

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент мелиорации
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО УЧЕТУ И КОНТРОЛЮ
КАЧЕСТВА СБРОСНЫХ ВОД**

Новочеркасск
2015

Методические указания по учету и контролю качества сбросных вод подготовлены сотрудниками ФГБНУ «РосНИИПМ»: академиком РАН, доктором технических наук, профессором В. Н. Щедриным; кандидатом технических наук А. С. Капустяном; А. С. Кобзаревым; Т. С. Пономаренко; А. А. Кузьмичевым; Р. Ю. Сахаровым.

Методические указания по учету и контролю качества сбросных вод одобрены на заседании секции мелиорации Минсельхоза России 25 апреля 2014 года, утверждены и введены в действие приказом директора ФГБНУ «РосНИИПМ» № 16 от 3 апреля 2015 года.

Содержание

Введение.....	4
1 Основные понятия.....	5
2 Общие положения.....	5
3 Требования к отбору проб воды.....	7
4 Оценка качества коллекторно-дренажных и сбросных вод	8
5 Методы измерения расхода и объема воды.....	28
6 Наблюдения за уровнем воды в водотоках.....	29
7 Измерение расхода и объема воды на закрепленных створах в естественных устойчивых и искусственных необлицованных руслах и облицованных участках русел.....	31
8 Измерение расхода и объема воды при помощи гидрометрических сооружений и устройств.....	39
9 Измерение расхода и объема воды при помощи градуированных гидротехнических сооружений.....	50
10 Измерение расхода и объема воды в закрытых дренах и коллекторах.....	51
11 Требования к квалификации исполнителей и технике безопасности работ.....	55
Список использованной литературы.....	56
Приложение А Ведомость измерений расхода воды.....	59
Приложение Б Схема измерения и расчета расхода воды методом «скорость-площадь».....	60
Приложение В Значения коэффициента расхода для водосливов с треугольным вырезом в тонкой стенке.....	61
Приложение Г Значения коэффициента скорости подхода жидкости для водосливов с широким порогом.....	62
Приложение Д Значения коэффициента расхода для лотков критической глубины прямоугольного сечения (лотков Вентури).....	63
Приложение Е Значения коэффициента скорости подхода жидкости для лотков критической глубины.....	64
Приложение Ж Значения высоты от дна для трубопроводов круглого сечения.....	65
Приложение З Относительные значения гидравлического радиуса и живого сечения для водовода круглого сечения.....	67

Введение

Эксплуатация мелиоративных систем предусматривает отвод за пределы орошаемого массива коллекторно-дренажных и сбросных вод.

Реализация Экологической доктрины Российской Федерации предусматривает наличие информации о состоянии природной среды и уровня ее загрязнения.

Для получения таких сведений необходима организация регулярных наблюдений за качеством и количеством стока коллекторно-дренажных и сбросных вод с оросительных систем.

Анализ нормативно-методических документов по учету и контролю показателей стока с орошаемых территорий показал, что после выхода в свет новой редакции Водного кодекса РФ (2007 г.) и последующих за ним нормативно-правовых документов возникла необходимость в разработке ведомственного нормативного документа по оценке качества и учете количества коллекторно-дренажных и сбросных вод.

Методические указания включают основные понятия, общие положения, требования к отбору проб воды, порядок определения химического состава воды, требования к наблюдениям за уровнем воды в водотоках, методы учета объема, расхода воды на мелиоративных системах.

Подготовленные методические указания обобщают и актуализируют опыт экспериментальных и эксплуатационных исследований по методам, способам и средствам учета воды на мелиоративных системах и предназначены для эксплуатационных организаций Департамента мелиорации Минсельхоза России.

1 Основные понятия

1.1 Федеральный закон № 74 от 3 июня 2006 г. Водный кодекс Российской Федерации и последующие за ним нормативно-правовые и методические документы определили следующие понятия:

1.2 водоток: Водный объект, характеризующийся движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности.

1.3 водный объект: Природный или искусственный водоем, водоток либо иной объект, постоянное или временное сосредоточение вод в котором имеет характерные формы и признаки водного режима.

1.4 дренажные воды: Сточные воды, отвод которых осуществляется дренажными сооружениями на мелиоративных системах для сброса в водоприемники.

1.5 контроль качества воды: Проверка соответствия показателей качества воды установленным нормам и требованиям.

1.6 сбросные воды: Сточные воды, отвод которых осуществляется водосборно-сбросными сооружениями на мелиоративных системах для сброса в водоприемники.

1.7 створ наблюдений: Условное поперечное сечение водоема или водотока, в котором производят комплекс работ для получения данных о количественных и качественных показателях стока коллекторно-дренажных и сбросных вод.

1.8 сточные воды: Дождевые, талые, инфильтрационные, поливомочные, дренажные воды, сточные воды централизованной системы водоотведения и другие воды, отведение (сброс) которых в водные объекты осуществляется после их использования или сток которых осуществляется с водосборной площади.

2 Общие положения

2.1 Методические указания определяют основные понятия, регламентируют процедуру и последовательность действий при оценке качества и учете количества коллекторно-дренажных и сбросных вод.

2.2 При подготовке методических указаний были использованы действующие государственные стандарты, нормативные и методические документы по водоучету и количественному химическому анализу воды.

2.3 Оценка качества и учета количества коллекторно-дренажных и сбросных вод на государственных оросительных системах должна осуще-

ствляться подведомственными Депмелиорации Минсельхоза России оперативно-производственными подразделениями региональных управлений Депмелиоводхозов в рамках отдельного Государственного задания. Оценка качества дренажных вод осуществляется сертифицированными и аккредитованными лабораториями. При отсутствии указанных документов лаборатории проводят предварительную оценку качества.

2.4 В зависимости от определяемых ингредиентов и методов их определения отбор проб производится с различными методами консервации и первичной пробоподготовки. Емкость с пробой воды снабжается этикеткой с указанием шифра гидрометрического пункта, створа наблюдений, названием водного объекта, датой отбора и фамилией исполнителя.

2.5 Для обеспечения требуемой точности измерений предусматривается регулярное проведение внутреннего и внешнего аудита точности результатов измерения в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025 [1].

2.6 Для учета коллекторно-дренажных и сбросных вод в открытых водотоках следует применять методы водоучета, рекомендуемые для гидромелиоративных и водохозяйственных систем.

2.7 При необходимости измерения расхода и объема воды непосредственно в закрытых дрена и коллекторах следует использовать методы учета сточных вод в системах канализации и водоснабжения

2.8 Все измерительные приборы должны проходить ежегодную поверку с получением свидетельства Государственного комитета РФ по стандартизации, метрологии и сертификации и государственного поверительного клейма. Лаборатории должны использовать в своей работе стандартные образцы состава определяемых компонентов ранга государственных стандартных образцов и средства измерений, зарегистрированные в Государственном реестре средств измерения. При сбросе дренажных и сточных вод в каналы Государственной межхозсети, отнесённые к водным объектам, водопотребители обязаны получить Технические условия на водоотведение, организовать очистку стоков на локальных очистных сооружениях и оборудовать в точке сброса узел учёта.

2.9 Контроль объемов коллекторно-дренажных и сбросных вод сводится к определению расходов воды в устьевой части водотоков (коллектора, дрены, каналы).

2.10 В настоящее время в эксплуатационной гидрометрии одним из основных методов определения расходов воды является метод, основанный на определении расхода воды замером площади живого сечения и средней скорости потока.

3 Требования к отбору проб воды

3.1 Общие требования к отбору, транспортировке и подготовке к хранению проб воды, предназначенных для определения показателей ее состава и свойств, устанавливают в соответствии с ГОСТ Р 51592 [2].

3.2 Целью отбора проб является получение дискретной пробы, отражающей качество исследуемой воды, для определения ее состава и свойств по показателям, регламентированным в нормативных документах. Место и периодичность отбора проб устанавливают в соответствии с программой исследований.

3.3 В зависимости от определяемых ингредиентов и методов их определения отбор проб производится с различными методами консервации и первичной подготовки.

3.4 Емкости для отбора и хранения проб должны удовлетворять следующим требованиям:

- предохранение состава проб от потерь определяемых показателей и от загрязнения другими веществами;
- устойчивость к экстремальным температурам;
- светопрозрачность;
- химическая инертность материала;
- возможность проведения очистки и обработки стенок.

3.5 Пробы отбирают вручную специальными приспособлениями или с применением автоматизированного оборудования.

3.6 Сведения о месте отбора и условиях, при которых они отобраны, указывают на этикетке, которую прикрепляют к емкости для отбора проб. Результаты определений, выполненных на месте, вносят в протокол испытаний, заполняемый на месте отбора проб.

3.7 Результаты отбора проб заносят в акт об отборе, который должен содержать следующую информацию:

- расположение и наименование места отбора проб;
- дата отбора;
- метод отбора;
- время отбора;
- температура воды при отборе проб (при необходимости);
- метод подготовки к хранению (при необходимости);
- цель исследования воды;
- должность, фамилия и подпись исполнителя.

3.8 При транспортировке емкости размещают внутри тары (контейнер, ящик и т. д.), чтобы исключить возможность их загрязнения и повреждения.

3.9 Пробы, поступающие в лабораторию для исследования, должны быть зарегистрированы в журнале учета с обязательным указанием количества емкостей для каждой пробы.

3.10 Прием проб воды на анализ производится заведующим лабораторией по протоколам или ведомостям сдачи проб. Протокол сдачи составляется по установленной форме с обязательным указанием назначенных анализов, условий отбора, способа консервации, даты отбора и сдачи ее на анализ.

3.11 Повторный отбор проб производится в случае непригодности ее к анализу из-за несоблюдения сроков отбора или нарушения методики отбора, а также в случаях определения причин расхождения результатов анализов с предыдущими наблюдениями.

3.12 Результаты анализов с расчетами заносятся в рабочие журналы аналитика и после проверки вводятся в компьютер, и выдаются в виде протокола количественного химического анализа и сводных ведомостей результатов анализов по установленной форме.

4 Оценка качества коллекторно-дренажных и сбросных вод

4.1 Определение содержания взвешенных веществ

4.1.1 Определение содержания взвешенных веществ в воде осуществляется гравиметрическим методом по ПНД Ф 14.1:2.110-97 [3]. Метод основан на выделении взвешенных веществ из пробы фильтрованием через мембранный бумажный фильтр «синяя лента» и последующем взвешивании осадка. Нормы погрешности данного метода составляют 5-20 % в зависимости от диапазона измеряемых значений показателя.

4.1.2 Отбор проб проводят в стеклянную посуду, промытую раствором соляной кислоты 1:1, дистиллированной водой и ополоснутые отбираемой водой. Перед началом работы проводят подготовку бумажных фильтров и тиглей.

4.1.3 При подготовке фильтров их маркируют, промывают в воронке 100-150 см³ дистиллированной воды, затем вынимают и высушивают в сушильном шкафу при 105 °С в течение 1 часа, взвешивают. Повторяют

процедуру до тех пор, пока разница между взвешиваниями будет не более 0,5 мг.

4.1.4 Для определения взвешенных веществ фильтр помещают в воронку и пропускают через нее отмеренный объем тщательно перемешанной анализируемой пробы с таким расчетом, чтобы масса осадка на фильтре находилась в пределах 3-200 мг. Фильтр с осадком трижды промывают дистиллированной водой порциями по 10 см³, затем вынимают и высушивают 2 ч при 105 °С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Повторяют процедуру сушки, пока разница между взвешиваниями будет не более 0,5 мг при массе осадка до 50 мг и 1 мг при массе более 50 мг.

4.1.5 Содержание взвешенных веществ, мг/дм³, рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{m_{\phi 0} - m_{\phi}}{V} \cdot 1000, \quad (1)$$

где $m_{\phi 0}$ – масса фильтра с осадком, г;

m_{ϕ} – масса фильтра без осадка, г;

V – объем профильтрованной воды, дм³.

4.1.6 В ходе выполнения анализа применяются следующие приборы и реактивы: весы лабораторные 2 класса точности, шкаф сушильный, тигли фарфоровые, соляная кислота и другие вспомогательные материалы.

4.2 Определение содержания сухого остатка

4.2.1 Определение сухого остатка гравиметрическим методом производится по ПНД Ф 14.1:2:4.114-97 [4]. Метод основан на взвешивании остатка, полученного при выпаривании аликвотной части отфильтрованной пробы исследуемой воды. Погрешность данного метода составляет 5 %, отбор проб производится в предварительно вымытые стеклянные бутылки.

4.2.2 Для подготовки фарфоровых чашек их выдерживают в сушильном шкафу при 105 °С до постоянной массы, охлаждают в эксикаторе, взвешивают.

4.2.3 Для выполнения анализа и обработки результатов аликвотную часть пробы воды, предварительно профильтрованную через фильтр «белая лента», помещают в предварительно взвешенную фарфоровую чашку (заполняя не более 3/4 объема чашки) и выпаривают на водяной бане досуха. Затем чашку выдерживают в сушильном шкафу при 105 °С в течение 3 часов, охлаждают в эксикаторе, взвешивают.

4.2.4 Массовую концентрацию сухого остатка (мг/дм³) рассчитывают по формуле:

$$X = (m_1 - m_2) \cdot 1000/V, \quad (2)$$

где m_1 – масса чашки с высушенным остатком, мг;

m_2 – масса пустой чашки, мг;

V – аликвотная часть пробы, см³.

При необходимости дублируют опыт и за результат принимают среднее арифметическое двух параллельных определений.

4.2.5 В ходе анализа используются весы аналитические 2 класса точности, сушильный шкаф, фарфоровые чашки, фильтры, песчаная баня, соляная кислота и другие вспомогательные материалы.

4.3 Определение содержания рН (водородный показатель)

4.3.1 Измерение рН воды осуществляется потенциометрическим методом ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97 [5]. Метод определения величины рН проб воды основан на измерении ЭДС электродной системы, состоящей из стеклянного электрода, путем сравнения с известным потенциалом. Нормы погрешности данного метода составляют 5, 7 % с вероятностью $P = 0,95$.

4.3.2 Перед началом работы необходимо произвести подготовку прибора по буферным растворам. Контроль стабильности прибора проводят ежедневно по двум буферным растворам.

4.3.3 Для приготовления вспомогательных (буферных) растворов с рН = 4,01 содержимое одной ампулы стандарт-титра фталевокислого калия количественно переносят в мерную колбу 1000 см³, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Для приготовления буферного раствора с рН = 6,86 содержимое одной ампулы стандарт-титра смеси калия фосфорнокислого однозамещенного и натрия фосфорнокислого двузамещенного количественно переносят в мерную колбу 1000 см³, растворяют в небольшом количестве дистиллированной воды, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Для приготовления буферного раствора с рН = 9,18 содержимое одной ампулы стандарт-титра тетраборнокислого натрия количественно переносят в мерную колбу 1000 см³, растворяют в небольшом количестве

дистиллированной воды, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают. Срок хранения растворов – 3 месяца.

При приготовлении насыщенного раствора хлористого калия 35 г хлористого калия помещают в коническую колбу с притертой пробкой и добавляют 100 см³ дистиллированной воды. Полученным насыщенным раствором заполняют электрод сравнения.

4.3.4 Перед измерением рН анализируемых проб осуществляют градуировку иономера. Электроды промывают дистиллированной водой, погружают в стакан с пробой. Отсчет величины рН производят, когда показания прибора не будут изменяться более чем на 0,2 единицы рН в течение одной минуты. Измерение повторяют, ополаскивают электроды дистиллированной водой. За результат анализа принимают среднее арифметическое двух измерений.

4.3.8 Для выполнения анализа применяются следующие реактивы: фталевокислый калий, фосфорический калий, фосфорический натрий, тетрабориокислый натрий, хлористый калий.

4.4 Определение содержания БПК₅

4.4.1 Определение пятисуточного биохимического потребления кислорода БПК₅ осуществляется скляночным методом по РД 52.24.420-2005 [6]. Метод основан на измерении массовой концентрации растворенного кислорода титриметрическим йодометрическим методом в пробе воды до и после ее инкубации в течение 5 суток.

