитывают десятые доли градуса по сухому и смоченному термометру, записывают результаты, а после отсчитывают и записывают целые градусы.

Вычисление влажности воздуха

Вычисление величин влажности воздуха производится по показаниям сухого и смоченного термометров аспирационного психрометра.

1. Парциальное давление (упругость) водяного пара e (гПа) определяют по психрометрической формуле (3.2) с учетом разности температур сухого и смоченного термометров, атмосферного давления, давления насыщенного водяного пара.

2. Вычисляют абсолютную влажность воздуха a (г/см³) по зависимости (3.1).

3. Относительную влажность воздуха f (в процентах) вычисляют по формуле (3.3).

4. Дефицит упругости водяного пара d (гПа) определяют по зависимости (3.4).

5. Точку росы t_d (°C) определяют по таблицам упругости насыщенного водяного пара E , зная величину парциального давления e (приложение 3).

На практике для ускорения процесса вычисления величин влажности воздуха пользуются психрометрическими таблицами (приложение 4).

Таблицы дают возможность определять относительную влажность воздуха f (в процентах) по показаниям сухого термометра t (°C) и разности показаний сухого t и смоченного t' термометров.

В психрометрических таблицах в первой графе даны значения давления (упругости) насыщенного водяного пара по показаниям сухого термометра E (мм рт. ст.). Во второй графе даны температуры воздуха через 0,5° по показаниям сухого термометра t (°C). В первой сверху

горизонтальной строке нанесены разности показаний сухого и смоченного термометров ($t - t'$). Во всех остальных графах таблицы даны значения относительной влажности f (в процентах).

Психрометрические таблицы составлены по формулам (3.2), (3.3), (3.4) при постоянной величине психрометрического коэффициента $A=0,0007947\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ и атмосферном давлении $P = 1000\text{ гПа}$. Если давление колеблется в небольших пределах (от 985 гПа до 1013 гПа), поправки к парциальному давлению (упругости) водяного пара не превышают $\pm \Delta e = 0,1 \dots 0,2\text{ гПа}$. При значительно большем колебании атмосферного давления к характеристикам влажности вводятся поправки. Поправки к парциальному давлению (упругости) водяного пара Δe определяют по измеренному атмосферному давлению в зависимости от значений ($t - t'$) и фазы воды на батисте. При атмосферном давлении $P < 1000\text{ гПа}$ поправка положительная, а при $P > 1000\text{ гПа}$ – отрицательная.

Последовательность определения величин влажности воздуха с использованием психрометрических таблиц рассмотрим на примере.

Дано: $t = 22^{\circ}\text{C}$; $t' = 16,5^{\circ}\text{C}$; $P = 765\text{ мм рт. ст.} = 1020\text{ гПа}$.

1. В таблице (приложение 4) выбирают графу, соответствующую значению температуры по сухому термометру $t = 22^{\circ}\text{C}$ (горизонтальная строка).

2. Находят разность температур по сухому и смоченному термометрам $\Delta t = t - t' = 22 - 16,5 = 5,5^{\circ}\text{C}$.

3. На пересечении горизонтальной и вертикальной строк отсчитывают относительную влажность воздуха $f = 54,5\%$.

4. По значению температуры воздуха по сухому термометру $t=22^{\circ}\text{C}$ определяют в первой графе таблицы давление (упругость) насыщенного водяного пара $E = 19,8\text{ мм рт. ст.} = 26,33\text{ гПа}$.

5. По формуле (3.3) определяют парциальное давление (упругость) водяного пара $e = f \cdot E/100 = 54,5 \cdot 26,33/100 = 14,35\text{ гПа}$.

6. Определяют поправку на давление $P = 1020\text{ гПа}$. Поправка составляет $\Delta e = -0,12\text{ гПа}$.

7. Определяют исправленное значение парциального давления (упругости) водяного пара $e_{\text{испр}} = e - \Delta e = 14,35 - 0,12 = 14,23\text{ гПа}$.

8. По зависимости (3.4) определяют дефицит упругости водяного пара $d = E - e_{\text{испр}} = 26,33 - 14,23 = 12,10\text{ гПа}$.

9. По значению парциального давления водяного пара $e_{\text{испр}} = 14,23\text{ гПа}$, используя таблицу упругости насыщенного водяного пара E (приложение 3), определяют точку росы $t_d = 12,2^{\circ}\text{C}$.

Изучить устройство, принцип работы, правила наблюдений по волосному гигрометру и гигрографу. Ознакомиться с графическим способом обработки ленты гигрографа. Для этого необходимо использо-

вать литературу [1, с. 87; 2, с. 58; 4, с. 124], гигрометр, гигрограф и методические указания.

Контрольные вопросы

1. Какие существуют характеристики влажности воздуха?
2. Что такое насыщенный водяной пар и как изменяется упругость насыщенного водяного пара с повышением температуры?
3. Что такое абсолютная влажность, парциальное давление (упругость) водяного пара, относительная влажность, дефицит упругости и точка росы, в каких единицах они измеряются?
4. Какие существуют методы для измерения влажности воздуха?
5. Устройство и принцип работы станционного и аспирационного психрометра.
6. Устройство и принцип работы гигрометра и гигрографа.
7. Что представляют собой психрометрические таблицы?
8. Обработка записи на ленте гигрографа.

Р а б о т а 4. ИЗМЕРЕНИЕ ОСАДКОВ

Атмосферными осадками называют воду в жидком или твердом виде, выпадающую из облаков или осаждающуюся из воздуха на поверхность земли и на предметы. Количество выпавших осадков измеряется толщиной слоя воды в миллиметрах, который образовался бы на горизонтальной поверхности при условии, что выпавшие осадки не просачивались в почву, не стекали и не испарялись. Количество осадков определяют за определенный промежуток времени и вычисляют с точностью до 0,1 мм. Под интенсивностью осадков понимают количество осадков, выпадающих за единицу времени (10 минут). Интенсивность осадков вычисляют в миллиметрах в минуту с точностью до 0,01 мм/мин.

Для измерения жидких и твердых осадков, которые выпадают из облаков на горизонтальную поверхность, наиболее широко применяются осадкомеры и дождемеры.

Осадкомер Третьякова применяется для измерения количества осадков, выпадающих в жидком и твердом виде. Он является главным прибором для измерения осадков на метеорологических станциях.

В комплект осадкомера входят два цилиндрических ведра, крышка, ветровая защита и измерительный стакан. Ведро 1 осадкомера (рис.4.1) имеет приемную площадь 200 см² и высоту 40,0 см. Внутри ведра впаяна диафрагма 2 в виде усеченного конуса. Для уменьшения испарения из ведра в летнее время отверстие диафрагмы закрывается воронкой 3 с маленьким отверстием для стока осадков. С внешней стороны ведра

для слива собранных осадков припаян носик 4, который закрывается колпачком 5 с цепочкой. Крышка служит для того, чтобы закрывать ведро при переносе его с площадки и на время таяния снега в нем. Ведро осадкомера устанавливают в специальное приспособление, которое неподвижно крепится к металлической подставке.

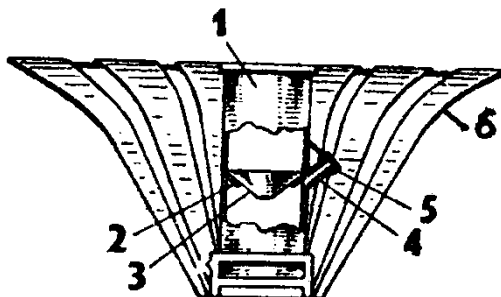


Рис. 4.1. Схема осадкомера Третьякова.

Ветровая защита 6 состоит из 16 трапециевидных изогнутых планок. Крепятся они между собой сверху и внизу кольцевым прутком на одинаковом расстоянии друг от друга. Верхние концы планок находятся на одной высоте с верхним краем ведра.

Собранные осадки выливают в измерительный стакан, который представляет собой мензурку со 100 делениями. Одно деление по объему равно 2 см^3 , которое при площади сечения приемной части ведра 200 см^2 , соответствует 0,1 мм слоя осадков.

Осадкомер устанавливают на металлической подставке с таким расчетом, чтобы приемная поверхность осадкомера находилась на высоте 2 м.

Измерение количества осадков проводят 4 раза в сутки. В срок наблюдений производят смену ведер. Ведро, закрытое крышкой, выносят из помещения и устанавливают в кольцевую оправу, а снятое ведро закрывают крышкой и переносят в помещение. Содержащиеся в ведре осадки переливают через носик в измерительный стакан. Если количество осадков превышает емкость измерительного стакана, то измерения проводят по частям, результаты которых складывают. Измерение твердых осадков проводят после того, когда они полностью растают. К каждому измеренному количеству осадков вводится поправка на смачивание осадкомерного ведра. Для твердых осадков с количеством выше 0,5 мм поправка составляет + 0,1 мм, для жидких осадков, которых выпало менее 0,5 мм – + 0,1 мм, а более 0,5 мм – + 0,2 мм.

Плювиограф – самописец, предназначенный для непрерывной регистрации количества, интенсивности и продолжительности выпадения жидких осадков (рис. 4.2).

Плювиограф (рис. 4.2) состоит из цилиндрического сосуда 1 с приемной площадью 500 см². В нижней части сосуд переходит в конус, заканчивающийся сливной трубкой, которая вставляется в воронку трубки 2, идущей от поплавковой камеры 3. Осадки через приемное ведро поступают в поплавковую камеру, внутри которой находится полый металлический поплавок 4 со стержнем 5 и стрелкой 6, заканчивающейся пером. Рядом с поплавковой камерой укреплен барабан 9 с часовым механизмом. На барабан надевается бумажная лента. Горизонтальные линии на ней соответствуют количеству осадков, а верти-

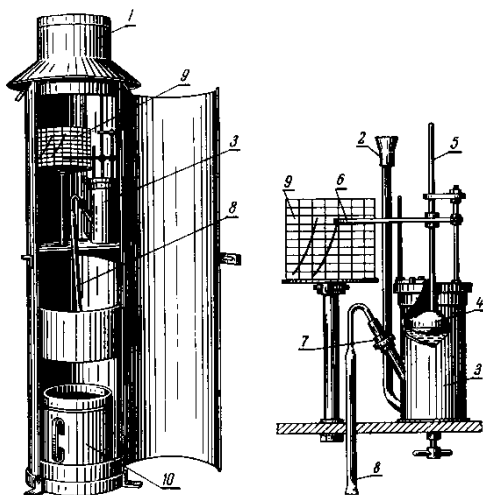


Рис. 4.2. Плювиограф.

кальные – времени. Одно горизонтальное деление равно 0,1 мм осадков, а одно вертикальное – 10 мин. В нижней части корпуса прибора помещается контрольный сосуд 10, в который сливаются осадки из поплавковой камеры.

При выпадении осадков вода из приемного сосуда 1 переливается в поплавковую камеру 3. При этом поплавок, находящийся в камере, поднимается и перо чертит на ленте кривую линию, причем, чем интенсивнее осадки, тем круче подъем кривой. Как только осадки заполнят поплавковую камеру (10 мм), начинает действовать сифон 8 и вода

из камеры автоматически выливается в контрольный сосуд 10. При этом перо вычерчивает на ленте вертикальную прямую линию от верха до нулевого деления ленты. Если осадки продолжают выпадать, поплавковая камера снова наполняется водой и перо поднимается вверх. Если осадки прекращаются, перо чертит на ленте горизонтальную линию.

В холодное время при отрицательных температурах плювиограф не используют, так как вода в сосуде может замерзнуть и повредить прибор.

Прибор устанавливают горизонтально на открытой площадке на специальном столбе так, чтобы его верхняя часть была на высоте 2 м от поверхности почвы. Плювиограф укрепляется проволочными растяжками.

Обработка ленты плювиографа (плювиограммы) заключается в следующем. По записи на ленте отмечают время начала и конца дождя, записывают количество осадков, выпавших за каждый час, вычисляют общую сумму осадков за 24 ч и определяют интенсивность дождя в 1 мин. Интенсивность дождя рассчитывают по 10-минутным интервалам.

Весовой снегомер служит для определения плотности снежного покрова и запасов воды в снеге в полевых условиях. Весовой снегомер (рис. 4.3) состоит из металлического цилиндра 1 и весов. Высота цилиндра 60 см, площадь поперечного сечения 50 см². Один конец цилиндра плотно закрывается крышкой 3, а другой утолщен и заострен в виде пилы. На наружной стороне цилиндра нанесены сантиметровые деления. Нулевое деление совпадает с открытым пилообразным концом цилиндра 2. Вдоль цилиндра свободно перемещается кольцо 4, к которому прикреплена дужка 5 для подвешивания цилиндра к весам.

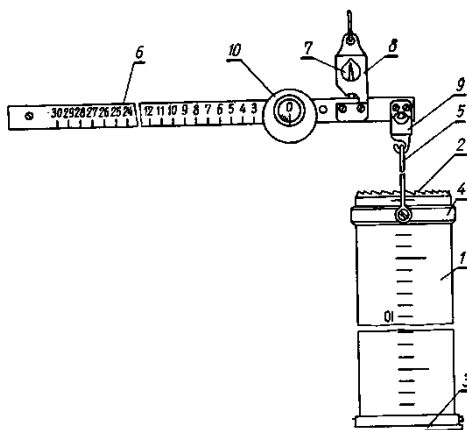


Рис. 4.3. Весовой снегомер.

Весы снегомера состоят из латунной линейки 6, разделенной призмой на два неравных плеча. Призма обращена острием вниз и расположена под указателем стрелкой 7. На эту призму надевается серьга 8, за кольцо которой наблюдатель держит весы. На конце меньшего плеча с помощью второй призмы крепится крючок 9 для подвешивания цилиндра. На большем плече нанесены деления и находится подвижной груз 10 для уравнивания весов. Деления шкалы нанесены от 0 до 300, причем обозначены десятки делений от 1 до 30. Одно деление соответствует 5 г. Для отсчета делений в передвигном грузе сделан вырез, на скошенном крае которого есть риска. Положение равновесия определяется по совпадению указателя – стрелки 7 с риской на серьге 8.

Задачи лабораторной работы

1. Изучить устройство и установку осадкомера Третьякова, плювиографа, весового снегомера и правила наблюдений по ним.
2. Измерить высоту и определить плотность снежного покрова в полевых условиях с помощью весового снегомера.
3. Определить запасы воды в снеге.

Порядок выполнения работы

Подробно изучить устройство и принцип работы осадкомера Третьякова, плювиографа и весового снегомера по литературе [1,

с.114...116; 2, с. 69...70; 5, с. 44...46], а также используя методические указания и сами приборы.

Определение плотности снега и запасов воды в снеге проводятся на открытой русловой площадке.

1. За 30 мин до наблюдений снегомер выносят из помещения, чтобы он принял температуру окружающего воздуха.

2. Проверяют равновесие весов с подвешенным к ним пустым цилиндром, т.е. определяют нулевое показание весов p_0 , когда снегомер пустой.

3. Цилиндр погружают в снег заостренным краем до тех пор, пока он не дойдет до почвы, и отсчитывают высоту снежного покрова h по шкале, нанесенной на цилиндре с точностью до 1 см.

4. Вычисляют объем снега в снегомере по формуле

$$V = s \cdot h, \quad (4.1)$$

где s – площадь поперечного сечения весового снегомера, см^2 ;

h – высота снежного покрова, см.

Так как $s = 50 \text{ см}^2$, то формула (4.1) примет вид $V = 50 h$.

5. Отгребают снег с одной стороны снегомера лопаткой и подсовывают ее под цилиндр, закрывая при этом нижнее отверстие.

6. В таком положении цилиндр вынимают из снега, поворачивают крышкой вниз и подвешивают на крючок весов за ручку скользящего кольца.

7. Перемещая груз по линейке весов, уравнивают их и отсчитывают положение груза по линейке p_1 . При этом необходимо помнить, что цена одного деления на линейке равна 5 г.

8. Определяют действительное показание весов снегомера p с учетом нулевого показания p_0 :

$$p = p_1 - p_0. \quad (4.2)$$

9. Определяют массу снега в граммах:

$$m = 5 p. \quad (4.3)$$

10. Определяют плотность снежного покрова d как отношение массы снега к его объему (г/см^3):

$$d = \frac{m}{V} = \frac{5 p}{50 h} = \frac{p}{10 h}. \quad (4.4)$$

11. При высоте снежного покрова $h > 60$ см. пробу снега берут 2–3 раза, и тогда плотность рассчитывают по формуле

$$d = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{10(h_1 + h_2 + h_3)} . \quad (4.5)$$

Определяют запас воды в снеге h_b в миллиметрах.

1. Весы и цилиндр подобраны так, что запасы воды взятой пробы снега соответствуют числу делений на весах n_1 с учетом n_0 , т.е.

$$h_b = n, \text{ мм.} \quad (4.6)$$

2. С учетом плотности снега d запасы воды в нем определяют по формуле

$$h_b = 10 d n, \text{ мм.} \quad (4.7)$$

3. Запасы воды в снеге ($\text{м}^3/\text{га}$)

$$W = 10 h_b \text{ или } W = 10 n. \quad (4.8)$$

Результаты измерений и вычислений плотности снега и запасов воды в снеге заносят в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1. Результаты расчетов плотности снега и запасов воды в снеге

№ п.п.	Высота снежного покрова h , см	Показания весов при взвешивании			Плотность снега d , г/см^3	Запас воды в снеге	
		n_0	n_1	n		h_b , мм	W , $\text{м}^3/\text{га}$
1	2	3	4	5	6	7	8

Контрольные вопросы

1. Что понимают под количеством осадков? В каких единицах измеряется количество выпавших осадков?

2. Что понимают под интенсивностью осадков?

3. Какие приборы применяются для измерения осадков? Их устройство и принцип работы.

4. Последовательность проведения измерений плотности снега при помощи весового снегомера.

5. Каким образом можно определить запас воды в снежном покрове?

Работа 5. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Атмосферное давление – это сила, с которой давит на единицу земной поверхности (см^2 , м^2) столб воздуха, который расположен от поверхности земли до верхней границы атмосферы.

Атмосферное давление является одной из важнейших метеорологических величин. Изменение атмосферного давления во времени отражает прохождение атмосферных фронтов, циклонов, антициклонов и т.д., а изменение давления по горизонтали является непосредственной причиной движения воздуха. Давление уменьшается с увеличением высоты. На высоте 5000 м атмосферное давление примерно в 2 раза меньше, чем на уровне моря.

Единицей измерения атмосферного давления в системе СИ является гектопаскаль (гПа). $1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}$. 1 Па – это давление, равное силе в 1 ньютон, которая действует на площадь 1 м^2 . $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$. Кроме того, в метеорологии используются единицы давления – миллибар (мб) и миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.). 1 мб – это давление, равное силе 1000 дин, которое действует на площадь в 1 см^2 . Миллиметр ртутного столба – это изменение атмосферного давления, которое соответствует повышению или понижению ртутного столба в барометре на 1 мм. Соотношения между приведенными единицами следующие:

$1 \text{ гПа} = 1 \text{ мб} = 0,75 \text{ мм рт. ст.}$; $1 \text{ мм рт. ст.} = 1,33 \text{ гПа} = 1,33 \text{ мб}$.

Давление воздуха при температуре 0°C на уровне моря и широте 45° северного полушария равно 1013 гПа, или 760 мм рт. ст. Это давление называется нормальным, или стандартным ($760 \text{ мм рт. ст.} = 1013 \text{ гПа}$).

Для измерения атмосферного давления наибольшее распространение имеют ртутные барометры и барометры-анероиды, а для непрерывной регистрации изменения давления – барографы.

Станционный чашечный барометр (рис. 5.1) состоит из двух основных частей: стеклянной трубки 1 и пластмассовой чашки 2, заполненной ртутью.

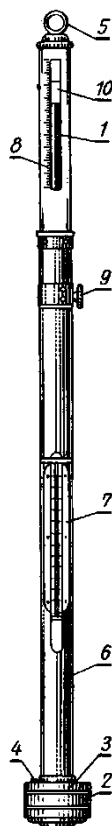


Рис. 5.1. Ртутный чашечный барометр.

