

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра «Техногенная безопасность и метрология»

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО СБРОСА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ВОЗВРАТНЫМИ ВОДАМИ ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН МОРЕЙ

Методические указания
к выполнению практической работы
по дисциплине «Системы защиты техносферы»
для студентов направления подготовки
20.03.01 «Техносферная безопасность»

Севастополь
СевГУ
2023

УДК [628.4.08:628.394(26)](076.5)

ББК 30.69:26.221я73

P24

Р е ц е н з е н т:

Д. Е. Сидоров – канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Технологии машиностроения»
Политехнического института СевГУ

Составители: Е.В. Буркова, Д.В. Бурков, Т.Ю. Хоменко

P24 Расчет предельно допустимого сброса загрязняющих веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей: методические указания к выполнению практической работы по дисциплине «Системы защиты техносферы» для студентов направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» / Севастопольский государственный университет, Политехнический институт, кафедра «Техногенная безопасность и метрология»; сост.: Е. В. Буркова, Д. В. Бурков, Т. Ю. Хоменко. – Севастополь: СевГУ, 2023. – 30 с. – Текст : электронный.

Предназначено для методического обеспечения дисциплины «Системы защиты техносферы».

Целью методических указаний является приобретение навыков расчета предельно допустимого сброса загрязняющих веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей по дисциплине «Системы защиты техносферы».

УДК [628.4.08:628.394(26)](076.5)
ББК 30.69:26.221я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Техногенная безопасность и метрология», протокол № 13 от 1 августа 2022 г.

.

СОДЕРЖАНИЕ

Цель практической работы.....	4
1. Краткие теоретические сведения.....	4
1.1. Сброс очищенных стоков в поверхностные водоемы.....	4
1.2. Процессы распределения сточных вод в водоемах и водотоках.....	7
1.3. Методические и организационные основы установления ПДС.....	8
2. Порядок проведения расчетов.....	9
2.1. Расчет предельно допустимого сброса загрязняющих веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей.....	9
2.2. Расчет величины кратности начального разбавления.....	11
2.3. Расчет величины кратности основного разбавления.....	13
3. Пример расчета ПДС загрязняющих веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей.....	17
4. Типовые задания для решения на занятии.....	21
5. Индивидуальные расчетно-практические задания.....	23
6. Содержание отчета.....	23
7. Контрольные вопросы.....	23
Библиографический список.....	25
Приложение А.....	26
Приложение Б.....	29

ЦЕЛЬ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Ознакомить студентов с методикой расчета допустимого сброса загрязняющих веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей.

В результате выполнения работы студент должен уметь самостоятельно рассчитывать предельно допустимый сброс веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Сброс очищенных стоков в поверхностные водоемы

Состояние морских экосистем является интегральным индикатором антропогенного воздействия на природные среды суши и моря вследствие хозяйственной деятельности человека и нерационального природопользования. При этом большая часть загрязняющих веществ рано или поздно попадает в прибрежные морские воды.

На экологическое состояние акватории Черного моря, в том числе севастопольских бухт, активное влияние оказывают сезонные и климатические изменения в частности: температурный режим, ветро-волновые условия, резкие колебания уровня моря, температуры воды, экстремальные похолодания или потепления, жестокие штормы. А также антропогенные факторы – техногенное загрязнение, зарегулирование Севастопольской бухты, аварийные и неаварийные сбросы промышленных и бытовых стоков.

Особо необходимо отметить значение бухт Севастополя. Свойства их вод определяются, прежде всего, стоком пресных вод (р. Черная, малые реки – река Балаклава и ручьи) в вершинные части бухт, а также ливневые стоки. Кроме этого на качество вод бухт влияет приток соленых морских вод через входные проливы. На формирование качества вод прибрежной полосы и бухт оказывают влияние атмосферные осадки, ливневые и техногенные стоки прилегающих к бухтам жилых кварталов города и предприятий Севастополя.

Таким образом, основными источниками загрязнения морской среды Севастопольского региона являются:

- городские промышленные и хозяйственно-бытовые стоки;
 - речной сток и подземные воды;
 - загрязнение от судоходства и базирования флотов;
 - сельскохозяйственные дренажно-сбросовые воды;
 - склоновые (ливневые) воды;
 - загрязнение из атмосферы;
 - загрязнение при рекреационном использовании прибрежной зоны;
 - поступление в регион из сопредельных районов (Бахчисарайского по рекам Кача и Бельбек);
 - вторичное загрязнение в следствии поступления донных осадков.
- Рассмотрим отдельные виды загрязнения.

Промышленные и хозяйственно-бытовые стоки.

Данный вид стоков является постоянным источником загрязнения прибрежных морских вод региона. Среднегодовой объем сброса сточных вод составляет 60 млн куб. м. Из них механическую очистку проходят около 44 млн куб. м (73 %), полную биологическую очистку – 7,8 млн куб. м (13 %), без очистки сбрасывается 8 млн куб. м. Без очистки сбрасываются хозяйственно-бытовые стоки Балаклавы – 3,3 млн куб. м в год и промышленные сточные воды Балаклавского рудоуправления – 1,1 млн куб. м в год.

Речной сток.

В прибрежные воды Севастопольского региона, в пределах административной границы, поступают стоки рек Альма, Кача, Бельбек и Черная, которые по физико-географическому положению относятся к рекам северо-западных и западных склонов Крымских гор. Воды этих рек находятся в зонах интенсивного сельскохозяйственного производства. Загрязнение речных вод происходит за счет поступления загрязняющих веществ с сельскохозяйственных полей, ливневого стока и с бытовыми сточными водами. Наибольшее влияние речной сток оказывает на полузамкнутые морские акватории – бухты.

Загрязнение от судоходства и базирования флотов.

Функционирование морских торгового (Севастопольская бухта) и рыбного (Камышовая бухта) портов, а также базирование Российского флота в городе определяет перечень проблем по защите акваторий бухт от загрязнения. Грузооборот торговых портов из года в год возрастает, при одновременном росте судозаходов только в севастопольский порт на 10 - 12 % ежегодно.

Корабли и суда военно-морских флотов должным образом не оборудованы закрытыми системами для сбора нефтесодержащих вод, хозяйственно-бытовых стоков и отходов жизнедеятельности, а также техническими средствами их очистки и переработки. По данным [4] ежедневно с каждого борта сбрасывается от 2,5 до 6 куб. м. неочищенных хозяйственно-бытовых стоков.

Склоновые (ливневые) воды.

Роль ливневых стоков в загрязнении прибрежной водной среды в Севастопольском регионе достаточно значительна. Загрязнение наблюдается по следующим показателям: взвешенные вещества, углеводороды, органические вещества, тяжелые металлы, биогенные элементы. Исходя из нормы атмосферных осадков для Севастополя 410 мм в год и состава ливневых вод, с 1 кв. км площади городской застройки в Севастопольскую бухту ежегодно поступает: углеводородов – 1,2 т; взвешенных веществ – 1680 т; фосфатов – 21,5 кг; нитратов – 47,6 кг. Данная оценка сугубо ориентировочная и заниженная.

Загрязнение из атмосферы.

На основании исследований проведенных ФГБУН Федеральным исследовательским центром «Морской гидрофизический институт РАН» (МГИ) показано, что вклад атмосферы для целого ряда элементов (никель, медь, и др.) сопоставим с вкладом в загрязнение речным стоком, а для некоторых элементов (свинец) превышает его. На 1 км² поверхности в районе Севасто-

поля за несколько дождливых дней поступило: нефтяных углеводородов – 560 г; меди – 840 г; марганца – 45 г; никеля – 300 г; кадмия – 13 г; цинка – 1390 г; ртути – 0,15 г. Таким образом даже эпизодические наблюдения свидетельствуют о значительной роли атмосферных осадков в загрязнении акваторий.

Загрязнение при рекреационном использовании прибрежной зоны.

На территории региона официально функционируют несколько пляжей – «Парк Победы», бухта Омега, «Солнечный», «Хрустальный», Учкуевка, Любимовка, которые соответствующим образом оборудованы. Контроль за санитарным состоянием береговой черты и прибрежных вод осуществляет городская СЭС. Качество морской воды контролируется по бактериологическим показателям. По наблюдениям, выполненным морским гидрофизическим институтом, установлено, что воды пляжной зоны в летний период характеризуются повышенным содержанием соединений азота (аммонийного, нитратного). Визуальные наблюдения показывают: пляжи являются постоянным источником загрязнения прибрежных вод хозяйственно-бытовым мусором, особенно пластиком. Средняя суммарная масса пластмассовых предметов составляла более 0,5 кг на 1 км берега. Таким образом, пляжные зоны в период их использования являются источником постоянного загрязнения прибрежных вод.