4.4.2 При подготовке к анализу осуществляют приготовление следующих растворов:

- раствор хлорида (сульфата) марганца, который готовят из 210 г 4-водного хлорида или 260 г 5-водного сульфата марганца, растворенного в 300-350 см³ дистиллированной воды, фильтруют в мерную колбу 500 см³ и доводят до метки дистиллированной водой;

- щелочной раствор иодида калия (натрия) готовят из 15 г иодида калия или 18 г иодида натрия, которые растворяют в 20 см³, а 50 г гидроксида натрия – в 50 см³ дистиллированной воды. Полученные растворы смешивают в мерной колбе 100 см³ и доводят до метки дистиллированной водой, фильтруют при наличии мути;

- раствор соляной кислоты 2:1 готовят из 340 см³ концентрированной соляной кислоты, которую добавляют к 170 см³ дистиллированной воды;

- раствора 0,5 %-го крахмала готовят из 0,5 г крахмала с добавлением 15-20 см³ дистиллированной воды. Суспензию постепенно приливают к 80-85 см³ кипящей дистиллированной воды и кипятят еще 2-3 мин, охлаждают и консервируют раствор 2-3 каплями хлороформа. Раствор используют до помутнения;

- раствор дихромата калия и тиосульфата натрия с молярной концентрацией вещества-эквивалента (КВЭ) 0,02 моль/дм³ готовят из стандарт-титр дихромата калия в мерной колбе вместимостью 500 см³, растворяя его в дистиллированной воде и доводя до метки. Отбирают 50 см³ полученного раствора, переносят его в мерную колбу 500 см³, доводят до метки дистиллированной водой;

- раствор тиосульфата натрия с КВЭ 0,02 моль/дм³ готовят таким же образом из соответствующего стандарт-титра;

- фосфатный буферный раствор с рН = 7,2 готовят из 4,25 г дигидрофосфата калия, 14,25 г гидрофосфата калия 3-водного, 8,85 г гидрофосфата натрия безводного и 0,85 г хлорида аммония растворением в дистиллированной воде 500 см³, доводя до метки и перемешивая;

- раствор 1,1 %-го сульфата магния готовят из 11,25 г 7-водного сульфата магния, растворяя его в 500 см³ дистиллированной воды;

- раствор 2,7 %-го хлорида кальция готовят из 28,2 г 6-водного хлорида кальция, растворяя его в 500 см³ дистиллированной воды;

- раствор 0,015 %-го хлорида железа готовят из 0,13 г 6-водного хлорида железа, растворяя его в 500 см³ дистиллированной воды;

- раствор 1М соляной кислоты готовят из 8,5 см³ концентрированной соляной кислоты, добавляя ее к 92 см³ дистиллированной воды и перемешивая;

- раствор 1М гидроксида натрия готовят из 8,5 см³ концентрированной соляной кислоты, добавляя ее к 92 см³ дистиллированной воды и перемешивая.

Воду для разбавления проб готовят в день применения из дистиллированной воды, добавляя фосфатный буферный раствор, растворы сульфата магния, хлорида кальция и хлорида железа из расчета по 1 см³ на 1 дм³. Интенсивно встряхивают воду и оставляют на 3-5 мин до исчезновения мелких пузырьков воздуха.

4.4.3 При выполнении измерений 1,0-1,4 дм³ пробы воды помещают в колбу 2 дм³, устанавливают рН в пределах 6-8 добавлением 1М раствора соляной кислоты или гидроксида натрия, доводят температуру пробы до 20 °С. Затем, энергично взбалтывая, насыщают пробу кислородом, остав-

ляют на 3-5 мин. Если проба содержит грубую взвесь, ее фильтруют через фильтр «белая лента». Пробу наливают в 3 сухие кислородные склянки, заполняя их до края так, чтобы внутри склянки не образовывалось пузырьков. В одной склянке сразу же фиксируют кислород и определяют концентрацию растворенного кислорода. Время между аэрацией пробы и определением кислорода не должно быть более 15 мин.

Две другие склянки закрывают, помещают пробками вниз в гидрозатвор и устанавливают в термостат. Выдерживают при отсутствии доступа света при 20 °С в течение 5 суток, затем определяют концентрацию кислорода.

Сразу же после заполнения склянки или после инкубации фиксируют растворенный кислород, для чего в склянку с пробой воды вводят отдельными пипетками по 1 см³ (при вместимости склянки до 150 см³) или по 2 см³ (при вместимости склянки более 150 см³) раствора хлорида (сульфата) марганца и щелочного раствора иодида калия.

Пипетку погружают каждый раз до половины склянки и поднимают вверх по мере истечения реактива из нее, затем быстро закрывают склянку стеклянной пробкой и перемешивают 15-20-кратным переворачиванием склянки до равномерного распределения осадка в воде по всему объему склянки, помещают в темное место для отстаивания (не менее 20 мин но не более 24 ч). После того, как опустившийся осадок будет занимать менее половины склянки, к пробе приливают 5 или 10 см³ раствора соляной кислоты, погружая при этом пипетку до дна склянки к осадку и медленно поднимая вверх по мере опорожнения. Склянку закрывают пробкой и содержимое тщательно перемешивают. После полного растворения бурого осадка пипеткой отбирают 50 см³ раствора и титруют раствором тиосульфата натрия до светло-желтой окраски. Затем прибавляют 1 см³ раствора крахмала и продолжают титрование до исчезновения синей окраски.

4.4.4 Массовую концентрацию растворенного в воде кислорода находят по формуле:

$$X = M \cdot C_m \cdot V_m \cdot V \cdot 1000 / 50 \cdot (V_1 - V_2), \quad (3)$$

где M – масса КВЭ кислорода, равная 8 мг/моль;

C_m – концентрация раствора тиосульфата натрия, моль/дм³ экв.;

V_m – объем раствора тиосульфата натрия, пошедший на титрование, см³;

V – вместимость склянки, см³;

V_I – суммарный объем растворов хлорида марганца и иодида калия, добавленных в склянку при фиксации кислорода, см³.

БПК₅, мг/дм³, находят по формуле:

$$БПК_5 = X_H - X_K, \quad (4)$$

где X_H – массовая концентрация растворенного кислорода в пробе воды до инкубации, мг/дм³;

X_K – массовая концентрация растворенного кислорода в пробе воды после 5 суток инкубации, мг/дм³.

За результат принимают среднее арифметическое результатов измерения в двух склянках, подвергшихся инкубации.

4.4.5 Для выполнения анализа применяются: сульфат (фторид) марганца, ионид калия (натрия), дихромат калия, тиосульфат натрия, дигидрофосфат калия, гидрофосфат калия, хлорид аммония, сульфат магния, хлорид кальция, хлорид железа, серная кислота (конц.), соляная кислота (конц.), хлороформ.

4.5 Определение содержания ионов аммония

4.5.1 Определение массовой концентрации ионов аммония в интервале от 0,05 до 4,00 мг/дм³ в природных и сточных водах осуществляется фотометрическим методом по ПНДФ 14.1:2.1-95 (изд. 2004 г.) [7]. Метод основан на взаимодействии NH_4^+ – ионов с тетраиодомеркурантом калия в щелочной среде (реактив Несслера) с образованием нерастворимой соли Миллона.

4.5.2 Светопоглощение раствора измеряют при длине волны 425 нм в кюветах с длиной поглощающего слоя 1 или 5 см. Интенсивность окраски прямо пропорциональна концентрации NH_4^+ – ионов. Нормы погрешности данного метода составляют от 10 до 50 % в зависимости от диапазона измеряемых значений показателя.

4.5.3 При подготовке к анализу готовят бидистиллят, не содержащий аммиака, для чего воду дважды перегоняют через колонку с катионитом КУ-2. Основной раствор хлористого аммония готовят из 2,9650 г аммония хлористого, который растворяют в мерной колбе на 1 дм³. При этом 1 см³ раствора содержит 1 мг NH_4^+ .

Рабочий раствор хлористого аммония готовят путем разбавления основного раствора, 1 см³ должен содержать 0,005 мг NH_4^+ .

4.5.4 При выполнении измерений к 50 мл пробы анализируемой воды добавляют 1 мл реактива Несслера (приобретается готовый) и 1-2 капли сегнетовой соли и через 10 мин производят измерение (проба окрашивается в желтый цвет).

4.5.5 Для построения градуировочного графика в мерные колбы на 50 мл вносят 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 рабочего стандартного раствора аммония и доводят до метки безаммиачной водой. Концентрация NH_4^+ – ионов соответственно 0,0025; 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05 мг. График строят в координатах: оптическая плотность, содержание ионов аммония (мг). По результату замера оптической плотности анализируемой пробы по графику находят содержание NH_4^+ - ионов с учетом поправки на холостой опыт.

4.5.6 Норма расходов реактивов на 1 пробу: реактив Несслера – 4,7 мл, сегнетова соль – 2,7.

4.6 Определение содержания нитратов

4.6.1 Определение массовой концентрации нитратов в воде осуществляется по РД 52.24.380-2006 [8]. Метод основан на восстановлении нитратов металлическим кадмием до нитритов с последующим определением образующихся нитритов по цветной реакции с реактивом Грисса. Максимум оптической плотности в спектре образующегося азокрасителя наблюдается при 520 нм. Предел обнаружения метода – 0,005 мг/дм³.

4.6.2 При подготовке к анализу готовят следующие растворы:

- раствор хлорида аммония 5 г/дм³ получают, растворяя в 1 дм³ дистиллированной воды 5 г хлорида аммония;

- реактив Грисса получают, растворяя 10 г сухого реактива Грисса в 100 см³ 12 %-го раствора уксусной кислоты. Раствор фильтруют через фильтр «белая лента»;

- 1-нафтиламина и сульфаниловой кислоты готовят, взвешивая 0,1 г 1-нафтиламина, который растворяют в нескольких каплях ледяной уксусной кислоты, добавляют 150 см³ 12 %-го раствора уксусной кислоты и перемешивают. Взвешивают 2,0 г сульфаниловой кислоты и растворяют ее в 300 см³ 12 %-го раствора уксусной кислоты. Раствор реактива Грисса готовят, смешивая равные объемы растворов сульфаниловой кислоты и 1-нафтиламина. Раствор используют в день приготовления;

- 12 %-й раствора уксусной кислоты готовят, приливая к 440 см³ дистиллированной воды 60 см³ ледяной уксусной кислоты;

- раствор соляной кислоты 0,05 моль/дм³ готовят, приливая к 1 дм³ дистиллированной воды 4,4 см³ концентрированной соляной кислоты;
- раствора серной кислоты 1:1 готовят, осторожно приливая к 50 см³ дистиллированной воды 50 см³ концентрированной серной кислоты;
- 10 %-й раствор гидроксида натрия готовят, растворяя 20 г гидроксида натрия в 180 см³ дистиллированной воды.

В ходе анализа используют кадмий металлический омедненный, при подготовке которого омедненный кадмий переносят в редуктор, заполненный дистиллированной водой, следя за тем, чтобы он равномерно распределялся по колонке. После этого пропускают через редуктор 1,0-2,0 дм³ стабилизирующего раствора с концентрацией нитратного азота 0,2 мг/дм³. Для каждого вновь приготовленного редуктора следует установить оптимальную скорость пропускания пробы (таковая достигается при максимальной оптической плотности раствора, полученного после добавления реактива Грисса).

Степень восстановления равна $A(\text{NO}_3^-)/A(\text{NO}_2^-) \cdot 100$, где $A(\text{NO}_3^-)$ и $A(\text{NO}_2^-)$ – оптические плотности растворов нитрата и нитрита за вычетом оптической плотности холостой пробы. Удовлетворительным считается редуктор, для которого степень восстановления превышает 90 %.

Для приготовления градуировочных растворов применяют ГСО с концентрацией нитрат-иона 1,00 мг/см³.

Для приготовления градуировочного раствора № 1 отбирают 4,45 см³ ГСО и переносят в мерную колбу вместимостью 100 см³, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Для приготовления градуировочного раствора № 2 отбирают 25,0 см³ градуировочного раствора № 1, переносят в мерную колбу вместимостью 100 см³, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

4.6.3 Для приготовления образцов для градуировки в мерные колбы вместимостью 100 см³ с помощью градуировочных пипеток вместимостью 2 и 5 см³ приливают 0,4; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2 градуировочного раствора № 2 и 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0 см³ градуировочного раствора № 1. Объемы растворов доводят до меток дистиллированной водой и перемешивают. Массовая концентрация нитратного азота в полученных растворах составит соответственно 0,010; 0,020; 0,040; 0,060; 0,080; 0,101; 0,151; 0,201; 0,251; 0,302 мг/дм³. К каждому раствору в мерной колбе приливают по 2 см³ раствора хлорида аммония, перемешивают и выполняют измерения.

Образцы с концентрацией нитратного азота 0,010-0,080 мг/дм³ измеряют в кювете с толщиной поглощающего слоя 5 см, а образцы с концен-

трацией 0,080-0,300 мг/дм³ – в кювете с толщиной поглощающего слоя 1 см относительно дистиллированной воды. Оптическую плотность холостого опыта измеряют в обеих кюветах.

Градуировочные зависимости оптической плотности от массовой концентрации нитратного азота для каждого из диапазонов измерений рассчитывают методом наименьших квадратов.

4.6.4 При выполнении измерений мерным цилиндром на 100 см³ отбирают отфильтрованную анализируемую воду, помещают ее в сухой стакан вместимостью 150 см³, добавляют 2 см³ раствора хлорида аммония, перемешивают и пропускают через кадмиевый редуктор, добавляя пробу порциями объемом 20-30 см³. Первые 60-65 см³ пробы, прошедшие через редуктор, отбрасывают. Следующую порцию раствора объемом 25 см³ отбирают в мерный цилиндр, помещают ее в сухую коническую колбу на 50 см³, добавляют 1,5 см³ раствора реактива Грисса и тщательно перемешивают. Через 40 мин измеряют оптическую плотность полученных растворов при длине волны 520 нм на фотометрах с непрерывной разверткой спектра или 540 нм на фотометрах, снабженных светофильтрами.

Если измеренное значение оптической плотности пробы превышает такое для последней точки градуировочной зависимости для кюветы с толщиной светопоглощающего слоя 5 см, то проводят измерение оптической плотности в кювете с толщиной светопоглощающего слоя 1 см. Если же полученное значение оптической плотности пробы превышает такое для последней точки градуировочной зависимости для кюветы с толщиной светопоглощающего слоя 1 см, то проводят повторное измерение после разбавления пробы.

4.6.5 Значение оптической плотности A_x , соответствующее концентрации нитратного азота в пробе, вычисляют по формуле:

$$A_x = A - (A_1 - A_2), \quad (5)$$

где A – значение оптической плотности анализируемой пробы воды;

A_1 – значение оптической плотности холостой пробы;

A_2 – значение собственной оптической плотности пробы.

По соответствующей градуировочной зависимости находят массовую концентрацию нитратного азота в анализируемой пробе воды X , мг/дм³.

Если измерение проводилось после разбавления исходной пробы, то концентрацию нитратного азота в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле:

$$X = C \cdot \tau, \quad (6)$$

где C – массовая концентрация нитритного азота, найденная по градуировочной зависимости, мг/дм³;

$\tau = 100/V$, V – аликвота пробы, взятая для выполнения измерений, см³.

4.7 Определение содержания нитритов

4.7.1 Определение массовой концентрации нитритов в водах в диапазоне от 0,01 до 0,250 мг/дм³ в пересчете на азот проводится фотометрическим методом согласно РД 52.24.381-2006 [9]. Метод основан на способности сульфаниловой кислоты давать в присутствии азотистой кислоты диазосоединение, которое, вступая в реакцию азосочетания с 1-нафтиламином, образует интенсивно окрашенный азокраситель. Максимум оптической плотности в спектре наблюдается при 520 нм. Предел обнаружения метода – 0,002 мг/дм³.

