

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

Департамент мелиорации

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«РОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПРОБЛЕМ МЕЛИОРАЦИИ»  
(ФГБНУ «РосНИИПМ»)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ВОДЫ НА ФИЛЬТРАЦИЮ  
ИЗ КАНАЛОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Новочеркасск 2015

---

СОДЕРЖАНИЕ

1 Область применения.....	3
2 Определения .....	3
3 Общие положения.....	6
4 Описание конструкции для определения потерь воды из канала методом изолированного отсека .....	8
5 Методика определения потерь воды на фильтрацию из канала .....	13
5.1 Выбор участка канала для определения фильтрационных потерь.....	13
5.2 Подготовительные работы.....	15
5.3 Порядок установки и монтажа конструкции изолированного отсека....	17
5.4 Порядок проведения измерений .....	18
6 Обработка и оформление результатов.....	21
7 Расчет погрешности измерений.....	24
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ А Форма ведомости измерения потерь воды методом изолированных отсеков.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Примеры расчета потерь воды .....	29

## 1 Область применения

1.1 Настоящая Методика распространяется на каналы оросительных систем в земляном русле и с противofильтрационными покрытиями и может применяться при реализации способов определения потерь воды на фильтрацию.

1.2 В Методике установлены общие положения определения потерь на фильтрацию из каналов методом изолированного отсека, а также приведена технология определения потерь, и рассмотрены особенности конструкции изолированного отсека.

1.3 Методика определения потерь воды на фильтрацию из каналов оросительных систем разработана для применения организациями при эксплуатации оросительных каналов, а также рассчитана на специалистов, занимающихся разработкой мероприятий по снижению фильтрационных потерь.

## 2 Определения

В настоящей Методике применяются следующие термины с соответствующими определениями:

- гидротехнические сооружения – плотины, здания гидроэлектростанций, водосбросные, водоспускные и водовыпускные сооружения, туннели, каналы, насосные станции, судоходные шлюзы, судоподъемники; сооружения, предназначенные для защиты от наводнений, разрушений берегов и дна водохранилищ, рек; сооружения (дамбы), ограждающие хранилища жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций; устройства от размывов на каналах, а также другие сооружения, здания, устройства и иные объекты, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия вод и жидких отходов, за исключением объектов централизованных систем горячего водоснабжения, холодного водоснабжения и (или) водоотведения [1];

- уровнемер – прибор или установка для измерения уровня воды [2];

- уровневая рейка – вертикально или наклонно закрепленная многозначная штриховая мера, используемая для измерения уровня воды [2];
- гидрометрический створ – створ через водоток или канал, перпендикулярный к среднему направлению течения воды, в котором измеряют необходимые параметры водного потока для определения объемного расхода и (или) объема воды [2];
- расход воды – объем воды, протекающий через живое сечение потока в единицу времени [3];
- уклон – параметр, характеризующий изменение высоты (отметок поверхности земли, сооружений или уровней водной поверхности) на участке определенной протяженности, численно равный отношению перепада высот или уровней (разница отметок) к длине участка [4];
- оросительная система – оросительная система, земельная территория вместе с сетью каналов и др. гидротехнических и эксплуатационных сооружений, обеспечивающих ее орошение [5];
- канал – искусственный открытый водовод в земляной выемке или насыпи [6];
- фильтрация – просачивание, естественное процеживание жидкостей, газов через пористые вещества [6];
- коэффициент полезного действия оросительной сети – отношение объема воды, поданной при орошении, к объему воды, изъятый из вод источника в оросительную сеть [7];
- погрешности измерений (ошибка измерений) – отклонения результатов измерений (замеров) от истинных значений измеряемой (замеряемой) величины (характеристика искаженности (несоответствия) измеренных и истинных значений) [4].

### 3 Общие положения

3.1 Определение фильтрационных потерь из каналов оросительных систем производится с целью определения объема воды, теряемой при транспортировке, фактического КПД магистрального канала, прогнозирования и предотвращения негативных воздействий фильтрации на приканальную территорию.

3.2 Работы по определению фильтрационных потерь можно проводить при температуре воздуха более 5 °С.

3.3 Потери на фильтрацию определяются на характерных участках канала. При выборе участка канала для определения потерь воды на фильтрацию должны быть проведены натурные визуальные и инструментальные его обследования; определены геометрические параметры канала (продольный, поперечный профили участка канала), физико-механические и фильтрационные параметры грунта ложа участка канала (тип грунта основания, плотность сухого грунта, коэффициент пористости, влажность, сжимаемость, водопроницаемость, удельный вес и т. д.); гидравлические характеристики водного потока (расход, средняя скорость, живое сечение, смоченный периметр, гидравлический радиус).

3.4 Проведение измерений методом изолированного отсека может осуществляться в двух вариантах:

- после прекращения подачи воды в канал, при этом устройство отсека и измерения потерь осуществляются в самом русле канала;
- без остановки работы канала, в этом случае фильтрационные потери определяются в параллельном каналу отсеке.

3.5 Работы по определению потерь в русле канала должны выполняться после его полного опорожнения, когда он не эксплуатируется (в осенний период), или когда измерительный отсек расположен сразу после перегораживающего устройства на участке работающего канала, заполненного водой.

Подачу воды в измерительный отсек необходимо осуществлять с помощью насосных агрегатов, перекачивая ее из расположенных поблизости водоисточников (в том числе, и из канала выше перегораживающего устройства) или непосредственно из вышерасположенного работающего участка канала, заполненного водой.

3.6 Если установить измерительный отсек в русле канала не представляется возможным, когда канал находится в работе, то измерения необходимо выполнять в заблаговременно устроенном боковом параллельном каналу отсеке, который конструктивно выполнен так же как и участок работающего канала, на котором проводятся замеры фильтрационных потерь.

Боковой отсек устраивается средствами механизации, подача воды в него может осуществляться с использованием насосных установок, перекачивающих воду из канала.

Основным требованием к выбору местоположения бокового отсека является его выполнение в идентичных грунтовых условиях и с соблюдением аналогичных параметров поперечного сечения как в канале.

Преимуществом проведения измерений в боковом отсеке является отсутствие необходимости останавливать работу канала, кроме того определение потерь в отсеке можно проводить многократно и в любое время.

3.7 В обоих случаях производительность насосных установок, наполняющих измерительный отсек, подбирается в зависимости от объема воды в отсеке и предполагаемых потерь из него.

#### 4 Описание конструкции для определения потерь воды из канала методом изолированного отсека

4.1 Конструкция представляет собой две полимерные водонепроницаемые перемычки из бесшовной полимерной ткани, изготавливаемой по ТУ В.2.7.-21.1-34989706-001:2007 Материал целлюлозный волокнистый «Юнизол» толщиной 0,41–0,78 мм, которые на время определения фильтрационных потерь заделывают в пазы (10–15 см) на дне канала, на расстоянии 30–50 м.