Стеклянная трубка опущена открытым концом в чашку. Верхний конец трубки запаян. Чтобы воздух не попал в трубку, ее перед опусканием в чашку наполняют ртутью доверху. Чашка состоит из трех свинчивающихся частей. В верхней части 3, помимо отверстия для стеклянной трубки, имеется еще маленькое отверстие для сообщения ртути, находящейся в чашке, с атмосферным воздухом. Для предохранения ртути от загрязнения это отверстие закрывается винтом 4 с кожаной шайбой. В средней части чашки имеется диафрагма с круглыми отверстиями. Диафрагма, занимая некоторый объем, дает возможность наливать в чашку меньше ртути, а также предохраняет ртуть от сильных колебаний и от попадания воздуха в стеклянную трубку при пере-

носке прибора. При сборке прибора стеклянную трубку и чашку заполняют дистиллированной ртутью.

Стеклянная трубка окружена латунной защитной оправой 6, на которой имеются приспособления для отсчетов. В нижней части оправы укреплен термометр 7 для отсчета температуры прибора. В верхней части оправы имеется сквозная прорезь, позволяющая видеть мениск ртутного столба в стеклянной трубке. С левой стороны нанесена шкала 8 с пределами измерений от 680 до 1110 гПа. Вдоль стеклянной трубки с помощью кремальеры 9 перемещается кольцо с укрепленным на нем нониусом 10, который служит индексом для наводки на мениск ртутного столба и для отсчета десятых долей. Десять делений нониуса равны 9 делениям основной шкалы. В верхней части оправы имеется кольцо 5 для подвешивания барометра.

При отсчетах давления нониус подводят сверху до момента, пока не произойдет касание его нижнего среза верхней части мениска ртути в трубке. Отсчеты показаний барометра и термометра делают с точностью до 0,1 гПа и 0,1°C. Целые гПа отсчитывают по нижнему обрезу нониуса, а десятые – по нониусу. Деление нониуса, совпадающее с делением основной шкалы, показывает число десятых долей шкалы.

Давление столба ртути барометра высотой H уравнивается атмосферным давлением p , которое воздействует на поверхность ртути в чашке барометра и определяется по формуле

$$p = \rho g H, \quad (5.1)$$

где ρ – плотность ртути, кг/м³;

g – ускорение силы тяжести, м/с².

Величины ρ и g характеризуются изменчивостью. Они зависят от температуры, широты и высоты места. Поэтому их необходимо привести к нормальным (стандартным) условиям путем введения соответствующих поправок.

К отсчетам по барометру вводятся следующие поправки: инструментальная, температурная, на ускорение силы тяжести.

Инструментальная поправка зависит от качества барометра. Эта поправка приведена в поверочном свидетельстве (сертификате), что прилагается к барометру. Она находится путем сравнения данного прибора с эталоном.

Поправка на температуру определяется на основе зависимости плотности ртути ρ от температуры. При увеличении температуры ртуть расширяется, плотность ее уменьшается и высота ртутного столба становится завышенной. Поэтому показания барометра приводят к температуре 0°C (приложение 5). При положительных температурах

поправку следует отнимать от отсчета по барометру, а при отрицательных – прибавлять.

Поправка на ускорение силы тяжести зависит от широты и высоты места над уровнем моря. Для сопоставления данных, полученных на разных широтах и высоте над уровнем моря, их приводят до стандартного ускорения силы тяжести, принятого на широте 45° и уровне моря. Поправка на ускорение силы тяжести будет положительной в высоких широтах ($45\dots70^\circ$) и отрицательной – в низких ($20\dots45^\circ$) (приложение 6). В зависимости от высоты над уровнем моря эта поправка будет отрицательной на всех высотах, выше уровня моря (приложение 7).

Барометр-анероид. Он относится к деформационным барометрам, основанным на зависимости упругой деформации приемника под воздействием атмосферного давления. Приемником, который воспринимает изменение атмосферного давления, служит анероидная коробка 1, состоящая из двух спаянных между собой гофрированных мембран (рис. 5.2).

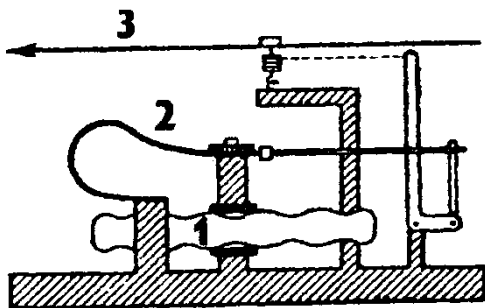


Рис. 5.2. Схема барометра-анероида.

Воздух из коробки откачен. Наружное атмосферное давление направлено на сжатие коробки, но пружина 2 уравнивает стенки коробки в растянутом положении. В результате этого крышка коробки способна к деформациям в зависимости от изменения атмосферного давления. Колебания крышки коробки усиливаются специальной системой подвижных рычагов и передаются на стрелку 3, которая перемещается вдоль шкалы с делениями. К шкале анероида прикреплен термометр для измерения температуры прибора. Механизм анероида помещается в пластмассовый кожух.

Анероид устанавливают в горизонтальное положение. При наблюдениях по анероиду вначале отсчитывают температуру по термометру при анероиде с точностью до $0,1^\circ$. После этого, слегка постучав по

стеклу анероида для преодоления трения в передающей части, отсчитывают положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 единиц измерения.

В показания анероида вводятся три поправки: на шкалу, на температуру, добавочная.

Поправка на шкалу учитывает инструментальные неточности и особенности в передаточном механизме. В поверочном свидетельстве поправка на шкалу приведена через 10 мм показания прибора. Промежуточные значения поправок определяют путем интерполяции.

Поправка на температуру. При одном и том же атмосферном давлении, но разной температуре показания анероида могут быть разными, так как с изменением температуры упругость пружины и мембранной коробки не остается постоянной. Поэтому показания анероидов приводятся к температуре 0° . В поверочном свидетельстве дается величина поправки при изменении температуры на $1^{\circ}(\Delta p')$. Для приведения показаний анероидов к 0° необходимо указанную поправку умножить на температуру прибора.

Добавочная поправка учитывает остаточную деформацию коробки и пружины. Эта поправка меняется во времени. Поэтому в поверочном свидетельстве указывается дата ее определения. Добавочную поправку рекомендуется определять периодически.

Для введения добавочной поправки необходимо произвести серию (5...6) одновременных отсчетов по ртутному чашечному барометру и анероиду. Средняя разница между показаниями барометра с учетом всех поправок и анероида с двумя поправками (на температуру и шкалу) и будет добавочной поправкой к анероиду.

Барограф применяется для непрерывной регистрации изменений атмосферного давления. Он состоит из трех частей: приемной 1; передающей 2; регистрирующей 3 (рис. 5.3). Приемной частью, которая реагирует на изменение атмосферного давления, является несколько анероидных коробок, которые соединены вместе. Воздух из коробок откачен, чтобы коробки не сжимались под воздействием атмосферного давления в середине каждой коробки содержится пружина в виде рессо-ры. При увеличении атмосферного давления коробки сжимаются, а при уменьшении – растягиваются. Чувствительность анероидных коробок зависит от изменений температуры. Для исключения влияния температуры на показания барографа используется биметаллический термокомпенсатор.

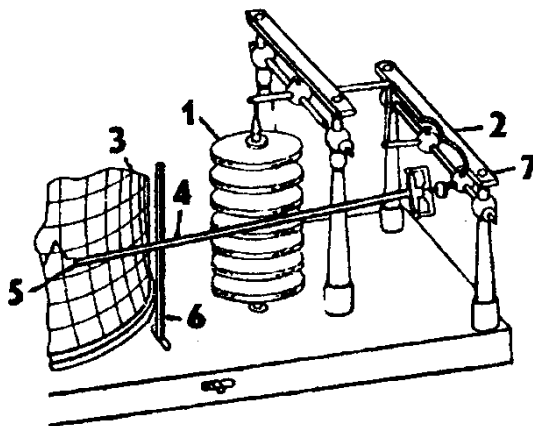


Рис. 5.3. Устройство барографа.

Колебания anerоидных коробок, обусловленные изменением атмосферного давления, усиливаются передаточным механизмом и через систему рычагов передаются на стрелку 4 с пером 5, которое заполняется специальными чернилами.

Регистрирующей частью барографа является барабан 3 с часовым механизмом внутри. На барабан надевается бумажная лента с делениями. На ленте барографа горизонтальные линии соответствуют атмосферному давлению в гПа, а вертикальные дуги – времени.

Зажим 6 позволяет отводить стрелку с пером от барабана в сроки замены ленты. Показания барографа контролируются данными ртутного барометра. Для этого в сроки наблюдений на ленте барографа делается засечка при помощи кнопки 7. Барографы в зависимости от скорости хода часового механизма бывают суточные и недельные. Обработка ленты суточного барографа осуществляется так же, как и термографа.

Изменение атмосферного давления с высотой и по горизонтали. Закономерность изменения атмосферного давления с высотой (для небольшой разности высот между двумя уровнями $H \leq 1000$ м) можно определить, используя приближенную формулу Бабинэ [6]:

$$H = 8000 \frac{2(p_1 - p_2) \left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \right)}{p_1 + p_2}, \quad (5.2)$$

где H – разность высот двух уровней или превышение одного пункта над другим, м;

p_1, p_2 – давление воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях, гПа;

t_1 и t_2 – измеренная температура воздуха соответственно на нижнем и верхнем уровнях $^{\circ}\text{C}$;

α – объемный коэффициент теплового расширения воздуха ($\alpha=0,00366\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Изменение атмосферного давления с высотой характеризуется барической (барометрической) ступенью h .

Барической ступенью называется высота, на которую необходимо подняться или опуститься, чтобы давление изменилось на единицу его измерения (м/гПа).

Барическая ступень вычисляется по упрощенной зависимости Бабинэ, которая получена после преобразований формулы (5.2):

$$h = \frac{8000(1 + \alpha \cdot t)}{P_{\text{ст}}}, \quad (5.3)$$

где t и $p_{\text{ст}}$ – соответственно температура ($^{\circ}\text{C}$) и давление воздуха (гПа) в точке, для которой вычисляется барическая ступень.

Вертикальным градиентом температуры γ называется изменение температуры воздуха на 100 метров поднятия.

Для тропосферы $\gamma = 0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$.

Поэтому, зная температуру воздуха t на высоте H и градиент температуры γ , можно определить температуру воздуха на высоте уровня моря t_0 .

Горизонтальным барическим градиентом (ГБГ) называют изменение давления вдоль горизонтали, направленной перпендикулярно к изобарам от высокого давления в сторону низкого, приходящееся на расстояние 100 км. Формула для вычисления ГБГ имеет следующий вид [6]:

$$\text{ГБГ} = \frac{\Delta p}{\Delta n} \cdot 100, \quad (5.4)$$

где ГБГ – горизонтальный барический градиент, гПа/100 км;

Δp – изменение давления, гПа;

Δn – расстояние по горизонтали, на котором изменяется давление, км.

Задачи лабораторной работы

1. Изучить устройство и установку приборов для измерения атмосферного давления (ртутного чашечного барометра, барометра-анероида, барографа) и правила наблюдений по ним.

2. Записать показания значений давления по ртутному чашечному барометру и барометру-анероиду с учетом поправок.

3. Определить превышение между двумя точками по давлению и температуре воздуха в этих точках, а также величину барической ступени и горизонтального барического градиента (ГБГ).

Порядок выполнения работы

Изучить устройство и принцип работы ртутного чашечного барометра, барометра-анероида и барографа [1, с. 23...35; 2, с. 73...79; 5, с.65...68]. При изучении использовать также приборы, методические указания.

Наблюдения по ртутному чашечному барометру проводят в приведенной ниже последовательности.

1. Отсчитывают температуру по термометру при барометре с точностью до $0,1^{\circ}$.

2. Постучав по защитной оправе барометра, устанавливают нониус с помощью кремальеры на верхнюю часть мениска.

3. Отсчитывают показания барометра с точностью до $0,1$ гПа.

4. Вводят поправки в показания барометра:

– инструментальную (принимают по поверочному свидетельству барометра);

– поправку на температуру (приложение 5, в зависимости от температуры прибора);

– поправку на ускорение силы тяжести, зависящую от широты (приложение 6) и высоты над уровнем моря (приложение 7) В высоких широтах (45° ... 70°) поправка будет положительной, а в низких (20° ... 45°) – отрицательной (приложение 6). Поправка на высоту будет отрицательной на всех высотах (приложение 7).

Наблюдения по барометру-анероиду

1. Барометр-анероид устанавливают горизонтально на столе и открывают футляр.

2. Отсчитывают температуру по термометру при анероиде с точностью до $0,1^{\circ}$.

3. Слегка постучав по стеклу анероида, отсчитывают положение стрелки относительно шкалы с точностью до 0,1 деления.

4. В снятый отсчет вводят следующие поправки:

- на шкалу (берется из поверочного свидетельства анероида);
- на температуру (принимается из поверочного свидетельства в расчете изменения температуры на $1^\circ(\Delta p')$ и приводится к 0°);
- добавочная (определяется как разность между показаниями ртутного барометра и анероида в срок наблюдений).

5. Вычисляют атмосферное давление по исходным данным, представленным в приложении 8 для ртутного чашечного барометра и барометра-анероида.

Задачи

1. Определить высоту гор, если атмосферное давление у подножья составляет 1020 гПа, а температура воздуха равна 26°C , на вершине горы давление – 980 гПа, температура – 14°C .

2. Вычислить барическую ступень у поверхности Земли при давлении 1000 гПа и температуре воздуха – 30°C ; 0°C ; 20°C .

3. На метеорологической станции, высотой 300 м, давление равно 980 гПа, а температура – 6°C . Определить давление на уровне моря.

4. Вычислить горизонтальный барический градиент (ГБГ), если на синоптической карте на двух станциях, расположенных на расстоянии 400 км, проходят изобары 995 и 990 гПа.

Контрольные вопросы

1. Что такое атмосферное давление?
2. Что называется нормальным (стандартным) давлением?
3. Какие существуют единицы измерения атмосферного давления? Их соотношение.
4. Какие приборы применяются для измерения атмосферного давления?
5. Устройство и принцип работы приборов для измерения атмосферного давления.
6. Правила наблюдений по ртутному барометру.
7. Какие поправки вводятся в отсчет по ртутному барометру?
8. Какие поправки вводятся в отсчет по барометру-анероиду?

Р а б о т а 6. ИЗМЕРЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА

Ветер – это горизонтальное движение воздуха относительно земной поверхности. На метеорологических станциях определяется направление и скорость ветра.

Направление ветра определяется в той части горизонта, откуда дует ветер, и выражается в метеорологических румбах или в градусах. В настоящее время принята 16-румбовая система определения направления ветра. В табл. 6.1 представлены белорусские и международные названия румбов и приведены соответствующие им значения направления ветра в угловых градусах.

Направление ветра в градусах начинают отсчитывать с севера по часовой стрелке.

Скорость ветра измеряется в метрах в секунду (м/с), в километрах в час (км/ч) или в баллах.

Таблица 6.1. Название и обозначение румбов и их значения в градусах

Название	Обозначение		Градусы	
	белорусское	международное	от	до
Северо-северо-восточный	ССВ	NNE	12	33
Северо-восточный	СВ	NE	34	56
Восточно-северо-восточный	ВСВ	ENE	57	78
Восточный	В	E	79	101
Восточно-юго-восточный	ВЮВ	ESE	102	123
Юго-восточный	ЮВ	SE	124	146
Юго-юго-восточный	ЮЮВ	SSE	147	168
Южный	Ю	S	169	191
Юго-юго-западный	ЮЮЗ	SSW	192	213
Юго-западный	ЮЗ	SW	214	236
Западно-юго-западный	ЗЮЗ	WSW	237	258
Западный	З	W	259	281
Западно-северо-западный	ЗСЗ	WNW	282	303
Северо-западный	СЗ	NB	304	326
Северо-северо-западный	ССЗ	NNW	327	348
Северный	С	N	349	11

Скорость и направление ветра – очень изменчивые характеристики физического состояния атмосферы. Поэтому среднюю скорость ветра принято определять за десятиминутный, а направление – за двухминутный интервал времени. При этом отмечается максимальный порыв ветра (максимальная скорость). Кроме этого определяется изменчивость скорости и направление ветра или его порывистость. Порывистость оценивается качественно: по направлению – постоянный или переменный, а по скорости – ровный или порывистый.

Для измерения направления и скорости ветра используются флюгер, ручной чашечный анемометр и анеморумбометр.

Флюгер является наиболее простым по устройству и широко распространенным прибором для измерения направления и скорости ветра. Указателем направления ветра у флюгера служит двухлопастная флюгарка 1 с противовесом 2 и восемь штифтов 3, ввинченных в муфту 4, причем четыре штифта длинные и четыре короткие (рис. 6.1).

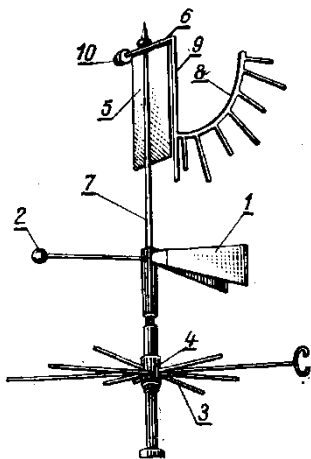


Рис. 6.1. Флюгер.

Длинные штифты соответствуют направлению С, Ю, З, В, короткие— СЗ, СВ, ЮЗ, ЮВ. Один штифт, обозначенный буквой С, должен быть направлен строго на север. Под действием ветра флюгарка вращается вокруг вертикальной оси. Направление ветра определяют по положению противовеса флюгарки относительно штифтов.

Указатель скорости ветра состоит из железной доски 5 размером 15×30 см, свободно качающейся над флюгаркой около горизонтальной оси 6, закрепленной на металлическом стержне 7, и восьми штифтов, ввинченных в дугу 8, которая также соединена с осью 6 металлическим стержнем 9. Для уравнивания дуги на другом конце оси навинчен груз 10. Нумерация штифтов начинается с отвесного штифта, имеющего нулевой номер. Для удобства отсчета четные штифты (0, 2, 4, 6) делают длиннее нечетных (1, 3, 5, 7). Различают флюгеры с легкой доской (200 г) и с тяжелой (800 г).

Под воздействием ветра флюгарка устанавливается в его направлении, а доска — всегда перпендикулярно направлению ветра и отклоня-

ется на угол, который зависит от скорости ветра, и ставится рядом с соответствующим штифтом. При помощи флюгера с легкой доской можно измерять скорость ветра до 20 м/с, а с тяжелой – до 40 м/с.

Флюгер устанавливают на металлической мачте высотой 10...12 м от поверхности земли с условием, чтобы окружающие его здания, деревья и другие предметы были на значительном расстоянии и не оказали влияния на его показания. Он ориентируется длинным штифтом с буквой С (N) на север. Ночью он освещается электрическими лампочками.

При определении направления ветра наблюдатель должен стоять рядом с мачтой; на протяжении 2 мин наблюдатель за положением флюгарки и отмечать среднее ее местоположение в отношении штифтов, что указывают стороны света.

Для определения скорости ветра наблюдатель должен отойти от мачты и стать в направлении, перпендикулярным положению флюгарки. На протяжении 2 мин необходимо следить за колебанием доски и определить ее среднее положение за этот промежуток времени в отношении штифтов.

В книгу наблюдений записывают направление ветра и номер штифта, около которого или между которыми отмечено среднее положение доски. После этого скорость ветра переводят в метры в секунду, используя табл. 6.2 [2].

Т а б л и ц а 6.2. Определение скорости ветра по положению доски флюгера, м/с

Доска	Положение доски около штифта														
	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7
Легкая	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	17	20
Тяжелая	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	24	28	34	40

По флюгеру определяется также характер ветра. Направление ветра считается **постоянным**, если на протяжении наблюдений противовес колеблется в пределах одного румба. В других случаях ветер считается **переменным**. Ветер называют **ровным**, если доска колеблется на протяжении 2 мин около одного штифта, или между двумя соседними. Если амплитуда колебаний более двух штифтов, ветер характеризуется как **порывистый**.

Ручной чашечный анемометр со счетным механизмом применяется для измерения средней скорости ветра в пределах от 1 до 20 м/с за определенный промежуток времени. Приемной частью данного прибора является вертушка с четырьмя полусферическими чашками 1 (рис. 6.2). Она крепится на металлической оси 2. На нижнем конце оси имеется резьбовая нарезка, соединенная с шестеренчатым механизмом, который находится в пластмассовом корпусе 4. Полушария защищены

от механических повреждений проволочными дужками 3. Шестеренчатый механизм представляет собой счетчик количества оборотов вертушки при воздействии на нее ветра. Счетчик связан с тремя стрелками, которые перемещаются вдоль трех циферблатов 5. По показаниям большой стрелки отсчитывают единицы и десятки оборотов от 0 до 100. По показаниям двух маленьких стрелок отсчитывают сотни и тысячи оборотов, соответствующие им циферблаты имеют по 10 делений.