4.7.2 При подготовке к анализу готовят следующие реактивы и растворы:

- реактив Грисса готовят в бюксе, растворяя 10 г сухого реактива Грисса в 100 см³ 12 %-го раствора уксусной кислоты. Раствор фильтруют через фильтр «белая лента»;

- 1-нафтиламина и сульфаниловой кислоты готовят, растворяя 0,1 г 1-нафтиламина в нескольких каплях ледяной уксусной кислоты, добавляют 150 см³ 12 %-го раствора уксусной кислоты и перемешивают. Взвешивают 2,0 г сульфаниловой кислоты и растворяют ее в 300 см³ 12 %-го раствора уксусной кислоты;

- раствор реактива Грисса готовят, смешивая равные объемы растворов сульфаниловой кислоты и 1-нафтиламина. Раствор используют в день приготовления;

- 12 %-й раствора уксусной кислоты готовят, приливая к 440 см³ дистиллированной воды 60 см³ ледяной уксусной кислоты, и перемешивают.

Градуировочные растворы готовят из ГСО с концентрацией нитрит-иона 1,00 мг/см³:

- для приготовления градуировочного раствора № 1 отбирают 4,10 см³ ГСО и переносят в мерную колбу вместимостью 50 см³, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают;

- для приготовления градуировочного раствора № 2 отбирают 10,0 см³ градуировочного раствора № 1, переносят в мерную колбу вместимостью 100 см³, доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

При приготовлении образцов для градуировки в мерные колбы вместимостью 100 см³ с помощью градуировочных пипеток вместимостью 1, 2, 5 и 10 см³ приливают 0,4; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4,0; 6,0; 8,0; 10,0 градуировочного раствора № 2. Объемы растворов доводят до меток дистиллированной водой и перемешивают. Массовая концентрация нитритного азота в полученных растворах составит соответственно 0,010; 0,020; 0,040; 0,060; 0,080; 0,100; 0,150; 0,200; 0,250 мг/дм³.

Отбирают дважды по 25 см³ каждого из приготовленных растворов, помещают их в сухие конические колбы вместимостью 50 см³, приливают 1,5 см³ раствора реактива Грисса и тщательно перемешивают. Через 40 мин измеряют оптическую плотность каждого из полученных растворов при длине волны 520 нм на фотометрах с непрерывной разверткой спектра или 540 нм на фотометрах, снабженных светофильтрами.

Образцы с концентрацией нитритного азота 0,010-0,080 мг/дм³ измеряют в кювете с толщиной поглощающего слоя 5 см, а образцы с концентрацией 0,080-0,250 мг/дм³ – в кювете с толщиной поглощающего слоя 1 см относительно дистиллированной воды. Оптическую плотность холостого опыта измеряют в обеих кюветах.

Градуировочные зависимости оптической плотности от массовой концентрации нитритного азота для каждого из диапазонов измерений рассчитывают методом наименьших квадратов.

4.7.3 При выполнении измерений отбирают две аликвоты по 25 см³ профильтрованной анализируемой воды, помещают их в сухие конические колбы на 50 см³, добавляют по 1,5 см³ раствора реактива Грисса и тщательно перемешивают. Через 40 мин измеряют оптическую плотность полученных растворов при длине волны 520 нм на фотометрах с непрерывной разверткой спектра или 540 нм на фотометрах, снабженных светофильтрами.

Если измеренное значение оптической плотности пробы превышает такое для последней точки градуировочной зависимости для кюветы с толщиной светопоглощающего слоя 5 см, то проводят измерение оптической плотности в кювете с толщиной светопоглощающего слоя 1 см. Если

же полученное значение оптической плотности пробы превышает таковое для последней точки градуировочной зависимости для кюветы с толщиной светопоглощающего слоя 1 см, то проводят повторное измерение после разбавления пробы.

4.7.4 Значение оптической плотности A_x , соответствующее концентрации нитритного азота в пробе, вычисляют по формуле:

$$A_x = A - A_1 - A_2, \quad (7)$$

где A – значение оптической плотности анализируемой пробы воды;

A_1 – значение собственной оптической плотности пробы, к которой добавлен только раствор сульфаниловой кислоты;

A_2 – среднее значение оптической плотности холостой пробы.

По соответствующей градуировочной зависимости находят массовую концентрацию нитритного азота (X , мг/дм³) в анализируемой пробе воды.

Если измерение проводилось после разбавления исходной пробы, то концентрацию нитритного азота в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле:

$$X = C \cdot \eta, \quad (8)$$

где C – массовая концентрация нитритного азота, найденная по градуировочной зависимости, мг/дм³;

η – степень разбавления исходной пробы воды.

4.8 Определение содержания фосфатов

4.8.1 Определение массовой концентрации фосфатов в водах в диапазоне от 0,01 до 0,20 мг/дм³ проводится фотометрическим методом согласно РД 52.24.382-2006 [10]. Метод основан на взаимодействии ортофосфатов с молибдатом аммония в кислой среде с образованием молибдофосфорной гетерополикислоты, которая затем восстанавливается аскорбиновой кислотой в присутствии антимоилтартрата калия до интенсивно окрашенной молибденовой сини. Максимум оптической плотности наблюдается при 882 нм. Для определения полифосфатов их предварительно переводят в ортофосфаты кипячением с серной кислотой. Предел обнаружения нитритов по данному методу – 0,002 мг/дм³.

4.8.2 При подготовке к анализу готовят следующие растворы и реактивы:

- раствор серной кислоты 34 % по объему готовят осторожно при непрерывном перемешивании, приливая 170 см^3 концентрированной серной кислоты к 370 см^3 дистиллированной воды. После охлаждения раствор переносят в толстостенную склянку;

- раствор серной кислоты $2,5 \text{ моль/дм}^3$ готовят, приливая 70 см^3 серной кислоты 440 см^3 дистиллированной воды;

- раствор молибдата аммония готовят, растворяя 20 г молибдата аммония 500 см^3 теплой дистиллированной воды;

- раствор аскорбиновой кислоты готовят, растворяя 1,76 г аскорбиновой кислоты в 100 см^3 дистиллированной воды;

- раствор антимоилтартрата калия готовят, растворяя 0,274 г антимоилтартрата калия в 100 см^3 дистиллированной воды;

- смешанный реактив готовят, смешивая 125 см^3 раствора серной кислоты $2,5 \text{ моль/дм}^3$, с $37,5 \text{ см}^3$ раствора молибдата аммония, добавляя 75 см^3 раствора аскорбиновой кислоты и затем приливая $12,5 \text{ см}^3$ раствора антимоилтартрата калия. Смесь тщательно перемешивают.

Градуировочные растворы готовят из ГСО с концентрацией ортофосфатов $0,500 \text{ мг/см}^3$:

- для приготовления градуировочного раствора № 1 отбирают $4,90 \text{ см}^3$ ГСО и переносят в мерную колбу вместимостью 100 см^3 . Доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают;

- для приготовления градуировочного раствора № 2 отбирают $25,0 \text{ см}^3$ градуировочного раствора № 1, переносят в мерную колбу вместимостью 200 см^3 , доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

4.8.3 При приготовлении образцов для градуировки в мерные колбы вместимостью 50 см^3 с помощью градуировочных пипеток вместимостью 1, 5 и 10 см^3 приливают 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 6,0; 8,0; $10,0 \text{ см}^3$ градуировочного раствора № 2. Объемы растворов доводят до меток дистиллированной водой и перемешивают. Массовая концентрация фосфора в полученных растворах составит соответственно 0,010; 0,020; 0,040; 0,060; 0,080; 0,120; 0,160; $0,200 \text{ мг/дм}^3$.

Градуировочную зависимость оптической плотности от массовой концентрации фосфора фосфатов рассчитывают методом наименьших квадратов.

4.8.4 При выполнении измерений для определения растворенного фосфора минерального в термостойкую коническую или плоскодонную колбу вместимостью 250 см³ отбирают 100 см³ отфильтрованной анализируемой воды, содержащей не более 0,02 мг фосфора (или меньший объем, доведенный до 100 см³ дистиллированной водой), прибавляют 2 см³ 34 %-го раствора серной кислоты. Колбу накрывают часовым стеклом и кипятят пробу 30 мин. После охлаждения в пробу добавляют 1-2 капли раствора фенолфталеина и нейтрализуют 10 %-ным раствором гидроксида натрия до появления бледно-розовой окраски индикатора. Переносят в мерную колбу на 100 см³, при необходимости доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают. Если в пробе появился осадок, ее фильтруют через фильтр «белая лента», предварительно промытый дистиллированной водой. Первую порцию фильтрата отбрасывают, из остальной отбирают 50 см³ пробы в коническую колбу на 100 см³. Добавляют 10 см³ смешанного реактива и тщательно перемешивают. Через 10 мин измеряют оптическую плотность раствора при длине волны 882 нм на фотометрах с непрерывной разверткой спектра или 670-750 нм на фотометрах, снабженных светофильтрами, в кювете с толщиной слоя 5 см относительно дистиллированной воды.

Одновременно выполняют два параллельных измерения оптической плотности холостых проб (дистиллированной воды).

Если оптическая плотность пробы выше таковой для последней точки градуировочной зависимости, повторяют измерение, предварительно разбавив исходную пробу дистиллированной водой.

4.8.5 Значение оптической плотности A_x , соответствующее концентрации фосфора фосфатов в пробе вычисляют по формуле:

$$A_x = A - A_1 - A_2, \quad (9)$$

где A – значение оптической плотности анализируемой пробы воды, в которую добавлен смешанный реактив;

A_1 – значение собственной оптической плотности пробы;

A_2 – среднее арифметическое значение оптической плотности двух холостых проб.

По соответствующей градуировочной зависимости находят массовую концентрацию фосфора (X , мг/дм³) в анализируемой пробе воды.

Массовую концентрацию фосфатов в пересчете на фосфор ($X_{\text{оф}}$, мг/дм³) находят по формуле:

$$X_{оф} = X \cdot 50/V, \quad (10)$$

где X – массовая концентрация фосфора, найденная по градуировочной зависимости, мг/дм³;

V – объем аликвоты исходной пробы воды, отобранный для выполнения измерений, см³.

4.9 Определение содержания хлоридов

4.9.1 Определение содержания хлоридов в диапазоне от 10 до 250 мг/дм³ проводится аргентометрическим методом согласно РД 52.24.407-2006 [11]. Метод определения массовой концентрации хлоридов основан на образовании осадка хлорида серебра при титровании анализируемой пробы нитратом серебра в присутствии индикатора хромата калия. Нормы погрешности составляют от 15 до 20 % в зависимости от диапазона измерений.

4.9.2 При подготовке к анализу готовят следующие растворы:

- раствор нитрата серебра 0,02 моль/дм³ эквивалента готовят, растворяя 3,4 г AgNO₃ в мерной колбе на 1 л дистиллированной водой;

- 10 %-й раствор хромата калия готовят, растворяя 50 г K₂CrO₄ в 450 мл дистиллированной воды.

4.9.3 При выполнении измерений в коническую колбу вместимостью 250 мл помещают пробу воды объемом 100 мл с рН 7-10. Добавляют 1 мл раствора хромата калия и при непрерывном перемешивании титруют из бюретки рабочим раствором нитрата серебра. Вначале появляется белый осадок AgCl, а окраска пробы будет изменяться от желтого цвета до бурого.

4.9.4 Массовую концентрацию хлоридов находят по формуле:

$$X = 35,45 \cdot (V - V_{хол}) \cdot C_{Ag} \cdot 1000/V_1, \quad (11)$$

где X – массовая концентрация хлоридов в воде, мг/дм³;

V – объем раствора нитрата серебра, израсходованного на титрование пробы, см³;

$V_{хол}$ – объем раствора нитрата серебра, израсходованного на титрование холостой пробы, см³;

C_{Ag} – концентрация раствора нитрата серебра, моль/дм³ эквивалента;

V_1 – объем пробы воды, взятой для определения, см³;

34,45 – молярная масса эквивалента Cl, г/моль.

4.10 Определение содержания сульфатов

4.10.1 Определение массовой концентрации сульфатов гравиметрическим методом проводится в диапазоне от 50 до 500 мг/дм³ согласно РД 52.24.483-2005 [12]. Метод основан на измерении массы осадка сульфата бария, образующегося при взаимодействии сульфат-ионов с хлоридом бария. Нормы погрешности составляют от 15 до 25 % в зависимости от диапазона измерений.

4.10.2 При подготовке к анализу готовят 10 %-й раствор хлорида бария, растворяя 12 г хлорида бария в 90 мл дистиллированной воды, и раствор соляной кислоты 1:1, смешивая 50 мл концентрированной соляной кислоты с 50 мл дистиллированной воды.

4.10.3 При выполнении измерений отбирают пробу воды от 50-250 мл (в зависимости от предполагаемого содержания сульфатов) в стакан объемом 500 мл. Добавляют 1-2 капли метилоранжа и по каплям раствор соляной кислоты до появления розовой окраски. Затем приливают 10 мл хлористого бария и кипятят 2 часа, закрыв часовым стеклом, и оставляют при комнатной температуре до следующего дня. Осадок сульфата бария 2-3 раза промывают горячей дистиллированной водой и переносят на фильтр. Перенесенный осадок промывают от 10-15 раз подкисленной дистиллированной водой. Фильтр с осадком переносят в заранее взвешенный тигель, помещают в муфельную печь и прокаливают при 800 °С до постоянного веса (приблизительно 2 часа).

4.10.4 Массовую концентрацию сульфатов в анализируемой пробе находят по формуле:

$$X = \left[0,03 \cdot (m_1 - m_2) \cdot 0,4115 \cdot 1000 / V \right] \cdot 4, \quad (12)$$

где X – массовая концентрация сульфатов в анализируемой пробе, мг/л;

m_1 – масса тигля с осадком, мг;

m_2 – масса тигля, мг;

0,4115 – фактор пересчета;

V – объем аликвоты пробы воды;

коэффициенты 4 и 1,03 – поправки, учитывающие потери сульфатов в процессе анализа, мл.

4.11 Определение содержания кальция

4.11.1 Определение содержания кальция в диапазоне от 1,0 до 100,0 мг/дм³ проводится титриметрическим методом с трилоном Б по РД 52.24.403-2007 [13]. Метод основан на способности ионов кальция образовывать с трилоном Б малодиссоциированное, устойчивое в щелочной среде, соединение. Нормы погрешности метода составляют от 5 до 10 % в зависимости от диапазона измерений.

4.11.2 При подготовке к анализу готовят раствор трилона Б (0,02 моль/л), растворяя 3,72 г трилона Б в 1 л дистиллированной воды, и 8 %-й раствор гидроксида натрия, растворяя 40 г гидроксида натрия в 460 мл дистиллированной воды.

4.11.3 При выполнении измерений в коническую колбу вместимостью 250 мл отмеряют пипеткой 10 мл анализируемой пробы, добавляют 2 мл 8 %-го раствора гидроксида натрия и индикатор мурексид, титруют раствором трилона Б до перехода окраски из розовой в красно-фиолетовую.

4.11.4 Массовую (X , мг/л), и молярную (X_M , ммоль/л КВЭ), концентрацию кальция в анализируемой пробе воды находят по формулам:

$$X = 20,04 \cdot C_{тр} V_{тр} 100/V_u \text{ или } X X_M = C_{тр} \cdot V_{тт} \cdot 100/V, \quad (13)$$

где 20,04 – масса моля КВЭ кальция ($1/2 \text{ Ca}^{2+}$), г/моль;

$C_{тр}$ – молярная концентрация трилона Б, моль/л КВЭ;

$V_{тр}$ – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование пробы, мл;

V – объем пробы воды, взятый для титрования, мл.

4.11.5 Расход реактивов при выполнении анализа следующий: трилон Б – 3,72 г, гидроксид натрия – 40 г.

4.12 Определение жесткости воды

4.12.1 Определение жесткости воды осуществляют титриметрическим методом по РД 52-24.395-2007 [14]. Метод основан на способности ионов кальция и магния в среде аммонийно-аммиачного буферного раствора (рН 9-10) образовывать с трилоном Б малодиссоциированные комплексные соединения. Предел обнаружения жесткости 0,04 ммоль/дм³.