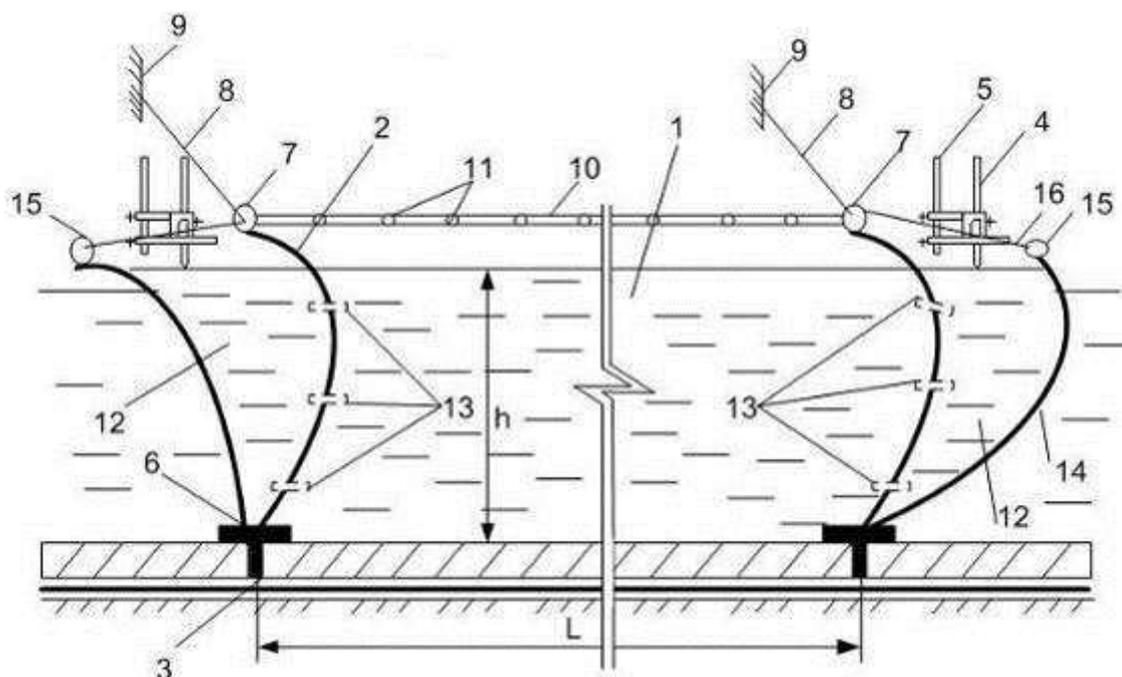
После установки перемычек в пазы, места стыка покрывают строительным силиконом для обеспечения гидроизоляции.

Сверху перемычки соединены с береговыми анкерами (например, из стали марки ст. 3 по ГОСТ 24379.0-2012 «Болты фундаментные. Общие технические условия» [8]) металлополимерными тросами (по ТУ 1259-002-25435667-

2005 «Трос металлполимерный. Технические условия» [9]) для обеспечения устойчивости. Так же поверху между бесшовными перемычками натянут светонепроницаемый тент из черного полиэтилена (по ГОСТ 16337-77 «Полиэтилен высокого давления, низкой плотности» [10]) для максимального уменьшения при замерах потерь на испарение ветрового волнения и поступления в отсек атмосферных осадков. Для повышения точности измерения уровня воды на изолированном отсеке используются специальные карманы с внешней стороны отсека, сообщающиеся через отверстия с отсеком.

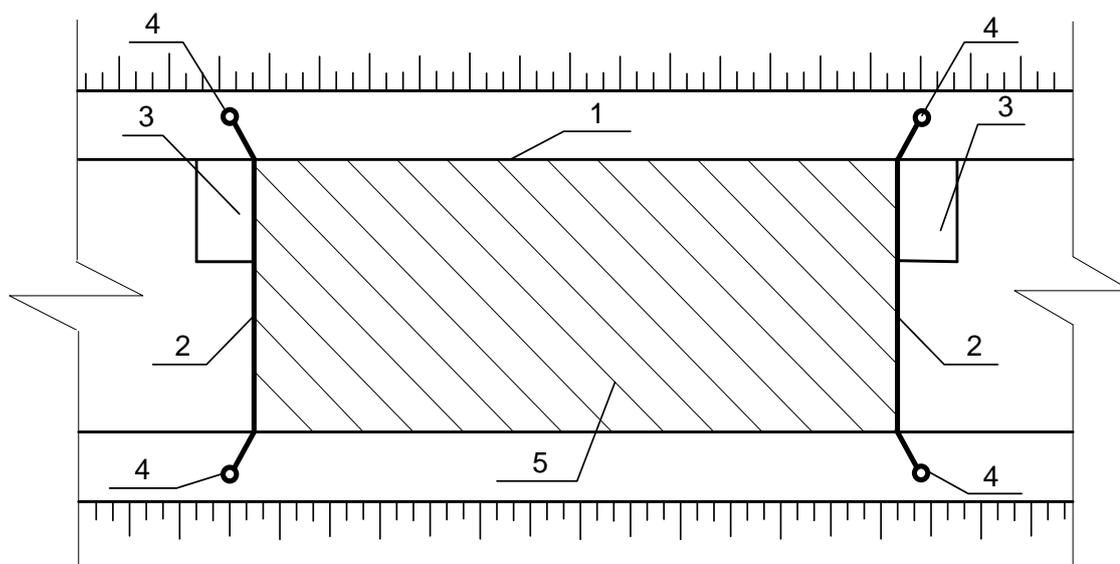
4.2 Для измерения уровня воды каждый карман оборудуется переносным игольчатым уровнемером (шпитценмасштабом) с ценой деления шкалы нониуса 0,1 мм, который закрепляется на металлической стойке, установленной в верхней части отсека выше измеряемого уровня воды.

На рисунках 1–3 показан изолированный отсек для определения фильтрационных потерь.



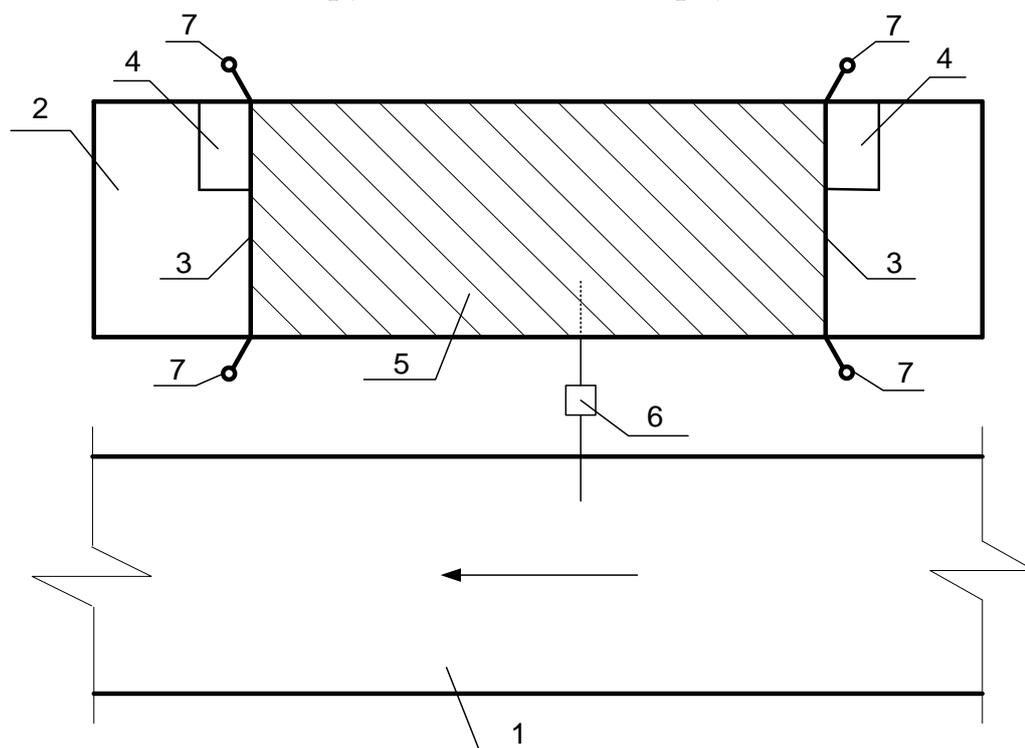
1 – отсек для измерения фильтрационных потерь; 2 – водонепроницаемая перемычка;  
 3 – паз; 4 – игольчатый уровнемер; 5 – металлическая стойка; 6 – гидроизоляция;  
 7 – отверстия; 8 – металлполимерный трос; 9 – анкерная опора; 10 – светонепроницаемая полимерная пленка; 11 – трос поперечный; 12 – карман; 13 – ряд отверстий; 14 – внешнее полотнище кармана; 15 – монтажные петли; 16 – трос

