**10. Лабораторная работа № 10**

**Расчет разбавления примесей в реках при сосредоточенных**

**стационарных выпусках сточных вод**

Антропогенное загрязнение водоемов является серьезной проблемой природопользования в мировом масштабе. Рациональное использование водных ресурсов подразумевает снижение их удельного потребления, глубокую очистку сточных вод от загрязнения, воспроизводство водных ресурсов и поддержание их качества на уровне, соответствующем естественным условиям биосферы.

Загрязнение рек Урала сточными водами является серьезной проблемой при регулировании использования и охраны поверхностных вод. Наряду с экспериментами важное значение в решении этой проблемы имеет применение методов математического моделирования, позволяющих расчетным путем решать следующие задачи:

* определять показатели качества воды в любой точке потока после сброса в него сточных вод на любом расстоянии от сосредоточенного стационарного выпуска;
* определять максимально допустимую концентрацию загрязнения в месте выпуска сточных вод, при которой обеспечивается их разбавление и очистка до требуемых санитарных условий (ПДК) в расчетном створе (пункте водозабора);
* оценивать комплексное влияние на состояние реки сточных вод, сбрасываемых группой предприятий – источников загрязнения и рационально устанавливать для таких предприятий предельно допустимые сбросы сточных вод (ПДС);
* определять створы и точки отбора проб для определения качества воды в реках.

**10.1. Сточные воды**

Сточная вода – *это вода, отводимая после использования в хозяйственно-бытовой и производственной деятельности человека.* В сточных водах содержатся различные примеси, находящиеся в нерастворенном и растворенном состоянии, поэтому изменяется фазовый, химический составы воды, ее свойства. Значительную часть сточных вод составляют производственные, образующиеся в результате использования воды для контуров охлаждения, при осуществлении физико-химических процессов в различных технологиях.

Производственные сточные воды могут быть разделены на следующие группы:

1. Воды, содержащие примеси неорганического происхождения, обладающие специфическими свойствами (стоки металлургических, гальванических и других цехов). Эти воды могут заметно изменять рН водоемов, а содержащиеся в них соли тяжелых металлов токсичны по отношению к водным организмам.
2. Воды, в которых неорганические примеси не обладают токсичным действием (стоки обогатительных фабрик, цементных заводов и др.). Примеси в таких водах находятся во взвешенном состоянии и для водоемов особой опасности не представляют.
3. Воды, содержащие нетоксичные органические вещества (стоки предприятий пищевой промышленности). При попадании в водоем таких вод возрастает окисляемость, снижается концентрация растворенного кислорода, увеличивается биохимическая потребность в кислороде (БПК).
4. Воды, содержащие органические вещества со специфически токсичными свойствами (сточные воды предприятий органического синтеза, заводов по переработке нефти и др.) Такие воды содержат минеральные взвешенные вещества, неорганические кислоты, цианиды, нефтепродукты, жиры, хлориды, сульфаты, ПАВ, фенолы и др.

Сточные воды промышленных предприятий выводятся из производственного цикла в водные объекты (реки, водоемы). Обычно это осуществляется с помощью стационарно действующих спусков, размещаемых у берега или в самом водном объекте.

Для ограничения вредного воздействия на гидросферу количество сточных вод нормируется путем установления для каждого стационарного выпуска предельно допустимого сброса (ПДС). Под *ПДС* понимается *масса вещества в сточной воде, максимально допустимая к отведению с установленным режимом выпуска в данном пункте водного объекта в единицу времени с целью обеспечения норм качества воды в контрольном пункте.* Величина ПДС определяется с учетом ПДК веществ в местах водозабора, ассимилирующей способности водного объекта и рационального распределения сбрасываемых веществ между водопользователями, которые осуществляют выпуски сточных вод. Расчет ПДС производится по наибольшему среднечасовому расходу сточных вод (*q, м3/с*) за период их выпуска при концентрации примеси *S*, *мг/м3*, т.е. *ПДС = qS.*

При спуске в водный объект загрязненных сточных вод концентрация содержащихся в них примесей изменяется за счет разбавления, биологических, физико-химических и химических превращений (процессов самоочищения). В реках эти процессы происходят преимущественно вдоль и поперек течения. Задача инженерных расчетов прогнозирования качества воды состоит прежде всего в определении концентрации примесей в отдельных точках или створах реки.

Пусть в створе А в реку осуществляется стационарный во времени выпуск сточных вод с расходом *q*A и концентрацией данной примеси *SА*. Выше по течению реки данное вещество содержится в количестве *Sp* (фоновая концентрация). Пусть ниже по течению реки в створе *С* находится пункт водозабора пользователя (например, предприятия) и по рассматриваемой примеси установлена ПДК.