При подготовке к анализу готовят раствор трилона Б (0,02 моль/дм³), растворяя 3,72 г трилона Б в 1 л дистиллированной воды, и аммонийно-

аммиачный буферный раствор, растворяя в мерной колбе вместимостью 500 мл 7 г хлорида аммония и 75 мл концентрированного раствора аммиака. Объем раствора доводят до метки дистиллированной водой.

4.12.2 При выполнении измерений в коническую колбу вместимостью 250 мл отмеряют пипеткой 10 мл анализируемой пробы, добавляют 5 мл буферного раствора и индикатор эриохром черный Т, титруют раствором трилона Б до перехода окраски из вишнево-красной в голубую.

4.12.3 Жесткость воды находят по формуле:

$$X = C_{тр} \cdot V_{тр} \cdot 1000/V, \quad (14)$$

где $C_{тр}$ – концентрация трилона Б, моль/л КВЭ;

$V_{тр}$ – объем раствора трилона Б, пошедшего на титрование пробы, мл;

V – объем пробы воды, взятый для титрования, мл.

4.13 Определение содержания натрия и калия

4.13.1 Определение массовой концентрации натрия и калия проводят пламенно-фотометрическим методом согласно РД 52.24.391-2008 [15]. Метод основан на способности атомов определяемого элемента возбуждаться в пламени и при переходе в нормальное состояние излучать свет определенных длин волн. В общем излучении пробы выделяют характеристическую для каждого металла спектральную линию (длина волны равна 589 нм для натрия и 766,5 нм для калия). Ее интенсивность пропорциональна содержанию определяемого металла, она регистрируется как аналитический сигнал. Предел обнаружения для натрия и калия равны соответственно 0,5 и 0,3 мг/дм³.

4.13.2 При подготовке к анализу готовят фоновый раствор помещая 6,5 мл азотной кислоты в мерную колбу объемом 1 л и доводят его до метки дистиллированной водой. Если необходимо разбавление, пробу разбавляют тем раствором, который будут использовать в качестве фона.

Атомно-абсорбционный спектрофотометр (для выполнения измерений по эмиссионному методу с выключенным источником излучения) готовят к работе в соответствии с руководством по эксплуатации.

4.13.3 При выполнении измерений в две мерные колбы вместимостью 25 мл вносят по 2,5 мл фонового раствора, доводят объемы растворов в колбах до метки водой анализируемых проб и распыляют их в пламени горелки фотометра.

4.13.4 Массовую концентрацию натрия (калия) X , мг/л, в анализируемой пробе воды рассчитывают по формуле:

$$X = 1,11 \cdot Cr, \quad (15)$$

где Cr – массовая концентрация натрия (калия), найденная по градуировочной зависимости, мг/л;

1,11 – коэффициент, учитывающий разбавление пробы.

Общее содержание натрия и калия можно найти расчетным методом по руководящему документу РД 52.24.514-2002.

4.14 Определение содержания железа, меди и цинка

4.14.1 Определение массовой концентрации железа, меди и цинка осуществляется методом атомно-абсорбционной спектроскопии по ПНДФ 14.1:2:4.139-98 [16]. Метод основан на измерении резонансного поглощения света свободными атомами определяемого металла при прохождении света через атомный пар исследуемого образца, образующийся в пламени. Нормы погрешности метода составляют от 15 до 37 % в зависимости от диапазона измеряемых значений.

4.14.2 При подготовке к анализу в соответствии с инструкцией по эксплуатации содержание железа определяют при длине волны, равной 248,3 нм, ширина щели – 0,1 мм, ток ЛПК – 18-24 мА, цинка – при 213,9 нм, ширина щели – 0,5 мм, ток ЛПК – 6-8 мА, меди – при 324,8 нм, ширина щели – 0,25-0,5 мм, ток ЛПК – 7 мА.

4.14.3 При определении растворенных металлов пробу воды сразу после отбора фильтруют через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Фильтрат подкисляют концентрированной азотной кислотой до $pH \leq 2$.

4.14.4 При выполнении измерений подготовленную пробу воды распыляют в пламени горелки, регистрируют абсорбцию металла при заданных условиях для каждого из металлов не менее трех раз. Полученные значения усредняют и по среднему значению рассчитывают содержание металла в пробе.

4.14.5 Содержание металла в пробе рассчитывают по формуле:

$$X = A \cdot V1/V, \quad (16)$$

где A – содержание металла в анализируемой пробе воды, найденное по градуировочному графику, мг/л;

V_1 – объем пробы после разбавления (концентрирования), мл;

V – объем пробы анализируемой воды, мл.

5 Методы измерения расхода и объема воды

5.1 Измерение расхода и объема воды на створах наблюдений как в открытых, так и в закрытых водотоках осуществляется с применением методов, отличающихся друг от друга техническими реализациями. Для утверждения типа средств измерений, используемых для технической реализации методов измерений расхода и объема воды, должны проводиться обязательные испытания. Измерения расхода и объема воды подразделяются на прямые и косвенные [17].

5.2 Прямые измерения с использованием объемных и массовых методов применяют, как правило, для получения высокоточных данных при контрольном замере расхода воды, метрологических испытаниях и градуировке средств измерений, при небольших расходах воды.

5.3 Косвенные измерения расходов и объемов воды в открытых водотоках (коллектора, дрены и каналы) в зависимости от стационарного оборудования осуществляются с использованием [17]:

- закрепленных гидропостов в естественных устойчивых или искусственных необлицованных руслах и облицованных участках русел;
- гидрометрических сооружений и устройств, включающих водосливы, пороги, гидрометрические лотки и специальные гидрометрические устройства (приставки, насадки);
- градуированных гидротехнических сооружений.

5.4 На закрепленных гидропостах в устойчивых необлицованных или облицованных участках русел косвенные измерения осуществляют следующими методами:

- скорость – площадь;
- уклон – площадь;
- смещения.

5.5 При использовании гидрометрических сооружений и устройств применяют метод:

- уровень (напор) – расход;
- перепад уровней (разность напоров) – расход;
- скорость – расход.

5.6 При использовании градуированных гидротехнических сооружений применяют методы:

- уровни (напоры) – открытие регулирующего устройства – расход;
- перепады уровней (разность напоров) – значение открытия регулирующего устройства – расход.

5.7 Косвенные измерения расходов и объемов воды в закрытых коллекторах (дренах) осуществляют с применением методики выполнения измерений расхода сточной жидкости в безнапорных трубопроводах, основанной на зависимости расхода воды от уровня заполнения трубопровода или измерительного потока [7].

5.8 Рассмотренные методы учета воды на гидромелиоративных системах могут применяться одновременно, и выбор их зависит от целей учета воды, вида замера, величины учитываемых расходов, размера русла водотока, гидравлических условий, требуемой точности и оперативности учета.

6 Наблюдения за уровнем воды в водотоках

6.1 Конструкции наблюдательных створов и их оборудование должны обеспечивать оперативное определение гидравлических (уровень воды, скорость и расход водотока, объем стока) и гидрохимических (минерализация, химический состав, взвешенные вещества, водородный показатель и т. д.) показателей коллекторно-дренажных и сбросных вод [18].

6.2 Для наблюдения за уровнем воды в водотоках применяют различные устройства для измерения уровня воды, которые по конструкции подразделяются на следующие типы: речные, свайные, речно-свайные, передаточные, автоматические дистанционные. Выбор типа устройства определяется величиной годовой амплитуды колебания уровней воды, особенностями строения берега водотока и требованиями к точности результатов наблюдений.

6.3 Речные устройства для измерения уровня воды применимы при достаточно крутых берегах водотока с небольшими (до 2-4 м) годовыми амплитудами колебания уровня. На облицованных водотоках кроме вертикальных реек применяют и наклонные.

6.4 Свайные устройства для измерения уровня воды представлены стандартными металлическими винтовыми сваями (ПН-20). При отсутствии стандартных свай их изготавливают из дерева прочных пород (дуб, сосна, лиственница).

6.5 Передаточные устройства могут быть мостовые, тросовые (канатные), с непрерывной регистрацией уровня воды при помощи различных самописцев уровня.

6.6 Автоматические дистанционные уровнемеры обеспечивают автоматическое измерение уровня воды и передачу данных по радио.

6.7 При больших скоростях течения водотоков рейки устанавливаются в береговых ковшах, представленных неглубоким колодцем, соединенным с руслом открытой канавой.

6.8 На водотоках с облицованным руслом и отвесными берегами применяют наклонные и цепные рейки. Наклонные рейки прикрепляют к откосу и размечают с учетом их наклона к горизонту, принимая сантиметровые деления равными $\frac{1}{\sin \alpha}$, где α – угол между горизонтальной линией

и направлением рейки, а $\sin \alpha = \frac{h_p}{L_p}$, где h_p – высота расположения верхней части рейки; L_p – длина рейки.

6.9 Точность измерения уровня воды зависит от технических характеристик приборов и находится в пределах от 0,1 до 6,0 см:

- крючковая рейка позволяет измерять высоту уровня воды с точностью до $\pm 0,1$ см при амплитуде колебаний уровня до 1,0-1,5 см;

- рейка переносная с успокоителем ГР-23 обеспечивает точность отчета до $\pm 0,5$ см;

- рейки переносные (металлическая ГР-104, деревянная) при цене деления 1 см дают точность измерения $\pm 0,5$ см;

- постовые рейки металлические, эмалированные, чугунные в зависимости от цены деления шкалы позволяют измерять уровень воды с точностью от 0,5 до 1,0 см;

- рейка максимальная ГР-45 рассчитана на амплитуду колебания уровня 1,5 м и обеспечивает точность измерения ± 1 см;

- наклонные рейки обеспечивают точность отсчета ± 1 см;

- уровенный пост передаточного типа с тросовым устройством позволяет отсчитывать уровень воды с точностью от 2 до 3 см, а при применении электроконтакта точность повышается до 1 см.

6.10 При учете стока коллекторно-дренажных и сбросных вод на гидромелиоративных системах точность измерения уровня воды в водотоках должна составлять 1 см.

7 Измерение расхода и объема воды на закрепленных створах в естественных устойчивых и искусственных необлицованных руслах и облицованных участках русел

7.1 Метод измерений

7.1.1 Основные положения и порядок выполнения измерения расхода воды методом «скорость-площадь» на водотоках с фиксированным руслом производится в соответствии с требованиями МИ 1759-87 и МВИ 05-90 [19, 20].

7.1.2 Сущность метода измерений «скорость-площадь» заключается в определении расхода воды путем суммирования элементарных расходов, вычисляемых как произведения площадей отсеков между вертикалями, на которые разбивается сечение русла водотока в створе наблюдений, на величины средних скоростей потока в пределах измеряемого отсека:

$$Q = \sum_1^n q_x = \sum_1^n F_x \cdot v_x \quad (17)$$

7.1.3 Для определения расхода по формуле (1) необходимо измерение следующих параметров:

- продольные составляющие скоростей воды в нескольких точках на каждой вертикали;
- параметры сечения водотока или сооружения (ширина по верху, заложение откосов, расстояние между соседними вертикалями);
- глубины воды на вертикалях;
- уровни воды в водотоке относительно условной отметки дна или топографического репера.

7.1.4 Точечное измерение расхода воды может производиться двумя способами: детальным и основным.

7.1.5 При детальном способе измерения (градуировка и поверка средств измерений) замер скорости потока следует производить не менее, чем в пяти точках на каждой вертикали. Основной способ (оперативные контрольные измерения) предусматривает измерение скорости потока в двух точках.

7.1.6 При градуировке и поверке средств измерений применение метода «скорость-площадь» ограничивается следующими условиями [20]:

- расход воды от 0,2 до 500 м³/с;

- скорость потока от 0,2 до 3,5 м³/с;
- глубина потока от 0,2 до 6,0 м;
- режим потока – равномерный, без подпоров (каждому значению измеряемого расхода соответствует определенное значение уровня воды);
- отклонение направлений отдельных струй водного потока относительно оси канала не должно превышать 15°.

7.2 Требования к участку створа наблюдений

7.2.1 Участком створа наблюдений следует считать часть водотока, примыкающую к створу на удалении, равном двум-трем ширинам русла сверху и снизу по течению.

7.2.2 Участок должен быть прямолинейным с постоянной формой поперечного сечения (прямоугольное, трапецеидальное или параболическое), постоянным уклоном дна и допустимым отклонением от средних геометрических размеров (ширина, строительная высота русла, величина заложения откоса) не более ± 2,0 %.

7.2.3 При скорости потока менее 2,0 м/с допустимая длина участка, на котором должны быть выдержаны допустимые условия, в зависимости от ширины водотока по верху (В) должны быть не менее указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимая длина прямолинейного участка водотока

Максимальный расход воды в водотоке, м ³ /с	от 0,2 до 5,0	от 5,0 до 10,0	от 10,0 до 25,0	от 25,0 до 100,0	свыше 100,0
Минимальная допустимая длина прямолинейного участка	от 6В до 8В	от 4В до 6В	от 3В до 5В	от 2В до 3В	не менее 1,5В

7.2.4 При скорости потока более 2,0 м/с длина участка водотока должна быть увеличена в 1,5 раза по сравнению с данными таблицы 1.

7.2.5 Створ наблюдений должен быть закреплен на местности гидрометрическим мостиком или створными знаками.

7.2.6 В створе наблюдений устанавливается репер, закрепляющий постоянное начало для отсчета расстояний от урезом берегов, промежуточных и скоростных вертикалей.

7.2.7 Систематическое зарастание и заиление русла водотока на участке створа наблюдений не должно быть более 2 % от нормальной глубины потока.

7.2.8 Участок должен быть доступен для проведения измерений, подъезда автотранспорта для перевозки обслуживающего персонала и оборудования.

7.2.9 На временных створах, предназначенных для периодической градуировки средств измерений, размещение успокоительных устройств не обязательно и допускается контроль поднятия уровня воды проводить с помощью гидрометрических реек и геодезического оборудования.

7.2.10 На участке расположения стационарных средств измерений должны быть установлены топографические реперы.

7.3 Требования к средствам измерений

7.3.1 Средства измерений должны иметь паспорта, инструкции по эксплуатации, свидетельства о поверках или метрологической аттестации и внесены в государственный реестр средств измерений.

7.3.2 Для проведения геодезических измерений следует применять нивелиры I-III классов по ГОСТ 10528 и рейки нивелирные длиной от 1,0 до 4,0 м.

7.3.3 При измерении линейных параметров применяют рулетки металлические класса точности 1, 2 или 3 длиной от 1,0 до 50,0 м по ГОСТ 7502-80. Для разбивки измерительных створов используют любые типы теодолитов по ГОСТ 10529-96 в комплекте с вешками или уровнемерными рейками.

7.3.4 Установку и фиксацию измерителей скорости в потоке выполняют при помощи различного оборудования в зависимости от глубины потока:

- при глубине водотока менее 1,0 м – переносные уровнемерные рейки типа ГР-104 по ТУ 25-11-1481-79;
- при глубине водотока до 4,0 м – штанги гидрометрические сборные типа ГР-56 диаметром 0,028 и длиной секции до 1,5 м;
- при глубине водотока свыше 4,0 м – дистанционные гидрометрические установки типа ГР-64 (ГР-64 М) или ГР-70.

7.3.5 При измерении уровня воды допускается применять любые типы водомеров, обеспечивающие погрешность измерений уровня не более $\pm 1,0$ %.

7.4 Подготовка и проведение измерений

7.4.1 Подготовительный период включает следующие операции:

- организационные мероприятия;
- работы по подготовке промерных и скоростных вертикалей.

7.4.2 Организационные мероприятия должны предусматривать:

- согласование с заинтересованными организациями сроков и продолжительности работ, в том числе по градуировке и поверке средств измерений;

- обеспечение исполнителей работ средствами измерений, оборудованием, транспортом и нормативной документацией.

7.4.3 Работы по подготовке промерных и скоростных вертикалей включают координирование вертикалей на створе наблюдений и установление точности координирования промерных вертикалей.

7.4.4 Основной комплекс работ по подготовке измерительного участка (разбивка скоростных вертикалей, измерение параметров сечения русла и привязка характерных отметок сечения створа наблюдений к отметкам топографического репера) следует проводить при отсутствии воды в водотоке.