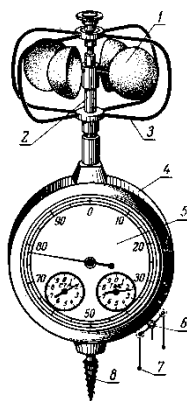


Рис. 6.2. Ручной чашечный анемометр.

Счетный механизм включается и выключается арретиром, выступающий конец которого расположен сбоку корпуса и имеет вид подвижного кольца 6. Движением арретира 6 вверх (против часовой стрелки) счетчик анемометра включают, а движением вниз (по часовой стрелке) – выключают. Время измерения скорости ветра анемометром должно быть не менее 100 с. Для включения и выключения арретира к нему привязывают шнурок, а концы его пропускают в ушки 7. В нижней части прибора имеется винт 8 для установки анемометра на деревянном столбе.

Анеморумбометр – дистанционный прибор. Он служит для измерения скорости ветра, осредненной за 10-минутный интервал, максимальной мгновенной скорости ветра между сроками наблюдений и направления ветра (рис. 6.3).

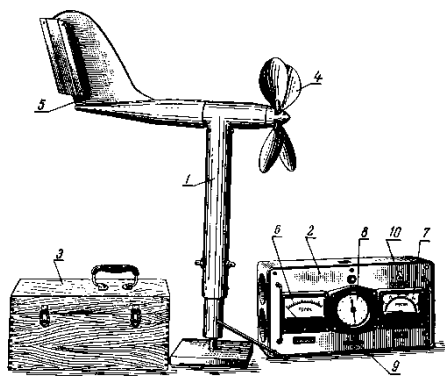


Рис. 6.3. Анеморумбометр.

Принцип действия анеморумбометра основан на преобразовании направления и скорости ветра в электрические величины. В комплект прибора входит датчик 1, измерительный пульт 2 и блок питания 3. Датчик состоит из обтекаемого корпуса, вращающегося вокруг вертикальной неподвижной стойки. В конце корпуса находится флюгарка 5, а в начале – четырехлопастный винт 4 с горизонтальной плоскостью вращения, которая с помощью флюгарки устанавливается всегда перпендикулярно направлению воздушного потока. Внизу вертикальной стойки находится ориентир для установки датчика относительно сторон света и штепсельный разъем для подключения соединительного кабеля.

Измерительный пульт – настольный прибор, на лицевой стороне которого размещены указатель мгновенной скорости 6, указатель средней скорости 7 и указатель направления ветра 8.

Блок питания состоит из двух батарей аккумуляторов, вольтметра для измерения напряжения аккумуляторов и тумблера. Блок питания подключается к сети переменного тока.

Датчик анеморумбометра устанавливают на высокой мачте, а измерительный пульт и блок питания – в служебном помещении на столе. Датчик и измерительный пульт соединены между собой многожильным кабелем длиной 150 м, а измерительный пульт и блок питания – проводом длиной 2 м.

Для измерения направления ветра на 2 мин нажимают кнопку 9 и на глаз определяют среднее положение стрелки за это время. Максимальную скорость ветра, зафиксированную прибором между сроками наблюдений, отсчитывают по шкале 6 указателя. После этого, нажав кнопку 10, сбрасывают ее и отсчитывают еще максимальную скорость за 2-минутный интервал. Осредненную за 10-минутный интервал ско-

рость ветра измеряют по шкале 7. Отсчеты скорости ветра производят с точностью до 1 м/с. Осреднение скорости ветра и регистрация максимальных значений осуществляются автоматически. Пределы измерения скорости ветра – от 1,5 до 60 м/с.

Роза ветров. В практике строительства сельскохозяйственных зданий и сооружений, для правильного размещения защитных лесных полос, кулис, проведения мероприятий по снегозадержанию необходимы сведения о направлении ветра в данной местности. С этой целью определяют повторяемость направления ветра по румбам на основании ежедневных наблюдений за многолетний период. Выражается она в процентах и обычно дается для января и июля по восьми румбам.

Для наглядного представления режима ветра в данном месте за месяц, сезон, год по данным повторяемости строится роза ветров (рис. 6.4).

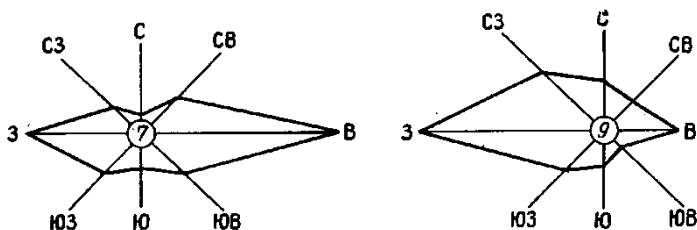


Рис. 6.4. Роза ветров.

Задачи лабораторной работы

1. Изучить устройство и установку флюгера, ручного анемометра, анеморумбометра и правила наблюдений по ним.
2. Измерить и определить среднюю скорость ветра ручным анемометром.
3. Построить розы ветров по данным метеорологических станций и дать их анализ.

Порядок выполнения работы

Основываясь на литературных данных [1, с. 118...124; 2, с. 79...85; 5, с. 68...74], методических указаниях, метеорологических приборах изучить устройство и принцип работы флюгера, ручного чашечного анемометра и анеморумбометра.

Измеряют скорость ветра ручным чашечным анемометром. Для этого выбирают открытый участок, расположенный на значительном расстоянии от зданий, деревьев, кустарников и других видов препятствий. Последовательность измерений изложена ниже.

1. Перед наблюдением при включенном счетчике записывают начальные показания, т.е. положения всех трех стрелок на циферблатах (тысячи, сотни, десятки, единицы).

2. Для измерения скорости ветра ручной анемометр устанавливают на деревянном столбе необходимой высоты или держат на вытянутой руке. Наблюдатель должен стоять лицом к ветру, а циферблат прибора – повернут к наблюдателю.

3. Включают счетчик анемометра через 1...2 мин, когда скорость вращения вертушки установится.

4. Через 10 мин включают счетчик и записывают новые показания прибора (секундомер включают и выключают одновременно с аррети-ром анемометра).

5. По разности отсчетов по анемометру до и после наблюдений определяют число делений в 1 с.

6. Пользуясь графиком поверки ручного анемометра, которое прилагается к прибору, определяют среднюю скорость ветра (м/с).

Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 6.3.

Таблица 6.3. Результаты измерения средней скорости ветра ручным чашечным анемометром

Место измерений	Время	Отсчеты		Разность отсчетов	Время измерения скорости	Число делений в 1 с	Средняя скорость ветра, м/с
		начальный	конечный				
1	2	3	4	5	6	7	8

По данным повторяемости и направления ветра, представленным в приложении 9 строится роза ветров для января (I) и июля (VII).

1. Для построения розы ветров из одной точки по направлению восьми основных румбов откладывают отрезки, соответствующие повторяемости направления ветра (%) данного румба в выбранном масштабе.

2. Полученные точки на румбах соединяют прямыми линиями (см. рис. 6.4).

3. В центре розы ветров показывают число штилей.

Пользуясь розами ветров (рис. 6.4), можно сделать вывод, что промышленные предприятия и фермы лучше располагать с южной или северо-восточной стороны от населенных пунктов, лесные полосы должны иметь направление с севера на юг и т. д.

Контрольные вопросы

1. Как определяют направление и скорость ветра?

2. Устройство флюгера.
3. В чем заключается последовательность наблюдений по флюгеру?
4. Какие скорости измеряются по флюгеру, оборудованному легкой и тяжелой доской?
5. Устройство и принцип работы ручного чашечного анемометра.
6. Что собой представляют анеморумбометры?
7. Последовательность наблюдений по анеморумбометру.
8. Что такое роза ветров и для каких целей она строится?

Р а б о т а 7. УСТРОЙСТВО ВОДОМЕРНОГО ПОСТА И НАБЛЮДЕНИЯ ЗА УРОВНЕМ ВОДЫ

Уровень воды – высота водной поверхности относительно постоянной горизонтальной плоскости, называемой нулем графика («О») водомерного поста. Плоскость принимается ниже наинизшего уровня воды.

Устройство для определения уровня воды в водотоке или водоеме называется водомерным постом. По назначению водомерные посты подразделяются на следующие виды:

- о с н о в н ы е (уровенные), по которым систематически ведут наблюдения за уровнем в определенном пункте;

- г и д р о с т в о р н ы е, устраиваемые в гидрометрическом створе, уровни по которым наблюдаются только при измерении расходов воды;

- г и д р о п р о г н о с т и ч е с к и е, по которым (в дополнение к основным) ведут наблюдения в целях гидрологических прогнозов, т. е. предсказания водного режима;

- у к л о н н ы е (парные), наблюдения по которым позволяют определить падение водотока, т. е. разность отметок поверхности воды;

- с п е ц и а л ь н о г о н а з н а ч е н и я – для изучения русловых процессов, пусковых волн и т. д.

Водомерные посты в зависимости от срока действия бывают:

- п о с т о я н н ы е, предназначенные для длительных наблюдений за уровнями воды;
- в р е м е н н ы е, создаваемые на период изысканий или строительства;
- п е р е д в и ж н ы е, устанавливаемые в местах стоянок изыскательских партий.

По конструкции водомерные посты можно подразделить на следующие типы:

- н е п е р е д а т о ч н ы е, на которых уровень воды отсчитывают непосредственно по делениям рейки, смачиваемой водой; сюда относятся реечные, свайные и реечно-свайные посты;
- п е р е д а т о ч н ы е,

где уровень фиксируется на некотором расстоянии от свободной поверхности воды.

Передаточные посты, в свою очередь, подразделяются на следующие типы: с неавтоматическими отметчиками уровня; с автоматическими отметчиками уровня; с непрерывной регистрацией уровней при помощи приборов, называемых самописцами уровня воды; с дистанционными устройствами, позволяющими измерять уровни на значительном расстоянии от водного объекта.

Сроки измерения уровней воды на водомерных постах, предназначенных для изучения гидрологического режима рек в естественном состоянии, в известной степени нормированы. За основные сроки наблюдений приняты 8.00 и 20.00 часов по местному времени ежедневно. Частота регистрации уровней увеличивается или уменьшается в зависимости от распределения во времени характеристик гидрологического режима. Оптимальная частота измерений уровней вырабатывается в ходе изучения режима водотока. Существуют основная, статистическая и специальная обработки уровней. В состав основной обработки входят приведение измеренных уровней к нулю графика, вычисление среднесуточных уровней.

Уровни с 1 января по 31 декабря вносят в сводную таблицу «Ежедневные уровни воды» (ЕУВ). Рядом с уровнями условными знаками отмечают явления ледового режима. В этой таблице кроме среднесуточных помещаются также средние, высшие и низшие уровни за каждый месяц и год.

По данным таблицы ЕУВ строят график колебаний уровней воды $H = f(t)$ с нанесением среднего уровня $H_{\text{ср}}$ и ледовых фаз.

Для решения ряда практических задач (например, определение периода, в течение которого уровень воды в реке не опускается ниже заданного; значение уровня, ниже которого вода не опускалась в течение определенного числа дней, или определение уровня, чаще всего встречающегося, и т.п.) проводят статистическую обработку уровней. Такая обработка, основанная на принципах и методах математической статистики, выполняется для любых гидрологических величин уровней, расходов воды, стока и т. п. в различные периоды (многолетний, отдельный год, период ледохода и весеннего половодья, межень и т. д.). В результате определяются повторяемость (частота) и продолжительность (обеспеченность), строятся кривые частоты и обеспеченности. Повторяемость уровней представляет число случаев (количество дней или лет) стояния уровней в заданном уровне интервале. Повторяемость, выраженная в процентах от общего количества дней рассматриваемого периода, называется частотой. Продолжительность стояния уровня – это количество дней или лет, в течение которых наблюдались уровни выше заданного или равные ему. Продолжитель-

ность, выраженная в процентах от всего расчетного периода, называется обеспеченностью (P , %).

Задачи лабораторной работы

1. Для данного поперечного профиля реки определить конструкцию водомерного поста.
2. Запроектировать постовые устройства, провести наблюдения и основную обработку измеренных уровней в течение двух суток.

Исходные данные: 1) схема поперечного профиля реки в створе водомерного поста (приложение 10); 2) данные наблюдений за уровнем воды (приложение 11).

Порядок выполнения работы

На стандартном листе миллиметровой бумаги в принятых масштабах абсцисс и ординат строится поперечный профиль реки, который является основой для составления проекта водомерного поста. На поперечный профиль наносятся отметки уровня высоких вод (УВВ) и уровня низких вод (УНВ), которые позволяют установить амплитуду колебания уровней в реке.

При определении типа водомерного поста учитывается размер годовой амплитуды колебаний уровня, особенности строения берега реки, наличие мостов и гидротехнических сооружений и другие местные условия.

Речной водомерный пост устраивают на водотоках и водоемах с крутыми берегами, небольшими (до 2–3 м) годовыми амплитудами колебаний уровней воды, при наличии условий, обеспечивающих сохранность поста от повреждения волнением, ледоходом, при сплаве леса или судами. При больших амплитудах колебаний уровней воды речные посты применяются в случае наличия возможности прикрепления водомерной рейки к мостовой опоре или гидротехническому сооружению [8].

При умеренной крутизне берегов и малой амплитуде колебаний уровней рейку следует помещать в ковш-котлован, который свободно сообщается с рекой и служит успокоителем для волн. В местах с искусственным укреплением береговых откосов целесообразна установка поста с наклонной рейкой.

Для равнинных рек со значительной амплитудой колебаний уровней наиболее удобен свайный водомерный пост. В скалистых берегах вместо установки свай делают высечки в виде ступеней с установкой зацементированных в скалу металлических штырей.

Смешанный тип (реечно-свайный) пост устраивается на участках рек, имеющих резкие переломы склонов берега: на крутой части устанавливается рейка, на пологой – сваи.

Передаточные посты устраиваются в тех случаях, когда подход к воде затруднителен из-за отвесных берегов. В зависимости от местных условий применяются передаточные посты как с автоматическими, так и с неавтоматическими отметчиками уровня.

При оборудовании поста самописцем может быть использован островной (когда сооружение с самописцем устанавливается непосредственно в водоеме, реке, озере) или береговой (когда все сооружение устанавливается на берегу в колодце, сообщающемся с водоемом через трубу) типы.

Выбрав конструкцию водомерного поста, приступают к составлению его проекта. На поперечном профиле размещаются постовые устройства, определяется положение нуля графика. Контрольный репер размещается выше возможной границы затопления на расстоянии 15 – 20 м. Головка верхней сваи должна быть на 0,25 – 0,5 м выше наивысшего уровня воды, а головка нижней сваи – на 0,5 м ниже наименьшего уровня. Превышение головок свай над поверхностью земли должно быть не более 0,1 – 0,15 м. Количество устанавливаемых свай определяется исходя из допускаемой разности отметок головок смежных свай, равной 0,7 – 0,8 м, и расстояния между ними не более 50 м (рис. 7.1).

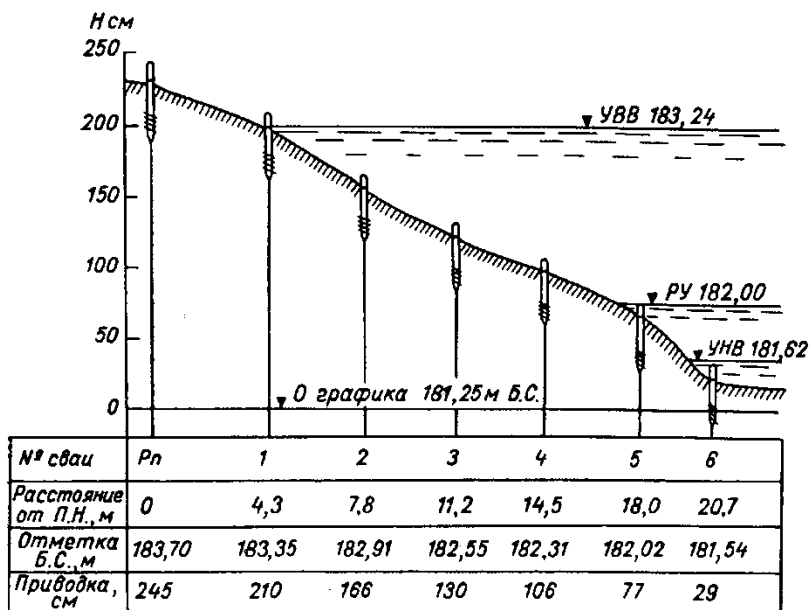


Рис. 7.1. Схема свайного водомерного поста.

На профиле водомерного поста условными знаками наносится тип реперов и свай (металлические винтовые, бетонные, деревянные), а также характер грунта (скальный, камни, валуны, галька, суглинок, песок и пр.). Под профилем составляется таблица, в которую заносятся номера реперов и свай, расстояние от постоянного начала или от репера до свай, абсолютные отметки свай (м) и приводки (см).

Данные наблюдений за уровнем воды (приложение 11) необходимо привязать к составленному проекту водомерного поста. Учитывая, что в приложении 11 уровни воды указаны для периода весеннего половодья как расстояние до плоскости, расположенной ниже УВВ, а для летней межени — выше УНВ, при заполнении книги водомерных наблюдений необходимо эти данные представить в виде отсчета уровня по соответствующей свае (рейке), используя составленный проект водомерного поста.

При учащенных сроках наблюдений в период паводка следует иметь в виду, что перевод наблюдений с одной сваи на другую должен производиться по двум сваям. Если головка сваи выходит из воды, то

наблюдатель должен произвести измерения по данной свае и ближайшей к ней, затопленной водой, в два срока наблюдений.

Для обработки данных наблюдений используются приводки, взятые с профиля водомерного поста. Следует иметь в виду, что приводки, полученные после ремонта, начинают применять с даты ремонта. Если отметка сваи изменилась вследствие выпучивания грунта, вызванного его оттаиванием, то измененную приводку следует отнести на дату наступления положительных температур воздуха. Момент изменения приводок в период ледохода, замерзания и оттаивания почвы может быть установлен с помощью построенного графика связи между значениями уровня воды по выше- и нижерасположенным постам. Нарушение этой связи указывает на момент изменения приводок. Уровень воды над нулем графика (H , см) определяется как

$$H = h \pm a, \quad (7.1)$$

где a – отсчет по водомерной рейке, см;

h – приводка, см.

Вычисление средних суточных уровней производится по данным двухсрочных наблюдений как среднее арифметическое значение. При многосрочных наблюдениях среднесуточный уровень вычисляется как среднее взвешенный:

$$H_{\text{ср}} = \frac{\sum H_i t_i}{\sum t_i}, \quad (7.2)$$

где t – время между двумя сроками наблюдений, ч.

Результаты вычислений представляются в табл. 7.1.

Т а б л и ц а 7.1. Выписка из книжки для записи водомерных наблюдений

Дата	Час	Уровень воды, см				Температура, С°			Ветер и волнения	Осадки	Примечание
		№ сваи, рейки	отсчет	над нулем графика	средний за сутки	наблюдения	средняя за сутки	воздуха			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются водомерные посты?
2. Требования к участку реки при устройстве водомерного поста.
3. Как производятся наблюдения на водомерном посту?
4. Состав камеральной обработки материалов наблюдений водомерного поста

Работа 8. ОБРАБОТКА ПРОМЕРОВ РУСЛА В ГИДРОМЕТРИЧЕСКОМ СТВОРЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РУСЛА

Глубиной потока называется расстояние по вертикали от его свободной поверхности до дна. Глубины в отдельных точках потока называют местными глубинами. При помощи измеренных глубин можно определить форму рельефа дна водотока или водоема, объем воды в водохранилище или озере и пр. Определение скоростей течения воды, расходов воды и наносов всегда сопровождается измерением глубин. Глубины измеряют гидрометрической штангой (наметкой) и лотом, гидрометрическими профилографами, эхолотом.

В состав работ по производству измерений глубин воды, кроме измерения самих глубин, входит также определение в плане положения вертикалей для измерения глубин. Вертикали для измерения глубин воды в реках, водохранилищах и других водоемах называют промерными вертикалями.

Водные сечения, в которых измеряют глубины, ориентируют по отношению к направлению движения потока различным образом. Наиболее типичными являются сечения: поперечное, продольное и косое.