Между створами *А* и *С* в результате процессов самоочищения концентрация примеси будет снижаться до *Sc*. Причем *Sc* включает и естественное содержание примеси в воде реки (*Sp*). Для выполнения требований качества воды у водопользователя Sс должна быть не больше ПДК. Поэтому если установлена ПДК по данной примеси и известен расход сточных вод от стационарного выпуска *qu*, то инженерная задача состоит в определении такой концентрации примеси SА (с учетом Sp), чтобы выполнялось условие *Sc ≤ ПДК* и тогда *ПДС = qoSA*, *q0=qA*.

Для рек, расход воды в которых регулируется, важно знать количество воды, достаточное для разбавления сточных вод у пункта водопользования до величины концентрации примести, не превышающей ПДК.

Актуальной задачей при проектировании водозаборов является определение места их размещения по отношению к имеющимся выпускам сточных вод в реку. Это предполагает расчет такого расстояния X от створа *А* до створа *С*, чтобы выполнялось условие *Sc ≤ ПДК* по рассматриваемой   
примеси.

При расчете качества воды в реке исходные данные подразделяются на три группы:

1. Гидрологические и гидравлические характеристики водного объекта.

2. Характеристика источника загрязнения.

3. Требования к качеству воды в пункте водопользования (расчетном или контрольном).

В группу гидрологических и гидравлических характеристик реки входят расчетные расходы, скорости течений и гидравлические параметры ложа реки (площадь зеркала реки, ее глубина, ширина, смоченный периметр, гидравлический радиус, шероховатость русла).

В качестве расчетного расхода объекта питьевого и культурно-бытового водопользования принимается: для незарегулированных рек – наименьший среднесуточный расход воды в реке за год при 95% -ной обеспеченности; для зарегулированных рек – установленный, гарантированный расход воды ниже плотины. Для объектов рыбохозяйственного назначения принимается: для незарегулированных рек расчетный расход не более 1/3 от минимального суточного расхода воды года 95% -ной обеспеченности; для зарегулированных рек - не более 1/3 минимального гарантированного расхода ниже плотины (санитарный пропуск).

Поскольку расчеты процессов самоочищения речных вод проводятся для определенного участка реки, то гидравлические и морфологические характеристики на нем определяются усреднением параметров, получаемых для отдельных зон этих участков, где эти параметры относительно постоянны. К основным характеристикам, используемым в расчетах относятся гидравлический радиус (*R*)*,* площадь живого сечения (*Fж*), смоченный периметр (*γ*), глубина (*Н*) и ширина (*В*) реки. Для широких рек можно принимать R=H, =В, в остальных случаях R= Fж/γ, где *γ* определяется на основе морфологических измерений в отдельных зонах участка реки (измерений гидравлических уклонов, *Н*, *В*, площади зеркала реки и др.)

Шероховатость русла определяется по справочным данным и характеризуется коэффициентом n*ш*, зависящим от структуры ложа реки, наличия водной растительности.

Основными исходными данными но источнику загрязнения являются расход сточных вод и концентрация в них отдельных примесей.

Промышленные стоки для производств с непрерывным технологическим циклом отличаются достаточной стабильностью расхода и содержанием примесей в сточных водах. Такие стоки можно считать стационарными. Для спусков в водный объект дождевых вод из ливневой канализации наблюдается заметная неравномерность расходов во времени и изменение концентрации примесей в стоках. В начале поступления ливневых вод содержание примесей незначительно. В зависимости от интенсивности выпадения осадков и площади водозабора в канализационные сети расход сточных вод и содержание в них примесей сначала увеличиваются, а затем снижаются. Поэтому изменение этих характеристик во времени имеет форму кривых с максимумом. Такой же нестационарный процесс наблюдается при аварийных выпусках сточных вод.

Требования к качеству воды определяются в зависимости от вида водопользования (питьевое, хозяйственно-питьевое, рыбохозяйственное, промышленное и др.)

В качестве оценки допустимой степени снижения качества поверхностных вод служат требования к их составу, свойствам и предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ в воде в соответствии с видом водопользования. В случае одновременного использования воды на различные нужды для оценки ее качества используют наиболее жесткие требования в ряду одноименных нормативов качества воды. Например, содержание взвешенных веществ в воде не должно увеличиваться более чем на 0,25 мг/л для объектов питьевого водопользования и не более чем на 0,75 мг/л в объектах для купания, спорта, отдыха. Если река является источником водопользования на питьевые цели и для культурно-оздоровительных мероприятий, то в месте водозабора не допускается увеличение содержания взвешенных веществ более чем на 0,25 мг/л.

Требования к составу, свойствам воды и нормативы ПДК приводятся в "Санитарных правилах и нормах охраны поверхностных вод от загрязнения сточными водами" (далее - Правила).