Около 92 % всех стоков города сбрасывается в Черное море и несмотря на то, что по материалам Водного кодекса РФ №122-ФЗ от 01.05.2022 г. запрещает сброс сточных вод в поверхностные водоемы без очистки [1], только 2 % из них очищены до нормативных значений. Объем стоков, сбрасываемых в малые реки региона – реку Черная и Бельбек, составляет соответственно 8 %.

Сброс нормативно очищенных, нормативно чистых, неочищенных и недостаточно очищенных вод в акваторию моря Севастопольского региона осуществляется из 55 стационарных выпусков вод (рис. 1). Учитывая постоянное расширение границ строительства и строительство новых объектов на территории города приведенная цифра постоянно меняется.



Рисунок 1 – Схема стационарных выпусков загрязненных сточных вод в акваторию моря Севастопольского региона и Крыма

Таким образом, сточные воды, поступающие после очистки в водоемы и водотоки, не являются абсолютно чистыми и годными для питьевых и прочих нужд населения. Причины такой ситуации в следующем: во-первых – очень высокая стоимость 100 % очистки сточных вод и во-вторых – отсутствие экономической и экологической необходимости в 100 % очистке стоков.

Поэтому, несмотря на очистку на канализационных очистных сооружениях часть стоков (процент очистки у каждого загрязняющего вещества свой) не очищаются, а сбрасываются в водоем или водоток.

Предельно допустимый сброс (ПДС) загрязняющих веществ в водные объекты согласно [3] устанавливается для каждого случая таким образом, чтобы поступления ингредиентов от данного источника и совокупности других источников, с учетом разбавления их в воде, не создавали концентрацию, превышающую предельно допустимую (ПДК) для внутреннего моря в контрольном отборе. Разработка и последующее утверждение нормативов ПДС в виде технического отчета, является документом, нормирующим сбросы загрязняющих веществ в водоемы, расположенные в регионе города и в случае необходимости предусматривающим мероприятия по достижению нормативного качества вод (не превышения ПДК).

1.2. Процессы распределения сточных вод в водоемах и водотоках

После обработки стоков в канализационных очистных сооружениях в соответствии с [2] процесс распределения загрязняющих веществ при сбросе сточных вод в прибрежную зону моря можно представить следующей схемой (рис. 2), включающей три зоны участка перемешивания:

- 1 зона – струйная инерционная зона начального смешения;
- 2 зона – выравнивания концентраций (в ней происходит трехмерная диффузия загрязняющего вещества, а при малой глубине – двухмерная);
- 3 зона – полного смешения (в ней происходит полная диффузия загрязняющего вещества).

Таким образом, загрязнители, попавшие в тот или иной район сброса, увлекаются течением и под влиянием турбулентного перемешивания распространяются в смежные струи потока. При этом происходит их разбавление, по мере удаления от места сброса и концентрации загрязняющих веществ постепенно снижаются. При наличии явлений самоочищения водоема, концентрации загрязнителей с увеличением расстояния приближаются к фоновым величинам.

Для дальнейшего изучения требований к разработке нормативов ПДС необходимо ознакомиться с применяемыми терминами и определениями, указанными в приложении А.

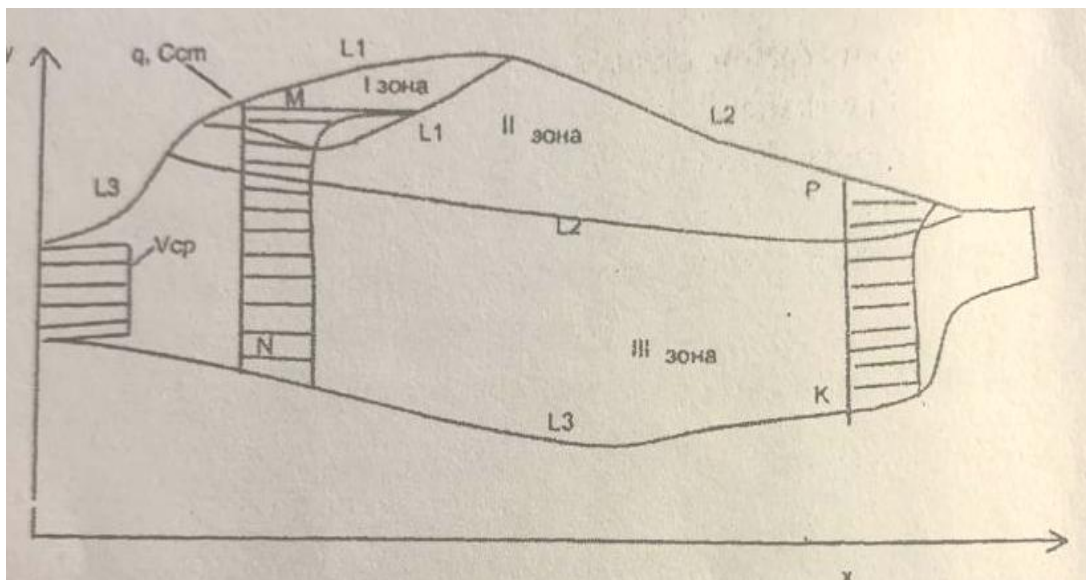


Рисунок 2 – Принципиальная схема распределения загрязняющих веществ при сбросе сточных вод в прибрежную зону моря:

$q, C_{см}$ – расход и концентрация загрязняющих веществ в сточных водах;
 $V_{ср}$ – средняя скорость течения воды моря в начальном сечении;
 L_1, L_2, L_3 – границы соответственно I, II, III зон смешения сточных вод;
 MN, PK – эпюры концентраций загрязняющих веществ в море

1.3. Методические и организационные основы установления ПДС

Сброс в водные объекты возвратных вод является одним из видов специального водопользования и осуществляется на основании разрешений, выдаваемых в установленном порядке органами Минприроды России.

Величины предельно-допустимого сброса загрязняющих веществ разрабатываются и утверждаются для действующих и проектируемых предприятий – водопользователей, имеющих (будут иметь) организованные сбросы возвратных вод из хозяйственного звена круговорота воды в природные звенья (морские) т.е. водные объекты.

Величины ПДС веществ устанавливаются для каждого отдельного выпуска возвратных вод в поверхностные и морские воды. Условием для определения предельно-допустимого сброса веществ является гарантия соблюдения норм качества воды в установленных контрольных створах.

К основным категориям возвратных вод, для которых устанавливаются величины ПДС, должны включать только те показатели вещества, присутствие которых связано в возвратных водах с деятельностью водопользователя. Сброс других веществ – запрещается. Для выпусков возвратных вод на «рельеф», откуда они не могут поступать в водные объекты, предельно допустимые сбросы веществ не разрабатываются. При спуске возвратных вод с плавсредств водного транспорта установление ПДС веществ не предусмотрено. При подаче сточных вод с предприятий, организаций на канализационные системы водопроводно-канализационного хозяйства (водоканалы) величины ПДС на эти стоки не устанавливаются. Ограничения на сброс этих

сточных вод определяются управлениями водоканалов, как первичными водопользователями [5].

Для действующих и проектируемых предприятий-водопользователей установленные ПДС веществ не должны превышать показателей сброса веществ, которые могут быть достигнуты при применении типового способа очистки этой категории возвратных вод. Например, для хозяйственно-бытовых вод – это уровень полной биологической очистки. Допустимые концентрации веществ в возвратных водах не должны назначаться меньше их нормативных значений для водоприемника (ПДК водоема). Соблюдение ПДС должно быть обеспечено с момента введения строящихся предприятий в эксплуатацию.

После установления предельно-допустимых сбросов веществ не допускается превышения утвержденного расхода возвратных вод. Кроме того, требуется соблюдение допустимых масс и концентраций загрязнителей при сбросе.

Величины ПДС и ВВС устанавливаются в граммах в час (г/час). Этим обеспечивается запрещение неравномерного (залпового) сброса веществ с возвратными водами. Величины ПДС и ВВС пересчитанные в тонны в год (т/год) являются оценочными и не должны рассматриваться в качестве нормативов сброса веществ. Установление ВВС веществ, как промежуточного этапа достижения ПДС, осуществляется на технологической основе. Временно согласованный сброс определяется из технических характеристик и регламентов технологии производства и работы водоохраных сооружений, а также с учетом других мероприятий по защите водного объекта, обеспечивающих поэтапное достижение предельно-допустимых сбросов веществ.

2. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТОВ

2.1. Расчет предельно допустимого сброса загрязняющих веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей

При расчете ПДС веществ с возвратными водами для прибрежных зон морей принимается, что все основные источники загрязнения гидросферы города сбрасывают сточные воды в прибрежную зону. Исключением является сброс стоков на реках. Учитывается, что в дальнейшем целесообразно, прежде всего, рассматривать загрязнение прибрежной зоны в районе города.

При расчете условий сброса сточных вод значение ПДС, г/ч определяют из выражения

$$\text{ПДС} = q \cdot C_{\text{пдс}}, \quad (1)$$

где q - максимальный часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$; $C_{\text{пдс}}$ - предельная допустимая концентрация загрязняющего вещества, $\text{г}/\text{м}^3$.

Для отдельного изолированного выпуска, удаленного от остальных на расстояние не менее 5 км вдоль линии берега, предельная допустимая кон-

центрация $C_{\text{пдс}}$ загрязняющего вещества в сточных водах рассчитывается по формуле

$$C_{\text{пдс}} = N(C_{\text{пдк}} - C_{\text{ф}}) + C_{\text{ф}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{пдс}}$ - то же, что в выражении (1); n - кратность общего разбавления сточных вод в море при их переносе течением от места выпуска до контрольного створа; $C_{\text{ф}}$ - расчетная фоновая концентрация вещества, определенная вне зоны выпуска возвратных вод (на расстоянии более 5 км), г/м³.

Кратность общего разбавления определяется по формуле

$$n = n_{\text{н}} \cdot n_{\text{о}}, \quad (3)$$

где $n_{\text{н}}$, $n_{\text{о}}$ - кратности, начального и основного разбавления соответственно.

Кратность общего разбавления зависит от гидрологических условий района расположения выпуска сточных вод и его конструктивных характеристик.

Кратность начального разбавления в зоне начального разбавления не зависит от типа выпуска (сосредоточенный или рассеивающий).

На процесс смешения сточных вод с водами моря в этой зоне решающее значение оказывают силы плавучести, если плотность сточных вод существенно отличается от плотности морской воды.

Методы определения кратности начального разбавления зависят от числа Фруда Fr , которое рассчитывают по формуле

$$Fr = \frac{V_{\text{св}}}{\sqrt{\frac{g \cdot d_0 \cdot |p_{\text{м}} - p_{\text{св}}|}{p_{\text{м}}}}}, \quad (4)$$

где g - ускорение свободного падения, м/с²; d_0 - диаметр выпускного отверстия, м; $p_{\text{м}}$ - плотность морской воды в месте сброса, т/м³; $p_{\text{св}}$ - плотность сточной воды, т/м³; $V_{\text{св}}$ - скорость вытекания сточной воды из отверстия, м/с.

Значение $V_{\text{св}}$ находят из соотношения:

$$V_{\text{св}} = \frac{4 \cdot q}{N_{\text{отв}} \cdot \pi \cdot d_0^2}, \quad (5)$$

где q - расход сточных вод, м³/с; $N_{\text{отв}}$ - количество выпускных отверстий оголовка выпуска (для сосредоточенного выпуска $N_{\text{отв}} = 1$).

Для выпуска со свободной поверхностью (лоток, канава, выпуск над поверхностью воды) $V_{\text{св}}$ принимается по данным фактических измерений, а за d_0 принимается диаметр выпускного отверстия

$$d_0 = \left[\frac{q}{\pi \cdot V_{\text{св}}} \right]^{0,5}. \quad (6)$$

2.2. Расчет величины кратности начального разбавления

Варианты расчета.

Задача 1. Сточная вода легче морской воды ($\rho_{\text{св}} < \rho_{\text{м}}$) и выполняется условие:

$$Fr \leq 1,12 \cdot \frac{H_{\text{в}}}{d_0}, \quad (7)$$

где $H_{\text{в}}$ - расстояние по вертикали от оголовка выпуска до поверхности моря, м; Fr - число Фруда, определяется по формуле (4).

В этом случае, расчет кратности начального разбавления $n_{\text{н}}$ проводят по следующей формуле:

$$n_{\text{н}} = 0,54 \cdot Fr \cdot \left[\frac{0,38 \cdot H}{d_0 \cdot Fr} + 0,66 \right]^{1,67}. \quad (8)$$

В выражении (8) используются те же обозначения, что и в неравенстве (7).

Задача 2. Сточная вода тяжелее морской ($\rho_{\text{св}} > \rho_{\text{м}}$) и выполняется условие

$$Fr \leq \frac{0,434 \cdot H_{\text{в}}}{d_0 \cdot (\sin X)^{1,5}}, \quad (9)$$

где X - угол вытекания потока сточных вод из выпускного отверстия относительно горизонта, град; F_1 , $H_{\text{в}}$, d_0 - то же, что и в неравенстве (7).

Определение величины $n_{\text{н}}$ проводят по формуле

$$n_{\text{н}} = 0,524 \cdot (\sin X)^{0,5} \times (1 - 0,06316 \cdot \sin^2 X - 0,1583 \cdot \sin^4 X), \quad (10)$$

где X - то же, что и в неравенстве (9).

Задача 3. Сточная вода легче морской воды ($\rho_{\text{св}} < \rho_{\text{м}}$), но не выполняется условие (7) или сточная вода тяжелее морской воды ($\rho_{\text{св}} \geq \rho_{\text{м}}$), но не выполняется условие (9) или плотность сточной воды равна плотности морской воды в месте сброса ($\rho_{\text{св}} = \rho_{\text{м}}$).

Расчет кратности начального разбавления производится в несколько этапов.

На первом этапе рассчитывается величина:

$$\Delta V = 0,15 \cdot (V_{\text{св}} - U_{\text{м}}), \quad (11)$$

где $V_{\text{св}}$ - скорость вытекания сточной воды из отверстия, м/с; $U_{\text{м}}$ - скорость морского течения, м/с.

На втором этапе определяется диаметр загрязнения пятна d , м, в этом створе:

$$\chi = \frac{1,972 \cdot d_0}{\left[\frac{(1-m) \cdot \Delta V^2}{1,92} + m \cdot \Delta V \right]^{0,5}}, \quad (12)$$

где ΔV - величина, определяемая равенством (11); m - величина, рассчитываемая по формуле

$$m = \frac{U_m}{V_{св}}, \quad (13)$$

где U_m , $V_{св}$ то же, что в выражении (11).

Если $d > H_{ср}$ - средняя глубина моря вблизи выпуска, то считают, что $d = H_{ср}$ и окончательно расчет кратности начального разбавления n_n проводят по формуле

$$n_n = \frac{0,248}{1-m} \cdot d^2 \cdot \left[\sqrt{\frac{m^2 + 8,1 \cdot (1-m)}{d^2}} - m \right], \quad (14)$$

где m - величина, рассчитываемая по формуле (13); $\bar{d}$ - безразмерная величина, определяемая отношением $\bar{d} = d/d_0$; d - диаметр загрязненного пятна, м.

Задача 4. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{отв} > 1$ и расстояние между отверстиями l_1 меньше значения d .

Вначале рассчитывается величина:

$$n_{hl} = \frac{n}{(N_{отв})^{0,5}}, \quad (15)$$

где n - кратность общего разбавления сточных вод в море при их переносе течением от места выпуска до контрольного створа, рассчитываемая по формуле (3).

Далее определяется значение n_{h2} , для чего используется формула (14).

Окончательно за расчетное n_n принимают наибольшее из значений n_{h2} или n_{h1} .

Задача 5. В условиях постоянной плотности стратификации морской среды высота затопления потока сточных вод над выпуском H_3 меньше расстояния от выпуска до поверхности моря H_B .

В этом случае в зависимостях (7), (8) и (9), вместо H_B , следует подставлять величину H_3 . Указанная величина для постоянных градиентов плотности в линейно-стратифицированном потоке рассчитывается по формуле

$$H_3 = 8,92 \cdot (1 - 0,93 \cdot U_m^{0,4}) \cdot \left[\frac{q \cdot (\delta_r - \delta_B) / N_{отв}}{g^{0,5} \cdot [(\delta_r - \delta_n) / H_B]^{1,5}} \right]^{0,23}, \quad (16)$$

где U_m - скорость морского течения м/с; q - расход сточных вод, м³/с; g - ускорение свободного падения, м/с²; δ_r , δ_n - условные плотности морской воды, соответственно на глубине выпуска и на поверхности моря кг/м³; δ_B - ус-

ловная плотность сточной воды $\delta_{\text{в}} = (\rho - 1) \cdot 10^3$, кг/м³; ρ - относительная плотность морской или сточной воды, кг/м³; $H_{\text{в}}$ - расстояние по вертикали от оголовка выпуска до поверхности моря, м; $N_{\text{отв}}$ - количество выпускных отверстий оголовка выпуска, шт.