Количество промерных вертикалей на поперечнике назначают исходя из цели промерных работ и характера рельефа дна. Для средних условий на реках шириной от 10 до 50 м берут 10 – 20 промерных вертикалей, на реках шириной от 100 до 300 м – 20 – 30 вертикалей и при ширине до 1000 м – 40 – 50 вертикалей. Чем сложнее рельеф дна, тем больше степень сгущения промерных сечений и промерных вертикалей [8].

Промерные работы на участке реки заканчиваются подсчетом основных морфометрических и гидравлических характеристик. Эти характеристики профиля водного сечения реки используются при гидрологических и гидравлических расчетах, вычислениях расходов воды, экстраполяции кривых $Q = f(H)$.

Задачи лабораторной работы

1. Построить поперечный профиль водотока.
2. Определить основные морфометрические и гидравлические характеристики профиля водного сечения.

Исходные данные: Промеры глубин поперечного сечения русла в гидрометрическом створе (приложения 12, 13).

Порядок выполнения работы

1. Поперечный профиль водотока строят по глубинам и расстояниям от постоянного начала до промерных вертикалей. Под профилем выписывают номера промерных вертикалей, расстояния от постоянного начала, глубины.

При построении поперечного профиля водотока вертикальный масштаб назначается крупнее горизонтального. Урезы воды левого и правого берегов на чертеже должны быть слева и справа. Поверхность воды обозначают горизонтальной линией (рис.8.1).

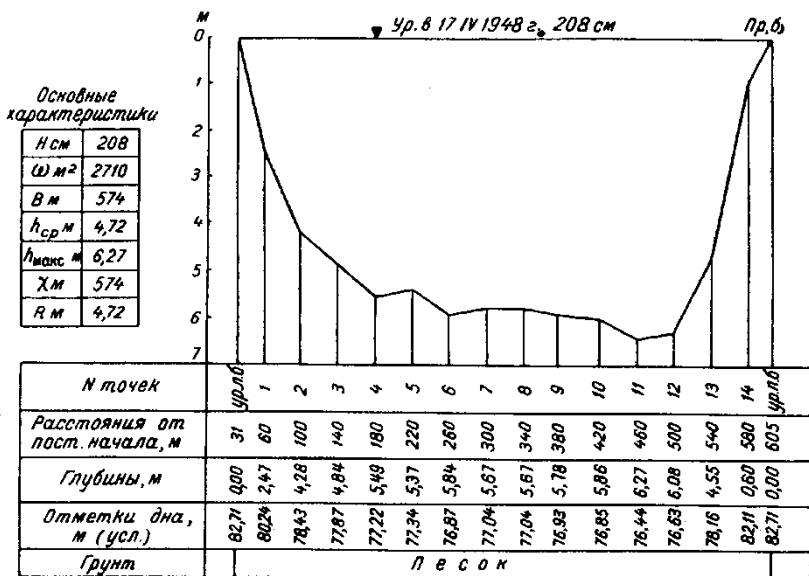


Рис. 8.1. Поперечный профиль реки.

2. По поперечному профилю водотока определяются морфометрические характеристики, необходимые для гидрологических и гидравлических расчетов. К морфометрическим и гидравлическим характеристикам относятся площадь поперечного сечения, ширина реки, средняя глубина, наибольшая глубина, гидравлический радиус, параметр В. Г. Глушкова, параметр форм водного сечения.

Площадь поперечного сечения реки ω вычисляется аналитически как сумма площадей треугольников и трапеций между промерными вертикалями (рис.8.2).

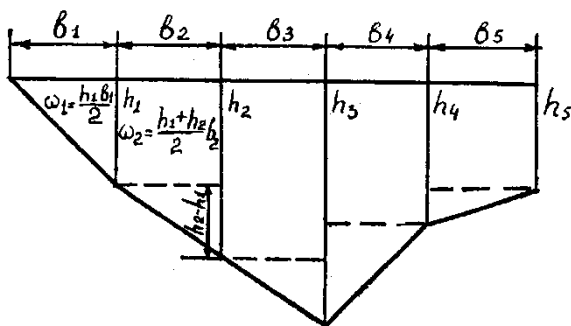


Рис. 8.2. Схема к вычислению площади водного сечения и длины смоченного периметра.

по формуле

$$\omega = \Sigma \omega_i = \frac{h_1 \cdot b_1}{2} + \frac{h_1 + h_2}{2} b_2 + \dots + \frac{h_{n-1} + h_n}{2} b_{n-1} + \frac{h_n \cdot b_n}{2}, \quad (8.1)$$

где ω_i – площадь водного сечения между промерными вертикалями, м^2 ;

$h_{1, 2, 3 \dots n}$ – глубина воды на промерных вертикалях, м;

$h_{1, 2, 3 \dots n}$ – расстояние между промерными вертикалями, м.

Результаты вычисления площади поперечного сечения сводят в табл. 8.1.

Т а б л и ц а 8.1. Определение площади поперечного сечения водотока

№ промерных вертикалей	Расстояние от постоянного начала, м	Глубина на промерной вертикали h , м	Средняя глубина между вертикалями $h_{\text{ср}}$, м	Расстояние между вертикалями b , м	Площадь между промерными вертикалями ω_i , м^2	Площадь поперечного сечения ω , м^2
1	2	3	4	5	6	7

--	--	--	--	--	--	--

Ширина реки В определяется как разность расстояний от постоянного начала до урезов берега.

Средняя глубина h_{cp} водного сечения вычисляется как частное от деления площади водного сечения на его ширину:

$$h_{cp} = \frac{\omega}{B}. \quad (8.2)$$

Максимальная глубина h_{max} на профиле определяется по данным промеров глубин (табл.8.1).

Смоченный периметр χ – длина соприкосновения воды с дном водотока между урезами воды. Величина χ вычисляется как сумма гипотенуз прямоугольных треугольников (рис.8.2) по формуле

$$\chi = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_2 - h_1)^2} + \dots + \sqrt{b_n^2 + h_n^2}. \quad (8.3)$$

Гидравлический радиус R – частное от деления площади водного сечения на длину смоченного периметра:

$$R = \omega / \chi. \quad (8.4)$$

Для равнинных рек, ширина русел которых близка к смоченному периметру ($B \approx \chi$), величина гидравлического радиуса близка к средней глубине ($R \approx h_{cp}$).

Параметр Глушкова (Г) представляет собой характеристику взаимодействия размываемого русла и потока:

$$\Gamma = \frac{\sqrt{B}}{h_{cp}}, \text{ м}^{-0,5}. \quad (8.5)$$

Параметр формы живого сечения β^* учитывает неравномерность распределения глубины по ширине потока. Значение β^* необходимо для перехода от поверхностной скорости к средней при экстраполяции кривых $Q = f(H)$. Параметр β^* определяется по формуле Г.В. Железнякова [8]:

$$\beta^* = \frac{1}{\omega \sqrt{h_{cp}}} \int_0^B h^{3/2} db. \quad (8.7)$$

Значение интеграла может быть определено графически путем планиметрирования эпюры, $h^{3/2} = f(B)$.

При аналитическом способе определения β^* интеграл $\int_0^B h^{3/2} db$ заменяется суммой произведений h и b , а параметр β^* получается по формуле

$$\beta^* = \frac{1}{\omega \sqrt{h_{cp}}} \sum_0^b \left[\frac{h_n^{3/2} + h_{n+1}^{3/2}}{2} \right] \cdot b_{n+1} \quad (8.8)$$

Приближенное значение β^* можно получить, используя зависимость между морфометрическим параметром $a_h = \frac{h_{cp}}{h_{max}}$ и β^* . Для беспойменных русел эти значения приведены в табл. 8.2.

Т а б л и ц а 8.2. Значения β^* в зависимости от a_h

a_h	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	1,00
β^*	1,47	1,39	1,32	1,26	1,21	1,17	1,13	1,10	1,07	1,04	1,02	1,00

Результаты определения морфометрических и гидравлических характеристик заносят в журнал лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Что называется гидрометрическим створом?
2. Как ведется координирование глубин в гидрометрическом створе?
3. Как выбирается расстояние между промерными вертикалями?

Р а б о т а 9. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРТУШКИ

Гидрометрическая вертушка является измерительным прибором, предназначенным для измерения осредненного по времени значения скорости течения воды в различных точках поперечного сечения потока. Принцип действия вертушки основан на вращении лопастного винта под воздействием набегающего потока. Для установления зависимости между скоростью течения воды и скоростью вращения лопастного винта каждая выпускаемая заводом вертушка тарируется, т. е. обеспечивается графиком связи $v = f(n)$. При этом в прямолинейной части графика скорости вращения лопастного винта пропорциональны

скорости течения воды. Эта зависимость несколько нарушается в диапазоне малых скоростей, где особенно сказывается влияние трения в подшипниках и контактной группе. Величина трения зависит от особенностей каждой вертушки и не является постоянной.

Гидрометрическая вертушка (рис. 9.1) состоит из корпуса 14, стабилизатора 13, ходовой части с контактным механизмом и лопастным винтом 3, сигнального устройства. Корпус вертушки служит для сочленения частей вертушки, для крепления ее на штанге или вертлюге и для подключения сигнальной цепи. Ось собранной ходовой части вставляется в полость корпуса и закрепляется стопорным винтом 6. Клеммы 8 и 9 служат для крепления проводов сигнальной цепи. В тыльной части корпуса имеется втулка для крепления вертушки на штанге или вертлюге 10 зажимными винтами 11. К тыльной части корпуса при помощи винта 12 крепится стабилизатор. Сбоку втулка имеет фигурное отверстие с указателем для снятия отсчета высоты положения оси вертушки на штанге.

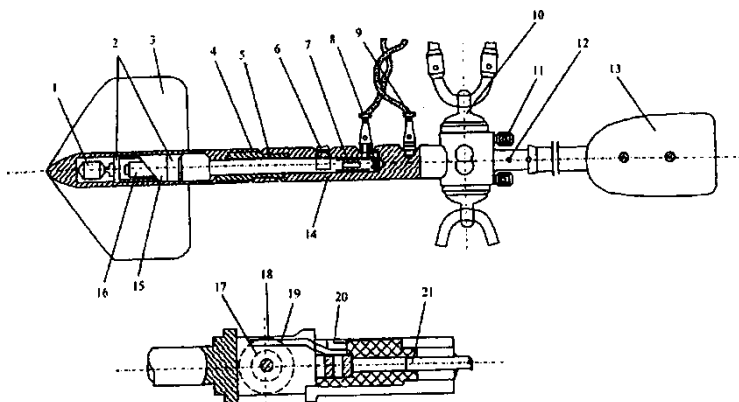


Рис. 9.1. Устройство гидрометрической вертушки ГР-21М: 1 – осевая гайка; 2 – шарикоподшипники; 3 – лопастной винт; 4 – зажимная муфта; 5 – ось; 6 – винт стопорный; 7 – гнездо штепселя; 8 – изолированная клемма; 9 – клемма, соединенная с корпусом; 10 – вертлюг; 11 – зажимные винты; 12 – винт стабилизатора; 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.

Стабилизатор вертушки служит для ориентирования прибора навстречу течению. Он состоит из штока и двух симметрично расположенных на конце его профилированных пластин.

Ходовая часть состоит из оси 5 с контактным механизмом, двух радиально-упорных шарикоподшипников 2, внутренней распорной втулки 16, наружной втулки 15, осевой гайки 1. Ходовая часть входит в цилиндрическую полость лопасти и крепится в ней зажимной муфтой 4.

Контактный механизм состоит из червячной шестерни 17, имеющей 20 зубьев, контактного штифта 18, контактной пружины 19, контактного винта 20 для крепления контактной пружины и токопроводящего стержня 21, изолированного от массы и соединяющего контактную пружину с гнездом штепселя 7. Контактный механизм дает одно замыкание электрической цепи за один полный оборот червячной шестерни, что соответствует 20 оборотам лопастного винта.

Электрический ток от отрицательного полюса батареи, состоящей из двух гальванических элементов, подводится к клемме (–) на панели ящика, откуда по проводу подходит к изолированной клемме 8, а затем – к штепсельному гнезду 7, потокопроводящему стержню 21 и контактной пружине 19 на контактный штифт 18 и на шестерню 17, а через нее – на массу корпуса 14 и на массовую клемму 9. Далее с массовой клеммы по второму проводу ток идет на клемму панели, со знаком (+), от клеммы (+) через электрический звонок или лампочку накаливания – к положительному полюсу батареи.

Технические данные. Вертушка гидрометрическая ГР-21М предназначена для измерения скорости течения воды в естественных водотоках в диапазоне от 0,04 до 5 м/с. Вертушка имеет два лопастных винта, отличающихся между собой конструкцией. Винт № 1 (основной) – компонентный, диаметром 120 мм с геометрическим шагом 200 мм, применяется при работе со штанги. Погрешность измерения при скоростях течения от 0,2 до 2,0 м/с составляет 1,5 %. При скоростях течения воды меньше 0,2 м/с погрешность измерения не более 10 %. Винт № 2 – некомпонентный, диаметром 120 мм с геометрическим шагом 500 мм, применяется во время работы с троса при скоростях течения воды более 2,0 м/с. Погрешность измерения скорости при этом не превышает 1,5 %.

Малые скорости течения не приводят лопасть вертушки во вращение. Наименьшая скорость, при которой силовое воздействие потока на лопастный винт равно величине сопротивлений, а лопастный винт вращается неравномерно, называется начальной скоростью вертушки. Для вертушки ГР-21М начальная скорость (винт № 1) составляет 0,04 м/с.

Критическая скорость – это скорость движения воды, при которой и выше которой влияние механических сопротивлений на вращение лопастного винта становится стабильным и незначительным. Верхняя критическая скорость лопастного винта № 2 составляет 8,0 м/с.

Подготовка вертушки к работе

1. Открывается укладочный ящик, вынимается из него корпус вертушки с ходовой частью.
2. Легким поворотом от руки или дутьем на лопастный винт проверяют легкость вращения ходовой части.
3. При работе со штанги корпус вертушки надевают на штангу и закрепляют на ней двумя зажимными винтами.
4. Собирают электрическую сигнальную цепь.
5. До погружения вертушки в воду проверяют надежность работы контактного механизма, сигнальной цепи, а также звуковые и световые сигналы.

Уход за вертушкой

После работы вертушка и принадлежности к ней должны быть протерты сухой тряпкой и только после этого уложены в укладочный ящик. После работы в тот же день в помещении должны быть просушены полость корпуса вертушки и стабилизатор, а затем протерты тканью, слегка смоченной машинным маслом.

Ходовая часть вертушки должна быть разобрана, все детали ее промыты в керосине для удаления грязи, вновь собраны без лопастного винта и в собранном виде тщательно промыты в ванночке с чистым керосином. Отдельно промывается полость лопастного винта. После того как стечет керосин, в полость винта заливается масло, а затем окончательно собирается ходовая часть.

Ремонт вертушки, не касающийся ходовой части и не требующий специального оборудования, может производиться на месте. Другие виды ремонта выполняются в специальных мастерских. Каждая вертушка тарируется через 2 года, если она не имеет явных повреждений.

Задачи лабораторной работы

1. Ознакомиться с классификацией гидрометрических вертушек.
2. Изучить устройство и работу гидрометрических вертушек Ж-3, ГР-21М, ГР-55, ГР-11М.
3. Составить отчет по работе.

Исходные данные: Стенды и комплекты гидрометрических вертушек учебного кабинета по гидрологии.

Порядок выполнения работы

Вначале необходимо ознакомиться с классификацией гидрометрических вертушек. Из существующего многообразия типов и конструкций гидрометрических вертушек современные вертушки различаются по ряду признаков: направлению оси вращения, устройству лопастного винта или ротора, устройству опор и подшипников, способу регистрации числа оборотов ротора, способу опускания вертушки в воду, способности ротора регистрировать проекцию скорости на направление оси вертушки. Затем приступают к изучению устройства и работы гидрометрических вертушек согласно описанию на стендах данных и указаний к лабораторной работе.

В конце составляется краткий отчет, отражающий содержание данной работы.

Контрольные вопросы

1. Как классифицируются гидрометрические вертушки?
2. Назовите современные типы отечественных и зарубежных гидрометрических вертушек и дайте им краткую характеристику.
3. Какое оборудование и принадлежности используются для работы с вертушками?
4. Для чего и как производится тарирование вертушек?

Р а б о т а 10. ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ВОДЫ ГИДРОМЕТРИЧЕСКОЙ ВЕРТУШКОЙ

Измерение местных осредненных скоростей в поверхностных водных потоках производится при помощи гидрометрических вертушек точечным способом. Точечный способ заключается в измерении местных скоростей течения воды в строго фиксированных точках потока на скоростных вертикалях. Число скоростных точек назначается из расчета достаточного освещения и распределения местных скоростей по всему живому сечению, а также рабочей глубины на вертикали [8].

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

Местные скорости на вертикалях измеряются в 6, 5, 3, 2 или 1 точке в зависимости от величины рабочей глубины на скоростной вертикали, состояния водотока и размеров лопастного винта вертушки. Скорости в точках обозначаются: $U_{\text{пов}}$, $U_{\text{дно}}$, $U_{0,2}$, и т. д.

При глубине водотока более 1 м скорость течения измеряется в пяти точках: на поверхности, 0,2 h, 0,6 h, 0,8 h (считая от поверхности воды) и на дне. При ледяном покрове или водной растительности добавляется местная точка 0,4 h (на поверхности, 0,2 h, 0,4 h, 0,6 h, 0,8 h и на дне). При измерении скорости на поверхности и на дне ось вертуш-

ки устанавливают на глубину соответственно 0,15 м от поверхности и от дна, чтобы исключить искажение показаний прибора под влиянием ветра, а также донных неровностей [9].

Для ускорения работ применяется двухточечный способ с измерением скоростей на 0,2 h и 0,8 h. Продолжительность измерения скорости в точке должна быть не менее 100 с.

Существуют два способа измерения местных скоростей:

1. Способ приемов;
2. Способ регистрации общего числа сигналов за время более 100 с.

Приемом называется число сигналов или соответствующее им количество оборотов лопастного винта, поступающих за промежуток времени между записями. При способе регистрации общего числа сигналов за время более 100 с подсчитывается общее число поступивших сигналов.

Задачи лабораторной работы

1. Определить общее число оборотов вертушки по способу приемов и по способу регистрации общего числа сигналов за время более 100 с.
2. Вычислить местные скорости на скоростной вертикали по данным измерений.

Лабораторная установка

Установка для проведения опытов (рис.10.1) состоит из гидравлического лотка 1 длиной 14 м и шириной 0,4 м прямоугольного сечения. По центру лотка на гидрометрической штанге 3 устанавливается две гидрометрические вертушки 2.

Подготовка лабораторной установки к работе

1. Производится сборка вертушки. Для этого ось плотно вставляется в корпус (предварительно ослабив зажимной винт в корпусе), после чего этот винт зажимается.
2. С помощью проводов вертушка подсоединяется к системе сигнализации (лампочка или звонок).
3. Сообщается лопастному винту вращательное движение. При правильной сборке вертушки лопастной винт вращается свободно, без посторонних шумов в течение нескольких секунд, постепенно замедляя скорость вращения. При этом должны поступать сигналы (звенеть звонок или загораться лампочка). Каждый сигнал должен быть непрерывным.

4. Так как измерение местных скоростей производится двухточечным способом, вертушка устанавливается на 0,2 h и 0,8 h (считая от поверхности воды (рис.10.1).

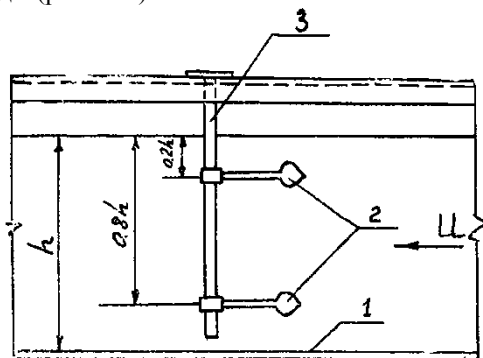


Рис. 10.1. Схема лабораторной установки.

5. В лотке вертушка устанавливается против течения и закрепляется на штанге с помощью двух зажимных винтов.

6. Штанга закрепляется по оси лотка в вертикальном положении.

Порядок проведения опытов

В лабораторной работе проводятся два опыта, различающиеся способом измерения местных скоростей.