При использовании Правил следует иметь в виду, что загрязняющие вещества подразделены на три группы: по лимитирующему показателю вредности (ЛПВ), по воздействию на организм человека и на биологические процессы в водоемах и реках. Кроме того, разделяют общесанитарный, санитарно-токсикологический и органолептический показатели.

Принято, что качество воды водного объекта достигает границы экологического сдвига, если содержание в ней примесей равно одной дозе. Для определенного вещества эта доза соответствует ПДК. Для нескольких веществ одного ЛПВ (i=l,...,m) одна доза соответствует

,

где Si – средняя концентрация i-гo вещества в воде;

ПДКi – предельно допустимая концентрация того же вещества.

Отметим, что состав и свойства воды должны соответствовать нормативам в створе, расположенном на реке на 1 км выше ближайшего по течению пункта водозабора, а для водоемов – на 1 км в обе стороны от водозабора. При выпуске сточных вод в черте города первым пунктом водопользования является город, поэтому требования к качеству воды в реке или водоеме должны относиться к самим сточным водам. Это значит, что данные воды должны быть очищены перед выпуском в водный объект и соответствовать требованиям ких составу и свойствам.

**10.2*.* Определение качества воды в реке ниже сосредоточенных   
стационарных выпусков сточных вод**

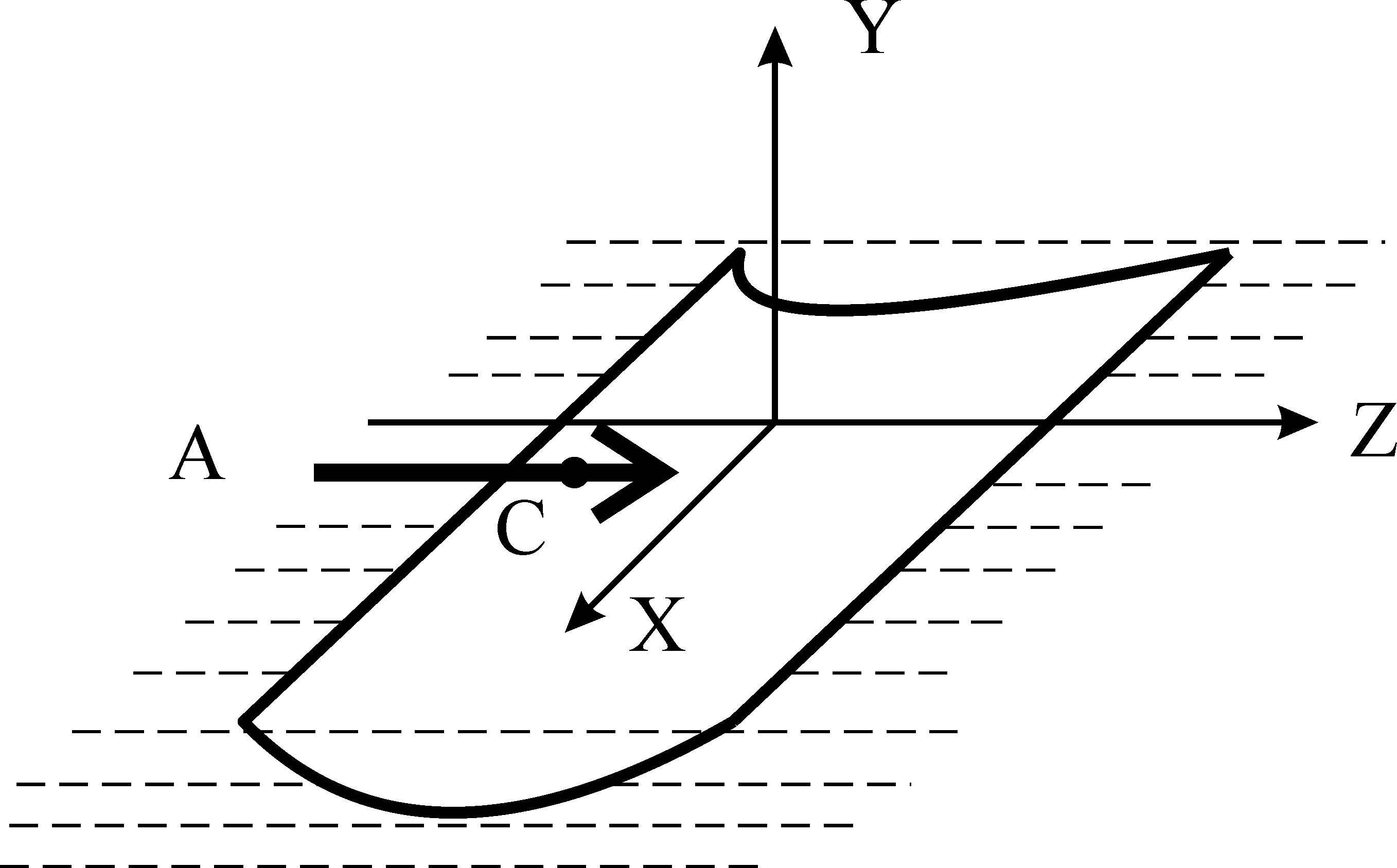
Расчет качества воды рек осуществляется на основе полуэмпирической теории турбулентности. Согласно этой теории принимаются следующие предположения:

1) жидкость является несжимаемой;

2) скорости потока (числа Рейнольдса) достаточно велики и эффектом влияния молекулярной диффузии можно пренебречь,

3) количество сточных вод, содержащих примеси, незначительно по сравнению с количеством речных вод и их влиянием на турбулентный перенос можно пренебречь.

В общем случае рассматривается стационарный во времени режим выпуска сточных вод из сосредоточенного источника. На участке между местом выпуска сточных вод и створом водозабора река имеет достаточно прямую береговую линию и достаточно постоянную форму ложа. Графическое представление схемы дано на *рис. 10.1*. Направление течения реки совпадает с осью *X*. В зоне стока река имеет среднюю ширину *В* и среднюю глубину *Н*.



*Рис. 10.1. Схема стационарного выпуска сточных вод в реку*

Выпуск сточных вод в створе *А*, совпадающем с осью *Z*, находится в точке *С*. Он может осуществляться в центре потока, у берега или в точке потока на расстоянии *b* от берега и на глубине *h* от поверхности реки.

Примеси, содержащиеся в сточных водах, могут быть *консервативными*или *неконсервативными***.** Первые изменяют свою концентрацию в реке только за счет разбавления (например, соли тяжелых металлов). Неконсервативные вещества кроме разбавления изменяют свою концентрацию за счет физико-химических превращений.

В общем случае нестационарный турбулентный диффузионный перенос примесей в реке происходит по направлениям X, Y и Z и описывается дифференциальным уравнением вида

 (10.1)

где S – концентрация примеси в точке реки с координатами X,Y, Z ;

Vx, Vy, Vz, – скорости течения реки в направлениях X, Y, Z соответственно;

Dx, Dy, Dz. – коэффициенты диффузии в направлениях X, Y, Z;

F(S) – функция неконсервативности примеси (для консервативного вещества F(S) =0, иначе F(S)>0).

При стационарном режиме выпуска сточных вод  ,

а *Vy≈Vz≈0*.

Для рек обычно ширина потока намного превышает его глубину (В>>Н), поэтому можно допустить, что. Тогда с учетом принятых допущений уравнение турбулентного диффузионного переноса примет вид

 (10.2)

Распад неконсервативного вещества учитывается функцией вида

,

где К1  – константа неконсервативности (константа скорости процесса), учитывающая скорость превращения в реакциях первого порядка, *1/C*; *V=Vx*.

Решение данного уравнения зависит от выбора начала координат. На участке перемешивания сточной воды с рекой средняя скорость течения *V, м/с.* От стационарного выпуска сточная вода поступает в количестве q0, *м3/с*, и содержит примесь в количестве *S(τ)=S0, мг/м3*.

Приведем решение уравнения (2.2) для различных вариантов выпуска сточных вод при указанных граничных условиях.

Центральный выпуск (начало координат в точке выпуска)

. (10.3)  
Береговой выпуск (начало координат в точке выпуска)

. (10.4)

Выпуск в точке потока на расстоянии «в» от берега и «h» от поверхности реки (начало координат в центре потока В/2 и Н/2)



. (10.5)

В уравнениях (10.3), (10.4) и (10.5) приняты следующие обозначения:

S=S(y,z,x) – концентрация примеси в точке с координатами у (глубина);

z – ширина; x – расстояние от точки выпуска сточных вод, *мг/м3*;

Sp – фоновая концентрация данной примеси в реке выше места выпуска стока, *мг/м3*;

** - интеграл вероятности Гаусса. Значения функции *Фо(а)* определяются по таблице *Прил. 10.1;*

**** - размерный коэффициент, *м1/2*;

В, Н – соответственно средняя ширина и средняя глубина реки на

участке перемешивания, *м*;

С **–** скоростной коэффициент (коэффициент Шези), характеризующий интенсивность турбулентного перемешивания, *м1/2 /с2*; К1 – константа неконсервативности, определяемая по табл. 10.2 и 10.3.