Рисунок 1 – Изолированный отсек для определения фильтрационных потерь



1 – отсек для измерения фильтрационных потерь; 2 – водонепроницаемая перемычка; 3 – карман; 4 – анкерная опора; 5 – светонепроницаемый тент

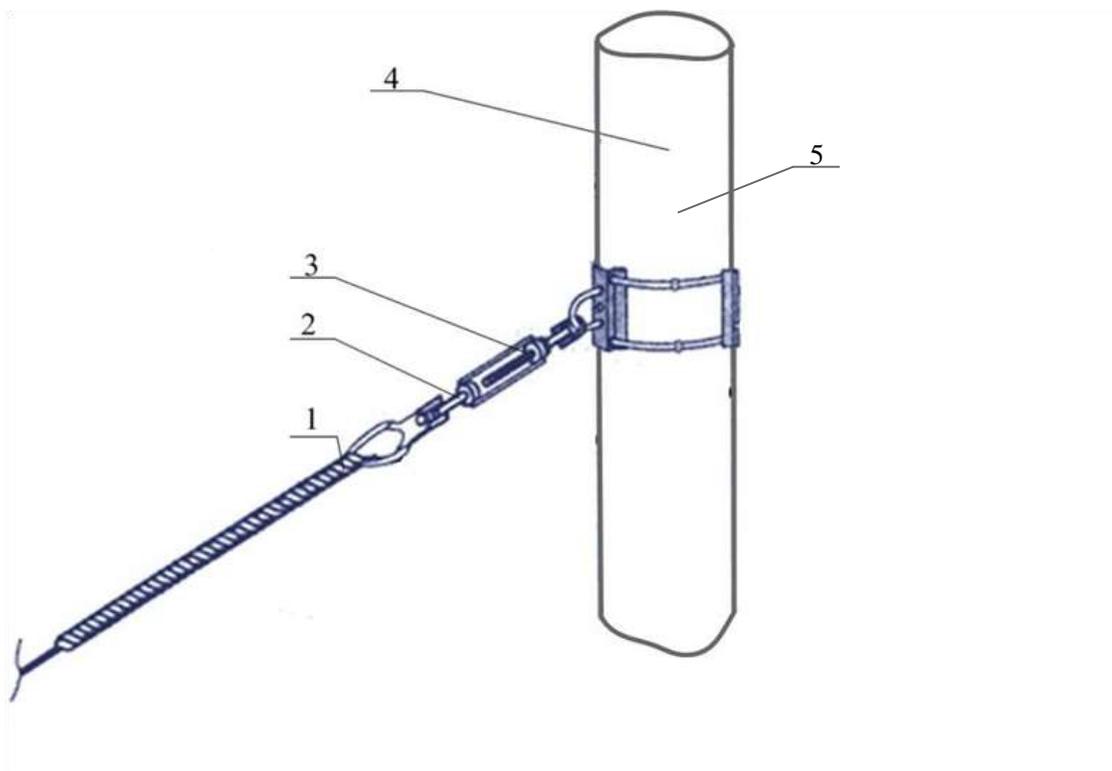
Рисунок 2 – Изолированный отсек для определения фильтрационных потерь в русле канала (вид сверху)



1 – русло канала; 2 – параллельный отсек для измерения фильтрационных потерь; 3 – водонепроницаемые перемычки; 4 – карманы; 5 – светонепроницаемый тент; 6 – насосная установка; 7 – анкерные опоры

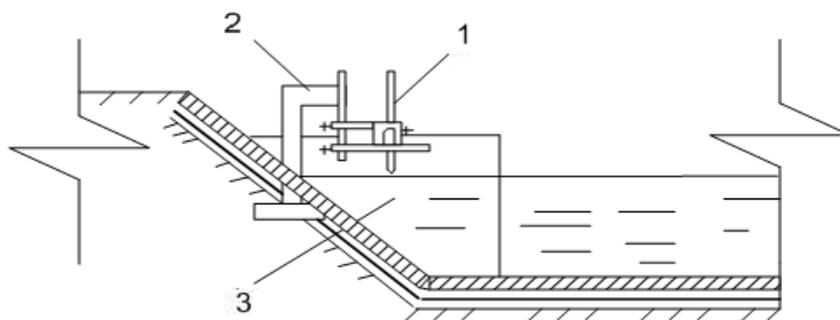
Рисунок 3 – Боковой отсек для определения фильтрационных потерь, расположенный параллельно каналу (вид сверху)

Узел крепления тросов с береговым анкером показан на рисунке 4. На рисунке 5 показано крепление игольчатого уровнемера к откосу канала.



1 – металлполимерный трос; 2 – коуш; 3 – талреп; 4 – береговой анкер;  
5 – хомут ленточный

Рисунок 4 – Узел крепления тросов с береговым анкером



1 – игольчатый уровнемер; 2 – металлическая стойка; 3 – карман

Рисунок 5 – Крепление игольчатого уровнемера к откосу канала

4.3 Применение предлагаемого способа определения потерь на фильтрацию из каналов позволит реализовать объемный метод с высокой точностью за счет уменьшения ошибки измерения до  $\pm(1-3) \%$  по сравнению с другими методами. Такое значительное повышение точности обеспечивается в результате замера уровня воды с помощью игольчатого уровнемера с точностью отсчета по шкале нониуса 0,1 мм вместо 1,0 мм по водомерной рейке, а также за счет исключения влияния волнения под действием ветра в изолированном от-

секе, отсутствия испарения с поверхности зеркала воды, которое находится под светопроницаемым тентом, где будет наблюдаться конденсация влаги, и исключения попадания атмосферных осадков непосредственно в отсек.