Способ приемов

1. Установив вертушку в потоке, пропускают 2 – 3 сигнала и по следующему включают секундомер (пусковой сигнал в счет не входит).

2. Устанавливается число сигналов в приеме, которое зависит от промежутка времени между сигналами (принимается по табл.10.1) [7].

Т а б л и ц а 10.1. Зависимость числа сигналов за прием от времени между сигналами

Время между сигналами, с	Число сигналов за прием
20	1
10–20	2
5–10	3
4–5	4
3–4	5

3. Производится запись времени поступления сигналов по секундомеру.

4. Общая продолжительность измерения скорости должна быть не менее 100 с.

5. Общее число приемов за время измерения принимается четным, обычно не более восьми и не менее двух.

6. Продолжительность первой половины наблюдений не должна отличаться от второй половины более чем на 5 с. Если они отличаются более чем на 5 с, то измерения продолжают на два, четыре или шесть приемов.

Пример

Номер приема	1	2	3	4	5	6
Отсчет по секундомеру	20	39	59	80	100	121

Продолжительность первой половины периода измерений составляет 59 с. Следовательно, за весь период, т.е. по шести приемам, должна бы получиться продолжительность $59 + 59 = 118$ с, получилась же продолжительность 121 с. Разница составляет 3 с, что меньше 5 с. Поэтому в данном случае измерения можно прекратить.

Способ регистрации общего числа сигналов за время более 100 с

1. По данному способу ведется подсчет общего числа сигналов за 100 с.

2. Измерения прекращают на сигнале по истечении 100 с, при этом пусковой сигнал в счет не входит.

Обработка результатов опытов

1. Определяется общее число оборотов лопастного винта за весь период измерения местной скорости по способу приемов:

$$N = 20 \, dm, \quad (10.1)$$

где 20 – число оборотов лопастного винта между сигналами;

d – число сигналов за прием;

m – число приемов.

2. Определяется общее число оборотов лопастного винта по способу регистрации общего числа сигналов за время более 100 с:

$$N = 20 \, N', \quad (10.2)$$

где N' – общее число сигналов.

3. Вычисляется частота вращения лопастного винта

$$n = N/t, \quad (10.3)$$

где t – продолжительность измерения скорости в точке, с.

4. Определяется местная скорость в точках по частоте вращения лопастного винта и тарировочной зависимости, заданной в виде графика $v = f(n)$.

Результаты измерений и вычислений заносятся в табл. 10.2 и 10.3 журнала лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Как производится подготовка вертушки к работе?
2. Как определяется общее число оборотов лопастного винта по способу приемов и по способу регистрации общего числа сигналов за время более 100 с?
3. От чего зависит число сигналов в приеме?
4. Какой существует контроль при определении числа оборотов по способу приемов?
5. Как определяется местная скорость в точке?

Работа 11. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ ПО СКОРОСТЯМ, ИЗМЕРЕННЫМ ВЕРТУШКОЙ

Из существующих способов определения расходов воды наиболее распространенным является способ, основанный на измерении скорости течения воды на отдельных скоростных вертикалях вертушкой и измерении площади водного сечения посредством промеров. К нему относятся детальный, основной и сокращенный способы измерения расхода воды. Данные способы отличаются друг от друга количеством скоростных вертикалей по ширине реки и числом точек на скоростных вертикалях, в которых производят измерение скорости.

При **д е т а л ь н о м** способе число скоростных вертикалей зависит от ширины реки и назначается через равные промежутки по ширине реки (приложение 14). При свободном от ледяного покрова и водной растительности русле скорость на вертикалях измеряется в пяти точках, при ледяном покрове или водной растительности – в шести точках.

О с н о в н о й способ предусматривает измерение расхода при меньшем количестве скоростных вертикалей (не менее пяти) и точек на вертикале (две-три) при условии, что результаты измерения расходов основным способом будут отличаться от расходов, измеренных детальным способом не более чем на $\pm 3\%$.

При с о к р а щ е н н о м способе предусматривается измерение расхода в одной или двух точках на вертикале при свободном русле и

Т а б л и ц а 10.2. Способ приемов

Тип вертушки _____ № _____

№ верти- кали	Глубина на верти- кали	Глубина опускания вертушки		Число оборотов за прием	Продолжительность приема, с								Сумма оборотов N	Частота вращения n, с ⁻¹	Скорость по тарифовочной зависимости U, м/с
		в долях от h	м		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Т а б л и ц а 10.3. Способ регистрации общего числа сигналов за время боле 100 с

Тип вертушки _____ № _____

№ вертикали	Глубина на вертикали	Глубина опускания вертушки		Общее число сигналов N'	Продолжи- тельность измерений t, с	Общее число оборотов N	Частота вращения n, с ⁻¹	Скорость по тарифовоч- ной зависи- мости U, м/с
		в долях от h	м					
1	2	3	4	5	6	7	8	9

двух-трех точках – при ледоставе или заросшем русле. Количество и расположение скоростных вертикалей и точек измерения скоростей на них устанавливается на основании тщательного анализа данных, полученных в результате измерений расходов воды детальным и основными способами [7].

Вычисление расхода воды по скоростям, измеренным вертушкой, может производиться аналитическим и графическим способами. Наиболее распространен аналитический способ, который принято считать основным.

Графический способ применяется при вычислении расходов, измеренных детальным способом. Он дает более точные результаты и применяется в тех случаях, когда нужна повышенная точность вычислений, а также в сложных условиях, например, при наличии подледной шуги, при широкой пойме с неравномерным распределением скоростей течения и пр.

Задачи лабораторной работы

1. Вычислить среднюю скорость на скоростных вертикалях аналитическим способом.

2. Вычислить расход воды аналитическим способом.

Исходные данные: 1) промеры глубин поперечного сечения русла в гидрометрическом створе (работа 8); 2) результаты измерения скоростей вертушкой в точках на скоростных вертикалях (приложение 16).

Порядок выполнения работы

1. По данным числа сигналов N' и времени t (приложение 16) вычисляется скорость в точках на скоростных вертикалях по тарированному уравнению:

$$u = an + b, \quad (11.1)$$

где u – местная скорость в точке, м/с;

n – частота вращения, c^{-1} ;

a и b – коэффициенты к тарированному уравнению (приложение 16).

2. Вычисляется средняя скорость на вертикали в зависимости от состояния реки и числа точек измерения по следующим формулам:

При открытом, не заросшем водной растительностью русле:

$$U_{\text{в}} = 0,1 (U_{\text{пов}} + 3U_{0,2} + 3U_{0,6} + 2U_{0,8} + U_{\text{дно}}), \quad (11.2)$$

$$U_{\text{в}} = 0,25 (U_{0,2} + 2U_{0,6} + U_{0,8}), \quad (11.3)$$

$$U_{\text{в}} = 0,5 (U_{0,2} + U_{0,8}), \quad (11.4)$$

$$U_{\text{в}} = U_{0,6}. \quad (11.5)$$

При заросшем водной растительностью русле и при наличии ледяного покрова формулы будут иметь следующий вид:

$$U_{\text{в}} = 0,1 (U_{\text{пов}} + 2U_{0,2} + 2U_{0,4} + 2U_{0,6} + 2U_{0,8} + U_{\text{дно}}), \quad (11.6)$$

$$U_{\text{в}} = 0,33 (U_{0,15} + U_{0,5} + U_{0,85}), \quad (11.7)$$

$$U_{\text{в}} = 0,5 (U_{0,2} + U_{0,8}), \quad (11.8)$$

$$U_{\text{в}} = k \cdot U_{0,5}, \quad (11.9)$$

где $U_{\text{в}}$ – средняя скорость на вертикали, м/с;

$U_{\text{пов}}, U_{0,2}, U_{0,4}, U_{0,6}, U_{0,8}, U_{\text{дно}}$ – скорости, измеренные на поверхности, на 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 рабочей глубины и у дна, м/с.

В данной работе на каждой вертикали определяется средняя скорость при измерении скорости в пяти точках по зависимости (11.2).

3. По полученным значениям средних скоростей на вертикалях вычисляются средние скорости между двумя смежными скоростными вертикалями:

$$u_{\text{ср.}(n-1)} = \frac{u_{\text{в}(n-1)} + u_{\text{вн}}}{2}, \quad (11.10)$$

где $u_{\text{ср.}(n-1)}$ – средняя скорость между скоростными вертикалями, м/с;

$u_{\text{в}(n-1)}, U_{\text{вн}}$ – средние скорости на вертикалях $n - 1$ и n .

Для крайних участков водного сечения (т.е. для участков между урезом берега и первой скоростной вертикалью, а также между последней вертикалью и урезом) средняя скорость принимается равной скорости на первой (или последней) вертикали, умноженной на коэффициент K (приложение 15), значение которого устанавливается в зависимости от характера берега [9]:

$$u_{\text{ср.}n} = u_{\text{вн}} \cdot K. \quad (11.11)$$

4. Площади, заключенные между скоростными вертикалями $\omega_0, \omega_1, \omega_2$ и т.д., определяются путем суммирования площадей между промерными вертикалями, которые вычисляются обычно как площади трапеций (работа 8):

$$\omega_1 = f_4 + f_5 + f_6, \quad (11.12)$$

где ω_1 – площадь водного сечения между скоростными вертикалями 1 и 2 м³;

f_4, f_5, f_6 – площади между промерными вертикалями, м².

5. Частичный расход между двумя скоростными вертикалями вычисляется по формуле

$$q_{n-1} = U_{\text{ср.}(n-1)} \cdot \omega_{n-1}. \quad (11.13)$$

6. Полный расход через живое сечение вычисляется как сумма частичных расходов между скоростными вертикалями:

$$Q = Ku_{\dot{a}1} \omega_0 + \frac{u_{\dot{a}1} + u_{\dot{a}2}}{2} \omega_1 + \dots + \frac{u_{\dot{a}(n-1)} + u_{\dot{a}n}}{2} \omega_{n-1} + \dots + Ku_{\dot{a}n} \cdot \omega_n, \quad (11.14)$$

где Q – расход, проходящий через живое сечение, $\text{м}^3/\text{с}$.

Результаты вычислений заносятся в табл.11.1 журнала лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Как вычисляется скорость в точках на скоростных вертикалях?
2. Как вычисляется средняя скорость на скоростных вертикалях аналитическим способом?
3. От чего зависит коэффициент при вычислении средней скорости для крайних участков водного сечения?
4. Как определяется расход воды аналитическим способом?

Р а б о т а 12. ВЫЧИСЛЕНИЕ РАСХОДА ВЗВЕШЕННЫХ И ВЛЕКОМЫХ (ДОННЫХ) НАНОСОВ АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

Измерение расхода взвешенных и влекомых (донных) наносов обычно совмещается с определением расходов воды. Во взятых пробах воды определяется масса содержащихся в ней наносов и вычисляется мутность. Пробы воды берутся с помощью батометров. Количество измерений расходов взвешенных наносов в течение года должно быть таким, чтобы с достаточной подробностью осветить режим стока наносов. На равнинных реках в первые два-три года наблюдений проводят не менее 20...25 измерений наносов в год. Максимум измерений должен приходиться на период половодий и паводков. В межень расходы обычно измеряют 1...2 раза в месяц.

Расходы взвешенных наносов в гидрометрических створах измеряют т о ч е н ы м (многоточечный, основной, одноточечный), с у м м а р н ы м и и н т е г р а ц и о н н ы м способами. Выбор способа зависит от таких факторов, как методика измерения расхода воды, тип батометра, продолжительности регулярных наблюдений за наносами,

Т а б л и ц а 11.1. Вычисление расхода воды аналитическим способом

№ скоро- стной верти- кали	Глубина на скорост- ной верти- кали h , м	Глубина опускания вертушки в долях от h	Глубина измерения скорости, м	Сигналы		Продол- житель- ность измере- ний t , с	Общее число оборо- тов N	Частота враще- ния n , с ⁻¹	Скорость течения, м/с			Площадь между скорост- ными вертика- лями ω , м ²	Частич- ный расход q , м ³ /с
				Число оборо- тов между сигна- лами	Общее число сигна- лов N'				в точке u	на верти- кали u_b	между верти- калями		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

средней мутности в реке состояния водного объекта, рабочей глубины на вертикали.

При многоточечном (детальном) способе пробы на мутность берутся одновременно с определением скорости на каждой вертикали в пяти (у поверхности, 0,2 h, 0,5 h, 0,8 h и у дна), двух (0,2 h, 0,8 h) или одной точке (0,6 h), и каждая проба обрабатывается самостоятельно. Данный способ применяется, когда средняя мутность воды в реке более 100 г/м^3 .

Основной способ измерения расходов взвешенных наносов предусматривает отбор проб на мутность в двух точках: 0,2 h, и 0,8 h на каждой скоростной вертикали как в период свободного русла, так и при наличии ледовых явлений при средней мутности в реке от 20 до 100 г/м^3 . На малых реках при недостаточных глубинах измерения производятся в одной точке (0,6 h), при наличии водной растительности – в точках 0,15 h, 0,5 h, 0,85 h, при малых глубинах – в точке 0,5 h.

Суммарный способ взятия проб при измерении расхода наносов принимается при средней мутности в живом сечении менее 50 г/м^3 . При суммарном способе пробы на мутность берутся на всех вертикалях в двух точках: 0,2 h, и 0,8 h. Пробы сливаются в один общий сосуд и отправляются на анализ.

Интеграционный способ более точный и может быть применен взамен точечного или суммарного, если имеющийся прибор по условиям глубины потока не может быть использован для взятия пробы в точке или если быстро изменяются гидравлические характеристики потока, либо работа не обеспечена нужным количеством посуды.

При интеграционным способом проба берется на каждой скоростной вертикали путем постепенного перемещения батометра от поверхности до дна и обратно. Объем пробы должен быть не менее 5 л. Пробы, взятые в межень период, сливаются в один сосуд, и вычисляется средняя мутность за 5...10 дней. В половодный период мутность определяется по каждой пробе отдельно. Объем проб, взятых при любом способе, должен соответствовать нормам в зависимости от мутности потока: при мутности более 100 г/м^3 объем пробы – 1 л; $50...100 \text{ г/м}^3$ – 2 л; $20...50 \text{ г/м}^3$ – 5 л; менее 20 г/м^3 – 10 л [9].

Расход взвешенных наносов вычисляется двумя способами – аналитическим и графическим. Аналитический способ применяется тогда, когда расход наносов измерялся детальным или сокращенным (двухточечным и одноточечным) способами.

Расход донных наносов измеряется при помощи донных барометров. Вычисление расхода донных наносов также производится аналитическим и графическим способами. Обычно расход донных наносов вычисляется аналитическим способом.

Задачи лабораторной работы

1. Определить средние единичные расходы взвешенных наносов на вертикалях.

2. Вычислить расход взвешенных наносов аналитическим способом.

3. Вычислить расход влекомых (донных) наносов аналитическим способом.

Исходные данные: 1) промеры глубин поперечного сечения русла в гидрометрическом створе (работа 8); 2) скорости течения воды в точках на скоростных вертикалях (работа 11); 3) масса взвешенных и донных наносов в пробе (приложения 17, 18).

Порядок проведения работы и вычислений

Вычисление расходов взвешенных наносов аналитическим способом

1. Вычисляется мутность воды в точках на скоростных вертикалях:

$$\rho = \frac{M_b \cdot 10^6}{W_p}, \quad (12.1)$$

где ρ – местная мутность воды в точках, г/м³;

M_b – масса взвешенных наносов в пробе воды, г;

W_p – объем пробы воды, см³.

2. Вычисляется единичный расход наносов в точке:

$$u \rho, \quad (12.2)$$

где u – местная скорость в точке, м/с (работа 11).

3. Средний единичный расход взвешенных наносов на вертикалях подсчитывается по формуле

$$(u \rho)_в = 0,1[(u \rho)_{пов} + 3 (u \rho)_{0,2} + 3 (u \rho)_{0,6} + 2 (u \rho)_{0,8} + (u \rho)_{дно}], \quad (12.3)$$

где $(u \rho)_{пов}$, $(u \rho)_{0,2}$, $(u \rho)_{0,6}$, $(u \rho)_{0,8}$, $(u \rho)_{дно}$ – единичный расход наносов на поверхности, на 0,2, 0,6, 0,8 рабочей глубины и у дна, г/м²·с.

4. Средний единичный расход взвешенных наносов между вертикалями определяется по формуле

$$(\text{up})_{\text{cp}(n-1)} = \frac{(\text{up})_{\text{B}(n-1)} + (\text{up})_{\text{Bn}}}{2}, \quad (12.4)$$

где $(\text{up})_{\text{cp}(n-1)}$ – расход взвешенных наносов между вертикалями, г/м²·с.

5. Расход взвешенных наносов через живое сечение вычисляется как сумма частичных расходов между вертикалями:

$$G_B = 0,001 \left[K(\text{up})_{\text{B}_1} \omega_0 + \frac{(\text{up})_{\text{B}_1} + (\text{up})_{\text{B}_2}}{2} + \dots + \frac{(\text{up})_{\text{B}(n-1)} + (\text{up})_{\text{Bn}}}{2} \omega_{n-1} + K(\text{up})_{\text{Bn}} \omega_n \right], \quad (12.5)$$

где G_B – расход взвешенных наносов, кг/с;

$\omega_0, \omega_1, \omega_{n-1}, \omega_n$ – площадь между скоростными вертикалями, м²;

K – коэффициент, зависящий от характера берегов (приложение 15).

Результаты вычислений заносятся в табл.12.1 журнала лабораторных работ.

Вычисление расхода влекомых (донных) наносов аналитическим способом

1. Вычисляются удельные расходы донных наносов на вертикалях:

$$g = \frac{M_d \cdot 100}{t_6 \cdot b_6}, \quad (12.6)$$

где g – удельный расход донных наносов на вертикалях, г/м·с;

M_d – масса донных наносов в пробе, г;

t_6 – продолжительность выдержки батометра, с;

b_6 – ширина входного отверстия донного батометра, см.

2. По полученным значениям удельных расходов донных наносов на вертикалях вычисляются средние удельные расходы между вертикалями:

$$g_{\text{cp}(n-1)} = \frac{g_{n-1} + g_n}{2} b_{n-1}, \quad (12.7)$$

где g_{n-1}, g_n – удельные расходы донных наносов на вертикалях $n-1$ и n , г/м·с;

b_{n-1} – расстояние между смежными вертикалями, м.

3. Расход донных наносов через живое сечение вычисляется как сумма частичных расходов между вертикалями:

$$G_d = 0,001 \left[\frac{g_1}{2} b_0 + \frac{g_1 + g_2}{2} b_1 + \dots + \frac{g_{n-1} + g_n}{2} b_{n-1} + \frac{g_n}{2} b_n \right], \quad (12.8)$$

где G_d – расход донных наносов, кг/с.

Результаты вычислений заносятся в табл.12.2 журнала лабораторных работ.

Контрольные вопросы

1. Чем различаются графический и аналитический способы вычисления расхода взвешенных и донных наносов?
2. Как определяется расход взвешенных наносов аналитическим способом?
3. Как производится вычисление расхода донных наносов аналитическим способом?