Параметр «а» в интеграле вероятности Гаусса, входящем в уравнения (10.3) - (10.5), определяется из выражений:

**; ;  
; ;  
; ;  
.**

Определение качества воды состоит в расчете концентрации примеси в планируемых точках водозабора по уравнениям (10.3), (10.4) или (10.5). Для выполнения расчета необходимо определить значения параметров и коэффициентов, т.е. исходные данные, входящие в состав трех групп:

1. гидрологические и гидравлические характеристики реки;
2. характеристики источника загрязнения;
3. требования к качеству воды в реке в выбранных расчетных или контрольных пунктах (точках) водозабора.

В группу гидрологических и гидравлических характеристик входят расчетные расходы и уровни воды в реке, гидравлические характеристики ложа реки. Расходы определяют согласно Санитарным нормам и правилам для расчетного участка реки. Для выбранного створа водозабора определяются гидравлические характеристики реки при расчетном расходе воды *Q*. Зная морфологические характеристики реки, определяют площадь живого сечения потока *Fж*, *м2*. По этим гидравлическим характеристикам рассчитывается коэффициент Шези , где *I* – гидравлический уклон ложа реки. Часто при проведении расчетов данные о гидравлических уклонах отсутствуют и коэффициент Шези определяют по формуле Павловского *С=Rα/nш,* где *nш* – коэффициент шероховатости дна реки, определяемый по *табл. 10.1*; α-показатель, определяемый из условий: *=1,5* *при R<1м*, *=1,3*, *при R≥1м*.

Таблица 10.1

**Скоростной коэффициент (коэффициент Шези)**

|  |  |
| --- | --- |
| *Характеристика русла реки* | *nш* |
| Песчаное русло, ровное, без растительности, с незначительным перемещением донных наносов | 0,2 –0,23 |
| Песчаное извилистое русло, с большим перемещением донных наносов | 0,2 –0,23 |
| Пойма, заросшая травой | 0,23 –0,33 |
| Пойма, заросшая кустарником или редким лесом | 0,33 –0,45 |
| Пойма, заросшая лесом | 0,45 –0,60 |

Константу скорости процесса (неконсервативности) самоочищения от ряда металлов при различных температурах воды и водородных показателях следует принимать по *табл. 10.2* и *10.3*.

Таблица 10.2

**Константы неконсервативыости (К1) в системе без донных отложений**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *РН* | *Т, оС* | *Значения константы скорости процесса самоочищения от металлов* | | | | |
|  |  | Fe3+ | Zn2+ | Сu2+ | Pb2+ | As5+ |
| 7 | 20 | 0,78 | 0,17 | 0,15 | 1,9\*10-3 | 0,64 |
| 6 | 20 | 1,16 | 0 | 0,45 | 0,83\*10-2 | 0,24 |
| 3,9 | 20 | 0,96 | 0,32 | 0 | 0,31 | 0,01 |
| 7 | 3 | 0,10 | 0,04 | 0 | 0,02 | 0,05 |

Таблица 10.3

**Константы скорости процесса (неконсервативности) в системе   
при наличии остатков высшей водной растительности**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *РН* | *Значения константы скорости процесса «К» самоочищения от металлов* | | | | |
| Fe3+,2+ | Zn2+ | Сu2+ | Рb2+ | As5+ |
| *Аэробные условия* | | | | |
| 5 | 0,002 | 0,08 | 0,026 | 0,02 | 0,09 |
| 7 | 0,002 | 0 | 0,0001 | 0,72 | 0,06 |
|  | *Анаэробные условия* | | | | |
| 7 | 0,16 | 0,11 | 5,26 | - | 1,14 |
| 5 | 0,14 | 0,03 | 0,74 | - | 1,45 |

При расчетах для одного стационарного сосредоточенного выпуска сточных вод содержание примеси до створа этого выпуска соответствует фоновой концентрации *Sp*. Если стоков несколько, то сначала определяют концентрацию примеси у водозабора для наиболее удаленного от него стока, затем для стоков по мере их приближения к водозабору. Концентрация примеси в расчетном створе водозабора вычисляется как сумма концентраций примесей, полученных в данном створе по отдельным стокам. Примеры расчетов для одного и двух стоков приведены в *Прил. 10.2*.

Для выполнения исследовательских расчетов и решения задач анализа изложенная выше методика реализована программными продуктами:

- **задача 1: Расчет распределения загрязнения от сосредоточенного** **стационарного выпуска сточных вод в реку** (построение поля концентрации примеси в реке в заданном створе водозабора):

- **задача 2: Расчет качества воды в реке при наличии нескольких**

**выпусков сточных вод** (расчет концентрации на оси струи).

**10.3. Расчет максимально допустимой концентрации примеси   
в месте выпуска сточных вод для оценки ПДС**

Количество примеси в сточных водах, сбрасываемых в реку (*So*), должно быть таким, чтобы в первом по течению реки створе водопользования (с учетом разбавления для консервативных и самоочищения неконсервативных примесей) выполнялись требования, установленные законодательными и нормативными актами. При наличии в речной воде нескольких примесей с одинаковым лимитирующим показателем вредности (ЛПВ) в первом створе водопользования должно быть выполнено условие по величине нормируемой концентрации *Sn*, т.е.