4.4 Технические характеристики тентовой ткани, применяемой для устройства перемычек, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические требования к тентовой ткани

Наименование параметра	Значение
Основа	лавсановая нить, полиэстер
Вид покрытия	ПВХ
Плотность материала, г/м <sup>2</sup>	630–900 г/м <sup>2</sup>
Прочность на растяжение (L/W), Н/5 см	2200/2000
Прочность на разрыв, (L/W), Н	310/250
Адгезивная прочность, Н/5 см	90
Температурный интервал, °С	от минус 45 до плюс 70
Размеры рулонов (ШхД), м	2,5×65

4.5 Строительный силикон, применяемый при производстве работ, должен обладать устойчивостью к старению, погодным условиям, УФ-устойчивостью, химстойкостью и термостойкостью до плюс 180 °С. При этом плотность герметика должна быть не меньше 1,03 г/см<sup>3</sup>, скорость твердения должна быть примерно 3 мм за 24 часа. Характеристики силиконового герметика после застывания приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики силиконового герметика после застывания

Наименование параметра	Значение
Растяжение на разрыв, МПа	0,6
Предел прочности для адгезива, Н/мм <sup>2</sup>	1,3
Среднее значение прочности на сдвиг, Н/мм <sup>2</sup>	0,8
Прочность на разрыв, Н/мм <sup>2</sup>	6
Содержание твердых частиц, %	100
Возможность покрытия краской	не окрашиваемый

4.6 Трос металлполимерный выпускается по ТУ 1259-002-25435667-2005 [9] и представляет собой латунированный металлотрос, покрытый пластиком ПВХ методом экструзии. Диаметр троса 2,5–8,0 мм, разрывное усилие 900–15000 Н. Покрытие троса ПВХ абсолютно безопасно для окружающей природной среды, кроме того, атмосферные осадки и климатические из-

менения температуры от минус 40 °С до плюс 50 °С фактически не влияют на эластичность и истираемость покрытия троса.

4.7 Светонепроницаемый тент, который натянут между перемычками, должен выполняться из черной пленки полиэтилена высокого давления. Технические характеристики полиэтиленовой пленки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики полиэтиленовой пленки высокого давления

Наименование показателя	Значение
Относительное удлинение при разрыве, %	
в продольном направлении	500
в поперечном направлении	522
Прочность при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	
в продольном направлении	150
в поперечном направлении	151
Паропроницаемость при (20+2) °С за 24 часа, г/см <sup>2</sup>	0,3
Температуроустойчивость, °С	от минус 40 до плюс 60
Толщина, мкм	80–400
Ширина	1500–3000 мм

## 5 Методика определения потерь воды на фильтрацию из канала

### 5.1 Выбор участка канала для определения фильтрационных потерь

Перед выбором участка для проведения измерений должны быть выполнены обследования условий работы канала. В процессе обследований выясняется:

- техническое состояние канала (зарастаемость, заиленность и т. д.);
- наличие проводимых мероприятий по снижению потерь (экранирование, облицовка русла и т. д.);
- режим грунтовых вод на приканальной территории.

По данным обследования производится выбор характерного участка канала, на котором необходимо определить величину потерь.

Если измерения необходимо провести в весенне-летний период и нет возможности опорожнить канал, то производится выбор участка для устройства бокового отсека для проведения измерений параллельного каналу.

В обоих случаях выбранный участок для бокового отсека на всем протяжении должен по возможности проходить в однородных грунтах и одинаковых условиях режима грунтовых вод, не иметь нерегулируемых водовыпусков и сбросов.

В случае наличия регулируемых водовыпускных сооружений до проведения измерений необходимо произвести закрытие и герметизацию затворов.

Основные требования, предъявляемые к участку канала или бокового отсека, предназначенного для проведения измерений, следующие: участок должен быть прямолинейным, с постоянной формой поперечного сечения, допускающей отклонения от средних геометрических размеров (ширины, строительной высоты русла, величины заложения откосов) не более  $\pm 2\%$ , с постоянным углом дна.

Минимальная допустимая длина прямолинейного участка определяется в зависимости от расхода воды в канале и ширины канала по верху ( $B$ ), и принимается по таблице 4.

Таблица 4 – Длина участка в месте расположения измерительного отсека

Максимальный расход воды в канале, м <sup>3</sup> /с	от 0,2 до 5	от 5 до 10	от 10 до 25
Минимальная допустимая длина прямолинейного участка	от $6B$ до $8B$	от $4B$ до $6B$	от $3B$ до $5B$

На участке должна быть исключена возможность зарастания и систематического заиления русла слоем толщиной более 2 % от нормальной глубины потока.

Участок должен быть доступен для проведения измерений, подъезда автотранспорта для перевозки обслуживающего персонала и оборудования и обеспечивать возможность подвода энергоснабжения и связи.

Величина относительных потерь  $\sigma$  ориентировочно определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m}, \quad (1)$$

где  $A$  – параметр, характеризующий величину процента потерь на километр длины канала;

$Q$  – расход канала, м<sup>3</sup>/с;

$m$  – параметр, характеризующий изменение потерь при отклонении пропущаемого расхода от единицы.

Параметры  $A$  и  $m$  приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры  $A$  и  $m$  для вычисления относительных потерь  $\sigma$

Грунты	$A$	$m$
Тяжелые (тяжелые суглинки и глины)	0,7	0,3
Средние (средние суглинки)	1,9	0,4
Легкие (супесь, легкие суглинки)	3,4	0,5

Длина участка канала (отсека) ограниченного перемычками, назначается из условия:

$$L \leq \frac{0,15h_n}{i}, \quad (2)$$

где  $h_n$  – бытовая глубина воды на участке при нормальном расчетном расходе, м;

$i$  – средний продольный уклон дна на участке.

## 5.2 Подготовительные работы

После выбора участка проведения измерений в канале или параллельном отсеке выполняются подготовительные работы, которые включают:

- съемку участка и его описание;
- оборудование участка для наблюдений и измерений;
- взятие образцов грунта в районе участка и проб донных отложений;
- установку гидрометрических реек.

Дополнительно к этому необходимо предусмотреть установку двух измерительных реек по длине отсека для наблюдения за изменением горизон-

тов воды с точностью до 1 мм. Положение нулей реек устанавливают нивелировкой.

Пробы грунта отбираются согласно ГОСТ 28168-89 [11]. Отбор проб при бурении скважины производится по всей ее глубине: при однородном грунте пробы берутся через каждый метр, при слоистом – в каждом заметном слое. В лабораторных условиях определяются механический состав грунта согласно ГОСТ 12536-2014 [12]. Если на всем протяжении участок канала проходит в условиях, исключающих возможность выклинивания в русле канала грунтовой воды, скважинами пользуются лишь для однократного взятия образцов грунта вдоль участка. Место и число скважин в этом случае определяется степенью разнообразия грунтов. Пробы донных отложений на всю их толщину отбираются донным щупом или отрывкой шурфов в осушенном канале с последующим определением их фракционного состава.