7.4.5 Разбивка измерительного створа перпендикулярно к оси водотока производится с помощью теодолита с вешками. Определение форм и размеров сечения водотока производится с помощью нивелира и реек.

7.4.6 В руслах трапецеидального сечения с заложением откосов водотока более 1:1 и строительной глубиной более 1,5 м скоростные вертикали следует разбивать не только по дну, но и на откосах водотока.

7.4.7 Положение скоростных вертикалей должно оставаться постоянным и фиксироваться следующим образом:

- в створах, оборудованных гидрометрическими мостиками железного или подвесного типа, разметкой на мостике или на его несущих конструкциях;

- в створах, оборудованных установками типа ГР-64, ГР-70 и т. п., – по показаниям счетчика длины вытравленного троса.

7.4.8 Измерение линейных размеров, включая длину створа по дну, расстояния между вертикалями и проекциями откосов водотока на горизонтальную плоскость, следует производить не менее двух раз с помощью металлической рулетки, с погрешностью не более 0,5 % от номинальных величин. Данные измерений фиксируются в техническом паспорте средств

измерений вместе со схемой поперечного разреза водотока и схемой разбивки вертикалей.

7.4.9 При непрерывной работе водотока в течении года разбивку вертикалей, определение формы и размеров его сечения необходимо производить при минимальных уровнях воды. Разбивку вертикалей при глубине потока до 4,0 м, следует производить штангой, при большей глубине – с помощью каната с закрепленным на нем грузом типа ПИ-I М.

7.4.10 Допустимое отклонение промерной вертикали от створа ΔX_h составляет:

- при $2C_h^2 > \delta_D^2$:

$$\Delta X_D = \xi \cdot \ln \frac{2C_h^2}{2C_h^2 - \delta_D^2}; \quad (18)$$

- при $2C_h^2 \leq \delta_D^2$:

$$\Delta X_D = h, \quad (19)$$

где δ_D – допустимая относительная погрешность определения глубины, равная 5 %;

ξ_k – радиус корреляции глубин потока в продольном направлении, м;

C_h – коэффициент вариации глубин вдоль потока;

h – глубина на вертикали, м.

7.5 Измерение расхода воды в водотоке

7.5.1 Измерение расхода воды включает операции измерения уровня воды для вычисления площади живого сечения потока и измерения средней скорости течения в водотоке.

7.5.2 Замер уровня воды на створе наблюдений должен производиться при каждом измерении расхода воды. Уровень воды необходимо измерять до и после промеров глубин, а также перед началом и по окончании измерения скоростей течения.

7.5.3 Для измерительного створа с фиксированными откосами и дном, на котором геодезической съемкой закреплены отметки дна на каждой вертикали, глубины потока определяются по формуле:

$$h_n = \nabla_0 + H_0 - \nabla_n. \quad (20)$$

Для расчета по формуле (20) следует использовать данные из журнала исполнительной нивелировки створа наблюдений.

7.5.4 При отсутствии данных геодезической съемки на каждой вертикали следует производить промеры глубин потока штангой (при глубинах потока от 1,0 м до 4,0 м), а при глубинах более 4,0 м – с помощью лота (троса с грузом).

7.5.6 При амплитуде колебаний поверхности воды более 0,05 м среднее значение глубины определяется по результатам пяти измерений минимального и максимального значений уровня воды.

7.5.7 Допустимая относительная погрешность измерений уровня воды не должна превышать в диапазоне (0,25-1,00 h) следующих значений:

- $\pm 1,0 \%$ – по уровнемеру в успокоительном устройстве;
- $\pm 2,0 \%$ – по каждой вертикали и при фиксированном русле водотока и амплитуде колебаний уровня воды до 0,05 м.

7.5.8 Измерение скоростей течения проводится на скоростных вертикалях гидрометрическими вертушками.

7.5.9 Количество точек измерений и их относительное заглубление под поверхность воды назначается в зависимости от способа измерения расхода воды, способа крепления гидрометрической вертушки в потоке, состояния русла.

7.5.10 При основном способе измерения расхода воды число скоростных вертикалей в створе наблюдений зависит от ширины водотока (В) и составляет:

- 5 при $3 \text{ м} \leq B < 10 \text{ м}$;
- 3 при $1 \text{ м} \leq B < 3 \text{ м}$;
- 1 при $B < 1 \text{ м}$.

7.5.11 Количество точек измерений и их расположение на скоростной вертикали зависит от глубины потока (h) и составляет:

- 1 при $h < 0,5 \text{ м}$ на расстоянии от дна 0,4 h.
- 2 при $h > 0,5 \text{ м}$ на расстоянии от дна 0,2 h и 0,8 h.

7.5.12 Если амплитуда изменений уровня воды в водотоке не превышает 0,05 м, допускается отсчет измерений на вертикали производить от поверхности воды.

7.5.13 После установки первичного преобразователя вертушки в заданной точке и выдержке его в потоке не менее 10 с синхронно с появлением звукового или светового сигнала включается секундомер и фиксируется количество сигналов за один прием, продолжительность которого должна составлять не менее 25 с. Данные измерений записываются в блан-

ке (приложение А). Не выключая секундомер, фиксируется продолжительность последующих приемов при том же количестве сигналов, что и в первом приеме. Количество приемов назначается четным. Общая продолжительности выдержки первичного преобразователя вертушки в точке должна быть 2, 4, 6, 10 мин. В качестве действительного значения скорости потока принимаются величин, соответствующая периоду 20-25 мин.

7.5.14 Синхронно с появлением последнего сигнала секундомер выключается и в бланке (приложение А) записывается общая продолжительность выдержки первичного преобразователя вертушки между первым и последним сигналами с точностью до 0,2 с и общее количество оборотов вертушки.

7.5.15 При использовании вертушки ГР-99 фиксируется только общая продолжительность выдержки первичного преобразователя вертушки в заданной точке и общее количество оборотов вертушки за этот период, а регистрация промежуточных данных за каждый прием не ведется.

7.5.16 При использовании других видов измерителей скорости технология измерений должна соответствовать паспортным инструкциям.

7.5.17 При измерении скорости потока допускается одновременное использование на вертикали двух и более приборов.

7.5.18 Детальный способ измерения расхода воды применяют при градуировке и поверке средств измерений.

7.5.19 При детальном способе измерения расхода воды количество точек измерений в зависимости от глубина потока (h) составляет:

- 1 при $h < 0,30$ м на расстоянии от дна 0,40 h;
- 2 при $0,30 \text{ м} < h < 0,50$ м на расстояниях от дна 0,20 h и 0,80 h;
- 3 при $0,50 \text{ м} < h < 0,80$ м на расстояниях от дна 0,2 h; 0,40 h; 0,80 h;
- 5 при $h > 0,80$ м на расстояниях от дна 0,10 h; 0,20 h; 0,40 h; 0,80 h;

и у поверхности воды.

7.5.20 Градуировка средств измерений должна производиться специалистами эксплуатационных организаций, прошедшими специальную подготовку по утвержденной программе.

7.5.21 Средняя скорость на вертикали определяется по формулам:

- при установке вертушки в одной точке:

$$V_c = V_{0,4}; \quad (21)$$

- при установке вертушки в двух точках:

$$V_n = 0,5(V_{0,2} + V_{0,8}); \quad (22)$$

- при устройстве вертушки в трех точках:

$$V_n = 0,33(V_{0,2} + V_{0,4} + V_{0,8}); \quad (23)$$

- при установке вертушки в пяти точках:

$$V_n = 0,083V_{дно} + 0,173V_{0,2} + 0,347(V_{0,4} + V_{0,8}) + 0,05V_{нов}. \quad (24)$$

7.5.22 Площади отсеков между вертикалями определяются по формулам:

- для прибрежных отсеков на водотоках с откосами:

$$f' = 0,5e_0 \cdot h_1 \text{ или } f'' = 0,5e_n \cdot h_n; \quad (25)$$

- для остальных отсеков, в том числе на водотоках с вертикальными стенками:

$$f_n = 0,5(h_{n-1} + h_n)e_{n-1}. \quad (26)$$

7.5.23 По результатам измерения параметров сечения водотока, глубины и скорости водотока вычисляют расход воды в водотоке:

$$Q = K \cdot V_i \cdot f_0 + 0,5(V_1 + V_2)f_1 + \dots + 0,5(V_{n-1} + V_n)f_n + K \cdot V_n \cdot f_0, \quad (27)$$

где K – коэффициент скорости для прибрежных отсеков:

$K = 0,90$ – для гладких бетонных облицовок со средней высотой неровностей менее 0,01 м;

$K = 0,85$ – для неровной облицовки из монолитного бетона и железобетонных плит, со средней высотой неровностей от 0,01 до 0,03 м;

$K = 0,80$ – для облицовки из неотесанного камня, булыжников и для необлицованных каналов со средней высотой неровностей от 0,03 до 0,05 м;

$K = 0,70$ – для водотоков с пологими берегами, имеющими заложение откосов от 1:2,5 до 1:5, без облицовки.

Схемы вычисления расходов воды по результатам измерения и значения символов, входящих в формулы (21-27) приведены в приложении Б.

8 Измерение расхода и объема воды при помощи гидрометрических сооружений и устройств

8.1 Расход жидкости, измеряемой в открытых водотоках, при помощи стандартных водосливов и лотков определяется в соответствии с МИ 2406-97 [21].

8.2 Методика выполнения измерений обеспечивает выполнение измерений расхода в режиме свободного незатопленного истечения жидкости с относительной погрешностью, не превышающей $\pm 5\%$ от верхнего предела измерений.

8.3 Условные обозначения величин, включенных в методику, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Условные обозначения основных величин

Величина	Условное обозначение	Единица величины
1	2	3
Объемный расход (общее обозначение)	Q	$\text{м}^3/\text{с}$ ($\text{м}^3/\text{ч}$)
Наибольший измеряемый расход	Q_{\max}	То же
Наименьший измеряемый расход	Q_{\min}	"-
Средний измеряемый расход	$Q_{\text{ср}}$	"-
Верхний предел измерений расходомера	$Q_{\text{п}}$	"-
Напор жидкости над порогом водослива или дном лотка	h	м
Наибольший напор (соответствующий Q_{\max})	h_{\max}	То же
Напор, соответствующий $Q_{\text{ср}}$	$h_{\text{ср}}$	"-
Верхний предел измерений уровнемера	$h_{\text{п}}$	"-
Перепад уровня в бьефах водослива или лотка	Δh	"-
Наибольший перепад уровня в бьефах водослива или лотка	Δh_{\max}	"-
Допустимое превышение отметок стенки (дамбы) канала над максимальным уровнем жидкости	$\Delta_{\text{доп}}$	"-
Уровень жидкости в верхнем бьефе водослива или лотка	$h_{\text{в.б.}}$	м
Уровень жидкости в нижнем бьефе водослива или лотка, измеренный от плоскости дна отводящего канала	$h_{\text{н.б.}}$	То же
Напор воды в нижнем бьефе над порогом водослива или дном лотка	$h_{\text{н}}$	"-
Относительное затопление	$\eta = h_{\text{н}}/h$	-
Предельное относительное затопление при свободном истечении	$\eta_{\text{пр}}$	-
Числовые множители в уравнениях расхода	$E_0; E$	-
Площадь поперечного сечения потока в подводящем канале	A_0	м^2
Угол наклона боковых стенок или граней водослива или лотка	α	\dots°

Продолжение таблицы 2

1	2	3
Ширина канала по дну перед водосливом или лотком	B	м
Ширина порога водослива или горловины лотка	b	То же
Ускорение свободного падения	g	м/с ²
Число Фруда (V/\sqrt{gh})	Fr	-
Обобщённый коэффициент расхода	C ₀	-
Коэффициент расхода	C _D	-
Коэффициент, учитывающий влияние скорости в подводящем канале	C _v	-
Коэффициент формы	C _f	-
Высота порога водослива или лотка	P	м
Длина порога водослива или горловины лотка (вдоль оси канала)	l	То же
Диаметр отверстия соединительной трубы успокоительного устройства	d	То же

8.4 В общем случае уравнение расхода при истечении воды через водослив или лоток имеет вид:

$$Q = E_0 \cdot A_w \sqrt{2gh}. \quad (28)$$

8.5 В состав средств измерений расхода входят стабилизирующие водосливы и лотки, уровнемеры и вспомогательные устройства (успокоительные колодцы, соединительные линии, измерительные преобразователи, самопишущие или интегрирующие преобразователи и др.) (таблица 3).

8.6 Конструкция водослива или лотка выбирается с учетом:

- максимального и минимального расхода жидкости в канале или водотоке;
- максимальной скорости потока на участке размещения расходомера;
- формы и размеров участка канала или водотока, конструкции облицовки или крепления русла;

Таблица 3 – Основные технические характеристики стандартных водосливов и лотков

Наименование водослива или лотка	Допустимые значения напора, м		Допустимые значения ширины порога или горловины, м		Условия свободного (незатопленного) истечения	Максимальное значение F_g в подводящем канале
	h_{min}	h_{max}	b_{min}	b_{max}		
1	2	3	4	5	6	7
Водосливы с тонкой стенкой						
Треугольный	0,05	0,40	-	-	$\Delta h \geq h + 0,05$ м	0,45
Прямоугольный	0,03	1,00	0,15	3,00	$\Delta h \geq h + 0,05$ м	0,50
Трапецидальный	0,05	1,00	0,25	3,00	$\Delta h \geq h + 0,05$ м	0,45
Водосливы с широким порогом						
Треугольного профиля	0,06	3,0P	0,30	6,00	$\eta \leq 0,75$	0,60
Треугольного профиля с треугольным (V-образным) вырезом	0,10	3,0P	0,50	10,00	$\eta \leq 0,75$	0,60
Прямоугольного профиля с закругленной входной кромкой	0,06	0,80	0,30	3,00	по п. 4.9.6	0,60
Трапецидального профиля	0,06	1,00	0,30	3,00	$\eta \leq 0,75$	0,60
Расходомерные лотки						
Лотки критической глубины (Вентури) прямоугольного сечения:						
а) с боковым сжатием	0,10	2,00	0,15	3,00	$\eta \leq 0,75$	0,60
б) с порогом (донным сжатием)	0,06	2,00	0,15	5,00	$\eta \leq 0,75$	0,60
Лотки Паршалла	0,10	1,8	0,15	15,2	по п. 4.11.5	0,60

- максимального и минимального уровней жидкости;
- режима движения взвешенных и донных (влекомых) механических примесей;
- наличия в канале или водотоке плавающего мусора или льда, влияющих на показания расходомера.

8.7 На водотоках с плавающим мусором рекомендуется применять водослив или лоток с порогом, но с минимальным боковым сжатием потока (водосливы с порогом трапецидального и прямолинейного профиля и др.). При больших диапазонах измерения расхода рекомендуется применять треугольный водослив с тонкой стенкой.

8.8 При выборе средств измерений уровня исходят из расчетных значений максимального напора, допускаемых требований к классу точности уровнемеров, наличия источников электроснабжения.

8.9 Методика расчета водослива или лотка зависит от назначения и условий эксплуатации. Основной задачей расчета является подбор оптимальных размеров водослива или лотка, обеспечивающих соблюдение допускаемых условий их применения, проведение измерений в рабочем диапазоне измерение расхода при заданной форме, уклоне и габаритах подводящего и отводящего участков водотока.

8.10 Верхний предел измерений расходомера назначают, исходя из заданного максимального расхода по ГОСТ 18140-84 [9, 10].

8.11 Максимальный напор на водосливе или лотке устанавливают по результатам гидравлического расчета водотока.

8.12 На действующих водотоках максимальный действующий напор на предполагаемом участке размещения расходомера определяют из соотношения:

- для лотка, не имеющего порога:

$$h_{\max} \leq h_{\text{смп}} \cdot \Delta_{\text{дон}} ; \quad (29)$$

- для водослива или лотка с порогами:

$$h_{\max} + P \leq h_{\text{смп}} \cdot \Delta_{\text{дон}} . \quad (30)$$

8.13 Для водотоков с расходом до 1 м³/с допустимое превышение – $\Delta_{\text{доп}} = 0,10$ м; для водотоков с расходом от 1 до 10 м³/с – $\Delta_{\text{доп}} = 0,20$ м.