, (10.6)

где ПДК – предельно допустимая концентрация данного вещества, *мг/м3*;

Smax i-1 – максимальные концентрации веществ с одинаковыми ЛПВ, содержащихся в воде в пункте водопользования, кроме расчетного, *мг/м3*;

ПДКi-1 – предельно допустимые концентрации этих же веществ, *мг/м3*.

Поскольку в створе водопользования концентрация примеси не должна превышать ПДК по соответствующей примеси, то *Smax,i - ПДКi ≤ 0*. Подставив в это условие вместо *Smax,i* выражение, получаемое из уравнений (10.3) – (10.5), и решив полученное неравенство относительно *So*, получим формулы для расчета допустимых концентраций примеси при различном расположении сосредоточенных стационарных выпусков (*So = Smax,i , S*д*= ПДКi*);

а) центральный выпуск

; (10.7)

б) береговой выпуск

; (10.8)

в) выпуск в точке потока на расстоянии «в» от берега и глубине «h» от поверхности реки

 (10.9)

При *q0 = const* величина *ПДС = qoSo*.

Для выполнения расчетов по большому количеству вариантов используется программный продукт - **задача 3: Расчет допустимой концентрации примеси в сточных водах при сосредоточенном стационарном выпуске сточных вод.**

**10.4. Определение створа достаточного перемешивания**

Створ достаточного перемешивания соответствует створу реки, где отличие между максимальной *Smax* и минимальной *Smin* концентрациями примеси в поперечном сечении потока не превышает 20%, т.е. *Smax/Smin ≤ 1,2*. С учетом этого условия решение уравнений (10.3)-(10.5) относительно координаты *х* дает расчетные формулы вида:

а) выпуск в центре потока

; (10.10)

б) береговой выпуск

; (10.11)

в) выпуск в точке сечения на расстояниях «B/z - в» и «Н/2 – h» от центра потока

; (10.12)

В этих формулах фоновая концентрация примеси (*Sp*) не учитывается, так как ее распределение в речной воде равномерно по сечению потока.

При расчетах значительного числа вариантов используется программный продукт **- задача 4: Определение створа достаточного перемешивания.**

**10.5.Определение расхода воды для разбавления примеси   
до ПДК в створе водопользования**

При ориентированных расчетах расход воды для разбавления консервативной примеси до ПДК может быть оценен по уравнению материального баланса

 (10.13)

Для более точных расчетов следует использовать решения, полученные из уравнений (10.3)–(10.5) и (10.7)–(10.9):

а) центральный выпуск

; (10.14)

б) береговой выпуск

; (10.15)

в) выпуск в точке сечения на расстояниях «B/z - в» и «Н/2 - h>> от центра потока

 (10.16)

Длина участка достаточного перемешивания (*х*) вычисляется по уравнениям (10.10)–(10.12). Расчет расхода воды, необходимого для разбавления консервативной примеси, ведется в следующей последовательности. Сначала принимают в качестве заданного расхода *Q* величину среднемесячного расхода воды 95% обеспеченности *Qс*. По ней и известному расходу *qo* вычисляют гидравлико-морфологические характеристики реки. Затем по одному из уравнений (10.10)–(10.12) определяют длину участка от створа выпуска сточных вод до створа полного перемешивания. После этого но одной из формул (10.14)–(10.16) выполняют расчет расхода *Q*. Если вычисленный расход *Q* и принятый как требуемая величина *Qс* близки, то расход *Q* принимается в качестве расчетного. При достаточно большом отличии расходов расчеты повторяются при задании большей или меньшей величины расхода воды *Qс*. Если длина участка между створами выпуска сточных вод и достаточного перемешивания больше расстояния от места выпуска сточных вод до створа водопользования, то исходная величина расхода воды без дальнейших расчетов корректируется.

Для выполнения расчетов по формулам (10.14)–(10.16) используется программный продукт - **задача 5: Расчет расхода воды для разбавления примеси до ПДК в створе водопользования.**

Приложение 10.1.