Т а б л и ц а 12.1. Вычисление расхода взвешенных наносов аналитическим способом

№ скоростной вертикали	Глубина на скоростной вертикали h , м	Глубина на опускания батометра в долях от h	Глубина взятия пробы воды, м	Масса наносов в пробе M_b , г	Объем пробы W_p , см ³	Мутность в точках ρ , г/м ³	Скорость в точках U , м/с	Единичный расход наносов, г/м ² ·с			Площадь между вертикалями ω , м ²	Частичный расход наносов, кг/с
								в точке и ρ	средний на вертикалях (ρ) _в	средний между вертикалями (ρ) _{ср}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Т а б л и ц а 12.2 Вычисление расхода донных наносов

№ вертикали	Расстояние от постоянного начала, м	Расстояние между вертикалями b , м	Масса наносов в пробе M_b , г	Продолжительность взятия пробы наносов t_b , с	Ширина донного батометра b_b , см	Элементарный расход наносов, г/м · с		Частичный расход наносов, кг/с
						на вертикали q	между вертикалями $q_{ср}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

ЛИТЕРАТУРА

1. Каўрыга П.А. Лабараторны практыкум па метэаралогіі і кліматалогіі: вучэб. дапам. / П.А. Каўрыга. Мінск: Ураджай, 1997. 151 с.
2. 8. Гидрометрия / И.Ф. Карасев и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 375 с.
3. Желязко, В.И. Основы строительной климатологии и инженерной гидрологии: лабораторный практикум / В.И. Желязко, В.К. Курсаков. Г.Н. Рудковская. – Горки: БГСХА, 2007. -108 с.
4. Михайлов, В.Н. Гидрология / В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. – М.: МГУ, 2005. – 463 с.
5. Измайлов, Г.Х. Общая и инженерная гидрология: Учебник для вузов / Г.Х. Измайлов, Е.Е. Овчаров, И.В. Прошляков- М.: МГУП, 2011. - 656 с.
6. Волчек, А.А. Гидрометрическая практика: пособие / А.А. Волчек, В.К. Курсаков, Ан.А. Волчек.– Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2011. – 200 с.
7. Учебная практика по гидрометрии: учебное пособие / А.А. Волчек, М.Ю.Калинин, М.Ф.Мороз, Ю.В. Стефаненко. Мн.: Изд. центр БГУ. 2003. 310 с.
8. Волчек, А. А. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты: учеб.-метод. пособие / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек, В. К. Курсаков. – Горки: БГСХА, 2013. – 316 с.
9. Волчек, А. А. Инженерная гидрология и регулирование стока. Гидрологические и водохозяйственные расчеты: учеб.-метод. пособие / А. А. Волчек, Н. Н. Водчиц, О. И. Грядунова, В. И. Желязко, В. К. Курсаков. 2-е изд. перераб. и доп. – Горки: БГСХА, 2015. – 294 с.
10. Бурлибаев М.Ж., Волчек А.А., Калинин М.Ю. Гидрологические измерения и гидрогеологические расчеты для водохозяйственных целей. Алматы: Издательство «Канат», 2004. – 358 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Среднемесячная температура почвы, °С

Глубина, м	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Полоцк													
Почва суглинистая													
0,0	−8	−8	−4	4	14	19	21	18	12	5	0	−5	6
0,2	−0,2	−0,5	−0,4	2,9	10,5	15,1	17,2	16,3	12,2	7,7	3,0	0,4	7,0
0,4	0,5	0,1	0,2	2,5	9,3	13,7	16,0	15,7	12,4	8,3	4,0	1,4	7,0
0,8	2,0	1,4	1,1	2,3	7,5	11,7	14,1	15,5	12,5	9,2	5,8	3,2	7,1
1,6	3,7	2,9	2,4	2,6	5,6	9,1	11,5	12,6	12,1	10,0	7,6	5,2	7,1
3,2	6,3	5,3	4,6	4,2	4,8	6,3	8,2	9,7	10,3	9,8	8,8	7,4	7,2
Минск													
Почва супесчаная													
0,0	−7	−7	−3	6	15	20	22	19	20	6	0	−5	6
0,2	−0,8	−1,1	−0,1	5,3	13,4	18,5	20,3	18,9	13,8	7,6	2,7	0,2	8,2
0,4	−0,2	−0,6	0,2	4,7	12,6	17,3	19,5	18,4	14,0	8,1	3,5	0,8	8,2
0,6	1,2	0,5	0,7	4,0	10,9	15,4	17,8	17,4	14,1	9,1	4,9	2,1	8,2
0,8	3,2	2,5	2,2	3,5	8,3	12,0	14,5	15,2	13,7	10,4	7,2	4,6	8,1
3,2	6,4	5,5	4,8	4,6	5,9	8,0	10,0	11,4	11,8	11,0	9,5	7,8	8,1

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гродно													
Почва супесчаная													
0,0	–5	–5	–1	7	16	21	22	20	14	7	2	–3	8
0,2	–0,4	–1,3	0,0	5,9	13,0	17,9	19,6	18,6	14,1	8,8	3,7	0,6	8,4
0,4	0,1	–1,0	0,2	5,2	12,2	16,8	18,8	18,0	14,5	9,5	4,4	1,4	8,3
0,8	1,3	0,3	0,6	4,2	10,4	14,8	17,3	17,3	14,6	10,2	5,9	2,7	8,3
1,6	3,7	2,6	2,2	3,7	8,1	11,8	14,4	15,3	14,3	11,4	8,2	5,3	8,4
3,2	6,8	5,7	4,9	4,7	6,1	8,2	10,3	11,7	12,3	11,5	10,0	8,3	8,4
Новогрудок													
Почва супесчаная													
0,0	–7	–6	–3	5	14	18	20	18	12	6	0	–4	6
0,2	–0,1	–0,2	0,1	3,7	10,9	15,1	17,7	16,8	12,8	8,2	3,4	0,3	7,4
0,4	0,7	0,4	0,5	3,1	9,6	13,7	16,5	16,2	13,1	9,0	4,6	1,5	7,4
0,8	1,8	1,3	1,1	2,6	7,9	11,9	14,8	15,4	13,1	10,0	6,3	3,0	7,4
1,6	3,4	2,6	2,1	2,6	5,9	9,6	12,4	13,9	13,2	10,9	8,1	5,1	7,5
3,2	6,1	5,0	4,3	3,8	4,4	6,4	8,5	10,3	11,1	10,7	9,5	7,8	7,3

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Горки													
Почва суглинистая													
0,0	−8	−8	−4	4	14	19	21	18	12	5	−1	−6	6
0,2	−0,8	−1,1	−0,5	2,4	11,3	16,1	18,1	17,2	12,5	7,0	2,3	−0,3	7,0
0,4	−0,1	−0,5	−0,2	1,8	9,9	14,8	17,1	16,8	12,9	7,8	3,3	0,6	7,0
0,8	1,3	0,8	0,6	1,5	7,6	12,7	15,4	15,9	13,4	9,3	5,1	2,4	7,2
1,6	3,2	2,4	2,0	2,0	5,4	9,7	12,5	13,9	13,1	10,5	7,3	4,7	7,2
3,2	6,1	5,1	4,6	4,1	4,8	6,6	8,5	10,2	10,8	10,6	9,2	7,5	7,3
Брест													
Почва супесчаная													
0,0	−5	−4	1	8	17	21	22	20	14	8	2	−2	8
0,2	0,2	−0,3	1,2	6,9	13,2	18,2	19,9	18,9	14,4	9,4	4,1	1,0	8,9
0,4	1,0	0,4	1,3	6,3	12,2	16,9	19,0	18,5	14,8	9,9	5,2	2,0	9,0
0,8	2,2	1,5	1,9	5,6	10,9	14,9	17,2	17,4	14,9	10,6	6,9	3,6	9,0
1,6	4,4	3,4	3,1	4,9	8,6	11,9	14,4	15,3	14,3	11,7	8,9	6,0	8,9
3,2	7,1	6,0	5,2	5,2	6,6	8,6	10,7	12,1	12,6	11,9	10,5	8,7	8,8

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Гомель													
Почва супесчаная													
0,0	−7	−6	−2	7	16	20	22	19	13	6	1	−5	7
0,2	−0,2	−1,5	−0,5	5,5	12,8	17,7	20,0	19,2	14,4	8,3	8,2	0,0	8,3
0,4	0,3	−0,8	0,0	4,8	11,8	16,5	18,8	18,5	14,1	8,8	4,1	0,8	8,1
0,8	1,6	0,6	0,7	3,9	10,0	14,4	16,7	17,1	14,3	10,0	5,2	2,6	8,1
1,6	3,6	2,6	2,1	3,2	7,5	11,2	13,8	15,1	14,0	11,2	8,2	5,1	8,1
3,2	6,3	5,2	4,3	4,0	5,4	7,8	10,1	12,0	12,6	11,8	10,1	8,1	8,1
Василевичи													
Почва супесчаная													
0,0	−7	−6	−2	8	17	22	23	20	14	6	1	−4	8
0,2	−0,7	−1,2	0,1	6,4	13,5	18,1	19,7	18,4	13,5	7,7	2,8	0,2	8,2
0,4	−0,1	−0,8	0,2	5,4	12,2	16,5	18,2	17,5	13,4	8,2	3,6	0,9	7,9
0,8	1,6	0,9	1,1	4,8	10,7	14,6	16,6	16,7	14,0	9,8	5,6	2,9	8,3
1,6	3,9	3,0	2,6	4,2	8,0	11,2	13,3	14,2	13,3	10,8	7,8	5,3	8,1
3,2	6,8	5,8	5,0	4,8	6,0	7,9	9,8	11,2	11,8	11,2	9,8	8,2	8,2

Средняя температура воздуха, °C

Температура	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Витебск													
Средняя	-8,1	-7,6	-2,9	5,0	12,7	15,9	17,8	16,4	11,1	5,4	0,0	-5,0	5,0
Средняя минимальная	-11,2	-11,0	-6,6	0,9	7,2	10,7	12,7	11,5	7,0	2,5	-2,2	-7,6	1,2
Абсолютная минимальная	-41	-38	-30	-18	-4	-2	4	0	-5	-15	-23	-35	-41
Средняя максимальная	-5,2	-4,3	0,8	9,6	18,7	21,4	22,9	21,6	16,1	8,9	2,5	-2,5	9,1
Абсолютная максимальная	5	6	17	28	31	32	35	34	29	29	15	9	35
Лида													
Средняя	-6,2	-5,8	-1,7	5,8	12,4	15,8	17,3	16,3	11,9	6,3	1,6	-3,2	5,9
Средняя минимальная	-9,5	-8,6	-5,2	1,7	6,7	10,6	12,3	11,4	7,5	3,0	-0,9	-5,4	2,0
Абсолютная минимальная	-35	-33	-32	-16	-4	0	4	0	-5	-15	-19	-28	-35
Средняя максимальная	-3,5	-2,1	2,5	11,2	17,0	21,8	22,8	22,1	17,3	10,2	3,7	-0,7	10,3
Абсолютная максимальная	8	9	19	28	32	33	35	34	29	25	15	12	35
Пинск													
Средняя	-5,6	-4,4	-0,4	7,0	13,6	16,8	18,3	17,1	12,8	6,9	1,4	-2,8	6,7
Средняя минимальная	-8,7	-7,6	-3,7	3,2	8,5	11,5	12,9	11,8	7,9	3,0	-1,1	-5,2	2,7
Абсолютная минимальная	-35	-31	-26	-15	-3	1	5	-1	-4	-12	-23	-27	-35
Средняя максимальная	-3,0	-2,0	3,0	11,8	18,8	22,3	23,8	22,8	18,3	11,3	4,5	-0,3	10,9
Абсолютная максимальная	10	13	22	29	33	36	36	36	31	27	17	13	36

Приложение 3

**Давление (упругость) насыщенного водяного пара Е при температуре
выше 0°C, гПа**

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	6,11	6,15	6,20	6,24	6,29	6,33	6,38	6,42	6,47	6,52
2	7,05	7,10	7,16	7,21	7,26	7,31	7,36	7,42	7,47	7,52
3	7,58	7,53	7,68	7,74	7,79	7,85	7,90	7,96	8,02	8,07
4	8,13	8,19	8,24	8,30	8,36	8,42	8,48	8,54	8,60	8,66
5	8,72	8,78	8,84	8,91	8,97	9,03	9,09	9,16	9,22	9,28
6	9,35	9,41	9,48	9,54	9,61	9,68	9,74	9,81	9,88	9,95
7	10,02	10,08	10,15	10,22	10,29	10,36	10,44	10,51	10,58	10,65
8	10,72	10,80	10,87	10,95	11,02	11,10	11,17	11,25	11,32	11,40
9	11,48	11,56	11,63	11,71	11,79	11,87	11,95	12,03	12,11	12,20
10	12,28	12,36	12,44	12,53	12,61	12,70	12,78	12,87	12,95	13,04
11	13,13	13,21	13,30	13,39	13,48	13,57	13,66	13,75	13,84	13,93
12	14,03	14,12	14,21	14,31	14,40	14,50	14,59	14,69	14,78	14,88
13	14,98	15,08	15,18	15,28	15,38	15,48	15,58	15,68	15,78	15,88
14	15,99	16,09	16,20	16,30	16,41	16,51	16,62	16,73	16,84	16,95
15	17,06	17,17	17,28	17,39	17,50	17,61	17,73	17,84	17,96	18,07
16	18,19	18,30	18,42	18,54	18,66	18,78	18,90	19,02	19,14	19,26
17	19,38	19,51	19,63	19,76	19,88	20,01	20,13	20,26	20,39	20,52
18	20,65	20,78	20,91	21,04	21,17	21,30	21,44	21,58	21,71	21,85
19	21,98	22,12	22,26	22,40	22,54	22,68	22,82	22,96	23,10	23,25
20	23,39	23,54	23,68	23,83	23,98	24,13	24,28	24,43	24,58	24,75
21	24,88	25,04	25,19	25,35	25,50	25,66	25,82	25,98	26,13	26,29
22	26,46	26,62	26,78	26,94	27,11	27,27	27,44	27,61	27,77	27,94
23	28,11	28,28	28,46	28,63	28,80	28,98	29,13	29,33	29,50	29,68
24	29,86	30,04	30,22	30,40	30,59	30,77	30,96	31,14	31,33	31,51
25	31,70	31,89	32,08	32,27	32,47	32,66	32,86	33,05	33,25	33,44
26	33,64	33,84	34,04	34,24	34,45	34,65	34,86	35,06	35,27	35,48
27	35,68	35,90	36,11	36,32	36,53	36,75	36,96	37,18	37,40	37,62
28	37,84	38,06	38,28	38,50	38,73	38,95	39,18	39,41	39,64	39,87
29	40,10	40,33	40,56	40,80	41,03	41,27	41,51	41,75	41,99	42,23
30	42,28	42,72	42,97	43,21	43,46	43,71	43,96	44,21	44,46	44,72

**Психрометрические таблицы
при температуре по сухому термометру от 15 до 29,5°**

Давление (упругость) насыщенного водяного пара, мм рт. ст.	Показания сухого термометра (в °)	Разность показаний сухого и смоченного термометров (в °)														
		0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12,8	15,0	100	98	96	94	91	89	87	85	83	81	78	76	74	72	70
13,2	15,5	100	98	96	94	91	89	87	85	83	81	79	77	75	73	71
13,6	16,0	100	98	96	94	91	89	87	85	83	81	79	77	75	73	71
14,1	16,5	100	98	96	94	92	90	88	85	83	81	79	77	75	74	72
14,5	17,0	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	78	76	74	72
15,0	17,5	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	78	76	74	72
15,5	18,0	100	98	96	94	92	90	88	86	84	82	80	78	77	75	73
16,0	18,5	100	98	96	94	92	90	88	86	84	83	81	79	77	75	73
16,5	19,0	100	98	96	94	92	90	88	86	85	83	81	79	77	75	74
17,0	19,5	100	98	96	94	92	90	89	87	85	83	81	79	78	76	74
17,5	20,0	100	98	96	94	92	90	89	87	85	83	81	80	78	76	74
18,1	20,5	100	98	96	94	93	91	89	87	85	83	82	80	78	76	75
18,6	21,0	100	98	96	94	93	91	89	87	85	84	82	80	78	77	75
19,2	21,5	100	98	96	95	93	91	89	87	86	84	82	80	79	77	75
19,8	22,0	100	98	96	95	93	91	89	88	86	84	82	81	79	77	76
20,4	22,5	100	98	96	95	93	91	89	88	86	84	83	81	79	78	76
21,1	23,0	100	98	96	95	93	91	90	88	86	84	83	81	80	78	76

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
21,7	23,5	100	98	97	95	93	91	90	88	86	85	83	81	80	78	77
22,4	24,0	100	98	97	95	93	91	90	88	87	85	83	82	80	78	77
23,1	24,5	100	98	97	95	93	92	90	88	87	85	83	82	80	79	77
23,8	25,0	100	98	97	95	93	92	90	88	87	85	84	82	80	79	77
24,5	25,5	100	98	97	95	93	92	90	89	87	85	84	82	81	79	78
25,2	26,0	100	98	97	95	93	92	90	89	87	86	84	82	81	79	78
26,0	26,5	100	98	97	95	94	92	90	89	87	86	84	83	81	80	78
26,7	27,0	100	98	97	95	94	92	90	89	87	86	84	83	81	80	78
27,5	27,5	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	84	83	82	80	79
28,4	28,0	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	83	82	80	79
29,2	28,5	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	83	82	81	79
30,0	29,0	100	98	97	95	94	92	91	89	88	86	85	84	82	81	79
30,9	29,5	100	98	97	95	94	92	91	89	88	87	85	84	82	81	80

Продолжение приложения 4

Давление (упругость) насыщенного водяного пара, мм рт. ст.	Показания сухого термометра (в °)	Разность показаний сухого и смоченного термометров (в °)														
		3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12,8	15,0	68	66	64	62	60	58	56	54	52	50	49	47	45	43	41
13,2	15,5	69	67	65	63	61	59	57	55	53	51	49	48	46	44	42
13,6	16,0	69	67	65	63	61	60	58	56	54	52	50	48	47	45	43
14,1	16,5	70	68	66	64	62	60	58	56	55	53	51	49	47	46	44
14,5	17,0	70	68	66	64	63	61	59	57	55	53	52	50	48	46	45
15,0	17,5	71	69	67	65	63	61	60	58	56	54	52	51	49	47	46
15,5	18,0	71	69	67	66	64	62	60	58	57	55	53	51	50	48	46
16,0	18,5	71	70	68	66	64	62	61	59	57	56	54	52	50	49	47
16,5	19,0	72	70	68	67	65	63	61	60	58	56	55	53	51	50	48
17,0	19,5	72	70	69	67	65	64	62	60	58	57	55	54	52	50	49
17,5	20,0	73	71	69	67	66	64	62	61	59	57	56	54	53	51	49
18,1	20,5	73	71	70	68	66	65	63	61	60	58	56	55	53	52	50
18,6	21,0	73	72	70	68	67	65	63	62	60	59	57	55	54	52	51
19,2	21,5	74	72	70	69	67	66	64	62	61	59	58	56	54	53	51
19,8	22,0	74	72	71	69	68	66	64	63	61	60	58	56	55	54	52
20,4	22,5	74	73	71	69	68	66	65	63	62	60	59	57	56	54	53
21,1	23,0	75	73	71	70	68	67	65	64	62	61	59	58	56	55	53
21,7	23,5	75	73	72	70	69	67	66	64	63	61	60	58	57	55	54

Продолжение приложения 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
22,4	24,0	75	74	72	71	69	68	66	65	63	62	60	59	57	56	54
23,1	24,5	76	74	73	71	70	68	67	65	64	62	61	59	58	56	55
23,8	25,0	76	74	73	71	70	68	67	65	64	63	61	60	58	57	56
24,5	25,5	76	75	73	72	70	69	67	66	64	63	62	60	59	58	56
25,2	26,0	76	75	73	72	71	69	68	66	65	63	62	61	59	58	57
26,0	26,5	77	75	74	72	71	69	68	67	65	64	63	61	60	58	57
26,7	27,0	77	75	74	73	71	70	68	67	66	64	63	62	60	59	58
27,5	27,5	77	76	74	73	72	70	69	67	66	65	63	62	61	59	58
28,4	28,0	77	76	75	73	72	71	69	68	66	65	64	62	61	60	59
29,2	28,5	78	76	75	74	72	71	69	68	67	65	64	63	62	60	59
30,0	29,0	78	77	75	74	72	71	70	68	67	66	65	63	62	61	59
30,9	29,5	78	77	75	74	73	71	70	69	67	66	65	64	62	61	60

Поправка к показаниям барометра на температуру, гПа

t °C	Показания барометра, гПа																		t °C
	900	910	920	930	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1020	1030	1040	1050	1060		
±10,0	±1,5	±1,5	±1,5	±1,5	±1,5	±1,6	±1,6	±1,6	±1,6	±1,6	±1,6	±1,6	±1,7	±1,7	±1,7	±1,7	±1,7	±10,0	
11,0	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	11,0	
12,0	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	12,0	
13,0	1,9	1,9	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	13,0	
14,0	2,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	14,0	
15,0	2,2	2,2	2,2	2,3	2,3	2,3	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	15,0	
16,0	2,4	2,4	2,4	2,4	2,4	2,5	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	16,0	
17,0	2,5	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	17,0	
18,0	2,6	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	18,0	
19,0	2,8	2,8	2,8	2,9	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,2	3,3	19,0	
20,0	2,9	3,0	3,0	3,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	20,0	
21,0	3,1	3,1	3,1	3,2	3,2	3,2	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	21,0	
22,0	3,2	3,3	3,3	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	22,0	
23,0	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	23,0	
24,0	3,5	3,5	3,6	3,6	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	24,0	
25,0	3,7	3,7	3,7	3,8	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,2	4,3	4,3	25,0	
26,0	3,8	3,8	3,9	3,9	4,0	4,0	4,1	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	26,0	
27,0	4,0	4,0	4,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	27,0	
28,0	4,1	4,1	4,2	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	28,0	
29,0	4,2	4,3	4,3	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	29,0	
30,0	4,4	4,4	4,5	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	30,0	
31,0	4,5	4,6	4,6	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	31,0	
32,0	4,7	4,7	4,8	4,8	4,9	5,0	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	32,0	
33,0	4,8	4,9	4,9	5,0	5,1	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	33,0	
34,0	5,0	5,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,7	5,7	5,8	5,8	5,9	34,0	
35,0	5,1	5,2	5,2	5,3	5,4	5,4	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8	5,9	5,9	6,0	6,0	35,0	