Если согласно расчету $n_{\text{Н}} < 1$, то необходимо принимать $n_{\text{Н}} = 1$.

2.3. Расчет величины кратности основного разбавления

Расчеты кратности основного разбавления n_0 основываются на решении уравнения турбулентной диффузии и могут производиться численными или аналитическими методами. Однако вычисление величины n_0 для сосредоточенного выпуска в море сточных вод вызывает определенные трудности и выполняется другими способами.

Учитывая сказанное, различные варианты расчета величины кратности основного разбавления целесообразно также рассмотреть на конкретных задачах.

Варианты расчета.

Задача 1. Сосредоточенный выпуск сточных вод. Кратность основного разбавления рассчитывается из выражения

$$n_0 = \frac{\Phi(Z_1)}{Y_0 \cdot Z_2}, \quad (17)$$

где $\Phi(Z_1)$ - функция, которая может принимать следующие два значения: $\Phi(Z_1) = Z_1$, если $Z_1 \leq 1$; $\Phi(Z_1) = Z_1^{0,5}$, если $Z_1 > 1$; Z_1 - безразмерная величина, вычисляемая по формуле

$$Z_1 = \frac{1 + X_0}{X^0}, \quad (18)$$

где X^0, X_0 - параметры сопряжения, м; Y_0 - параметр влияния ближайшего берега на кратность основного разбавления; Z_2 - параметр, определяемый из уравнения

$$Z_2 = \frac{q \cdot n_{\text{Н}} \cdot D_{\text{в}}^{0,5}}{U_{\text{м}} \cdot H^2 \cdot D_{\text{г}}^{0,5}}, \quad (19)$$

где q - расход сточных вод, м³/с; $n_{\text{Н}}$ - кратность начального разбавления; $U_{\text{м}}$ - скорость морского течения, м/с; H - средняя глубина моря в районе выпуска, причем $1,5 \leq H \leq 50$ м; $D_{\text{в}}$ - коэффициент вертикальной турбулентной диффузии, м²/с; $D_{\text{г}}$ - коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии, м²/с.

Параметр сопряжения X рассчитывается по формуле

$$X^* = \frac{U_{\text{м}} \cdot H^2}{4\pi \cdot D_{\text{в}}}, \quad (20)$$

где $U_{\text{м}}, H, D_{\text{в}}$ - то же, что в выражении (19).

Значение параметра X_0 находится в зависимости от величины Z_2 .

Если $Z_2 \geq 1$, то

$$X_0 = Z_2^2 \cdot X^* - l_n, \quad (21)$$

где Z_2 - параметр, определяемый из уравнения (19); X^* - то же, что в выражении (20); l_n - длина начального участка разбавления, м.

Если $Z_2 < 1$, то

$$X_0 = Z_2 \cdot X^* - l_n. \quad (22)$$

В равенстве (22) используются те же обозначения, что и в формуле (21).

Параметр влияния ближайшего берега на кратность основного разбавления вычисляют из уравнения:

$$Y_0 = 1 + EXP\left(\frac{-U_m \cdot l_0^2}{D_r \cdot (1 + X_0)}\right), \quad (23)$$

где U_m , D_r - то же, что в выражении (19); X_n - параметр сопряжения, рассчитывается по формулам (21) или (22); l - расстояние от места выпуска до контрольного створа, м; l_0 - расстояние от места выпуска до ближайшего берега, м.

Длина начального участка разбавления l_n в равенстве (24) определяется из выражения:

$$l_n = \frac{d - d_0}{0,48 \cdot (1 - 3,12 \cdot m)}, \quad (24)$$

где d , d_0 - то же, что в отношении (14); m - величина, рассчитываемая по формуле (13).

Коэффициент вертикальной турбулентной диффузии D_v , м²/с определяется зависимостью:

$$D_v = C_0 + C_1 \cdot V + C_2 \cdot H + C_4 \cdot H + C_5 \cdot V \cdot H + C_6 \cdot V^2 \cdot H + C_7 \cdot V \cdot H^2, \quad (25)$$

где V - характерная минимальная скорость ветра в поверхностном слое атмосферы 95 % обеспеченности (определяется по данным гидрометеослужбы), м/с; H - средняя глубина моря в районе выпуска, причем $1,5 \leq H \leq 50$ м; $C_0 \dots C_7$ - коэффициенты, определяемые по таблице 1.

Коэффициент горизонтальной турбулентности диффузии D_r , м²/с описывается уравнением:

$$D_r = 0,032 + 21,8 \cdot U_m^2, \quad (26)$$

где U_m - характерная минимальная скорость морских течений. Определяется гидрометеослужбой в контрольных створах исследуемого объекта.

При отсутствии статистических данных значение U_m определяется следующим образом. Если объем сброса стоков менее 10 млн м за год, тогда:

$$U_m = 0,015 \cdot V, \quad (27)$$

где V – то же, что и в зависимости (25).

Кроме того, величину U_m вычисляют из выражения, полученного А. Г. Тарнопольским:

$$U_m = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot H + a_3 \cdot V^2 + a_5 \cdot V \cdot H + a_6 \cdot V^2 \cdot H + a_7 \cdot V \cdot H^2, \quad (28)$$

где $a_0 \dots a_7$ - коэффициенты, определяемые по таблице 1; V , H - то же, что и в зависимости (25).

Уравнение (28) построено на базе математической модели ветровой циркуляции в северо-западной части Черного моря для диапазонов скорости ветра $2,0 \leq V \leq 20$ м/с и средних глубин моря $1,5 \leq H \leq 50$ м.

При использовании формулы (24) необходимо учитывать следующее. Если сточная вода легче морской ($\rho_{св} \leq \rho_m$), и выполняется условие (7), то выражение для l_n принимает вид

$$l_n = H, \quad (29)$$

где H – то же, то и в зависимости (25).

Таблица 1 – Значения коэффициентов для уравнений (25) и (26)

Индекс i	Коэффициенты			
	Скорость ветра ≤ 6 м/с		Скорость ветра > 6 м/с	
	a_i	C_i	a_i	C_i
0	$3,613 \times 10^{-2}$	$5,994 \times 10^{-4}$	$-2,909 \times 10^{-2}$	$4,430 \times 10^{-2}$
1	$-2,751 \times 10^{-3}$	$5,347 \times 10^{-4}$	$2,661 \times 10^{-2}$	$-1,029 \times 10^{-2}$
2	$1,108 \times 10^{-2}$	$-3,681 \times 10^{-4}$	$2,913 \times 10^{-3}$	$1,296 \times 10^{-4}$
3	$1,461 \times 10^{-3}$	$-1,469 \times 10^{-4}$	$3,408 \times 10^{-4}$	$5,905 \times 10^{-4}$
4	$9,729 \times 10^{-6}$	$5,669 \times 10^{-6}$	$1,235 \times 10^{-4}$	$-3,024 \times 10^{-4}$
5	$-7,189 \times 10^{-3}$	$1,426 \times 10^{-4}$	$-5,896 \times 10^{-4}$	$1,608 \times 10^{-4}$
6	$9,925 \times 10^{-4}$	$2,276 \times 10^{-6}$	$2,949 \times 10^{-6}$	$-1,160 \times 10^{-6}$
7	$-3,875 \times 10^{-6}$	$-2,401 \times 10^{-6}$	$4,070 \times 10^{-7}$	$3,057 \times 10^{-6}$

Если сточная вода тяжелее морской ($\rho_{св} \geq \rho_m$) и выполняется условие (9), то величину l_n рассчитывают по формуле

$$l_n = 5,36 \cos X \cdot (\sin X)^{0.5} \cdot Fr \cdot d_0, \quad (30)$$

где X , Fr , d_0 - то же, что и в неравенстве (9).

Непосредственно формула (24) применяется для случая, когда $\rho_{св} < \rho_m$, но не выполняется условие (7) или $\rho_{св} \geq \rho_m$, но не выполняется условие (9), либо $\rho_{св} = \rho_m$.

Зависимости, приведенные в задаче 1, используются в том случае, если сточные воды переносятся течением от места сброса до контрольного створа вдоль берега.