По результатам съемки заполненного отсека устанавливают его геометрические характеристики по створам в виде графиков зависимостей среднего смоченного периметра  $\chi_{cp}$  и ширины русла по урезу  $B_{cp}$  от отметки уровня воды в отсеке. Эти характеристики получают осреднением частных значений по створам поперечников. Затем строят аналогичные графики для смоченной поверхности  $P$  и площади зеркала воды  $\Omega$  для всего отсека. Шаг отметок при построении графиков принимается равным 0,1–0,5 м (в зависимости от глубины), а вычисления выполняются до четвертой значащей цифры. Смоченная поверхность и площадь зеркала воды в изолированном отсеке определяются по формулам:

$$P = \chi_{cp} \cdot L, \quad (3)$$

$$\Omega = B_{cp} \cdot L. \quad (4)$$

### 5.3 Порядок установки и монтажа конструкции изолированного отсека

Монтаж конструкции производится в следующей последовательности:

- средствами ручной механизации устраивают пазы на дне и откосах канала;

- на дамбах канала вручную монтируют анкерные опоры и производят закладку двух полимерных водонепроницаемых перемычек в пазы с последующей гидроизоляцией;

- металлополимерный трос продевают в отверстия на перемычках и закрепляют на анкерных опорах внатяжку, таким образом, две полимерные водонепроницаемые перемычки принимают устойчивое положение; перемычки при малой ширине канала (менее 7–10 м) допускается устраивать при помощи ручной лебедки (ЛР-1 или УТМ-0,8), при ширине канала более 10 м монтаж ведут малым бульдозером (ЭО-2621) или трактором малой мощности (например, ХТЗ-3510);

- между водонепроницаемыми перемычками натягивают тент из светонепроницаемой полимерной пленки, в которую заранее впаивают поперечные тросы, которые присоединяют при помощи хомутов к анкерным опорам, на дамбах канала;

- с внешней стороны каждой водонепроницаемой перемычки устраивают, изготовленные в заводских условиях карманы из полимерного материала, которые сообщаются с отсеком для определения фильтрационных потерь с помощью трех рядов отверстий в верхней, средней и нижней частях водонепроницаемой перемычки.

Внешнее полотнище кармана в верхней его части имеет монтажные петли, через которые оно закрепляется с перемычкой тросом к верхней его кромке в отверстиях.

После устройства измерительного отсека над каждым его карманом закрепляется игольчатый уровнемер.

#### 5.4 Порядок проведения измерений

После подачи воды в отсек необходимо убедиться в том, что величина потерь в нем стабилизировалась. Стабилизация потерь наступает, если при трех-четырех замерах скорость сработки горизонтов воды в отсеке (при расчетном наполнении) отличаются не более чем на 2 %. Промежуток времени между замерами назначается таким, чтобы от первого замера (с начала измерения) до второго замера уровень опускался на 2–3 % глубины при нормальном расчетном расходе канала. Время стабилизации потерь в каждом случае бывает разным. Если перед замерами по каналу несколько дней шла вода, стабилизация наступает практически сразу, в противном случае – через 3–5 суток.

Процесс стабилизации обусловливается переходом движения фильтрационного потока от неустановившегося к установившемуся и вытеснением воздуха из зоны аэрации [13].

По завершении процесса стабилизации потерь выполняют по три замера величины падения уровня воды  $\Delta h$  в обоих карманах за время  $t$ . Кроме того, потери воды в отсеках следует определять минимум для трех уровней, соответствующих максимальной (форсированной), нормальной и средне-минимальной глубинам воды, установившихся в канале при пропуске соответствующих расходов.

Замеры следует начинать после заполнения отсека до глубины, соответствующей глубине при пропуске по каналу форсированного расхода, и по мере снижения горизонтов воды выполнять их при других уровнях воды, соответствующих глубинам при пропуске по каналу нормального или минимального расхода.

Затем определяют удельный фильтрационный расход  $q_\phi$ , л/(сут·м), и осредненный коэффициент фильтрации облицовки  $k'_{обл}$ , см/с, по формулам:

$$q_\phi = \frac{Q_\phi}{L} = \alpha \frac{\Delta h}{t} (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2}); \quad (5)$$

$$k'_{\text{обл}} = \frac{q_{\phi} \delta_0}{(h_{\text{cp}} + \delta_0) \left( b + 2h_{\text{cp}} \sqrt{1 + m^2} \right)}, \quad (6)$$

где  $Q_{\phi}$  – суммарный фильтрационный расход из изолированного отсека длиной  $L$ , л/сут;

$L$  – длина изолированного отсека, м;

$\alpha$  – коэффициент соответствия размерностей,  $\alpha = 8,64 \cdot 10^4$  (л·с) / (сут·мм·м<sup>2</sup>);

$\Delta h$  – падение уровня в кармане, мм;

$t$  – время в течение которого происходит падение уровня воды на величину  $\Delta h$ , с;

$b$  – ширина канала по дну, м;

$h_{\text{cp}}$  – средняя глубина воды в изолированном отсеке, м;

$m$  – коэффициент заложения откосов;

$\delta_0$  – толщина облицовки, м.

Усредненный коэффициент фильтрации грунта основания для земляных русел каналов  $k_{\phi}$  определяется по формулам:

$$k_{\phi} = \frac{q_{\phi}}{B_{\text{cp}} + Ah_{\text{cp}}} \text{ при } b/h_{\text{cp}} > 4, \quad (7)$$

$$k_{\phi} = \frac{q_{\phi}}{\mu(B_{\text{cp}} + 2h_{\text{cp}})} \text{ при } b/h_{\text{cp}} < 4, \quad (8)$$

где  $B_{\text{cp}}$  – средняя ширина канала по верху, м;

$$B_{\text{cp}} = b + 2mh_{\text{cp}}, \quad (9)$$

$A$ ,  $\mu$  – коэффициенты, определяемые в зависимости от коэффициента заложения откосов  $m$  и отношения ширины канала по дну к средней глубины воды в изолированном отсеке  $b/h_{cp}$ .

Потери на фильтрацию  $S_{\phi}$ , л/с, для всего канала находятся для трех и более отсеков (в начале, в середине и в конце канала) с учетом общей длины канала  $L_k$ , м:

$$S_{\phi} = \frac{q_{\phi 1} + q_{\phi 2} + \dots + q_{\phi n}}{n} \cdot L_k, \quad (10)$$

где  $q_{\phi n}$  – удельный фильтрационный расход в  $n$ -ом отсеке, л/сут·м;

$n$  – количество отсеков, шт;

$L_k$  – длина канала, м.

Потери на испарение  $S_{и}$ , м<sup>3</sup>/с, рассчитываются по формуле А. Н. Костякова:

$$S_{и} = h_{cp} e (\beta + 2m) L_k, \quad (11)$$

где  $e$  – слой испарения, мм/сут.

$\beta$  – отношение ширины к глубине воды в канале;

Общие технические потери  $S_{п}$ , м<sup>3</sup>/с, из канала определяются по формуле:

$$S_{п} = S_{\phi} + S_{и}. \quad (12)$$

Технический КПД канала без учета потерь на сброс рассчитываем по формуле:

$$\eta = 1 - \frac{S_{п}}{Q}, \quad (13)$$

$Q$  – расход канала, м<sup>3</sup>/с.

Определение фильтрационных потерь методом изолированных отсеков можно выполнять двумя способами:

- определением объема призмы сработки по величине снижения уровня воды в отсеке;

- установлением количества воды, поданной в отсек, для поддержания в нем на период наблюдений заданного горизонта.

Объем фильтрационных потерь  $W_{\phi}$  принимается равным объему призмы сработки  $\Delta W$ , который определяют по величине снижения уровня воды  $\Delta h$  в отсеке за время  $t$  и вычисляют по формуле:

$$W_{\phi} = \Delta W = \Delta h \cdot \Omega . \quad (14)$$

Способ определения количества воды, поданной в отсек для поддержания заданных горизонтов, предполагает использование водомерных устройств, фиксирующих расход воды, подаваемой насосной установкой в отсек. По величине стока или среднему расходу за период наблюдений определяется объем или расход фильтрационных потерь.