8.14 Высоту порогов определяют подбором, исходя из формулы (30) и допустимых соотношений между высотой порога и уровнем воды в верхнем и нижнем бьефах.

8.15 Значения верхних пределов измерений уровнемеров выбирают по ГОСТ 18140-84 из ряда 100, 160, 250, 400, 630, 1000, 1600, 2000 мм, принимая их ближайшими к значениям допустимых параметров h_{\max} .

8.16 При установке водосливов или лотков следует соблюдать следующие требования:

- участок водотока должен быть прямолинейным и устойчивым к размыву, заилению и зарастанию;

- длина прямолинейного подводящего участка водотока должна быть не менее: 6 В – для водосливов и 5 В – для лотков;

- допустимое отклонение от прямолинейности подводящего участка по оси водотока не должно быть более 3^0 ;
- отложение наносов перед лотком или водосливом должно быть не более $0,01 h_{cp}$.

8.17 Водосливы с тонкой стенкой

8.17.1 Треугольные водосливы с тонкой стенкой (водосливы с треугольным вырезом в тонкой стенке) предназначены для измерений расхода жидкости при больших колебаниях расхода измеряемой жидкости, содержащей не более $0,5 \text{ кг/м}^3$ взвешенных нерастворимых частиц.

Расход воды через треугольный водослив с тонкой стенкой определяется по формулам:

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 2,361C_0 \text{tg} \frac{\alpha}{2} h_e^{5/2}; \quad (31)$$

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = 8500C_0 \text{tg} \frac{\alpha}{2} h_e^{5/2}. \quad (32)$$

Коэффициент расхода C_0 зависит от значения центрального угла α и соотношений высоты порога P , ширины подводящего канала B и напора h , т. е.:

$$C_0 = f\left(\frac{h}{P}, \frac{P}{B}, \alpha\right). \quad (33)$$

Для $\frac{P}{B} \leq 0,2$ и $\frac{h}{P} \leq 0,4$ значения C_0 принимают по таблице 4.

Таблица 4 – Значения C_0

α	20°	40°	60°	90°	100°
C_0	0,5930	0,5815	0,5770	0,5784	0,5810

Зависимость C_0 от значений $\frac{P}{B}$ и $\frac{h}{P}$ для водослива с $\alpha = 90^\circ$ приведена в приложении В.

Расстояние от стенки водослива до створа измерений напора $l_1 \cong 4 h_{\max}$.

8.17.2 Прямоугольные водосливы с тонкой стенкой предназначены для измерения расхода жидкости, содержащей не более $0,5 \text{ кг/м}^3$ твердых взвешенных частиц.

Расход воды через прямоугольный водослив с тонкой стенкой определяется по формулам:

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 2,953C_0 \cdot b_e \cdot h_e^{3/2}; \quad (34)$$

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = 210630C_0 \cdot b_e \cdot h_e^{3/2}. \quad (35)$$

Коэффициент расхода C_0 вычисляют по формуле:

$$C_0 = a + a' \frac{h}{P}, \quad (36)$$

где a, a' – поправочные множители.

Значения a и a' приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Значения a и a' для вычисления коэффициента расхода C_0 прямоугольного водослива с тонкой стенкой

b/B	a	a'	b/B	a	a'
1,0000	0,6020	0,0750	0,5000	0,5920	0,0120
0,9500	0,6000	0,0700	0,4500	0,5915	0,0090
0,9000	0,5980	0,0640	0,4000	0,5910	0,0060
0,8500	0,5970	0,0550	0,3500	0,5900	0,0040
0,8000	0,5960	0,0450	0,3000	0,5895	0,0020
0,7500	0,5950	0,0370	0,2500	0,5890	0,0000
0,7000	0,5940	0,0300	0,2000	0,5880	-0,0020
0,6500	0,5935	0,0250	0,1500	0,5875	-0,0020
0,6000	0,5930	0,0180	0,1000	0,5870	-0,0020
0,5500	0,5925	0,0150	0,0500	0,5870	-0,0023

Значения a и a' при шаге соотношений b/B меньше значения, указанного в таблице 3, определяют линейной интерполяцией.

Расстояние от гребня водослива до створа измерений напора должно составлять $l_1 = 4 h_{\max}$.

7.17.3 Трапецеидальные водосливы с тонкой стенкой предназначены для измерений расхода жидкости, содержащей не более $0,5 \text{ кг/м}^3$ твердых взвешенных частиц, в каналах с трапецеидальным поперечным сечением.

Расход воды через трапецеидальный водослив определяют по формулам:

- для водослива с $\text{tg}\alpha = 0,25$ при измерениях в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 1,86 \cdot b \cdot h^{3/2}; \quad (37)$$

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = 6696 \cdot b \cdot h^{3/2}. \quad (38)$$

Для водослива с $\text{tg}\alpha = 1,00$ в формулы (21) и (22) вводят коэффициент формы C_f , вычисляемый по формуле:

$$C_f = \frac{b+h}{b+0,25h}. \quad (39)$$

Расстояние створа измерений уровня от стенки водослива $l_1 \cong 3 h_{\max}$.

8.18 Водосливы с широким порогом

8.18.1 Водосливы с порогом треугольного профиля применяют в относительно широких каналах ($\frac{h}{B} \leq 0,5$) для измерений расхода жидкости, не содержащей тяжелых и влекомых наносов.

Расход воды через водослив с порогом треугольного профиля при $h \geq 0,15$ м определяется по формулам:

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 1,982 C_v \cdot b \cdot h^{3/2}; \quad (40)$$

- при измерениях в м³/ч:

$$Q = 7137C_v \cdot b \cdot h^{3/2}. \quad (41)$$

8.18.2 Водослив с порогом треугольного профиля с продольным (V – образным) вырезом устанавливаются в русле прямоугольного сечения для измерений расхода воды в каналах и естественных водотоках с $h/B \leq 0,5$ при больших диапазонах изменения расхода ($Q_{\max}/Q_{\min} \geq 50$).

Содержание взвешенных нерастворимых веществ не должно превышать транспортирующей способности канала в створе установки водослива.

Расход воды через водослив определяется по формулам:

- при измерениях в м³/с:

$$Q = 2,505C_v \cdot C_f \cdot C_D \cdot m_b \cdot h^{5/2}; \quad (42)$$

- при измерениях в м³/ч:

$$Q = 9019,6C_v \cdot C_f \cdot C_D m_b \cdot h^{5/2}. \quad (43)$$

Значение коэффициента C_v принимается из приложения Г.

Расстояние от гребня водослива до створа измерений $10\Delta P \leq l_1 \leq 2h_{\max}$.

8.18.3 Водослив с порогом трапецеидального профиля может иметь трапецеидальное или прямоугольное поперечное сечение. Водосливы предназначены для измерений расхода в каналах при содержании в воде твердых нерастворимых частиц не более 1 кг/м³.

Расход воды через водослив с порогом трапецеидального профиля определяется по формулам:

- при измерениях в м³/с:

$$Q = 3,132C_v \cdot C_D \cdot C_f \cdot B_n \cdot h^{5/2}; \quad (44)$$

- при измерениях в м³/ч:

$$Q = 11275C_v \cdot C_D \cdot C_f \cdot B_n \cdot h^{5/2}. \quad (45)$$

Значения C_v принимаются из приложения Г.

8.18.4 Водосливы с порогом прямоугольного профиля с закругленной входной кромкой предназначены для измерений расхода жидкости, не содержащей влекомых и крупных взвешенных частиц.

Расход воды через водосливы с порогом прямоугольного профиля с закругленной входной кромкой определяется по формулам:

- при измерениях расхода в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 1,705C_v \cdot C_D \cdot b \cdot h^{3/2}; \quad (46)$$

- при измерениях расхода в $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = 6138C_v \cdot C_D \cdot b \cdot h^{3/2}. \quad (47)$$

В расчетных формулах в качестве действительного значения ширины порога b принимают наименьшее из измеренных значений ширин в сечениях, соответствующих $(R_p + 0,05)$ м; $0,33 l_p$; $0,50 l_p$ от входного торца порога.

Коэффициент расхода C_D определяют по формуле:

$$C_D = \left(-0,006l_p/b \right) \left(-0,003l_p/h \right)^{3/2}. \quad (48)$$

Коэффициент C_v принимают из приложения 4.

Свободное истечение через водослив с порогом прямоугольного профиля обеспечивается при:

- $\eta \leq 0,63$ для $h/P < 0,5$;
- $\eta \leq 0,75$ для $h/P = (0,5-1,0)$;
- $\eta \leq 0,80$ для $h/P > 1,0$.

8.19 Расходомерные лотки

8.19.1 Лотки критической глубины с горловиной прямоугольного поперечного сечения (лотки Вентури) предназначены для измерений расхода жидкости в естественных водотоках и каналах произвольной формы, преимущественно прямоугольного сечения.

Конструкция и размеры лотков критической глубины должны удовлетворять следующим условиям:

- подводящий участок канала должен быть прямолинейным на расстоянии $F \geq 6 h_{\max}$;

- сопряжение горловины лотка с подводящим участком выполняют в виде криволинейного конфузора с вертикальными стенками, очерченными по радиусу $R = 2 (B-b)$ длиной $l_2 = 1,32 (B-b)$;

- расстояние от начала конфузора до отверстия или щели в стенке подводящего участка канала для сообщения с успокоительным устройством должно составлять $l_1 \cong 3 h_{\max}$;

- горловина лотка с горизонтальным дном и вертикальными параллельными стенками должна иметь длину $l = (1,5 \div 2,0) h_{\max}$;

- для лотка с донным сжатием должны соблюдаться условия: $P \geq 0,15 \text{ м}$; $R_1 = 4P$;

- выходной участок длиной $D = 3 (B-b)$ должен иметь вертикальные расходящиеся стенки;

- если потери напора при истечении из лотка не лимитированы, допускается уменьшение длины выходного участка D вдвое при сохранении тангенса угла расширения стенок в плане не более 1: 6.

Расход воды через лотки Вентури определяют по формулам:

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = 1,705 C_v \cdot C_D \cdot b \cdot h^{3/2}; \quad (49)$$

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{ч}$:

$$Q = 6138 C_v \cdot C_D \cdot b \cdot h^{3/2}. \quad (50)$$

Коэффициент расхода C_D определяют по формуле (32) или по приложению Д, коэффициент C_v – по приложению Е.

7.19.2 Лотки Паршалла предназначены для измерения расхода жидкости в каналах прямоугольного поперечного сечения. Их можно также применять для измерений расхода в каналах трапециевидального сечения и в естественных водотоках.

Расход воды через лотки Паршалла определяют по формулам:

- при измерениях в $\text{м}^3/\text{с}$:

$$Q = C_0 b \cdot h^n; \quad (51)$$

- при измерениях в м³/ч:

$$Q = 3600C_0 b \cdot h^n. \quad (52)$$

Значения коэффициента C_0 , степени n , а также пределы измерений лотков Паршалла приведены в таблице 6.

Лотки Паршалла следует применять в режиме свободного (незатопленного) истечения. Значения предельного относительного затопления $\eta_{\text{п}}$ составляют для лотков с шириной горловины b до 1,0 м $\eta_{\text{п}} = 0,6$, для лотков с b от 1,0 до 2,4 м – $\eta_{\text{п}} = 0,7$, для лотков с $b > 2,4$ м – $\eta_{\text{п}} = 0,8$.

Таблица 6 – Основные характеристики лотков Паршалла

N	Ширина горловины b , м	Значения коэффициента C_0	Значения степени уравнения расхода n	Измеряемые расходы, м ³ /с		Максимальные значения верхних пределов измерений напора $h_{\text{п}}$, м
				Q_{min}	Q_{max}	
1	2	3	4	5	6	7
1	0,152	2,192	1,494	0,004	0,06	0,3
2	0,25	2,243	1,513	0,008	0,16	0,45
3	0,30	2,263	1,521	0,034	0,4	0,75
4	0,50	2,318	1,541	0,05	0,63	0,75
5	0,60	2,338	1,548	0,07	0,85	0,75
6	0,75	2,363	1,557	0,09	1,10	0,75
7	0,90	2,386	1,565	0,12	1,25	0,75
8	1,00	2,397	1,569	0,135	1,5	0,80
9	1,20	2,420	1,577	0,18	2,0	0,80
10	1,50	2,445	1,586	0,24	2,5	0,80
11	1,80	2,467	1,593	0,29	3,0	0,80
12	2,10	2,483	1,599	0,336	3,6	0,80
13	2,40	2,486	1,60	0,45	4,5	0,85
14	3,05	2,457	1,60	0,45	8,28	1,07
15	3,56	2,431	1,60	0,45	14,68	1,37
16	4,57	2,405	1,60	0,45	25,04	1,67
17	6,10	2,379	1,60	0,45	37,07	1,83
18	7,62	2,363	1,60	0,45	47,16	1,83
19	9,14	2,352	1,60	0,60	74,7	1,83
20	12,19	2,339	1,60	0,60	74,7	1,83
21	15,24	2,331	1,60	0,75	93,0	1,83

Приведенные в таблице значения коэффициентов расхода C_0 и показателей степени n можно использовать, если отклонение фактической ширины горловины лотка от указанной в таблице не превышает $\pm 5\%$.

9 Измерение расхода и объема воды при помощи градуированных гидротехнических сооружений

9.1 Учет воды с помощью градуированных гидротехнических сооружений основан на гидравлических законах истечения воды через отверстие этих сооружений. Такой метод учета воды называется гидравлическим. Его необходимо применять на существующих гидротехнических сооружениях, на которых отсутствуют установленные водомеры, а применение метода «скорость – площадь» затруднено из-за наличия в водотоке переменных напоров.

9.2 К градуированным гидротехническим сооружениям относятся принятые в качестве средств измерения расхода воды и подвергнутые градуировке гидротехнические сооружения, оборудованные устройствами для оперативного определения расхода воды. В результате градуирования должны быть получены зависимости расхода воды от переменных параметров в виде формул, графика и таблицы координат для оперативного контроля, регулирования или учета коллекторно-дренажной и сбросной воды.

9.3 Градуировку гидротехнических сооружений необходимо выполнять по действующим нормативно-методическим документам с учетом следующих условий и средств их применения [22]:

- расход воды через один пролет – от 1 до 100 м³/с;
- напор воды в верхнем бьефе – от 1 до 10 м;
- ширина напора – от 2 до 10 м;
- средняя скорость в потоке – от 0,2 до 5,0 м/с;
- период (разность уровней воды верхнего и нижнего бьефов) не должен быть менее 0,10 м, относительное подтопление со стороны нижнего бьефа не более 95 %;
- плавный подход потока к гидротехническому сооружению без водоворотов и вихрей со скоростями не более 1,5 м/с.

9.4 Градуированные гидротехнические сооружения и устройства могут быть с обеспеченным свободным истечением в нижний бьеф и с затвором для регулирования расходов и уровней воды.

9.5 При свободном истечении воды в нижний бьеф измеряется напор H под порогом сооружения. Расход определяют по градуированным графикам и таблице. Для измерения уровня воды используют датчики и самописцы. Применяют на водопроводящих, сопрягающих и сбросных сооружениях.

9.6 При применении затворов для регулирования расходов и уровней воды измеряются напор H или перепад уровней верхнего и нижнего бьефов Z и открытие затворов α . Расход определяют по градуировочному графику и таблице. Уровни воды и открытие затворов измеряют датчиками. Применяют на головных водораспределительных, перегораживающих сооружениях, водовыпусках и т. д.

9.7 Диапазон измерений расходов не ограничен. Погрешности измерений – до 6 % [23]. Для проверки градуировочных зависимостей необходимы периодические контрольные измерения.

10 Измерение расхода и объема воды в закрытых дренах и коллекторах

10.1 Метод измерений расхода и объема воды в закрытых дренах и коллекторах основан на зависимости расхода воды от уровня заполнения трубопровода или измерительного лотка и осуществляется по МИ 2220-96 [24].