При произвольном направлении течения, зависимость (23) упрощается и принимает вид:

$$y_0 = 1, \quad (31)$$

В отличие от водотоков и водоемов эффект самоочищения для прибрежной зоны моря эквивалентен дополнительному разбавлению сточных вод. Поэтому при расчете концентрации неконсервативного вещества для вычисления кратности основного разбавления вместо формулы (17) используется выражение:

$$n_0 = \frac{\Phi(z_1)}{y_0 \cdot z_2} \cdot \exp \left[\frac{K \cdot (1+x_0)}{86400 \cdot U_m} \right], \quad (32)$$

где $\Phi(z_1)$, y_0 , z_2 - то же, что в уравнении (17); K - коэффициент, учитывающий неконсервативность веществ, 1/сутки; X_0 - то же, что в зависимостях (21) и (22); U_m - скорость морского течения, м/с.

Задача 2.

Рассеивающий выпуск. Направление течения перпендикулярно оси оголовка. Количество отверстий – $N_{отв}$.

В расчетах кратности основного разбавления стоков для линейных рассеивающих выпусков необходимо учитывать влияние смежных потоков сточных вод в зоне основного разбавления, которое ослабляет эффект смешения.

Кратность основного разбавления зависит от величины η .

Значение этой величины вычисляется по формуле

$$\eta = \frac{l_1}{\left[\frac{Dr \cdot (1-l_n)}{U_m} \right]^{0.5}}, \quad (33)$$

где l_1 - расстояние между выпускными отверстиями, м; l_n - длина начального участка разбавления, м; l - расстояние от места выпуска до контрольного

створа, м; U_m - скорость морского течения, м/с; D_r - коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии, м²/с.

Если $\eta > 4$, тогда кратность *основного разбавления стоков* находят по формуле

$$n_0 = \frac{\eta}{\eta - 2,26}. \quad (34)$$

В случае, когда $\eta \leq 4$, то значение n_0 вычисляют по формуле

$$n_0 = \max \left(2 \text{ или } \frac{7,09}{n_0 - \eta} \right). \quad (35)$$

Задача 3.

Линейный рассеивающий выпуск. Направление течения вдоль оси выпуска. В этом случае кратность основного разбавления определяется зависимостью:

$$n_0 = \left[\sum_{i=1}^{n_{отв}} \left(\frac{l_i}{n_{0i}} \right) \right]^{-1}, \quad (36)$$

где n_{0i} - кратность разбавления сточных вод, вытекающих из i -го выпускного отверстия с расходом $q_i = \frac{q}{N_{отв}}$ на расстоянии l_i от контрольного створа; $N_{отв}$ - количество отверстий в выпускном оголовке.

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПДС ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ С ВОЗВРАТНЫМИ ВОДАМИ ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН МОРЕЙ

Исходные данные.

Выпуск сточных вод сосредоточенный. Максимальных расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,1$ м³/с. Предельно-допустимая концентрация (ПДК) загрязняющих веществ: органические вещества $ПДК_{БПК5} = 3$ г/м³; азот аммонийный $ПДК_{аз.амм} = 0,5$ г/м³; взвешенные вещества $ПДК_{взв.в-в} = 3$ г/м³. Фоновые величины концентраций загрязняющих веществ в море: $C_{фБПК5} = 1$ г/м³; $C_{фазамм} = 0,02$ г/м³; $C_{фвзвв-в} = 0,2$ г/м³. Диаметр выпускного отверстия $d_0 = 0,3$ м. Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с². Плотность морской воды в месте сброса $\rho_m = 1,012$ т/м³. Плотность сточных вод $\rho_{св} = 0,999$ т/м³. Расстояние по вертикали от оси выпуска до поверхности моря $H_v = 2,2$ м. Средняя глубина моря вблизи выпуска $H = 10$ м. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{отв} = 1$ шт. Минимальная скорость ветра в поверхностном слое атмосферы $V = 6$ м/с. Расстояние от места выпуска до контрольного створа $l = 250$ м. Расстояние от места выпуска до ближайшего берега $l_0 = 1$ м.

Выпуск – изолированный и удален от остальных выпусков на расстояние не менее 5 км вдоль линии берега.

Требуется рассчитать кратности основного и начального разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутренне море Крыма и величину предельно-допустимого сброса загрязняющих веществ в сточных водах.

Проведение расчетов.

Расчет кратности начального разбавления. Методы определения кратности начального разбавления зависят от числа Фруда Fr , которое рассчитывают по формуле (4):

$$Fr = \frac{V_{св}}{\sqrt{\frac{g \cdot d_0 \cdot |\rho_M - \rho_{св}|}{\rho_M}}} = \frac{1,42}{\sqrt{\frac{9,81 \cdot 0,3 \cdot |1,012 - 0,999|}{1,012}}} = 7,32,$$

где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ - ускорение свободного падения; $d_0 = 0,3 \text{ м}$ - диаметр выпускного отверстия; $\rho_M = 1,012 \text{ т/м}^3$ - плотность морской воды в месте сброса; $\rho_{св} = 0,999 \text{ т/м}^3$ - плотность сточной воды; $V_{св}$ - скорость вытекания сточной воды из отверстия определяется по формуле (5):

$$V_{св} = \frac{4 \cdot q}{N_{отв} \cdot \pi \cdot d_0^2} = \frac{4 \cdot 0,1}{1 \cdot 3,14 \cdot 0,3^2} = 1,42 \text{ м/с},$$

где $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ - максимальный расход сточных вод; $N_{отв} = 1$ - количество выпускных отверстий оголовка выпуска; $d_0 = 0,3 \text{ м}$ - диаметр выпускного отверстия, м.

Учитывая, что сточная вода легче морской воды ($\rho_{св} < \rho_M$) и выполняется условие представленное в формуле (7):

$$Fr \leq 1,12 \cdot \frac{H_E}{d_0},$$

где $H_E = 2,2 \text{ м}$ - расстояние по вертикали от оголовка выпуска до поверхности моря; $d_0 = 0,3 \text{ м}$ - диаметр выпускного отверстия, м.

$$7,32 < 1,12 \cdot \frac{2,2}{0,3} = 8,21.$$

Расчет кратности начального разбавления проводят по формуле (8):

$$n_H = 0,54 \cdot Fr \cdot \left[\frac{0,38 \cdot H_E}{d_0 \cdot Fr} + 0,66 \right]^{1,67} = 0,54 \cdot 7,32 \cdot \left[\frac{0,38 \cdot 2,2}{0,3 \cdot 7,32} + 0,66 \right]^{1,67} = 4,2.$$

Расчет кратности основного разбавления. Кратность основного разбавления рассчитывается по формуле (17):

$$n_0 = \frac{\Phi(Z_1)}{Y_0 \cdot Z_2} = \frac{0,81}{1,99 \cdot 0,0087} = 46,8,$$

где $\Phi(Z_1) = 0,81$ - функция принимает данное значение при условии

$$\Phi(Z_1) = Z_1, \text{ если } Z_1 \leq 1,$$

Z_1 - безразмерная величина, вычисляемая по формуле (18):

$$Z_1 = \frac{l + x_0}{x^*} = \frac{250 - 5,36}{302,71} = 0,81,$$

где $l = 250$ м - расстояние от места выпуска до контрольного створа.

Параметр сопряжения рассчитывается по формуле (20):

$$x^* = \frac{U_m \cdot H^2}{4\pi \cdot D_v} = \frac{0,1076 \cdot 10^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 0,00283} = 302,71,$$

где $U_m = 0,1076$ м/с - скорость морского течения; $H = 10$ м – средняя глубина моря в районе выпуска; D_v - коэффициент вертикальной турбулентной диффузии, определяется по формуле (25):

$$D_v = C_v + C_1 \cdot V + C_2 \cdot H + C_3 \cdot V^2 + C_4 \cdot H + C_5 \cdot V + H + C_6 \cdot V^2 \cdot H + C_7 \cdot V + H^2 = 5,994 \cdot 10^{-4} + 5,347 \cdot 10^{-4} \cdot 6 + (-3,681) \cdot 10 + (-1,469) \cdot 10^{-4} \cdot 6^2 + 5,669 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 1,426 \cdot 10^{-4} \cdot 6 \cdot 10 + 2,276 \cdot 10^{-6} \cdot 6^2 \cdot 10 + (-2,401) \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^2 = 0,00283 \text{ м}^2/\text{с},$$

где $V = 6$ м/с – характерная минимальная скорость ветра в поверхностном слое атмосферы 95% обеспеченности (определяется по данным гидрометеослужбы); $C_0 \dots C_7$ - коэффициенты, определяется по таблице 1.