Во время проведения исследований амплитуда колебания уровней по отношению к заданному горизонту воды должна быть в пределах  $\pm 1$  % от среднего наполнения. В случае, когда этого достичь не удастся, потери следует относить к средневзвешенному по времени наполнению отсека.

## 6 Обработка и оформление результатов

В целях единообразия и полноты наблюдений записи должны вестись по единой форме непосредственно сразу после каждого замера.

Записи данных полевых наблюдений и результатов их обработки ведутся по ведомости (приложение А), пригодной как для первого, так и второ-

го способов определения потерь методом изолированного отсека. Общими для указанных двух способов являются графы 1–5 и 8–11. Графа 6 заполняется при первом способе, графа 7 – при втором.

Объем призмы сработки  $\Delta W$  в отсеке (графа 6, приложение А) определяется по формуле (11); при установлении потерь воды вторым способом ему соответствует количество воды, поданной в отсек для поддержания в нем заданного горизонта (графа 7, приложение А).

Суммарные потери,  $\text{м}^3/\text{с}$ , (графа 9, приложение А) определяются по зависимости:

$$S = \frac{W_{\phi}}{60 \cdot t}, \quad (15)$$

где  $W_{\phi}$  –

$t$  – продолжительность периода наблюдений, мин (графа 3, приложение А).

Кроме определения абсолютных значений потерь на участке, в состав обработки материалов должно входить также определение удельных и относительных потерь:

- фильтрационные потери на один километр длины участка  $S_l$ , л/с, рассчитываются по формуле:

$$S_l = \frac{1000 \cdot S}{L}; \quad (16)$$

- на  $1000 \text{ м}^2$  площади смоченного ложа участка  $S_p$ , л/с, рассчитываются по формуле:

$$S_p = \frac{S \cdot 10^6}{\chi_i^{\text{сп}} \cdot b_i} = \frac{S \cdot 10^6}{P}, \quad (17)$$

где  $\chi_i^{\text{cp}}$  – средний смоченный периметр поперечников,

$$\chi_i^{\text{cp}} = \frac{\chi_1 \cdot \chi_2}{2}, \dots, \frac{\chi_{n-1} \cdot \chi_n}{2}, \quad (18)$$

где  $\chi_1, \chi_2, \chi_n$  – смоченный периметр поперечников, м;

$b_i$  – расстояние между поперечниками, м;

$P$  – смоченная поверхность участка, м<sup>2</sup>;

Данные, необходимые для определения смоченной поверхности участка канала и площади зеркала воды в отсеке, объединяются в таблице 6.

Таблица 6 – Данные, необходимые для определения смоченной поверхности дна, откосов участка канала, площади зеркала воды в отсеке

Номер определения потерь	Номер поперечника	Расстояние между поперечниками	Уровень воды в створе	Площадь живого сечения $F$ , м <sup>2</sup>	Ширина по урезу воды $B$ , м	Средняя глубина живого сечения $h_{\text{cp}}$ , м	Смоченный периметр $\chi$ , м
1	2	3	4	5	6	7	8

Потери определяются с точностью абсолютных и удельных величин до трех значимых цифр: относительных – до 0,1 % при величине их больше единицы и до 0,01 % при величине меньше единицы.

Обобщение результатов замеров производится в таблице 7.

Таблица 7 – Обобщение результатов замеров

Величина потерь на участке с ПК _____ по ПК _____, установленных методом изолированных отсеков						
Глубина воды, м	Расход канала, м <sup>3</sup> /с	Длина участка канала, км	Фильтр. расход на 1 км отсека, л/с	Относит. величина потерь $\sigma$ , %	Потери по длине участка, м <sup>3</sup> /с	КПД участка канала
1	2	3	4	5	6	7

Глубина воды принимается средней между приведенными уровнями воды в начале и в конце замера при отметке дна, средней для всех поперечников отсека.

Расход канала, соответствующий определенной глубине отсека, принимается по зависимости  $Q = f(H)$ , построенной для бытовых условий ис-

следуемого участка.

Потери по длине участка канала, на который распространяются результаты измерения потерь в отсеке, получают умножением величины потерь (графа 9, приложение А) на длину участка.

Коэффициент полезного действия участка канала определяется с точностью до 0,01 по формуле:

$$КПД = \frac{Q - S}{Q}. \quad (19)$$

По результатам наблюдений строится зависимость потерь и коэффициента полезного действия от расхода на участке канала (рисунок 6).

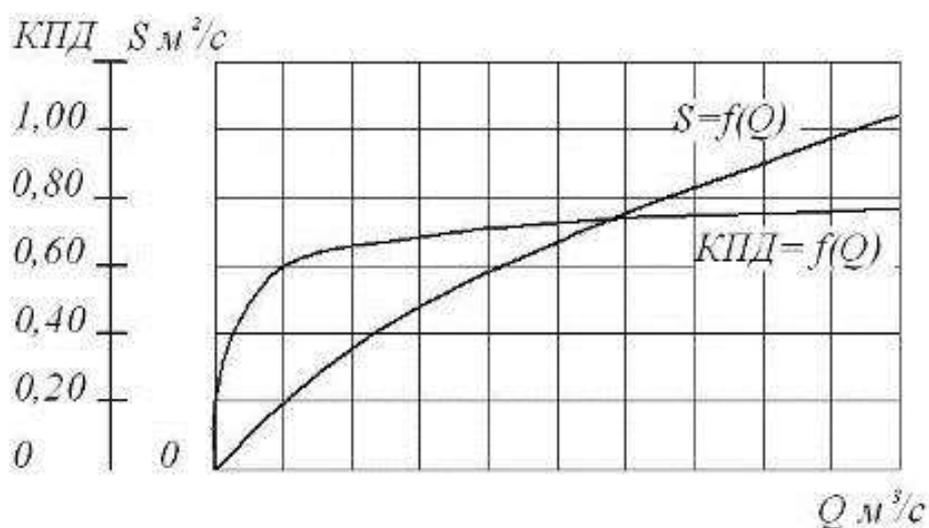


Рисунок 6 – График зависимости потерь и КПД от расхода

Примеры расчета потерь воды из облицованного и необлицованного каналов приведены в приложении Б.

## 7 Расчет погрешности измерений

Относительная погрешность определения потерь воды из канала для метода измерительных отсеков должна составлять  $\pm 2\%$ .

Значения основных погрешностей средств измерения времени (секундомеров)  $\delta_c$ , средств измерения линейных параметров (мерных лент или ру-

леток)  $\delta_b$ , а также средств измерения глубины потока  $\delta_n$  принимаются из паспортных данных. Пределы допускаемых основных погрешностей указанных средств измерений не должны превышать 0,1 %.

Предел допускаемой погрешности  $\delta_v$  привязки геодезических отметок дна измерительного участка в точках расположения измерительных средств к отметкам топографического репера и началу шкалы (нулю) уровнемеров должен составлять не более 0,5 %.