Поправка к показаниям барометра на силу тяжести (на широту места), гПа

Широта (град.)		Показания барометра, гПа											
вычитать (-)	прибавлять (+)	940	950	960	970	980	990	1000	1010	1013,2	1020	1030	1040
20	70	1,87	1,88	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,01	2,02	2,04	2,06
21	69	1,81	1,83	1,85	1,87	1,89	1,90	1,92	1,94	1,95	1,96	1,98	2,00
22	68	1,75	1,77	1,79	1,81	1,82	1,84	1,86	1,88	1,89	1,90	1,92	1,94
23	67	1,69	1,71	1,73	1,75	1,77	1,78	1,80	1,82	1,83	1,84	1,86	1,87
24	66	1,63	1,65	1,66	1,68	1,70	1,72	1,73	1,75	1,76	1,77	1,79	1,80
25	65	1,57	1,58	1,60	1,62	1,63	1,65	1,67	1,68	1,69	1,70	1,72	1,73
26	64	1,50	1,52	1,53	1,55	1,56	1,58	1,60	1,61	1,62	1,63	1,64	1,66
27	63	1,43	1,45	1,46	1,48	1,49	1,51	1,52	1,54	1,54	1,55	1,57	1,58
28	62	1,36	1,38	1,39	1,40	1,42	1,43	1,45	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51
29	61	1,29	1,30	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,39	1,40	1,41	1,43
30	60	1,22	1,23	1,24	1,26	1,27	1,28	1,30	1,31	1,31	1,32	1,33	1,35
31	59	1,14	1,15	1,17	1,18	1,19	1,20	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26
32	58	1,07	1,08	1,09	1,10	1,11	1,12	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18
33	57	0,99	1,00	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,06	1,08	1,09	1,10
34	56	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00	1,01
35	55	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,91	0,92
36	54	0,75	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	0,82	0,82	0,83
37	53	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,74	0,74
38	52	0,59	0,60	0,60	0,61	0,61	0,61	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65
39	51	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56
40	50	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46	0,46	0,46	0,46	0,47
41	49	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37	0,37
42	48	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28
43	47	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19
44	46	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,00	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
45	45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Приложение 7

Поправка на силу тяжести (на высоту над уровнем моря), гПа

Высота, м	Показания барометра, гПа										
	860	880	900	920	940	960	980	1000	1020	1040	1060
100				0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
200			0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	
300			0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06		
400	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08		
500	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	1,10	0,10		
600	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12			
700	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14			
80	0,13	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,15	0,16			
900	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17					
1000	0,17	0,17	0,18	0,18	0,08	0,19					
1100	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,21					
1200	0,20	0,21	0,21	0,22	0,22						
1300	0,22	0,22	0,23	0,23	0,24						
1400	0,24	0,24	0,25	0,25	0,26						
1500	0,25	0,26	0,26	0,27							
1600	0,27	0,28	0,28	0,29							
1700	0,29	0,29	0,30	0,31							
1800	0,30	0,31									
1900	0,32	0,33									
2000	0,34										

Приложение 8

**Исходные данные для определения атмосферного давления с использованием
ртутного чашечного барометра и барометра-анероида**

Вариант	Ртутный чашечный барометр					Барометр-анероид		
	Отсчет по барометру, гПа	Температура воздуха, °С	Широта, °	Высота над уровнем моря, м	Инструментальная поправка, гПа	Поправка на шкалу, гПа	Поправка при изменении на 1°С, Δр'	Добавочная поправка, гПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	900	10	40	1200	-0,1	+0,6	-0,03	0,1
2	910	11	41	1000	-0,2	+0,5	-0,02	0,2
3	920	12	42	1100	-0,1	+0,5	-0,04	0,1
4	930	13	43	1000	-0,2	+0,4	-0,02	0,2
5	940	14	44	900	-0,1	0,0	-0,03	0,1
6	950	15	45	800	-0,2	-0,2	-0,04	0,2
7	960	16	46	700	-0,1	-0,3	-0,03	0,1
8	970	17	47	600	-0,2	-0,3	-0,04	0,2
9	980	18	48	500	-0,1	-0,2	-0,03	0,3
10	990	19	49	400	-0,2	-0,2	-0,04	0,3

Продолжение приложения 8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	1000	20	50	300	-0,1	-0,1	-0,02	0,3
12	1010	21	51	500	-0,2	0,0	-0,03	0,3
13	1020	22	52	400	-0,1	-0,5	-0,04	0,1
14	1030	23	53	400	-0,2	+0,1	-0,02	0,2
15	1040	24	54	200	-0,1	+0,2	-0,03	0,3
16	1030	25	55	200	-0,2	+0,1	-0,04	0,1
17	1020	26	56	300	-0,1	-0,5	-0,03	0,2
18	1010	27	57	400	-0,2	0,0	-0,02	0,3
19	1000	28	58	500	-0,1	-0,1	-0,04	0,1
20	990	29	59	600	-0,2	-0,2	-0,04	0,2
21	980	30	60	500	-0,1	-0,2	-0,03	0,1
22	970	31	61	400	-0,2	-0,3	-0,02	0,2
23	960	32	62	300	-0,1	-0,3	-0,03	0,1
24	950	33	63	200	-0,2	-0,2	-0,04	0,2
25	940	34	64	400	-0,1	0,0	-0,03	0,1
26	930	35	46	500	-0,2	+0,4	-0,04	0,2
27	920	15	47	600	-0,1	+0,5	-0,03	0,1
27	910	20	48	700	-0,2	+0,5	-0,04	0,2
29	940	25	49	500	-0,1	0,0	-0,03	0,1
30	950	30	50	300	-0,2	-0,2	-0,04	0,2

Приложение 9

Повторяемость (%) и направление ветра и штилей в январе (I) и июле (VII) по данным метеостанций

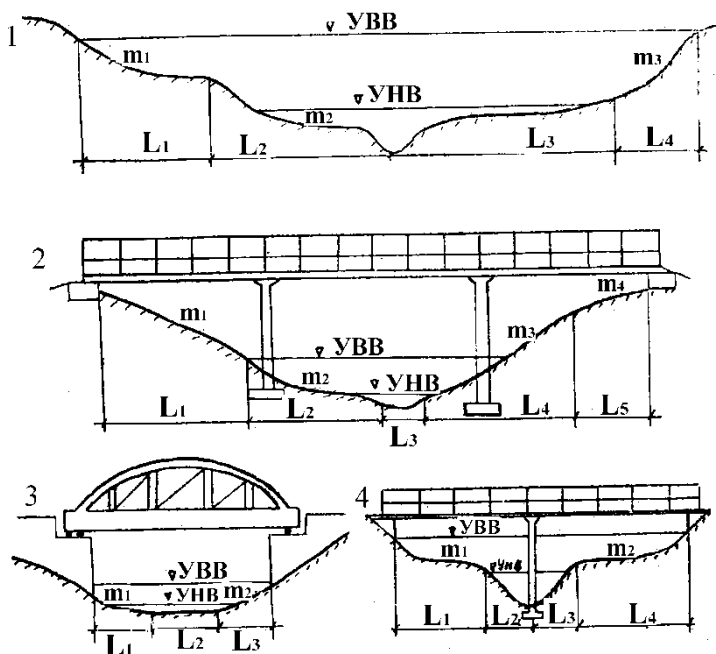
Месяц	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	Штиль
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Верхнедвинск									
I	9	8	10	19	16	18	13	7	5
VII	12	10	8	9	9	15	22	15	12
Витебск									
I	7	8	7	20	21	16	12	9	6
VII	12	11	9	11	12	13	17	15	10
Минск									
I	7	9	9	15	18	16	14	12	4
VII	12	10	7	7	11	12	21	20	8
Лида									
I	6	7	15	16	16	16	14	10	3
VII	12	8	10	8	11	13	19	19	7
Гродно									
I	5	5	13	23	14	15	16	9	13
VII	11	6	7	8	9	17	27	15	18
Горки									
I	9	8	11	14	19	16	12	11	2
VII	12	11	10	8	10	13	18	18	4

Продолжение приложения 9

Могилев									
I	8	10	10	16	18	15	13	10	6
VII	15	11	9	8	10	11	18	18	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пинск									
I	8	6	12	16	14	16	17	11	5
II	11	8	9	7	9	14	21	21	9
Брест									
I	5	8	13	13	14	20	18	9	5
VII	11	7	9	7	10	15	23	18	8
Гомель									
I	8	10	10	15	17	17	12	11	7
VII	14	11	8	6	10	12	19		

Приложение 10

Схемы поперечного профиля реки в створе водомерного поста



Расстояние до уровня воды от УВВ (УНВ) по срокам наблюдений, см

Вари- ант	Схема вод. поста	Время наблюдения, ч										Амплитуда колебаний уровня	Макс. ширина реки
		Весеннее половодье								Летняя межень			
		8	12	15	17	20	22	24	8	8	20		
1	1	360	350	320	280	220	175	180	210	76	80	5,0	16
2	2	530	500	460	400	330	310	320	340	130	140	7,0	25
3	3	150	140	115	70	47	50	60	80	34	37	3,0	12
4	1	380	365	320	275	210	185	190	230	120	140	8,0	35
5	1	840	800	750	620	500	440	430	470	165	180	15,0	32
6	1	1360	1300	1210	1020	1030	1020	1040	1080	140	130	18,0	40
7	2	225	215	200	175	160	157	163	180	175	170	4,0	50
8	3	400	390	375	355	340	325	310	330	210	215	6,0	38
9	4	290	284	276	265	260	358	261	265	68	65	3,5	80
10	2	255	247	238	225	210	200	203	208	38	42	3,0	42
11	3	210	200	190	175	155	150	153	163	38	35	2,5	8
12	4	270	265	257	250	240	234	237	241	46	42	3,2	15
13	1	340	332	322	305	285	260	262	270	83	85	4,5	50
14	2	310	305	290	278	260	255	257	264	63	65	4,2	32
15	3	180	175	165	150	137	130	132	140	58	56	2,4	27
16	1	200	208	220	230	245	260	270	30	63	60	4,0	8
17	2	325	330	346	342	355	370	390	420	125	120	5,5	12
18	4	125	140	150	155	160	170	175	190	123	25	2,4	8
19	1	130	170	230	290	360	400	420	450	43	40	5,0	17
20	1	270	300	340	390	480	580	690	740	147	160	9,5	20
21	2	180	260	310	370	430	480	510	530	97	100	6,5	18
22	3	80	120	135	155	180	205	220	240	20	24	3,5	23
23	2	130	150	180	220	260	310	370	400	165	168	6,8	48
24	1	240	256	280	310	350	300	430	450	240	250	8,3	120

Расстояние от постоянного начала до водомерных вертикалей, м

Вариант	УЛБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	УПБ
1	2	4	7	10	13	16	19	22	25	28	31	34	37	39
2	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
3	2,5	11	17,5	25	32,5	40	47,5	55	62,5	70	77,5	85	92,5	96,5
4	4	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	34	35,5
5	3	20,5	38	55,5	73	90,5	108	125,5	143	160,5	178	195,5	213	229
6	5	9	13	17	21	25	29	33	37	41	45	49	53	54,7
7	4	29	54	79	104	129	154	179	204	229	254	279	304	321
8	1,5	5	8,5	12	15,5	19	22,5	26	29,5	33	36,5	40,0	43,5	45
9	7	17	27	37	47	57	67	77	87	97	107	117	127	136
10	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,3
11	0	45	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495	540	580
12	1	6	11	16	21	26	31	36	41	46	51	56	61	65
13	3,5	26	8,5	71	93,5	116	138,5	161	183,5	206	228,5	251	273	293,5
14	0,5	2	3,5	5	6,5	8	9,5	11	12,5	14	15,5	17	18,5	19,5
15	3	33	63	93	123	153	183	213	243	273	303	333	363	390
16	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	22,5	25	27,5	30,0	32,5	34,5
17	1,8	51,8	101,8	151,8	201,8	251,8	301,8	351,8	401,8	451,8	501,8	551,8	601,8	650
18	2,2	8,2	14,2	20,2	26,2	32,2	38,2	44,2	50,2	56,2	62,2	68,2	74,2	79
19	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	290
20	4,5	12,5	20,5	28,5	36,5	44,5	52,5	60,5	68,5	76,5	84,5	92,5	100,5	107
21	5,5	40,5	75,5	110,5	145,5	180,5	215,5	250,5	285,5	320,5	355,5	390,5	425,5	450
22	1	5,5	10	14,5	19	23,5	28	32,5	37	41,5	46	50,5	55	57
23	3	23	43	63	83	103	123	143	163	183	203	223	243	262
24	4	69	134	199	264	329	394	459	524	589	654	719	784	844
25	9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	199	212
26	10	50	90	130	170	210	250	290	330	370	410	450	490	525
27	5	60	115	170	225	280	335	390	445	500	555	610	665	715
28	7	19,5	32	42,5	55	67,5	80	92,5	105	117,5	130	142,5	155	167
29	2,8	62,8	122,8	182,8	242,8	302,8	362,8	422,8	482,8	542,8	602,8	662,8	722,8	774
30	8,5	14	19,5	25	30,5	36	41,5	47	52,5	58	63,5	69	74,5	79

Глубина на промерной вертикали, м

Вариант	УЛБ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	УПБ
1	0	0,67	0,99	1,35	2,41	2,53	2,78	3,14	3,29	2,80	2,15	1,96	0,91	0
2	0	1,22	1,88	2,55	3,36	3,01	2,16	2,18	2,03	2,00	1,92	1,07	0,56	0
3	0	0,84	1,48	1,58	2,26	2,49	3,16	3,38	3,36	2,70	2,40	1,78	0,30	0
4	0	0,95	1,96	2,14	3,51	2,13	2,12	2,04	1,56	1,31	1,00	0,81	0,13	0
5	0	1,19	1,77	2,13	2,15	2,21	2,77	2,97	1,73	1,60	1,88	1,93	0,83	0
6	0	1,07	1,63	1,95	1,99	2,13	2,25	2,09	1,86	1,62	1,44	1,27	1,01	0
7	0	0,85	1,61	1,75	1,78	1,79	1,92	2,12	2,87	3,48	3,30	2,35	1,95	0
8	0	1,81	2,33	3,92	3,70	2,85	2,61	2,10	1,81	1,68	1,63	1,51	0,74	0
9	0	0,68	1,42	1,83	1,67	1,78	1,89	2,09	3,41	3,49	3,30	2,59	1,63	0
10	0	1,70	2,73	3,55	3,39	3,20	2,08	1,77	1,65	1,43	1,32	1,21	0,57	0
11	0	0,44	1,22	1,34	1,65	1,78	2,06	2,90	3,36	3,34	3,01	2,62	1,61	0
12	0	1,13	2,19	3,97	3,33	3,01	2,04	1,74	1,63	1,33	1,28	1,12	0,39	0
13	0	0,28	1,00	1,23	1,62	1,73	2,02	2,83	3,30	3,69	3,15	2,17	1,18	0
14	0	1,31	1,96	1,95	1,82	2,14	2,57	2,87	2,53	2,31	1,97	1,36	0,89	0
15	0	1,01	1,33	1,82	2,44	2,58	2,04	1,93	1,89	1,84	1,79	1,65	1,14	0
16	0	1,40	1,76	1,74	1,87	1,44	2,33	2,39	2,28	1,96	1,57	1,40	0,92	0
17	0	0,95	1,30	1,32	1,64	2,13	2,40	1,98	1,82	1,74	1,71	1,66	1,59	0
18	0	0,77	1,56	1,67	1,72	1,83	2,03	2,03	1,45	1,77	1,62	1,42	1,08	0
19	0	1,22	1,51	1,82	2,08	2,28	1,77	1,76	1,71	1,54	1,49	1,46	0,68	0
20	0	0,91	1,65	2,03	3,01	3,19	3,03	2,17	2,31	2,22	2,12	1,68	1,35	0
21	0	0,83	0,56	1,90	1,99	2,17	2,29	3,31	3,00	2,93	2,58	2,17	1,31	0
22	0	0,74	1,43	1,79	1,94	2,13	2,26	3,14	3,19	3,10	2,93	2,44	1,27	0
23	0	0,63	1,37	1,70	1,78	1,86	2,24	3,00	3,40	3,53	2,92	2,76	1,19	0
24	0	0,57	1,22	1,53	1,63	1,85	2,22	2,46	3,22	3,04	2,93	2,44	1,02	0
25	0	0,45	1,17	1,48	1,53	1,84	2,18	2,08	3,19	3,07	2,91	2,16	1,38	0
26	0	0,38	1,92	1,37	1,55	1,83	1,97	2,20	2,52	3,16	3,03	2,57	1,44	0
27	0	0,25	1,82	1,93	1,95	1,99	2,16	2,37	3,02	3,34	2,48	2,46	1,33	0
28	0	0,98	1,72	1,63	1,89	1,94	2,14	2,91	3,29	3,17	2,28	2,03	1,38	0
29	0	0,85	1,36	1,34	1,55	1,73	2,18	2,06	1,96	1,83	1,70	1,03	1,11	0
30	0	1,02	1,26	1,44	1,52	1,81	2,13	2,15	2,31	1,93	1,66	1,54	1,07	0

Приложение 14

Зависимость расстояния между скоростными вертикалями от ширины реки

Ширина реки, м	Расстояние между вертикалями, м	Ширина реки, м	Расстояние между вертикалями, м
20	0,5 – 2,0	100 – 200	10
20 – 30	2,0	200 – 300	20
30 – 40	3,0	300 – 500	30
40 – 60	4,0	500 – 800	40
60 – 80	6,0	800	50
80 – 100	8,0		

Приложение 15

Значение коэффициента для скоростей на прибрежных вертикалях

Характеристика берега	Значение
Пологий берег с нулевой глубиной на урезе воды	0,7
Естественный обрывистый берег или неровная стенка (неотесанный камень, бут)	0,8
Гладкая бетонная стенка	0,9
При наличии мертвого пространства	0,5

Исходные данные числа сигналов N' и времени t для вычисления скорости в точках на скоростных вертикалях

Вариант	Значение N' и t, с														
	I					II					III				
	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	8 118	7 101	9 151	6 195	5 102	16 118	14 113	11 11	9 102	6 133	24 105	25 111	24 109	18 108	17 114
2	17 107	13 102	15 126	13 124	7 131	29 113	26 112	25 107	25 119	20 126	36 101	38 111	36 108	36 119	28 103
3	19 106	11 100	10 118	6 111	6 197	22 101	23 107	21 101	20 101	16 111	31 102	30 102	31 112	29 111	23 101
4	16 108	14 150	9 112	7 115	5 178	19 103	20 109	15 108	13 110	7 111	29 104	27 101	29 110	27 110	20 102
5	15 120	10 101	8 111	9 152	8 197	21 105	21 108	17 111	17 116	5 101	22 103	24 115	18 118	11 110	7 182
6	5 134	5 118	5 121	4 236	2 213	5 112	7 109	6 102	6 195	4 218	10 108	11 114	11 122	11 147	7 207
7	15 124	14 101	13 114	8 116	6 164	14 107	16 104	16 121	8 102	8 124	17 104	19 109	15 101	9 120	4 216
8	22 108	24 112	19 124	12 120	6 109	24 110	25 108	23 119	12 135	10 122	25 118	26 108	24 111	14 118	8 106
9	28 106	28 102	23 108	13 102	7 111	30 104	31 103	28 123	17 122	10 114	33 109	32 101	26 102	16 105	11 100
10	35 102	36 101	33 100	18 114	13 120	40 111	39 104	34 103	16 103	7 100	37 100	38 103	35 111	19 120	11 100
11	34 112	33 114	30 105	32 116	28 112	38 113	37 110	34 111	32 108	30 109	36 110	38 119	36 115	36 130	28 115
12	16 122	14 117	14 152	10 119	6 148	12 128	12 129	12 137	12 175	6 263	5 137	6 109	6 110	6 203	6 327