Значение параметра X_0 находится в зависимости от величины Z_2 .

Если $Z_2 < 1$, то параметр X_0 определяется по формуле (22):

$$X_0 = Z_2 \cdot x^* - l_n = 0,0087 \cdot 302,71 - 8,0 = -5,36$$

где Z_2 - параметр, определяемый из уравнения (19);

$$Z_2 = \frac{q \cdot n_n \cdot D_v^{0,5}}{U^m \cdot H^2 \cdot D_r^{0,5}} = \frac{0,1 \cdot 4,22 \cdot 0,00283^{0,5}}{0,1076 \cdot 10^2 \cdot 0,0572^{0,5}} = 0,0087,$$

где $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ - максимальный расход сточных вод; $n_n = 4,2$ - кратность начального разбавления; $U_m = 0,1076 \text{ м/с}$ - скорость морского течения; $H = 10 \text{ м}$ - средняя глубина моря в районе выпуска; $D_b = 0,00283 \text{ м}^2/\text{с}$ - коэффициент вертикальной турбулентности диффузии; $D_r = 0,0572 \text{ м}^2/\text{с}$ - коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии определяется по формуле (26):

$$D_r = 0,032 + 21,8 \cdot U_m^2 = 0,032 + 21,8 \cdot 0,1076^2 = 0,0572 \text{ м}^2/\text{с}.$$

Величину скорости морского течения U_m вычисляют по формуле (28):

$$U_m = a_0 + a_1 \cdot V + a_2 \cdot H + a_3 \cdot V^2 + a_4 \cdot H^2 + a_5 \cdot V \cdot H + a_6 \cdot V^2 \cdot H + a_7 \cdot V \cdot H^2 = \\ = 3,613 \cdot 10^{-2} + (-2,751) \cdot 10^{-3} \cdot 6 + 1,108 \cdot 10^{-2} \cdot 10 + 1,461 \cdot 10^{-3} \cdot 6^2 + 9,729 \cdot 10^{-6} \cdot 10^2 + \\ + (-7,189) \cdot 10^{-3} \cdot 6 \cdot 10 + 9,925 \cdot 10^{-4} \cdot 6^2 \cdot 10 + (-3,875) \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^2 = 0,1076 \text{ м}^2/\text{с},$$

где $a_0...a_7$ - коэффициенты, определяется по таблице 1; V, H - то же, что и в зависимости (25).

Длина начального участка разбавления ln в равенстве (21) определяется по формуле (24):

$$ln = \frac{d - d_0}{0,48 \cdot (1 - 3,12 \cdot m)} = \frac{3,22 - 0,3}{0,48 \cdot (1 - 3,12 \cdot 0,076)} = 8,0 \text{ м}.$$

На первом этапе рассчитывается зависимость по формуле (11):

$$\Delta V = 0,15 \cdot (V_{св.} - U_m) = 0,15 \cdot (1,42 - 0,1076) = 0,197,$$

где $V_{св.} = 1,42 \text{ м/с}$ - скорость вытекания сточной воды из отверстия определяется по формуле (5); $U_m = 0,1076 \text{ м/с}$ - скорость морского течения.

На втором этапе определяется диаметр загрязнения пятна d , m в створе по формуле (12):

$$d = \frac{1,972 \cdot d_0}{\left[\frac{(1-m) \cdot \Delta V^2}{1,92} + m \cdot \Delta V \right]^{0,5}} = \frac{1,972 \cdot 0,3}{\left[\frac{(1-0,076) \cdot 0,197^2}{1,92} + 0,076 \cdot 0,197 \right]^{0,5}} = 3,22 \text{ м},$$

где $d_0 = 0,3 \text{ м}$ - диаметр выпускного отверстия; m - величина, рассчитываемая по формуле (13):

$$m = \frac{U_m}{V_{св.}} = \frac{0,1076}{1,42} = 0,076,$$

где $V_{св.}, U_m$ - то же, что в выражении (11).

Параметр влияния ближайшего берега на кратность основного разбавления вычисляют из уравнения (23):

$$y_0 = 1 + \exp\left(\frac{-U_m \cdot l_0^2}{D_r \cdot (l+x_0)}\right) = 1 + \exp\left(\frac{-0,1076 \cdot 1^2}{0,0572 \cdot (250+5,36)}\right) = 1,99,$$

где $U_m = 0,1076 \text{ м/с}$ - скорость морского течения; $D_r = 0,0572 \text{ м}^2/\text{с}$ - коэффициент горизонтальной турбулентной диффузии; $X_0 = -5,36$ - параметр сопряжения; $l = 250 \text{ м}$ - расстояние от места выпуска до контрольного створа; $l_0 = 1 \text{ м}$ - расстояние от места выпуска до ближайшего берега.

Кратность общего разбавления определяется по формуле (3):

$$n = n_n \cdot n_0 = 4,2 \cdot 46,8 = 196,6.$$

Предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества в сточных водах определяется по формуле (2):

$$C_{\text{ПДС}} = n (C_{\text{ПДК}} - C_{\text{Ф}}) + C_{\text{Ф}},$$

для органических веществ $C_{\text{ПДС БПК5}} = 196,6 \cdot (3,0 - 1,0) + 1,0 = 787,4 \text{ г/м}^3$;

для аммонийного азота $C_{\text{ПДС аз.амм.}} = 196,6 \cdot (0,5 - 0,02) + 0,02 = 94,4 \text{ г/м}^3$;

для взвешенных веществ $C_{\text{ПДС взв.в-в}} = 196,6 \cdot (3,0 - 0,2) + 0,2 = 550,7 \text{ г/м}^3$;

Предельно-допустимый сброс загрязняющего вещества в сточных водах определяется по формуле (1):

для органических веществ $\text{ПДС}_{\text{БПК5}} = 0,1 \cdot 787,4 = 78,7 \text{ г/с}$;

для аммонийного азота $\text{ПДС}_{\text{аз.амм.}} = 0,1 \cdot 94,4 = 9,4 \text{ г/с}$;

для взвешенных веществ $\text{ПДС}_{\text{взв.в-в}} = 0,1 \cdot 550,7 = 55,0 \text{ г/с}$;

$q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$ - максимальный расход сточных вод.

4. ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НА ЗАНЯТИИ

Задача 1.

Максимальный расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Диаметр выпускного отверстия $d_0 = 0,5 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Плотность морской воды в месте сброса $\rho_m = 1,011 \text{ т/м}^3$. Плотность сточных вод $\rho_{\text{ст}} = 0,989 \text{ т/м}^3$. Расстояние по вертикали от оси выпуска до поверхности моря $H_b = 2,5 \text{ м}$. Средняя глубина моря вблизи выпуска $H = 12 \text{ м}$. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{\text{отв}} = 1 \text{ шт.}$

Требуется рассчитать кратность начального разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма.

Задача 2.

Максимальный расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$. Диаметр выпускного отверстия $d_0 = 0,3 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Плотность морской воды в месте сброса $\rho_m = 1,011 \text{ т/м}^3$. Плотность сточных вод $\rho_{\text{ст}} = 1,019 \text{ т/м}^3$. Расстояние по вертикали от оси выпуска до поверхности моря $H_b = 3,2 \text{ м}$. Средняя глубина моря вблизи выпуска $H = 9,5 \text{ м}$. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{\text{отв}} = 1 \text{ шт.}$

Угол вытекания потока сточных вод из выпускного отверстия относительно горизонта $X = 30$.

Требуется рассчитать кратность начального разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма.

Задача 3.

Максимальный расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,2 \text{ м}^3/\text{с}$. Диаметр выпускного отверстия $d_0 = 0,35 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Плотность морской воды в месте сброса $\rho_m = 1,012 \text{ т/м}^3$. Плотность сточных вод $\rho_{ст} = 1,012 \text{ т/м}^3$. Скорость морского течения $U_m = 0,5 \text{ м/с}$. Средняя глубина моря вблизи выпуска $H = 9,5 \text{ м}$. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{отв} = 1 \text{ шт.}$

Требуется рассчитать кратность начального разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма.

Задача 4.

Выпуск сточных вод сосредоточенный. Максимальный расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,4 \text{ м}^3/\text{с}$. Диаметр выпускного отверстия $d_0 = 0,45 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Плотность морской воды в месте сброса $\rho_m = 1,012 \text{ т/м}^3$. Плотность сточных вод $\rho_{ст} = 0,999 \text{ т/м}^3$. Расстояние по вертикали от оси выпуска до поверхности моря $H_v = 2,6 \text{ м}$. Средняя глубина моря вблизи выпуска $H = 8 \text{ м}$. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{отв} = 1 \text{ шт.}$ Минимальная скорость ветра в поверхностном слое атмосферы $V = 5 \text{ м/с}$. Расстояние от места выпуска до контрольного створа $l = 250 \text{ м}$. Расстояние от места выпуска до ближайшего берега $l_0 = 2 \text{ м}$.