Предел систематической погрешности  $\delta_q$ , вызванной отклонением фактического значения уровня от определенного при конечном числе точек установки средств измерения уровня  $n$ , определяется по формуле:

$$\delta_q = 2 - \frac{n}{5}. \quad (20)$$

Относительные погрешности определения уровня воды  $\delta_{H(z)}$  определяются по формуле:

$$\delta_{H(z)} = \sqrt{\delta_y^2 + \delta_{vп}^2}, \quad (21)$$

где  $\delta_y$  – относительная погрешность уровнемерного устройства;

$\delta_{vп}$  – относительная погрешность привязки нуля уровнемерного устройства к отметке дна измерительного участка.

Величина основной погрешности средств измерений контролируемых параметров принимается из паспортных данных или свидетельств о поверках средств измерения уровня. В случае использования для определения одного параметра нескольких средств измерений, следует суммировать основные погрешности всех применяемых средств измерений.

Результаты определения фильтрационных потерь считаются положительными, если расчетная величина относительной среднеквадратической погрешности определения коэффициента фильтрации не превышает 2 % при

вероятности  $P = 95 \%$ .

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 О безопасности гидротехнических сооружений: Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ: по состоянию на 28 декабря 2013 г. // Гарант Эксперт 2014 [Электронный ресурс]. – НПП «Гарант-Сервис», 2014.

2 ГОСТ Р 51657.1-2000. Водоучет на гидромелиоративных и водохозяйственных системах. Способ измерения расходов воды с использованием ультразвуковых (акустических) измерителей скорости. Общие технические требования. – Введ. 2003-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.

3 ГОСТ 19179-73. Гидрология суши. Термины и определения. – Введ. 1975-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 36 с.

4 Рыбальский, Н. Г. Справочник: термины и определения в водном хозяйстве / Н. Г. Рыбальский [и др.]; под ред. Н. Г. Рыбальского, В. А. Омеляненко. – М.: НИА-Природа, 2013. – 466 с.

5 СП 100.13330.2012. Мелиоративные системы и сооружения (Актуализированная редакция СНиП 2.06.03-85). – Введ. 2012-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2012. – 96 с.

6 ГОСТ 19185-73. Гидротехника. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1975-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 34 с.

7 ГОСТ 26967-86. Гидромелиорация. Термины и определения. – Введ. 1987-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 11 с.

8 ГОСТ 24379.0-2012. Болты фундаментные. Общие технические условия. – Введ. 2013-07-01. – М.: Стандартиформ, 2013. – 12 с.

9 ТУ 1259-002-25435667-2005. Трос металлполимерный. Технические условия. – Введ. 2005-09-13. – М.: ПТИМАШ, 2005. – 12 с.

10 ГОСТ 16337-77. Полиэтилен высокого давления. – Введ.: 1979-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 44 с.

11 ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. – Введ.: 1990-01-04. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 7 с.

12 ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – Введ. 2015-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2015. – 18 с.

13 Макарычева, Е. А. О точности определения потерь воды из каналов / Е. А. Макарычева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2011. – № 5. – С. 38–40.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Форма ведомости измерения потерь воды методом изолированных отсеков

Оросительная система \_\_\_\_\_  
 Канал \_\_\_\_\_ участок \_\_\_\_\_

### ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ВОДЫ ОБЪЕМНЫМ СПОСОБОМ

Дата измерения \_\_\_\_\_

Отсек № \_\_\_\_\_ Местоположение ПК \_\_\_\_\_

Отметка нуля отсека \_\_\_\_\_ Отметка нуля уровнемера \_\_\_\_\_

Расход воды канала \_\_\_\_\_ м<sup>3</sup>/с

№ пробы воды \_\_\_\_\_

Мутность \_\_\_\_\_ Состав наносов по фракциям \_\_\_\_\_

Состояние грунта на дне канала (устойчивое, размываемое, заиляемое) \_\_\_\_\_

Тип водоподающей установки \_\_\_\_\_

Прибор или установка для измерения расхода воды, подаваемой в отсек \_\_\_\_\_

Площадь смоченной поверхности дна и откосов отсека за период измерений \_\_\_\_\_ м<sup>2</sup>

Площадь поверхности зеркала воды в отсеке за период измерения \_\_\_\_\_ м<sup>2</sup>

Средний приведенный уровень воды \_\_\_\_\_ м

Средняя глубина в отсеке ( $h_{cp}$ ) \_\_\_\_\_ м

Температура воздуха \_\_\_\_\_ °С

Температура воды \_\_\_\_\_ °С

Время наблюдения, ч, мин			Приведенный уровень		Объем призмы сработки, м <sup>3</sup>	Объем поданной в отсек воды, м <sup>3</sup>	Объем профильтрованной воды, м <sup>3</sup>	Потери из отсека, м <sup>3</sup> /с	Удельные потери, л/с	
Начало	Конец	Продолжительность наблюдений, ч.	В начале	В конце					На 1 км отсека	На 1000 м <sup>2</sup> смоченной поверхности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Примеры расчета потерь воды

Пример 1. Определить удельный фильтрационный расход, осредненный коэффициент фильтрации, суммарные фильтрационные потери на один километр длины участка и фильтрационные потери на 1000 м<sup>2</sup> площади смоченного ложа участка для облицованного канала трапециевидального сечения.

Исходные данные:  $Q = 3,06$  м<sup>3</sup>/с;  $L_k = 20$  км;  $\alpha = 8,64 \cdot 10^4$  (л·с)/(сут·мм·м<sup>2</sup>);  $\Delta h = 384$  мм;  $t = 8$  сут = 192 ч;  $b = 1,91$  м;  $h_{cp} = 1,38$  м;  $m = 1,5$ ;  $\delta_0 = 0,1$  м;  $A = 0,7$ ;  $m = 0,3$  (тяжелые грунты);  $h_n = 1,38$  м;  $i = 0,003$ ;  $\chi_{cp} = 6,89$  м;  $B_{cp} = 6,05$  м.

Решение. Определяем величину относительных потерь по формуле:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m} = \frac{0,7}{3,06^{0,3}} = 0,5 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Выбираем длину отсека из условия:

$$L \leq \frac{0,15h_n}{i};$$

$$L \leq \frac{0,15 \cdot 1,38}{0,003}; L \leq 69 \text{ м}.$$

Принимаем длину отсека  $L = 67$  м.