10.2 Методика устанавливает порядок производства работ при выполнении измерений расхода сточных вод в безнапорных трубопроводах диаметром от 0,1 до 3,0 м с поперечным сечением круглой формы и в лотках U-образной формы с полукруглым сечением.

10.3 Для обеспечения возможности автоматических измерений расхода в безнапорных трубопроводах и лотках выполняют их градуировку по методу, разработанному НИИКВОВ, с погрешностью, не превышающей 2,5 %.

10.4 Заявленная погрешность достигается при выполнении следующих условий измерения:

- дно трубопровода не должно подвергаться заилению или отложению осадка (допускаемая толщина слоя осадка (ила), таблица 7);
- поток должен быть установившимся, для чего длина прямого участка трубопровода, имеющего постоянный уклон и диаметр без боковых присоединений перед измерительным сечением, должна быть не менее $20 H$, а после него – не менее $10 H$ (H – максимальный уровень заполнения);
- измерительное сечение, т. е. сечение, в котором располагают приборы для измерений скорости и уровня, выбирают в середине трубопровода или лотка;

- в измерительном сечении и вблизи него не должно быть местных выступов, закладных деталей и других предметов, вызывающих искажение уровня за счет местных возмущений потока.

Таблица 7 – Допускаемая толщина слоя осадка в трубах различного диаметра

Диаметр трубы, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1-1,5	1,6-2,0	2,1-2,5	2,6-3,0
Допускаемая толщина слоя осадка, мм	1	2	2	5	5	8	8	10	10	12	15	20	25	30

10.5 Основа метода состоит в измерениях скорости движения потока и уровня заполнения трубопровода или лотка в период измерения скорости и расчете на основе полученных результатов градуировочной характеристики водовода.

10.6 Погрешность автоматических измерений расхода складывается из погрешности градуировки трубопровода или лотка и погрешности расходомера:

$$\delta = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2}, \quad (53)$$

где δ – погрешность автоматических измерений;

δ_1 – погрешность градуировки;

δ_2 – погрешность расходомера счетчика.

10.7 Градуировку трубопровода и измерительного лотка выполняют одноточечным методом определения расхода воды, который реализуют двумя способами:

- по измерениям средней скорости потока (V_{cp}) и расчете расхода по формуле:

$$Q = wV_{cp}, \quad (54)$$

где w – площадь сечения потока (определяется по формулам (57) и (58) соответственно для лотков круглого и U-образного сечения);

- по измерениям максимальной скорости потока (V_{max}) и расчете расхода по формуле:

$$Q = wNV_{cp}. \quad (55)$$

Значения N определяют по приложению Ж.

10.8 Выбор способа зависит от диаметра трубопровода и его наполнения. Первый способ используют, когда при измерении максимальной скорости расстояние от поверхности жидкости меньше, чем 1,5 диаметра гидрометрической вертушки. В остальных случаях целесообразно применять второй способ. Для практического использования метода составлены таблицы в приложениях Ж, З, позволяющие определить необходимые гидравлические параметры потока по результатам измерений диаметра трубопровода и наполнения лотка.

10.9 Для измерений уровня допускается применять следующие средства: мерные иглы, крючковые рейки, пьезометрические трубки, водомерные трубки, водомерные рейки и т. п.

10.10 Скорость потока измеряют при помощи гидрометрических вертушек: для потоков глубиной менее 0,3 м – вертушки типа Х-6М, ГР-55, М-И, ГР-96, для потоков глубиной более 0,3 м – вертушки ГР-21М, ГР-99, ИСТ.

10.11 Горизонтальный диаметр трубы или лотка измеряют мерной штангой или стальной рулеткой не менее, чем в трех сечениях. По среднеарифметическому из этих значений принимают значение D .

10.12 Для измерения уровня заполнения с помощью мерной иглы или другого устройства измеряют расстояние от выбранной неподвижной базы до дна лотка, а затем до поверхности воды. Уровень воды в лотке H определяют как разность этих измерений.

10.13 При скоростях течения менее 0,3 м/с допускаются прямые измерения уровня путем погружения измерительных средств, предварительно натертых мелом, в воде.

10.14 Ординату максимальной скорости h , соответствующую фактическим величинам D и H/D , находят по приложению Ж.

10.15 При $(H-h) < 1,5$ диаметра гидрометрической вертушки расход определяют по средней скорости.

10.16 Ординату средней скорости потока Y_{cp} вычисляют по формуле:

$$Y_{cp} = 0,414R, \quad (56)$$

где R – гидравлический радиус сечения водовода, м.

10.17 Для водоводов круглого сечения и лотков U-образной формы при $H/D < 0,5$:

$$R = \bar{R}D, \quad (57)$$

где \bar{R} – относительный гидравлический радиус, определяется по приложению 3.

Площадь живого сечения ω определяют по формуле:

$$\omega = \bar{\omega}D^2, \quad (58)$$

где $\bar{\omega}$ – относительная площадь живого сечения, определяется по приложению 3.

10.18 Для лотков U-образной формы при $H/D > 0,5$ гидравлический радиус определяют по формуле:

$$R_U = w_U / c_U, \quad (59)$$

где w_U – площадь живого сечения лотка, определяемая по формуле:

$$w_U = 0,3927D^2 + D(H - D/2), \quad (60)$$

где c_U – смоченный периметр лотка:

$$c_U = 1,571D + 2(H - D/2). \quad (61)$$

На штанге с мерными делениями закрепляют вертушку на расстоянии Y_{cp} от конца и измеряют скорость V_{cp} .

Расход Q вычисляют по формуле (56).

10.19 При $(H-h) > 1,5$ диаметра гидрометрической вертушки расход определяют также по максимальной скорости.

10.20 Для лотков U-образной формы определение расхода по максимальной скорости выполняют только при соотношении $H/D < 0,5$ в следующем порядке:

- на штанге с мерными делениями закрепляют вертушку на расстоянии h от конца;
- измеряют V_{max} на высоте h от дна лотка;

- по приложению 7 находят значения N ;
- по формуле (42) определяют площадь живого сечения ω ;
- расход Q вычисляют по формуле (55);
- измерение скоростей в каждой из указанных точек проводят не менее трех раз, затем вычисляют среднее значение.

10.21 Градуировочную характеристику водовода (зависимость расхода от уровня) определяют по графикам соответственно для водоводов круглого и U-образного сечения. Коэффициент A_0 , соответствующий измеренному наполнению, определяют по формуле:

$$A_0 = Q_0 / Q_n, \quad (62)$$

где Q_0 – расход, вычисленный на основании измерений, при данном наполнении;

Q_n – расход при полном наполнении.

10.22 По величине Q_0 , установленной для данного коллектора, и величине A_0 , определенной по графику в зависимости от наполнения, можно установить расход при любом наполнении.

10.23 На основании полученной характеристики градуируют расходомер, который можно будет использовать для автоматического учета.

11 Требования к квалификации исполнителей и технике безопасности работ

11.1 При выполнении работ по оценке качества и учету количества коллекторно-дренажных и сбросных вод квалификация исполнителей должна соответствовать условиям, средствам и методам производства работ. Исполнители должны быть ознакомлены с инструкциями по эксплуатации приборов, средств измерений и иметь практический опыт их применения.

11.2 При работе с химическими реактивами и приборами требующими наличия источников электроэнергии специалисты выполняющие эти работы и измерения должны проходить специальные курсы подготовки по безопасности обслуживания этих приборов.

11.3 К выполнению всех видов работ по оценке качества и учета количества коллекторно-дренажных и сбросных вод допускаются лица, прошедшие инструктаж по технике безопасности.

Список использованной литературы

1 ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2000 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. – Введ. 2000-07-07. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 28 с.

2 ГОСТ Р 51592-2000. Общие требования к отбору проб. – Введ. 2000-04-21. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 35 с.

3 Взвешенные вещества и общее содержание примесей в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом: РД 52.24.468-2005: утв. Заместителем руководителя Росгидромета 15.06.05: введ. в действие с 01.07.05. – М.: ЭНАС, 2005. – 137 с.

4 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации сухого остатка в питьевых, поверхностных и сточных водах гравиметрическим методом: ПНД Ф 14.1:2:4.114-97: утв. Федеральным центром анализа и оценки техногенного воздействия 23.03.11: введ. в действие с 01.04.11. – М.: ЭНАС, 2011. – 8 с.

5 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений рН в водах потенциометрическим методом: ПНД Ф 14.1:2:3:4.121-97: утв. Государственным комитетом по охране окружающей среды Рос. Федерации 21.03.97: введ. в действие с 04.04.97. – М., 1997. – 9 с.

6 Биохимическое потребление кислорода в водах. Методика выполнения измерений скляночным методом: РД 52.24.420-2005: утв. Росгидрометом 27.03.06: введ. в действие с 04.04.06. – М.: ЭНАС, 2006. – 20 с.

7 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера: ПНДФ 14.1:2.1-95: утв. М-вом природы Рос. Федерации 20.03.95: введ. в действие с 04.04.95. – М., 1995. – 12 с.

8 Массовая концентрация нитратов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом с реактивом Грисса после восстановления в кадмиевом редуторе: РД 52.24.380-2006: утв. Росгидрометом 23.03.06: введ. в действие с 01.04.06. – М.: ЭНАС, 2006. – 42 с.

9 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрит-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса: ПНД Ф 14.1:2.3-95: утв. М-вом природы Рос. Федерации 20.03.95: введ. в действие с 04.04.95. – М., 1995. – 22 с.

10 Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерений фотометрическим методом: РД 52.24.382-2006: утв. Росгидрометом 27.03.06: введ. в действие с 04.04.06. – М.: ЭНАС, 2006. – 58 с.

11 Массовая концентрация хлоридов в водах. Методика выполнения измерений аргентометрическим методом: РД 52.24.407-2006: утв. Росгидрометом 20.06.06: введ. в действие с 04.07.06. – М.: ЭНАС, 2006. – 32 с.

12 Массовая концентрация сульфатов в воде. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом: РД 52.24.483-2005: утв. Росгидрометом 01.01.05: введ. в действие с 04.02.05. – М.: ЭНАС, 2005. – 44 с.

13 Методика выполнения измерений массовой концентрации кальция в водах титриметрическим методом с Трилоном Б: РД 52.24.403-2007: утв. Росгидрометом 13.03.07: введ. в действие с 13.03.07. – М.: ЭНАС, 2007. – 37 с.

14 Методика выполнения измерений жесткости воды титриметрическим методом: РД 52.24.395-2007: утв. Росгидрометом 6.08.07: введ. в действие с 6.08.07. – М.: ЭНАС, 2007. – 29 с.

15 Массовая концентрация натрия и калия в водах. Методика выполнения измерений пламенно-фотометрическим методом. РД 52.24.391-2008: утв. Росгидрометом 6.08.07: введ. в действие с 6.08.07. – М.: ЭНАС, 2007. – 29 с.

16 Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовых концентраций железа, кобальта, марганца, меди, никеля, серебра, хрома и цинка в пробах питьевых, природных и сточных вод методом атомно-абсорбционной спектроскопии: ПНДФ 14.1:2:4.139-98: утв. Государственным комитетом по охране окружающей среды Рос. Федерации 25.06.98: введ. в действие с 12.07.98. – М., 1998. – 15 с.

17 ГОСТ Р 51657.2-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Методы измерения расхода и объема воды. Классификация. – Введ. 2000-12 14. – М, Изд-во стандартов, 2003. – 8 с.

18 Наставления гидрометеорологическим станциями постанам: Выпуск 6, часть 1. Гидрологические наблюдения и работы на небольших и средних реках. Издание третье, переработанное и дополненное. – Государственный комитет СССР по гидрометеорологии и контролю окружающей среды. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1978. – 238 с.

19 Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь»: МИ 1759-87: утв. Всесоюз-

ным научно-исследовательским институтом расходомерии 11.06.86: введ. в действие с 12.07.86. – М., 1986. – 20 с.

20 Гидромелиоративные каналы с фиксированным руслом. Методика выполнения измерений расхода методом «скорость-площадь»: МВИ 05-90: утв. Всесоюзным научно-исследовательским институтом расходомерии 01.01.90: введ. в действие с 01.01.90. – М., 1990. – 20 с.

21 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход жидкости в открытых каналах систем водоснабжения и канализации. Методика выполнения измерений при помощи стандартных водосливов и лотков: МИ 2406-97: утв. Всесоюзным научно-исследовательским институтом расходомерии 10.04.97: введ. в действие с 15.05.97. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 40 с.

22 Методика выполнения измерений по градуировке гидротехнических сооружений на каналах оросительных систем: МВИ 33 БО-01-85: утв. Всесоюзным научно-исследовательским институтом расходомерии 01.01.85: введ. в действие с 01.01.85. – М., 1985. – 22 с.

23 Мелиорация и водное хозяйство. Орошение: справочник / под ред. Б. Б. Шумакова. – М.: Колос, 1999. – 432 с.

24 Государственная система обеспечения единства измерений. Расход сточной жидкости в безнапорных трубопроводах. Методика выполнения измерений: МИ 2220-96: утв. Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы 01.10.96: введ. в действие с 01.10.96. – М., 1996. – 28 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ВЕДОМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ РАСХОДА ВОДЫ № _____

наименование министерства, ведомства _____

Участок _____ канал _____ СИР _____ № _____ ПК _____

Начало измерений _____ ч _____ мин

Конец измерений _____ ч _____ мин

Средство измерения скорости _____ тип _____ № _____

Опускался со штанги _____ с троса с грузом _____

Последнее измерение производилось _____ 20 _____ г.

Состояние погоды _____

Мутность _____ дон. наносы _____ мусор _____

Прочие сведения и примечания _____

Показания уровнемера в начале измерения _____

в конце измерения _____

среднее _____

Q= _____ F= _____

V_{ср}= _____ B= _____

59

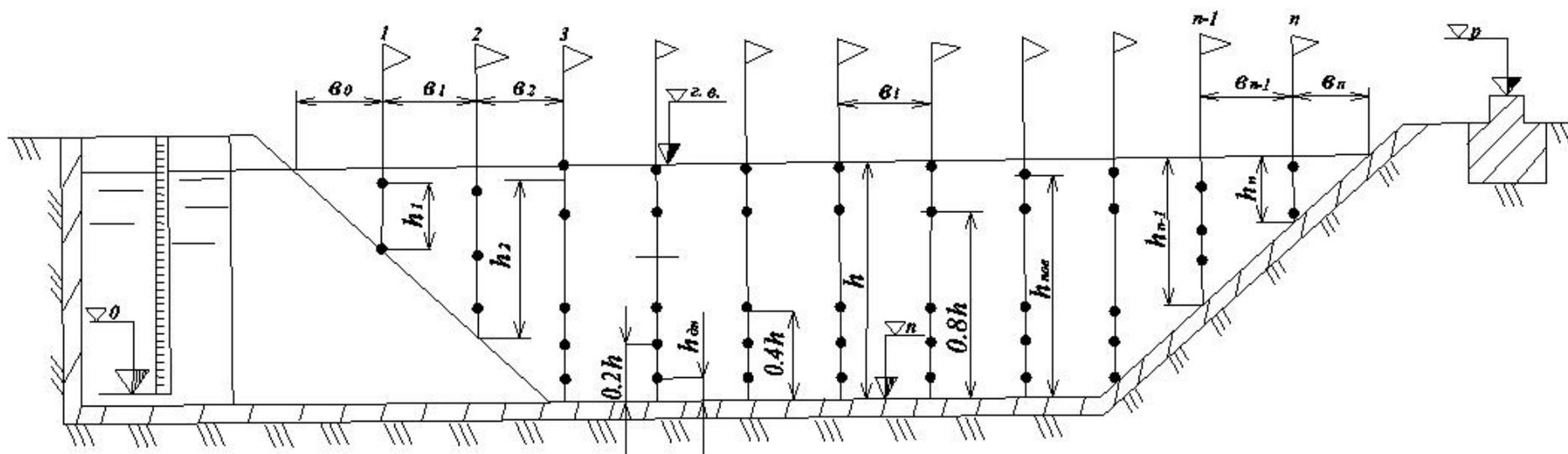
№ верти- кали	Рас- стояние между верти- калями, м	Глу- бина воды на верти- кали, м	Средняя глубина воды между верти- калями, м	Пло- щадь живого сечения между верти- калями, м ²	Рас- стоя- ние от точки изме- рения до дна, м	Число обо- ротов лопа- стей вер- тушки за прием	Продолжитель- ность измере- ния по приемам от начала рабо- ты, с (заполня- ется при ис- пользовании вертушек ГР-21 и ГР-55)					Чис- ло обо- ротов на весь пери- од	Чис- ло обо- ротов лопа- стей в одну се- кунду	Ско- рость пото- ка в точке, м/с	Сред- няя ско- рость на верти- кали, м/с	Средняя скорость между верти- калями, м/с	Рас- ход воды меж- ду вер- тика- лями, м ³ /с	
							1	2	3	4	5							