Требуется рассчитать кратность основного разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма.

Задача 5.

Выпуск сточных вод рассеивающий. Максимальный расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,3 \text{ м}^3/\text{с}$. Диаметр выпускного отверстия $d_0 = 0,5 \text{ м}$. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Плотность морской воды в месте сброса $\rho_m = 1,012 \text{ т/м}^3$. Плотность сточных вод $\rho_{ст} = 0,999 \text{ т/м}^3$. Расстояние по вертикали от оси выпуска до поверхности моря $H_v = 2,6 \text{ м}$. Средняя глубина моря вблизи выпуска $H = 8 \text{ м}$. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{отв} = 3 \text{ шт.}$ Минимальная скорость ветра в поверхностном слое атмосферы $V = 5 \text{ м/с}$. Расстояние от места выпуска до контрольного створа $l = 250 \text{ м}$. Расстояние от места выпуска до ближайшего берега $l_0 = 1,8 \text{ м}$. Расстояние между выпускными отверстиями $l_1 = 800 \text{ м}$.

Требуется рассчитать кратность основного разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма.

Задача 6.

Предельно-допустимая концентрация загрязняющих веществ: органические вещества $\text{ПДК}_{\text{БПК5}} = 3 \text{ г/м}^3$; азот аммонийный $\text{ПДК}_{\text{аз.амм.}} = 0,5 \text{ г/м}^3$;

взвешенные вещества $\text{ПДК}_{\text{взв.в-в}} = 3 \text{ г/м}^3$. Фоновые величины концентраций загрязняющих веществ в море: $C_{\text{фБПК5}} = 1,4 \text{ г/м}^3$; $C_{\text{фазамм}} = 0,03 \text{ г/м}^3$; $C_{\text{фвзв.в-в}} = 0,8 \text{ г/м}^3$. Кратность общего разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма составляет 204,8, $q = 0,2 \text{ м/с}$.

Требуется рассчитать величину предельно-допустимого сброса загрязняющих веществ в сточных водах во внутреннее море Крыма.

5. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Задача. Максимальный расход сточных вод во внутреннее море $q = 0,1 \text{ м}^3/\text{с}$. ПДК загрязняющих веществ: органические вещества $\text{ПДК}_{\text{БПК5}} = 3 \text{ г/м}^3$; азот аммонийный $\text{ПДК}_{\text{аз.амм.}} = 0,5 \text{ г/м}^3$; взвешенные вещества $\text{ПДК}_{\text{взв.в-в}} = 3 \text{ г/м}^3$. Фоновые величины концентраций загрязняющих веществ в море: $C_{\text{фБПК5}}$, г/м^3 ; $C_{\text{фазами}}$, г/м^3 . Диаметр выпускного отверстия d_0 , м. Ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. Плотность морской воды в месте сброса $\rho_{\text{м}}$, т/м^3 . Плотность сточных вод $\rho_{\text{ст}}$, т/м^3 . Расстояние по вертикали от оси выпуска до поверхности моря $H_{\text{в}}$, м. Средняя глубина моря вблизи выпуска H , м. Количество выпускных отверстий оголовка выпуска $N_{\text{отв}} = 1$ шт. Минимальная скорость ветра в поверхностном слое атмосферы V , м/с . Расстояние от места выпуска до контрольного створа l , м. Расстояние от места выпуска до ближайшего берега l_0 , м (Приложение Б, таблица Б1), $l - 250 \text{ м}$.

Выпуск - изолированный и удален от остальных выпусков на расстояние на менее 5 км вдоль линии берега. Выпуск сточных вод (Приложение Б, таблица Б2).

Требуется рассчитать:

- а) кратности основного и начального разбавления сточных вод, сбрасываемых во внутреннее море Крыма;
- б) величину ПДС загрязняющих веществ в сточных водах.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет о практическом занятии должен содержать:

1. название и цель занятия;
2. краткие и теоретические сведения;
3. условие и ход решения типовых задач, решаемых на занятиях.
4. условие и решение индивидуального расчетно-практического задания своего варианта;
5. выводы.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему часть стоков не очищаются и сбрасываются в водоем или водоток?
2. Какие зоны перемешивания включает в себя схема распределения сточных вод для водоемов?

3. Какие объекты относятся к объектам рыбохозяйственного водопользования?

4. Какие объекты относятся к объектам коммунально-бытового водопользования?

5. Какие объекты относятся к объектам хозяйственно-питьевого водопользования?

6. Перечислите виды и функции створов водного объекта.

7. Какими параметрами определяется ассимилирующая способность водного объекта?

8. Какой показатель является критерием токсичности воды?

9. Для чего разрабатываются и утверждаются величины предельно-допустимого сброса загрязняющих веществ?

10. Какие существуют основные категории возвратных вод, для которых устанавливаются величины ПДС веществ?

11. Разрабатываются ли ПДС веществ для выпусков возвратных вод на "рельеф местности"?

12. От каких условий зависит кратность общего разбавления?

13. На каких параметрах основываются расчеты кратности основного разбавления?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водный кодекс Российской Федерации №122-ФЗ от 01.05.2022 г.
2. Дружинин Н.И. Математическое моделирование и прогнозирование загрязнения поверхностных вод суши/Н.И. Дружинин А.И. Шишкин. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. - 389 с.
3. Приказ Минприроды России от 29.12.2020 N 1118 (ред. от 17.05.2021) "Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей" (Зарегистрировано в Минюсте России 30.12.2020 N 61973).
4. Правительство Севастополя постановление от 17 ноября 2016 года N 1091-ПП Об утверждении государственной программы города Севастополя "Экология и охрана окружающей среды города Севастополя". Утратил силу на основании Постановления Правительства Севастополя от 20.05.2022 N 187-ПП, вступившего в силу со дня официального опубликования (опубликовано на официальном сайте Правительства Севастополя <http://sevastopol.gov.ru> - 23.05.2022) (с изменениями на 2 сентября 2021 года)
5. Правительство Севастополя постановление от 28 сентября 2017 года № 725-ПП Об утверждении Правил пользования централизованной ливневой системой водоотведения в городе Севастополе
https://www.glavbukh.ru/npd/edoc/81_456436

ПРИЛОЖЕНИЕ А

/справочное/

Нормы качества воды - совокупность установленных допустимых значений показателей состава и свойств воды водных объектов, в пределах которых надежно предотвращается ущерб здоровью населения, обеспечиваются нормальные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта. Нормы качества воды в поверхностных водных объектах устанавливаются для хозяйственно-питьевого, коммунально-бытового и рыбохозяйственного видов пользования.

К объектам хозяйственно-питьевого водопользования относятся водные объекты, используемые в качестве источников хозяйственно-питьевого водоснабжения, а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности.

К объектам коммунально-бытового водопользования относятся водные объекты, используемые для купания, занятий спортом и отдыха населения. Требования к качеству воды распространяются на те водные объекты, которые находятся в черте города.

К объектам рыбохозяйственного водопользования относятся водные объекты, используемые для промысловой добычи рыбы или имеют значение для воспроизводства их запасов. Эти объекты подразделяются на три категории. Высшая категория - участки водных объектов в местах расположения нерестилищ, зимовальных ям и массового нагула особо ценных видов рыб. Первая категория - водные объекты, используемые для сохранения и воспроизводства ценных видов рыб, обладающих чувствительностью к содержанию кислорода. Вторая категория - водные объекты, используемые для других рыбохозяйственных целей. При разработке норм состояния водных объектов, эти требования и нормы следует учесть при расчете ПДС веществ в части выбора величины ПДК объекта.

Предельно допустимая концентрация (ПДК) - установленный уровень концентрации веществ в воде, выше которого вода считается непригодной для одного или нескольких видов водопользования.

Специальное водопользование - это забор воды из водных объектов с применением сооружений или технических устройств, использование воды и сбрасывание загрязняющих веществ в водные объекты, включая забор воды и сбрасывание загрязняющих веществ с обратными водами с применением каналов. Специальное водопользование осуществляется юридическими и физическими лицами прежде всего для удовлетворения питьевых нужд населения, а также для хозяйственно-бытовых, лечебных, оздоровительных, сельскохозяйственных, промышленных, транспортных, энергетических, рыбохозяйственных и других государственных и общественных нужд.