**Интеграл вероятности Гаусса**



|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *X* | *Ф(х)* | *X* | *Ф(x)* | *X* | *Ф(х)* | *X* | *Ф(x)* |
| 0,00 | 0 | 0,30 | 0,2358 | 0,60 | 0,4515 | 0,90 | 0,6319 |
| 0,01 | 0,008 | 31 | 0,2434 | 61 | 0,4581 | 91 | 0,6372 |
| 0,02 | 0,016 | 32 | 0,251 | 62 | 0,4647 | 92 | 0,6424 |
| 0,03 | 0,0239 | 33 | 0,2586 | 63 | 0,4713 | 93 | 0,6476 |
| 0,04 | 0,0319 | 34 | 0,2661 | 64 | 0,4778 | 94 | 0,6528 |
| 0,05 | 0,0399 | 35 | 0,2737 | 65 | 0,4843 | 95 | 0,6579 |
| 0,06 | 0,0478 | 36 | 0,2812 | 66 | 0,4997 | 96 | 0,6629 |
| 0,07 | 0,0558 | 37 | 0,2886 | 67 | 0,4971 | 97 | 0,668 |
| 0,08 | 0,0638 | 38 | 361 | 68 | 0,5035 | 98 | 0,6729 |
| 0,09 | 0,0717 | 39 | 0,3035 | 69 | 0,5098 | 99 | 0,6778 |
| 0,10 | 0,0797 | 0,40 | 0,3108 | 0,70 | 0,5161 | 1,00 | 0.6827 |
| 11 | 0,0876 | 41 | 0,3182 | 71 | 0,5223 | 01 | 0,6875 |
| 12 | 0,0955 | 42 | 0,3255 | 72 | 0,5285 | 02 | 0,6923 |
| 13 | 0,1034 | 43 | 0,3328 | 73 | 0,5346 | 03 | 0,697 |
| 14 | 0,1113 | 44 | 0,3401 | 74 | 0,5407 | 04 | 0,7017 |
| 0,15 | 0,1192 | 0,45 | 0,3473 | 0,75 | 0,5467 | 1,05 | 0,7063 |
| 16 | 0,1271 | 46 | 0,3545 | 76 | 0,5527 | 06 | 0,7109 |
| 17 | 0,135 | 47 | 0,3616 | 77 | 0,5587 | 07 | 0,7154 |
| 18 | 0,1428 | 48 | 0,3688 | 78 | 0,5646 | 08 | 0,7199 |
| 19 | 0,1507 | 49 | 0,3759 | 79 | 0,5705 | 09 | 0,7243 |
| 0,20 | 0,1585 | 0,50 | 0,3829 | 0,80 | 0,5763 | 1,10 | 0,7287 |
| 21 | 0,1663 | 51 | 0,3899 | 81 | 0,5821 | 11 | 0,733 |
| 22 | 0.1741 | 52 | 0,3969 | 82 | 0,5878 | 12 | 0,7373 |
| 23 | 0,1819 | 53 | 0,4039 | 83 | 0,5935 | 13 | 0,7415 |
| 24 | 0,1897 | 54 | 0,4108 | 84 | 0,5991 | 14 | 0,7457 |
| 0,25 | 0,1974 | 0,55 | 0,4177 | 0,85 | 0,6047 | 1,15 | 0,7499 |
| 26 | 0,2051 | 56 | 0,4245 | 86 | 0,6102 | 16 | 0,754 |
| 27 | 0,2128 | 57 | 0,4313 | 87 | 0,6157 | 17 | 0,758 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Окончание приложения 10.1 | | | | | | | |
| *X* | *Ф(х)* | *X* | *Ф(x)* | *X* | *Ф(х)* | *X* | *Ф(x)* |
| 28 | 0,2205 | 58 | 0,4381 | 88 | 0,6211 | 18 | 0,762 |
| 29 | 0,2282 | 59 | 0,4448 | 89 | 0,6265 | 19 | 0,766 |
| 0,30 | 0,2358 | 0,60 | 0,4515 | 0,90 | 0,6319 | 1,20 | 0,7699 |
| 1,20 | 0,7699 | 1,50 | 0,8664 | 1,80 | 0,9281 | 2,50 | 0,9876 |
| 21 | 0,7737 | 51 | 0,869 | 81 | 0,9297 | 55 | 0,9892 |
| 22 | 0,7775 | 52 | 0,8715 | 82 | 0,9312 | 60 | 0,9907 |
| 23 | 0,7813 | 53 | 0,874 | 83 | 0,9328 | 65 | 0,992 |
| 24 | 0,785 | 54 | 0,8764 | 84 | 0,9342 | 70 | 0,9931 |
| 1,25 | 0,7887 | 1,55 | 0,8789 | 1,85 | 0,9357 | 1,75 | 0,994 |
| 26 | 0,7923 | 56 | 0,8812 | 86 | 0,9371 | 80 | 0,9949 |
| 27 | 0,7959 | 57 | 0,8836 | 87 | 0,9385 | 85 | 0,9956 |
| 28 | 0,7995 | 58 | 0,8859 | 88 | 0,9399 | 90 | 0,9963 |
| 29 | 0,8029 | 59 | 0,8882 | 89 | 0,9412 | 95 | 0,9968 |
| 1,30 | 0,8064 | 1,60 | 0,8904 | 1,90 | 0,9426 | 3,00 | 0,9973 |
| 31 | 0,8098 | 61 | 0,8926 | 91 | 0,9439 | 10 | 0,9981 |
| 32 | 0,8132 | 62 | 0,8948 | 92 | 0,9451 | 20 | 0,9986 |
| 33 | 0,8165 | 63 | 0,8969 | 93 | 0,9464 | 30 | 0,999 |
| 34 | 0,8198 | 64 | 0,899 | 94 | 0,9476 | 40 | 0,9993 |
| 1,35 | 0,823 | 1,65 | 0,9011 | 1,95 | 0,9488 | 3,50 | 0,9945 |
| 36 | 0,8262 | 66 | 0,9031 | 96 | 0,9500 | 60 | 0,9997 |
| 37 | 0,8293 | 67 | 0,905! | 97 | 0,9512 | 70 | 0,9998 |
| 38 | 0,8324 | 68 | 0,907 | 98 | 0,9523 | 80 | 0,9999 |
| 39 | 0,8355 | 69 | 0,909 | 99 | 0,9534 | 90 | 0,9999 |
| 1,40 | 0,8385 | 1,70 | 0,9109 | 2,00 | 0,9545 | 4,00 | 0,9999 |
| 41 | 0,8415 | 71 | 0,9 27 | 05 | 0.9596 |  |  |
| 42 | 0,8444 | 72 | 0,9146 | 10 | 0,9643 | 4,417 | 1 |
| 43 | 0,8473 | 73 | 0,9164 | 15 | 0,9684 |  |  |
| 44 | 0,8501 | 74 | 0,9181 | 20 | 0,9722 |  |  |
| 1,45 | 0,8529 | 1,75 | 0,9199 | 2,25 | 0,9756 |  |  |
| 46 | 0,8557 | 76 | 0,9216 | 30 | 0,9786 |  |  |
| 47 | 0,8584 | 77 | 0,9233 | 35 | 0,9812 |  |  |
| 48 | 0,86! 1 | 78 | 0,9249 | 40 | 0,9836 |  |  |
| 49 | 0,8638 | 79 | 0,9265 | 45 | 0,9857 |  |  |
| 1,50 | 0,8664 | 1,80 | 0,9281 | 2,50 | 0,9876 |  |  |