Составил _____

Проверил _____

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схема измерений и условные обозначения основных величин при расчете расхода воды методом «скорость-площадь»



09

Условные обозначения

- координаты установки вертушки на вертикали
- отметки характерных точек
- номера вертикалей

Условные обозначения основных величин (формулы 21-27)

- b_0, b_n — расстояния от соответствующих урезов воды до ближайших скоростных вертикалей, м;
- b_1, b_2, \dots, b_{n-1} — расстояние между вертикалями, м;
- $f_0, f_1, f_2, \dots, f_n, f_0'$ — площади отсеков между соседними вертикалями, м²;
- h_1, h_2, \dots, h_n — глубины потока на вертикалях, м;
- K — безразмерный коэффициент скорости для прибрежных вертикалей;
- V_0, V_1, \dots, V_n — средние скорости на вертикалях, м/с.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Значения коэффициента расхода C_0 для водосливов с треугольным вырезом в тонкой стенке при $\alpha = 90^\circ$

h/P	Значение C_0 при P/B									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,1	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578
0,2	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,579
0,3	0,578	0,578	0,578	0,578	0,578	0,579	0,580	0,580	0,581	0,582
0,4	0,578	0,578	0,578	0,578	0,579	0,581	0,583	0,585	0,587	0,591
0,5	0,578	0,578	0,578	0,579	0,582	0,584	0,588	0,593	0,611	-
0,6	0,578	0,578	0,579	0,581	0,585	0,590	0,595	-	-	-
0,7	0,578	0,578	0,580	0,584	0,589	0,596	-	-	-	-
0,8	0,577	0,579	0,582	0,587	0,595	0,605	-	-	-	-
0,9	0,577	0,579	0,584	0,593	0,601	-	-	-	-	-
1,0	0,576	0,580	0,587	0,598	0,610	-	-	-	-	-
1,1	0,576	0,581	0,590	0,604	-	-	-	-	-	-
1,2	0,576	0,583	0,593	0,611	-	-	-	-	-	-
1,3	0,576	0,585	0,597	-	-	-	-	-	-	-
1,4	0,576	0,587	0,600	-	-	-	-	-	-	-
1,5	0,577	0,589	0,604	-	-	-	-	-	-	-
1,6	0,578	0,592	0,608	-	-	-	-	-	-	-
1,7	0,578	0,595	-	-	-	-	-	-	-	-
1,8	0,578	0,598	-	-	-	-	-	-	-	-
1,9	0,579	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,0	0,580	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Значения коэффициента скорости подхода жидкости C_v для водосливов с широким порогом

$C_D \frac{b \cdot h}{A_w}$	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,002	1,002	1,003	1,003
0,1	1,004	1,004	1,005	1,005	1,006	1,006	1,007	1,007	1,008	1,009
0,2	1,010	1,011	1,012	1,012	1,013	1,014	1,015	1,016	1,018	1,019
0,3	1,021	1,022	1,024	1,025	1,027	1,029	1,031	1,033	1,035	1,037
0,4	1,039	1,041	1,043	1,045	1,048	1,050	1,053	1,056	1,059	1,061
0,5	1,063	1,066	1,070	1,073	1,076	1,079	1,082	1,086	1,090	1,093
0,6	1,097	1,101	1,106	1,110	1,115	1,120	1,125	1,130	1,136	1,141
0,7	1,147	1,152	1,158	1,165	1,172	1,179	1,187	1,195	1,203	1,211

Примечание – Для подводящих каналов прямоугольного сечения вместо $C_D \frac{b \cdot h}{A_w}$ следует принимать $C_D \frac{h}{h+P}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Значения коэффициента расхода C_D для лотков критической глубины прямоугольного сечения (лотков Вентури)

l/b	Значения C_D при h/l													
	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05
0,2	0,9924	0,9919	0,9913	0,9906	0,9898	0,9888	0,9876	0,9860	0,9839	0,9809	0,9764	0,9690	0,9542	0,9103
0,4	0,9912	0,9907	0,9901	0,9894	0,9886	0,9876	0,9864	0,9848	0,9827	0,9797	0,9752	0,9678	0,9530	0,9092
0,6	0,9900	0,9895	0,9889	0,9883	0,9875	0,9865	0,9852	0,9836	0,9815	0,9785	0,9741	0,9667	0,9519	0,9081
0,8	0,9888	0,9883	0,9878	0,9871	0,9863	0,9853	0,9840	0,9825	0,9803	0,9774	0,9729	0,9655	0,9502	0,9070
1,0	0,9876	0,9872	0,9866	0,9859	0,9851	0,9841	0,9829	0,9813	0,9792	0,9762	0,9717	0,9644	0,9496	0,9059
1,2	0,9865	0,9860	0,9854	0,9847	0,9839	0,9829	0,9817	0,9801	0,9780	0,9750	0,9706	0,9632	0,9485	0,9048
1,4	0,9853	0,9848	0,9842	0,9835	0,9827	0,9818	0,9805	0,9789	0,9768	0,9739	0,9694	0,9620	0,9474	0,9038
1,6	0,9841	0,9836	0,9831	0,9824	0,9816	0,9806	0,9793	0,9778	0,9757	0,9727	0,9683	0,9609	0,9462	0,9027
1,8	0,9829	0,9824	0,9819	0,9812	0,9804	0,9794	0,9782	0,9766	0,9745	0,9715	0,9671	0,9598	0,9451	0,9016
2,0	0,9818	0,9813	0,9807	0,9800	0,9792	0,9782	0,9770	0,9754	0,9733	0,9704	0,9660	0,9586	0,9440	0,9005
2,2	0,9806	0,9801	0,9795	0,9789	0,9781	0,9771	0,9758	0,9743	0,9722	0,9692	0,9648	0,9575	0,9429	0,8995
2,4	0,9794	0,9787	0,9784	0,9777	0,9769	0,9759	0,9747	0,9731	0,9710	0,9681	0,9637	0,9563	0,9417	0,8984
2,6	0,9783	0,9778	0,9772	0,9765	0,9757	0,9748	0,9735	0,9720	0,9699	0,9669	0,9625	0,9552	0,9406	0,8973
2,8	0,9771	0,9766	0,9761	0,9754	0,9746	0,9736	0,9724	0,9708	0,9687	0,9658	0,9614	0,9541	0,9395	0,8963
3,0	0,9759	0,9755	0,9749	0,9762	0,9734	0,9724	0,9712	0,9696	0,9676	0,9646	0,9602	0,9529	0,9384	0,8952
3,2	0,9748	0,9743	0,9733	0,9731	0,9723	0,9713	0,9701	0,9685	0,9664	0,9635	0,9591	0,9518	0,9373	0,8941
3,4	0,9736	0,9731	0,9726	0,9719	0,9711	0,9701	0,9689	0,9673	0,9653	0,9623	0,9580	0,9507	0,9362	0,8931
3,6	0,9725	0,9720	0,9714	0,9708	0,9700	0,9690	0,9678	0,9662	0,9641	0,9612	0,9568	0,9495	0,9350	0,8920
3,8	0,9718	0,9708	0,9703	0,9696	0,9688	0,9678	0,9666	0,9651	0,9630	0,9601	0,9557	0,9484	0,9339	0,8909
4,0	0,9702	0,9697	0,9691	0,9685	0,9677	0,9667	0,9655	0,9639	0,9618	0,9589	0,9546	0,9473	0,9328	0,8899
4,2	0,9690	0,9685	0,9680	0,9673	0,9665	0,9656	0,9643	0,9628	0,9607	0,9578	0,9534	0,9462	0,9317	0,8888
4,4	0,9679	0,9674	0,9668	0,9662	0,9654	0,9644	0,9632	0,9616	0,9596	0,9566	0,9523	0,9451	0,9306	0,8878
4,6	0,9667	0,9663	0,9657	0,9650	0,9642	0,9633	0,9621	0,9605	0,9584	0,9555	0,9512	0,9439	0,9295	0,8867
4,8	0,9656	0,9651	0,9646	0,9639	0,9631	0,9621	0,9609	0,9594	0,9573	0,9544	0,9500	0,9428	0,9284	0,8857
5,0	0,9645	0,9640	0,9634	0,9628	0,9620	0,9610	0,9593							

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Значения коэффициента скорости подхода жидкости C_v
для лотков критической глубины

f_{AW}	Значение C_v при $\frac{h}{h+P}$								
	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
0,10	1,002	1,002	1,001	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000
0,15	1,005	1,004	1,003	1,003	1,002	1,001	1,001	1,001	1,000
0,20	1,009	1,007	1,006	1,004	1,003	1,002	1,001	1,001	1,000
0,25	1,014	1,012	1,009	1,007	1,005	1,004	1,002	1,001	1,001
0,30	1,021	1,017	1,013	1,010	1,007	1,005	1,003	1,002	1,001
0,35	1,029	1,023	1,018	1,014	1,010	1,007	1,004	1,003	1,001
0,40	1,039	1,031	1,024	1,018	1,013	1,010	1,006	1,003	1,001
0,45	1,050	1,040	1,031	1,023	1,017	1,012	1,007	1,004	1,002
0,50	1,064	1,050	1,039	1,029	1,021	1,014	1,010	1,005	1,002
0,55	1,079	1,062	1,048	1,036	1,026	1,018	1,011	1,006	1,003
0,60	1,098	1,076	1,058	1,043	1,031	1,021	1,013	1,007	1,003
0,65	1,120	1,092	1,070	1,050	1,037	1,025	1,016	1,009	1,004
0,70	1,147	1,111	1,083	1,061	1,043	1,029	1,018	1,010	1,004
0,75	-	1,133	1,098	1,071	1,050	1,034	1,021	1,012	1,005
0,80	-	-	1,116	1,083	1,058	1,039	1,024	1,013	1,006
0,85	-	-	1,136	1,096	1,066	1,044	1,027	1,015	1,007
0,90	-	-	-	1,111	1,076	1,050	1,031	1,017	1,007
0,95	-	-	-	1,128	1,086	1,056	1,035	1,019	1,008
1,00	-	-	-	1,147	1,098	1,064	1,039	1,021	1,009

Примечание – Для прямоугольных лотков (лотков Вентури) $f_{AW}=C_D \frac{b}{B}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Значения высоты от дна (N и h) для трубопроводов круглого сечения

D , мм	200		300		400		500		600		700		800		900	
H/D	N	h														
0,1	0,8537	18	0,8967	19	0,8563	36	0,8513	45	0,8571	54	0,856	64	0,8600	73	0,8608	82
0,15	0,8440	25	0,8571	39	0,8545	52	0,8609	65	0,8609	79	0,8646	92	0,8651	105	0,8656	119
0,2	0,8501	35	0,8549	49	0,8608	66	0,8658	84	0,8671	101	0,8668	118	0,8679	135	0,8690	153
0,25	0,8632	39	0,8611	59	0,8658	80	0,8672	101	0,8698	121	0,8703	142	0,8718	163	0,8723	184
0,3	0,8575	45	0,8632	68	0,8675	92	0,8698	116	0,8718	141	0,8723	165	0,8730	189	0,8741	214
0,35	0,8673	50	0,8658	77	0,8700	104	0,8718	131	0,8730	158	0,8742	186	0,8750	213	0,8761	241
0,4	0,8603	57	0,8709	84	0,8721	114	0,8739	144	0,8722	179	0,8754	205	0,8764	236	0,8751	266
0,45	0,8680	59	0,8720	91	0,8741	123	0,8740	156	0,8752	189	0,8762	223	0,8774	256	0,8779	290
0,5	0,8721	63	0,8715	97	0,8742	132	0,8749	167	0,8752	203	0,8773	239	0,8778	275	0,8783	311
0,55	0,8701	66	0,8737	103	0,8743	140	0,8757	178	0,8770	216	0,8773	254	0,8780	292	0,8787	331
0,6	0,8740	69	0,8740	108	0,8753	147	0,8756	187	0,8769	227	0,8773	267	0,8781	308	0,8778	352
0,65	0,8742	72	0,8738	112	0,8755	153	0,8756	195	0,8766	237	0,8773	280	0,8777	323	0,8782	366
0,7	0,8727	75	0,8742	116	0,8749	159	0,8726	202	0,8761	246	0,8766	291	0,8771	335	0,8775	380
0,75	0,8742	76	0,8739	120	0,8743	164	0,8747	209	0,8752	255	0,8755	301	0,8761	347	0,8765	394
0,8	0,8723	78	0,8726	122	0,8720	168	0,8729	215	0,8734	262	0,8739	309	0,8761	357	0,8748	405

Продолжение приложения Ж

<i>D</i> , мм	1000		1200		1400		1500		1600		2000	
<i>H/D</i>	<i>N</i>	<i>h</i>										
0,1	0,8610	91	0,8629	110	0,8650	129	0,866	138	0,8663	147	0,8685	185
0,15	0,8663	132	0,8685	159	0,8702	186	0,8706	200	0,8715	213	0,8732	258
0,2	0,8730	170	0,8720	205	0,8731	240	0,8740	258	0,8746	275	0,8763	346
0,25	0,8703	206	0,8743	248	0,8758	290	0,8762	312	0,8767	333	0,8784	419
0,3	0,8749	238	0,8763	288	0,8775	337	0,8780	362	0,8784	286	0,8801	487
0,35	0,8767	269	0,8778	325	0,8777	381	0,8794	409	0,8798	437	0,8812	550
0,4	0,8776	297	0,8788	359	0,8798	422	0,8803	453	0,8806	484	0,8820	610
0,45	0,8786	323	0,8797	391	0,8805	459	0,8809	494	0,8810	529	0,8825	666
0,5	0,8790	348	0,8799	421	0,8809	494	0,8812	531	0,8815	568	0,8827	717
0,55	0,8791	370	0,8801	448	0,8809	527	0,8812	566	0,8816	606	0,8827	765
0,6	0,8791	390	0,8799	473	0,8806	557	0,8810	598	0,8813	640	0,8824	809
0,65	0,8787	409	0,8797	494	0,8802	584	0,8805	628	0,8808	672	0,8818	850
0,7	0,8779	426	0,8787	517	0,8793	609	0,8799	655	0,8799	701	0,8809	887
0,75	0,8769	441	0,8776	535	0,8782	631	0,8784	679	0,8787	727	0,8796	921
0,8	0,8753	454	0,8759	552	0,8765	651	0,8767	701	0,877	751	0,8779	952

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Относительные значения гидравлического радиуса и живого сечения (\bar{R} и $\bar{\omega}$) для водовода круглого сечения

H/D	\bar{R}	$\bar{\omega}$
0,10	0,04088	0,0635
0,15	0,07388	0,0929
0,20	0,1118	0,1206
0,25	0,1536	0,1466
0,30	0,1982	0,1709
0,35	0,2450	0,1935
0,40	0,2934	0,2142
0,45	0,3428	0,2331
0,50	0,3927	0,2500
0,55	0,4426	0,2649
0,60	0,4920	0,2776
0,65	0,5404	0,2881
0,70	0,5872	0,2962
0,75	0,6319	0,3017
0,80	0,6736	0,3042
0,85	0,7115	0,3033
0,90	0,7445	0,2980
0,95	0,7707	0,2865
1,00	0,7854	0,2500