Специальное водопользование осуществляется на основании разрешения. **Разрешение на специальное водопользование выдается:** государственными органами охраны окружающей природной среды - в случае использования воды водных объектов общегосударственного значения. В разреше-

нии на специальное водопользование устанавливаются лимит забора воды, лимит использования воды и лимит сбрасывания загрязняющих веществ.

Контрольные створы - места, где должны выдерживаться установленные нормы качества воды. Во время сброса возвратных вод в прибрежную зону моря нормы качества воды должны соблюдаться в контрольном створе, расположенном на расстоянии 250 м от места выпуска в любом направлении.

Фоновый створ - створ, расположенный на водном объекте непосредственно до места влияния сброса возвратных вод, с учетом направления течения.

Лимитирующий контрольный створ - створ на водном объекте, для соблюдения норм качества воды в котором необходимо установление наиболее жестких ограничений на сброс загрязняющих веществ с возвратными водами.

Расчетный створ - створ, для которого имеются расчетные характеристики водного объекта. Им могут быть - контрольный, фоновый, гидрометрический, устьевой (для рек) и прочие створы.

Фоновое качество воды - качество воды водного объекта, сформировавшееся под влиянием природных процессов и всех источников поступления загрязняющих веществ, за исключением влияния рассматриваемого источника.

Ассимилирующая способность водного объекта - способность принимать определенную массу загрязняющих веществ в единицу времени без нарушения норм качества воды в контрольных створах водопользования. Ассимилирующая способность определяется с учетом смешения, разбавления и самоочищения загрязнителя в водном объекте.

Расход воды - количество воды, протекающей через живое сечение сбросного коллектора в единицу времени.

Фактическая концентрация вещества - величина, принимаемая для оценки состава возвратных вод. Вычисляется, как среднеарифметическое значение данных ряда наблюдений за предыдущие 12 месяцев, за исключением наименьшего и наибольшего чисел ряда.

Предельно допустимый сброс (ПДС) вещества - показатель максимально допустимого в единицу времени количества (массы) вещества, отводимого с возвратными водами в поверхностные морские воды, который гарантирует соблюдение норм качества воды в контрольных створах объекта.

Временно согласованный сброс (ВСС) вещества - показатель максимально допустимого в единицу времени количества (массы) вещества, отводимого с возвратными водами в поверхностные морские воды, который устанавливается после каждого этапа реализации плана мероприятий по достижению ПДС веществ ежегодно с выделением этапов снижения сбросов.

План мероприятий по достижению ПДС веществ - совокупность технических и стоимостных характеристик мероприятий и сооружений, увязанных по срокам реализации и направленных на поэтапное достижение величин ВСС и ПДС веществ.

Вода возвратная - вода, возвращаемая с помощью технических сооружений и средств из хозяйственного звена круговорота воды в его природные звенья (речное, озерное, морское, литогенное) в виде сточной, сбросной или дренажной воды.

Вода сточная - вода, образующая в процессе хозяйственно-бытовой и производственной деятельности, а также при отведении с застроенной территории стока атмосферных осадков.

Вода сбросная - вода, отводимая от орошаемых сельскохозяйственных угодий, поливаемых застроенных территорий, а также вода, отводимая от участков, на которых применяется гидромеханизация.

Вода дренажная - вода, профильтровавшаяся в дренаж из мела гидротехнического сооружения или его основания, а также из очистных сооружений фильтрующего типа, осушаемого (орошаемого) земельного массива, подтапливаемой территории предприятия, города и т.п.

Токсичность возвратной воды - свойство вызывать патологические изменения или гибель организмов, обусловленную присутствием в ней токсичных веществ. Токсичность воды устанавливается методом биотестирования. Критерием токсичности является установленный количественный показатель патологических изменений или гибели организмов.

Условия сброса возвратных (сточных, сбросных, дренажных) вод в море - совокупность устанавливаемых на современный период и перспективу характеристик расходов, состава и свойств возвратных вод, режима и места их сброса в море. К ним относятся:

1. Категория возвратных вод (промышленные, коммунальные и т.п.);
2. Фактический расход возвратных вод;
3. Утвержденный расход возвратных вод для установления временно-согласованных сбросов (ВСС) веществ;
4. Утвержденный расход возвратных вод для установления предельно-допустимых сбросов (ПДС) веществ;
5. Утвержденные ВСС вещества;
6. Утвержденные ПДС вещества;
7. Фактические концентрации веществ;
8. Временно-согласованные концентрации веществ, соответствующие ВСС;
9. Допустимые концентрации веществ, соответствующие ПДС;
10. Установленные свойства возвратных вод (температура, запах, привкус);
11. Наименование водного объекта - приемника возвратных вод, тип и место нахождения их выпуска, по отношению к которому осуществляется расчет условий и контроль сброса возвратных вод;
12. Режим сброса (в разрезе суток, либо месяца, либо сезонов, года).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

/справочное/

Таблица Б1 - Исходные данные к индивидуальному расчетно-практическому заданию

№ вар-та	$C_{\text{ФБПК}}$ г/м ³	$C_{\text{фаз.амм}}$ г/м ³	$C_{\text{фзвв}}$ г/м ³	d_0 , м	ρ_m , т/м ³	$\rho_{\text{св}}$, т/м ³	H_b , м	H , м	V , м/с	l_0 , м
00-05	0,6	0,01	0,10	0,2	1,010	1,020	2,4	9	4	2,0
06-10	0,8	0,02	0,14	0,3	1,011	0,999	2,1	8	5	2,2
11-16	0,9	0,03	0,16	0,4	1,000	1,000	2,5	10	7	1,5
17-20	0,7	0,02	0,20	0,3	1,998	1,012	2,2	11	6	1,0
21-25	0,5	0,01	0,18	0,2	1,012	0,999	2,3	9	5	1,7
26-30	0,9	0,03	0,15	0,4	1,010	1,010	2,4	7	6	1,4
31-37	1,0	0,02	0,20	0,3	1,000	1,000	2,6	10	4	1,3
38-45	0,8	0,01	0,12	0,2	1,011	1,012	2,7	8	7	1,8
46-50	0,9	0,02	0,17	0,2	1,012	0,998	2,2	9	6	2,0
51-57	0,6	0,03	0,16	0,3	1,011	1,011	2,4	8	5	2,2
58-63	0,7	0,01	0,19	0,4	1,012	0,999	2,1	10	4	1,5
64-70	1,0	0,02	0,18	0,3	1,010	1,011	2,5	11	8	1,0
71-75	0,6	0,03	0,15	0,2	1,000	1,000	2,2	9	5	1,7
76-78	0,8	0,02	0,20	0,4	1,011	1,012	2,3	7	7	1,4
79-83	0,9	0,01	0,12	0,3	1,012	1,010	2,4	10	6	1,3
84-87	0,5	0,03	0,14	0,2	1,001	1,001	2,6	8	5	1,8
88-92	0,7	0,02	0,16	0,2	1,012	0,999	2,7	9	8	2,0
93-95	1,0	0,01	0,19	0,3	1,010	1,011	2,2	8	4	2,2
96-98	0,6	0,02	0,18	0,1	1,000	0,998	2,4	10	7	1,5
99	0,8	0,03	0,15	0,3	1,011	1,011	2,1	11	6	1,0

Таблица Б 2 - Исходные данные к индивидуальному расчетно-практическому заданию

№ варианта	Вид выпуска сточных вод
00-05	сосредоточенный
06-10	линейный рассеивающий
11-16	рассеивающий
17-20	сосредоточенный
21-25	линейный рассеивающий
26-30	рассеивающий
31-37	сосредоточенный
38-45	линейный рассеивающий
46-50	рассеивающий
51-57	сосредоточенный
58-63	линейный рассеивающий
64-70	рассеивающий
71-75	сосредоточенный
76-78	линейный рассеивающий
79-83	рассеивающий
84-87	сосредоточенный
88-92	линейный рассеивающий
93-95	рассеивающий
96-98	сосредоточенный
99	линейный рассеивающий

**РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО СБРОСА
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ
С ВОЗВРАТНЫМИ ВОДАМИ
ДЛЯ ПРИБРЕЖНЫХ ЗОН МОРЕЙ**

Методические указания

Составители: **Буркова** Елена Викторовна,
Бурков Дмитрий Валерьевич, **Хоменко** Тамара Юрьевна

В авторской редакции

Изд. № 21/2023. Объем 2 п.л. Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,96
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»