Продолжение приложения 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
13	14 133	14 152	10 131	7 119	6 141	29 104	29 108	29 110	27 114	21 110	24 123	24 114	20 133	15 162	6 112
14	18 115	20 116	15 109	10 136	5 151	21 117	23 117	19 124	12 121	10 114	22 109	24 107	20 131	12 119	10 171
15	33 110	31 109	30 101	30 132	30 164	29 103	27 100	27 119	27 131	21 117	27 127	27 114	25 119	17 144	10 141
16	16 118	14 115	11 109	9 104	6 131	34 105	33 107	30 109	32 111	28 107	8 121	7 103	9 155	6 197	5 201
17	36 103	38 109	36 107	36 118	28 102	40 108	41 106	40 111	35 109	29 101	17 105	13 101	15 124	13 122	7 129
18	17 109	13 105	15 131	12 130	7 135	8 110	7 101	9 148	6 200	5 211	12 108	14 151	9 118	7 113	5 178
19	19 109	20 113	15 109	13 108	7 115	22 103	23 106	21 100	20 102	16 117	29 113	26 115	25 110	25 124	20 137
20	29 106	27 106	29 117	27 118	20 112	24 114	24 119	18 113	11 113	17 178	24 110	25 110	24 101	18 111	17 114
21	21 111	23 111	19 119	12 116	5 103	15 123	14 110	13 114	8 112	6 158	5 140	6 126	5 122	4 210	3 204
22	25 119	26 112	24 118	13 143	11 133	21 106	17 108	18 111	18 123	5 110	5 117	7 114	6 101	6 184	4 206
23	10 113	11 115	11 121	5 143	4 209	22 205	24 114	18 116	11 111	7 178	26 118	27 101	24 114	15 122	9 117
24	26 109	26 107	22 121	17 125	9 134	22 115	21 105	20 113	12 115	5 114	8 110	9 105	7 102	5 111	6 141
25	25 105	25 102	22 122	16 118	8 120	25 120	26 120	24 110	14 113	8 120	24 110	25 112	23 110	12 121	10 137
26	14 105	16 101	16 118	8 109	5 117	15 119	14 109	13 109	8 112	6 159	22 111	21 107	20 107	12 107	5 107
27	10 105	11 112	13 119	15 139	4 203	8 108	9 106	7 94	5 102	6 121	5 128	5 111	5 119	4 222	2 207
28	12 107	14 147	9 116	7 109	5 181	13 101	11 102	10 116	6 109	6 157	17 106	13 101	15 125	13 128	7 126

Продолжение приложения 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
29	40 101	41 109	40 113	35 111	29 102	36 101	38 112	36 109	36 120	28 104	29 115	26 112	25 107	25 119	20 126
30	34 103	33 105	30 98	32 110	28 108	24 105	25 111	24 109	18 108	17 114	16 118	14 113	11 111	9 102	6 133

Продолжение приложения 16

Вариант	Значение N' и t, с										Коэффициент к тарифовочному уравнению	
	IV					V						
	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	а	в
1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	34	33	30	32	28	21	16	14	10	10	0,263	0,052
	103	105	98	110	108	120	121	101	109	101		
2	40	41	40	35	29	26	20	18	15	13	0,226	0,055
	101	107	112	110	102	106	100	105	110	111		
3	38	39	40	30	26	25	18	16	12	10	0,223	0,043
	101	103	108	103	104	106	100	105	103	106		
4	37	37	34	32	30	20	16	10	10	10	0,257	0,039
	103	101	101	100	105	110	110	104	106	100		
5	33	32	30	26	23	24	20	16	15	14	0,244	0,032
	110	111	111	107	113	111	102	100	110	110		
6	8	9	7	5	6	6	4	4	2	2	0,230	0,035
	111	108	101	107	136	105	100	115	103	101		
7	22	21	20	12	5	10	8	5	5	2	0,240	0,039
	114	103	112	113	110	115	114	101	107	105		
8	25	25	22	16	8	20	16	15	15	12	0,255	0,043
	103	100	120	116	118	110	111	105	104	102		
9	32	36	30	18	14	25	20	16	15	14	0,222	0,041
	101	105	112	102	109	110	111	115	100	104		

Продолжение приложения 16

1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
10	39 101	40 102	32 117	19 111	13 110	26 106	21 105	21 104	15 103	10 102	0,234	0,049
11	22 106	23 113	21 107	20 108	16 122	16 101	14 102	10 103	10 104	8 105	0,226	0,034
12	15 126	15 116	15 133	10 144	8 118	10 120	8 116	5 115	4 130	3 100	0,250	0,042
13	14 110	16 110	16 127	9 116	6 150	15 120	10 116	8 101	7 115	7 106	0,242	0,040
14	17 106	15 122	15 137	15 144	10 206	14 150	12 160	10 110	8 140	6 150	0,226	0,056
15	10 101	10 140	9 135	9 156	9 248	8 150	5 110	6 170	5 160	3 159	0,238	0,050
16	24 107	25 112	24 110	18 109	17 115	16 106	10 105	12 104	12 103	8 102	0,246	0,031
17	29 111	26 111	25 106	25 117	25 123	20 101	22 102	20 103	20 104	16 105	0,244	0,032
18	13 103	11 104	10 119	6 112	6 192	10 101	10 102	8 103	6 104	4 105	0,249	0,046
19	16 121	14 121	11 116	9 108	6 131	13 110	12 115	10 107	9 106	6 101	0,241	0,037
20	36 106	38 117	37 110	36 132	28 114	25 106	20 107	23 108	23 106	21 102	0,250	0,042
21	11 120	9 136	8 117	9 163	8 192	10 180	9 195	6 160	5 199	5 205	0,258	0,047
22	14 112	16 110	17 131	8 113	6 140	15 135	14 140	14 145	15 160	12 165	0,255	0,043
23	18 111	19 109	15 104	9 121	4 209	15 125	14 136	13 140	14 140	10 144	0,256	0,034
24	33 116	32 118	30 119	26 108	23 115	26 105	25 114	24 106	20 102	19 103	0,235	0,030

Продолжение приложения 16

1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
25	22	24	19	12	6	21	20	18	17	16		
	126	111	113	125	121	101	120	112	114	115	0,225	0,038
26	17	19	15	9	4	16	12	12	10	10		
	101	109	100	122	210	106	105	130	145	150	0,220	0,033
27	5	7	6	6	4	5	5	4	3	2		
	107	107	100	187	207	108	105	104	190	198	0,230	0,035
28	8	7	9	6	5	6	6	5	4	3		
	104	109	131	191	202	106	110	135	190	210	0,242	0,040
29	17	13	15	13	7	16	15	10	7	5		
	107	102	127	125	130	106	101	120	130	135	0,240	0,039
30	8	7	9	6	5	7	6	5	4	3		
	118	101	151	195	202	110	106	145	195	200	0,245	0,045

Приложение 17

Масса взвешенных наносов в пробе воды

Вариант	Значения N' и t, с														
	I					II					III				
	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	0,15	0,78	1,11	0,96	0,42	0,22	0,43	0,92	1,22	0,71	0,30	0,51	0,36	1,33	0,51
2	0,18	0,37	0,96	1,61	0,47	0,20	0,48	0,90	1,10	0,56	0,27	0,56	1,10	1,28	0,37
3	0,12	0,32	0,80	0,91	0,28	0,11	0,45	1,20	1,30	0,40	0,25	0,39	0,99	1,37	0,45
4	0,21	0,50	1,12	1,07	0,52	0,31	0,52	1,26	1,50	0,61	0,51	0,70	1,22	1,27	0,65
5	0,40	0,60	1,40	1,69	0,80	0,47	0,72	1,29	1,38	0,72	0,16	0,41	1,48	1,81	0,91
6	0,09	0,54	1,30	2,50	0,90	0,54	0,80	1,41	2,20	2,21	0,42	0,76	1,38	2,44	2,39
7	0,45	0,82	1,46	2,46	1,57	0,15	0,79	1,11	0,97	0,42	0,18	0,37	0,97	1,61	0,48
8	0,21	0,51	1,13	1,08	0,53	0,40	0,61	1,40	1,69	0,81	0,09	0,54	1,31	2,50	0,90
9	0,23	0,43	0,93	1,22	0,71	0,21	0,49	0,91	1,11	0,57	0,26	0,39	1,00	1,37	0,46
10	0,47	0,72	1,29	1,38	0,72	0,55	0,81	1,42	2,20	2,22	0,30	0,52	0,86	1,34	0,51

Продолжение приложения 17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
11	0,20	0,48	0,89	1,09	0,56	0,35	0,66	1,18	1,40	0,41	0,12	0,31	0,79	0,90	0,28
12	0,25	0,38	0,99	1,37	0,45	0,10	0,44	1,19	1,29	0,40	0,21	0,50	1,12	1,07	0,52
13	0,32	0,40	0,79	1,02	0,29	0,51	0,70	1,21	1,26	0,65	0,16	0,41	1,48	1,81	0,91
14	0,10	0,61	1,00	1,56	0,31	0,35	0,66	1,18	1,40	0,41	0,10	0,44	1,20	1,29	0,40
15	0,41	0,71	1,36	1,96	2,10	0,49	0,28	1,31	2,30	1,62	0,14	0,78	0,96	1,10	0,41
16	0,22	0,45	0,92	1,22	0,70	0,10	0,61	1,00	1,56	0,31	0,18	0,26	0,96	1,61	0,47
17	0,30	0,52	1,26	1,50	0,61	0,56	0,79	1,34	1,45	0,72	0,39	0,60	1,40	1,69	0,80
18	0,41	1,28	0,61	1,38	0,71	0,41	0,71	1,36	1,96	2,04	0,08	0,53	1,30	2,49	0,89
19	0,54	0,80	1,41	2,20	2,21	0,50	0,28	1,32	2,30	1,82	0,44	0,81	1,45	2,46	1,51
20	0,21	0,50	1,22	1,07	0,52	0,09	0,55	1,31	2,50	0,91	0,41	0,62	1,41	1,70	0,81
21	0,31	0,52	0,87	1,34	0,53	0,17	0,79	1,12	0,97	0,43	0,11	0,62	1,10	1,58	0,32
22	0,28	0,57	1,11	1,29	0,39	0,19	0,38	0,98	1,62	0,49	0,37	0,68	1,19	1,41	0,43
23	0,14	0,50	1,22	1,33	0,43	0,27	0,40	1,00	1,39	0,47	0,34	0,42	0,82	1,04	0,33
24	0,53	0,72	0,24	1,30	0,68	0,24	0,53	1,14	1,10	0,54	0,60	0,83	1,36	1,47	0,80
25	0,19	0,44	1,50	1,84	0,96	0,44	0,62	1,42	1,72	0,83	0,43	0,75	1,38	1,98	2,14
26	0,11	0,64	1,41	2,42	0,88	0,54	0,86	1,22	1,86	2,20	0,62	0,49	1,30	2,23	1,79
27	0,34	0,54	1,03	1,34	0,82	0,38	0,68	1,21	1,38	0,48	0,21	0,58	1,31	1,40	0,51
28	0,28	0,72	0,92	1,71	0,59	0,36	0,50	1,09	1,45	0,56	0,63	0,81	1,33	1,41	0,77
29	0,23	0,43	0,99	2,11	1,13	0,79	0,61	0,80	1,82	2,01	0,46	0,77	1,21	1,91	2,16
30	0,32	0,61	1,23	1,34	1,01	0,58	0,72	1,29	1,40	0,31	0,36	0,55	2,16	2,41	1,11

Вариант	М, г									
	IV					V				
	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно	Пов.	0,2	0,6	0,8	Дно
1	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	0,10	0,62	1,00	1,57	0,31	0,15	0,79	1,11	0,95	0,40
2	0,85	0,66	1,18	1,40	1,40	0,18	0,37	0,95	1,62	0,46
3	0,32	0,40	0,79	1,02	0,30	0,12	0,32	0,80	0,90	0,28
4	0,57	0,80	1,34	1,45	0,78	0,21	0,50	1,13	1,08	0,52
5	0,41	0,72	1,36	1,96	2,11	0,40	0,60	1,40	1,70	0,80
6	0,50	0,28	1,32	2,30	1,83	0,09	0,54	1,30	2,50	0,90
7	0,13	0,32	0,80	0,91	0,28	0,45	0,82	1,46	2,47	1,58
8	0,45	0,82	1,46	2,47	1,52	0,21	0,50	1,13	1,00	0,53
9	0,31	0,53	1,26	1,50	0,61	0,20	0,43	0,92	1,23	0,71
10	0,28	0,57	1,10	1,28	0,38	0,70	1,30	1,40	0,48	0,70
11	0,32	0,39	0,79	1,02	0,29	0,20	0,49	0,90	1,10	0,50
12	0,52	0,70	1,21	1,26	0,66	0,25	0,39	1,00	1,38	0,45
13	0,42	0,75	1,38	2,42	2,39	0,32	0,40	0,78	1,00	0,30
14	0,56	0,79	1,34	1,50	0,77	0,10	0,61	1,00	0,56	0,30
15	0,29	0,51	0,85	1,33	0,50	0,40	0,70	1,36	1,96	2,10
16	0,87	0,66	1,10	1,28	0,37	0,21	0,45	0,90	1,22	0,70
17	0,16	0,41	1,48	1,81	0,91	0,30	0,52	1,25	1,50	0,60
18	0,42	0,75	1,38	2,42	2,39	0,40	0,11	1,29	1,40	0,70
19	0,18	0,36	0,96	1,60	0,47	0,54	0,80	1,40	2,20	2,21
20	0,46	0,84	1,47	2,46	1,53	0,21	0,50	1,20	1,00	0,50
21	0,23	0,44	0,93	1,23	0,72	0,31	0,52	0,87	1,33	0,52
22	0,23	0,49	0,93	1,12	0,58	0,29	0,57	1,15	1,30	0,40
23	0,14	0,34	0,84	0,94	0,30	0,13	0,45	1,26	1,35	0,40
24	0,33	0,54	1,28	1,53	0,65	0,51	0,75	1,32	1,31	0,65
25	0,49	0,75	1,32	1,40	0,75	0,40	1,61	1,80	1,20	0,90
26	0,67	0,84	1,50	2,31	2,00	0,12	0,70	1,51	2,34	0,81
27	0,21	0,74	1,11	1,67	0,42	0,35	0,50	1,10	1,40	0,92
28	0,49	0,59	0,98	1,34	0,61	0,30	0,70	0,89	1,65	0,61
29	0,30	0,45	0,69	0,88	0,33	0,29	0,46	1,0	2,10	1,20
30	0,89	0,39	0,63	1,18	0,90	0,35	0,65	1,31	1,39	1,10

Масса донных наносов в пробе

Вариант	М, г											
	Вертикаль											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	23,7	116	187	173	168	64,6	59,7	31,9	71,3	60,1	29,2	110
2	37,4	42,1	83,5	99,8	40,7	33,4	57,6	158	143	91,2	48,6	45,0
3	48,6	137	151	42,3	18,6	28,6	68,1	111	131	106	41,4	120
4	13,6	57,8	64,3	90,2	151	203	124	87,3	61,0	22,7	44,2	146
5	40,4	108	79,6	22,1	63,4	193	110	37,3	115	80,7	100	42,0
6	16,4	189	38,2	100	194	176	42,3	96,1	18,7	20,4	21,5	16,2
7	15,6	44,4	60,1	78,9	89,3	122	108	153	179	62,9	42,5	14,2
8	115	175	174	136	55,3	62,1	70,0	103	26,1	15,8	14,1	15,2
9	30,6	77,6	168	51,6	33,4	36,6	92,1	126	161	163	94,2	35,2
10	35,6	41,6	91,0	133	176	43,1	45,6	89,4	157	124	91,4	35,2
11	126	84,3	23,1	19,6	50,6	186	153	96,7	51,0	13,8	12,0	10,1
12	25,2	49,6	68,7	42,2	34,4	49,6	174	112	68,6	38,4	30,5	31,0
13	118	134	142	96,6	164	175	123	121	38,9	30,3	25,0	20,4
14	15,5	38,9	40,0	82,1	155	181	144	156	211	102	92,4	60,5
15	10,2	30,6	97,6	131	150	108	78,8	129	113	95,0	44,2	32,0
16	15,2	15,3	61,0	124	177	143	208	10	71,3	49,5	26,4	20,1
17	12,6	49,5	96,8	103	171	182	101	157	131	81,3	44,2	21,0
18	32,2	32,8	169	110	65,5	20,3	51,8	40,0	25,1	21,4	17,0	19,2
19	32,2	32,8	34,6	106	103	109	119	179	110	94,1	81,2	32,2
20	85,5	161	81,7	63,1	55,4	50,8	99,3	141	180	141	100	47,2
21	18,1	46,0	38,5	42,0	190	118	77,7	90,3	123	90,5	64,2	29,5
22	15,2	57,0	104	101	68,8	25,5	21,3	45,4	63,3	34,5	21,4	20,0
23	35,1	12,1	61,8	178	63,3	18,5	18,2	20,0	57,3	40,0	31,4	22,5
24	13,7	13,2	45,4	52,0	34,3	101	80,0	153	82,3	64,2	40,0	22,5
25	15,4	13,9	12,0	46,5	62,2	101	48,8	54,3	120,0	60,0	25,6	28,9
26	20,7	54,4	65,9	66,3	127	38,1	134	26,6	97,9	69,5	34,4	30,0

Продолжение приложения 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
27	63,7	80,3	135	138	51,7	172	176	184	136	101	64,5	32,4
28	40,9	177	165	170	182	407	154	131	79,9	65,4	32,4	35,0
29	13,3	71,3	28,6	28,5	151	78,3	185	208	144	91,4	53,4	25,0
30	38,5	176	245	255	231	158	102	114	136	94,2	62,2	41,4
31	44,4	50,2	121	136	65,8	70,3	83,3	221	246	120	69,5	54,2
32	56,1	182	194	38,9	46,5	61,8	166	177	150	132	85,4	49,1
33	30,0	62,4	91,7	134	276	205	202	136	57,4	70,8	61,4	32,2
34	60,7	134	293	68,5	79,4	124	128	54,6	44,2	25,6	20,1	32,0
35	40,5	58,9	72,6	94,4	126	157	169	203	296	120	100	65,0
36	19,6	94,3	286	72,1	58,4	60,0	143	152	20	143	110	65,4
37	35,5	44,1	96,7	60,8	73,4	61,9	145	173	90,5	60,4	32,4	31,0
38	47,3	60,4	31,1	120	103	46,5	69,5	62,7	34,8	15,6	125	64,0
39	46,5	49,6	79,0	201	129	62,1	32,8	29,1	87,5	60,2	40,1	21,1
40	48,6	117	45,3	59,6	75,1	244	301	316	283	94,5	42,3	39,2

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Работа 1. Актинометрические наблюдения	5
Работа 2. Измерение температуры почвы и воздуха	12
Работа 3. Измерение влажности воздуха	22
Работа 4. Измерение осадков	31
Работа 5. Измерение атмосферного давления	37
Работа 6. Измерение направления и скорости ветра	45
Работа 7. Устройство водомерного поста и наблюдения за уровнем воды	52
Работа 8. Обработка промеров русла в гидрометрическом створе. Определение морфометрических характеристик русла	58
Работа 9. Изучение устройства гидрометрической вертушки	62
Работа 10. Измерение скорости течения воды гидрометрической вертушкой	66
Работа 11. Вычисление расхода воды аналитическим способом по скоростям, измеренным вертушкой	71
Работа 12. Вычисление расхода взвешенных и влекомых (донных) наносов аналитическим способом	75
Приложения	80
Литература	110

Учебно-методическое издание

**Владимир Иосифович Желязко
Владимир Кононович Курсаков
Галина Николаевна Рудковская
Виктор Михайлович Лукашевич
Иван Александрович Левшунов**

**ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЕ СТОКА
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Редактор
Техн. редактор
Корректор

Подписано в печать

Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Бумага для множительных аппаратов.

Печать ризографическая. Гарнитура “Times”.

Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. .

Тираж экз. Заказ . Цена руб.

Редакционно-издательский отдел БГСХА
213407, г. Горки Могилевской обл., ул. Студенческая, 2
Отпечатано в секторе издания учебно-методической
литературы и ризографии БГСХА
г. Горки, ул. Мичурина, 5