Приложение 10.2

**Примеры расчета качества воды в реке.**

1. Проектируется русловый выпуск сточных вод в центре реки Расход сточных вод *qo=0,5 м3/с*, содержание консервативной примеси в них Sо=1 г/л. Фоновая концентрация этой примеси в реке *Sф = 0,0005 г/л*. Осредненные гидравлические и морфологические характеристики реки на участке смешения по расчетному расходу с учетом расхода сточных вод равны**:** *В=308 м, Н=2,42м, V=0,18 м/с, С=8,6 м1/2/с*. Необходимо вычислять концентрацию примеси *S* в 1000 м ниже выпуска на расстоянии 70 м от берега и 2 м от поверхности реки в точке планируемого водозабора.

Поскольку примесь консервативная, то *К1 = 0*. Для расчетов используем уравнение (2.3). Вычислим сначала ряд коэффициентов:

м1/2.

*.*

*По таблице прил. 10.1 Ф0*,*В (5,1) = 1.*

Для 

получим *Фо,н(0,04)=0,032.*

Координаты точки планируемого водозабора x= 1000м,

*y = 2 - Н/2 = 2 - 2,42/2 = 0,79 м*; *z=B/2 - 308/2 - 70 = 84 м.* Концентрация примеси в точке водозабора



Если требуется определить максимальную концентрацию примеси, то нужно вычислить ее на оси струи, т.е. при *y = Z = 0*, и она равна

*Smax=0,0157 г/л.*

2. Пусть кроме выпуска, приведенного в первом примере, имеется второй выпуск, расположенный ниже по течению реки на расстоянии 100 м. Параметры обоих стоков при этом одинаковы. Поскольку объем сточных вод небольшой, то гидравлико-морфологические характеристики реки можно оставить без изменения. Расчет концентрации примеси от второго источника приводим для точки водозабора на расстоянии х=900 м по течению реки.

Не повторяя вычислений, аналогичных первому примеру, определим интегралы вероятности Гаусса:

при  Фо,в(5,53)=1,

при  Фо,н(0,044)=0,036.

Решаем уравнение (10.3), но вместо фоновой концентрации, использованной при расчете первого примера, подставляем для точки водозабора *Sp=0,0008 г/л*, а для оси струи *Sp =0,0157 г/л*. Тогда соответствующие концентрации примесей в створе планируемого водозабора при наличии двух стоков равны *S = 0,000973 г/л, Smax =0,0314 г/л.*