Находим удельный фильтрационный расход по формуле:

$$q_\phi = \frac{Q_\phi}{L} = \alpha \frac{\Delta h}{t} (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2}) =$$
$$= 8,64 \cdot 10^4 \cdot \frac{10}{18000} (1,91 + 2 \cdot 1,38 \sqrt{1 + 1,5^2}) = 330,14 \text{ л}/(\text{сут} \cdot \text{м}) = 0,330 \text{ м}^3/(\text{сут} \cdot \text{м}).$$

Находим осредненный коэффициент фильтрации облицовки по формуле:

$$k'_{обл} = \frac{q_\phi \delta_0}{(h_{cp} + \delta_0) (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2})} =$$
$$= \frac{330,5 \cdot 0,1}{(1,38 + 0,1) \cdot (1,91 + 2 \cdot 1,38 \sqrt{1 + 1,5^2})} = 0,00324 \text{ м}/\text{сут} = 3,7 \cdot 10^{-6} \text{ см}/\text{с}.$$

Определяем величину смоченной поверхности:

$$P = \chi_{cp} \cdot L = 6,89 \cdot 67 = 461,63 \text{ м.}$$

Рассчитываем площадь зеркала воды:

$$\Omega = B_{cp} \cdot L = 6,05 \cdot 67 = 405,35 \text{ м}^2.$$

Находим объем фильтрационных потерь по формуле:

$$W_{\phi} = \Delta W = \Delta h \cdot \Omega = 0,384 \cdot 405,35 = 155,65 \text{ м}^3.$$

Суммарные фильтрационные потери определяют по формуле:

$$S = \frac{W_{\phi}}{60t} = \frac{155,65}{192 \cdot 3600} = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с.}$$

Находим суммарные фильтрационные потери на один метр длины участка:

$$S_l = \frac{1000 \cdot S}{L} = \frac{1000 \cdot 2,25 \cdot 10^{-4}}{67} = 0,0034 \text{ л/с.}$$

Находим фильтрационные потери на 1000 м<sup>2</sup> площади смоченного лотка участка:

$$S_p = \frac{S \cdot 10^6}{\chi_i^{cp} \cdot b_i} = \frac{S \cdot 10^6}{P} = \frac{2,25 \cdot 10^{-4} \cdot 10^6}{461,63} = 0,487 \text{ л/с.}$$

Пример 2. Определить удельный фильтрационный расход, осредненный коэффициент фильтрации, потери на фильтрацию для всего канала и технический КПД канала в земляном русле трапецеидального сечения.

Исходные данные:  $Q = 3,06 \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $L_k = 8 \text{ км}$ ;  $\alpha = 8,64 \cdot 10^4 (\text{л} \cdot \text{с}) / (\text{сут} \cdot \text{мм} \cdot \text{м}^2)$ ;  $t = 18000 \text{ с}$ ;  $b = 2,5 \text{ м}$ ;  $e = 2,5 \text{ мм}$ ;  $m = 1,5$ ;  $i = 0,003$ ;  $L = 50 \text{ м}$ .

Первый отсек	$\Delta h = 768 \text{ мм}$ ; $t = 8 \text{ сут}$ ; $h_{cp} = 1,3 \text{ м}$ ; $A = 1,9$ ; $m = 0,4$ (средние суглинки); $\chi_{cp} = 7,19 \text{ м}$ ; $B_{cp} = 6,4 \text{ м}$ , $\mu = 0,78$
Второй отсек	$\Delta h = 729 \text{ мм}$ ; $t = 8 \text{ сут}$ ; $h_{cp} = 1,26 \text{ м}$ ; $A = 0,7$ ; $m = 0,3$ (тяжелые суглинки); $\chi_{cp} = 7,04 \text{ м}$ ; $B_{cp} = 6,28 \text{ м}$ , $\mu = 0,77$
Третий отсек	$\Delta h = 749 \text{ мм}$ ; $t = 8 \text{ сут}$ ; $h_{cp} = 1,15 \text{ м}$ ; $A = 3,4$ ; $m = 0,5$ (легкие суглинки, супесь); $\chi_{cp} = 6,64 \text{ м}$ ; $B_{cp} = 5,95 \text{ м}$ , $\mu = 0,85$

Решение. Определяем величину относительных потерь в первом отсеке:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m} = \frac{1,9}{3,06^{0,4}} = 1,21 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Находим удельный фильтрационный расход в первом отсеке по формуле:

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{L} = \alpha \frac{\Delta h}{t} (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2}) =$$

$$= 8,64 \cdot 10^4 \cdot \frac{768}{192 \cdot 3600} (2,5 + 2 \cdot 1,3 \sqrt{1 + 1,5^2}) = 689,28 \text{ л/(сут} \cdot \text{м)} = 0,689 \text{ м}^3\text{/(сут} \cdot \text{м)}.$$

Находим осредненный коэффициент фильтрации для первого отсека по формуле:

$$k_{\phi} = \frac{q_{\phi}}{\mu(B_{cp} + 2h_{cp})} \text{ при } b/h_{cp} < 4;$$

$$k_{\phi} = \frac{0,689}{0,78(6,4 + 2 \cdot 1,3)} = 0,098 \text{ м/сут.}$$

Определяем величину относительных потерь во втором отсеке:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m} = \frac{0,7}{3,06^{0,3}} = 0,5 \text{ м}^3\text{/с.}$$

Находим удельный фильтрационный расход во втором отсеке по формуле:

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{L} = \alpha \frac{\Delta h}{t} (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2}) =$$

$$= 8,64 \cdot 10^4 \cdot \frac{729}{192 \cdot 3600} (2,5 + 2 \cdot 1,26 \sqrt{1 + 1,5^2}) = 641,16 \text{ л/(сут} \cdot \text{м)} = 0,641 \text{ м}^3\text{/(сут} \cdot \text{м)}.$$

Находим осредненный коэффициент фильтрации для второго отсека по формуле:

$$k_{\phi} = \frac{q_{\phi}}{\mu(B_{cp} + 2h_{cp})} \text{ при } b/h_{cp} < 4;$$

$$k_{\phi} = \frac{0,641}{0,77(6,28 + 2 \cdot 1,26)} = 0,0095 \text{ м/сут.}$$

Определяем величину относительных потерь в третьем отсеке:

$$\sigma = \frac{A}{Q^m} = \frac{3,4}{3,06^{0,5}} = 1,94 \text{ м}^3\text{/с.}$$

Находим удельный фильтрационный расход в третьем отсеке по формуле:

$$q_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{L} = \alpha \frac{\Delta h}{t} (b + 2h_{cp} \sqrt{1 + m^2}) =$$

$$= 8,64 \cdot 10^4 \cdot \frac{749}{192 \cdot 3600} (2,5 + 2 \cdot 1,15 \sqrt{1 + 1,5^2}) = 590,49 \text{ л/(сут} \cdot \text{м)} = 0,590 \text{ м}^3/\text{(сут} \cdot \text{м)}.$$

Находим осредненный коэффициент фильтрации для третьего отсека по формуле:

$$k_{\phi} = \frac{q_{\phi}}{\mu(B_{cp} + 2h_{cp})} \text{ при } b/h_{cp} < 4;$$

$$k_{\phi} = \frac{0,590}{0,85(5,95 + 2 \cdot 1,15)} = 0,084 \text{ м/сут.}$$

Определяем потери на фильтрацию для всего канала:

$$S_{\phi} = \frac{0,689 + 0,641 + 0,590}{3} \cdot 8000 = 5120 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Потери на испарение рассчитываются по формуле А. Н. Костякова:

$$S_{и} = h_{cp} e(\beta + 2m)L_k = 1,24 \cdot 2,5(2,02 + 2 \cdot 1,5) \cdot 8000 = 124,5 \text{ м}^3/\text{сут.}$$

Общие технические потери из канала определяются по формуле (12):

$$S_{\Pi} = S_{\phi} + S_{и} = 5120 + 124,5 = 5244,5 \text{ м}^3/\text{сут} = 0,0607 \text{ м}^3/\text{с.}$$

Рассчитываем технический КПД канала без учета потерь на сброс:

$$\eta = 1 - \frac{S_{\Pi}}{Q} = 1 - \frac{0,0607}{3,06} = 0,98.$$