

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗВ В ВОДНЫХ ИСТОЧНИКАХ

МЕТОД ВНИИ ВОДГЕО

Пусть S_e – концентрация загрязняющего вещества в реке до сброса, S_{cm} – концентрация загрязняющего вещества в сточных водах, Q_e – расход воды в реке до сброса, Q_{cm} – расход сточных вод, загрязняющее вещество растворимо, консервативно, перемешивается неравномерно, тогда S_{max} (концентрация загрязняющего вещества в максимально загрязненной струе):

$$S_{max} = S_e + \frac{S_{cm} - S_e}{n} \quad (1)$$

где n – кратность разбавления (для данной струи, данного створа), равная

$$n = \frac{\gamma \cdot Q_e + Q_{cm}}{Q_{cm}} \quad (2)$$

Здесь γ – коэффициент смешения (доля расхода реки, участвующая в разбавлении сточных вод):

$$\gamma = \frac{1 - \beta}{1 + \beta \frac{Q_e}{Q_{cm}}} \quad (3)$$

$$\text{где } \beta = e^{-\alpha \sqrt[3]{L}}, \quad (4)$$

α – коэффициент, учитывающий гидравлические условия смешения:

$$\alpha = \zeta \varphi \sqrt[3]{\frac{D}{Q_{cm}}}, \quad (5)$$

L – расстояние от сброса до створа по фарватеру (м), ζ – коэффициент, учитывающий условия сброса (с берега – 1, на стрежне – 1,5), φ – коэффициент извилистости реки ($\varphi = L_{\phi}/L_{пр}$ – отношение расстояний по фарватеру и по прямой), D – коэффициент турбулентной диффузии, который рассчитывается по одному из приведенных ниже уравнений.

$$D = \frac{g H_{cp} V_{cp}}{MC}, \quad (6)$$

где g – ускорение свободного падения (9,8 м/с), H_{cp} – средняя глубина реки на данном участке (м), V_{cp} – средняя скорость течения реки на данном участке (м/с), C – коэффициент Шези (м^{0,5}/с), M – коэффициент, зависящий от C :

при $C \geq 60$ $M = 48$, при $10 < C < 60$ $M = 0,7C + 6$.

Размерность $[MC]$ – м/с². (7)

Для равнинных рек

$$D = H_{cp} \cdot V_{cp} / 200. \quad (8)$$

Для рек любого характера

$$D = H_{cp} \cdot V_{cp} / 37 C^2. \quad (9)$$

Коэффициент Шези для горных рек малой и средней мощности – 15÷35, для предгорных рек – 20÷40, для равнинных рек – 30÷70. Его можно также рассчитать по формулам, приведенным ниже.

$$C = \frac{V_{cp}}{\sqrt{H_{cp} \cdot J}}, \quad (10)$$

где J – измеренный уклон водной поверхности, который может быть найден для данной реки в «Гидрологическом ежегоднике».

$$C = 33 (H_{cp}/d_s)^{1/6}, \quad (11)$$

где d_s – эффективный диаметр частиц донных отложений (мм).

$$C = \frac{1}{K} \sqrt[6]{H_{cp}}, \quad (12)$$

где K – коэффициент шероховатости русла (русла чистые, прямые, земляные – 0,025; большие и средние равнинные реки, в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды – 0,03; равнинные извилистые реки с неправильным рельефом дна – 0,04; большие и средние реки, извилистые, засоренные, каменистые, с беспокойным течением – 0,05; русла со слабым течением, значительно заросшие, с глубокими промоинами, валунные, горные – 0,08; горно-водопадные – 0,1; болотного типа – 0,133).

Коэффициент смешения γ практически всегда меньше 1. Створ же, в котором $\gamma = 1$, называют створом «полного перемешивания». Расстояние по фарватеру от места сброса до створа «полного перемешивания» (L_{nn}) можно вычислить по формуле

$$L_{nn} = \left[\frac{2,3}{\alpha} \lg \frac{\gamma Q_c + Q_{cm}}{(1-\gamma)Q_{cm}} \right]^{-1}, \quad (13)$$

но при $\gamma = 1$ в выражении, стоящем под знаком логарифма, в знаменателе появляется 0, т.е. само это выражение равно бесконечности, а значит $L_{nn} \rightarrow \infty$, что не имеет смысла. Поэтому принято рассматривать створ «достаточного перемешивания», где $\gamma = 0,95$ или 0,90 (редко 0,8).

Следует иметь в виду, что уравнение (12) применимо при $0,025 \leq Q_{cm}/Q_c \leq 0,1$.

Концентрация загрязняющего вещества в створе «полного перемешивания» в реках (каналах), где полный объем воды

$$W \ll \left(Q_{cm} + \sum_i Q_i \right), \text{ а } Q_i - \text{расход воды в основном русле и прито-}$$

ках, определяется по уравнению

$$S_{nn} = \frac{S_{cm} \cdot Q_{cm} + \sum_i S_i Q_i}{Q_{cm} + \sum_i Q_i}, \quad (14)$$

где индекс $лп$ означает створ «полного перемешивания». Кратность разбавления в створе «полного перемешивания» $n_{лп}$ или n_{max} для рек из (2) будет определяться как

$$n_{max} = \frac{Q_{см} + \sum_i Q_i}{Q_{см}}. \quad (15)$$

С точки зрения концентрации i -го загрязняющего вещества в реке выделяют три области:

1. Область фонового качества воды, в которой $S_i \leq \text{ПДК}$.
2. Область загрязнения, где $S_i - \text{ПДК} > 0$.
3. Область влияния, где $\text{ПДК} - S_i > 0$.

Ниже места сброса сточных вод соответственно рассматриваются три зоны смешения их с водами реки:

1. Зона начального разбавления (турбулентный струйный поток).
2. Зона основного разбавления (основной турбулентный поток).
3. Зона снижения концентрации загрязняющего вещества за счет самоочищения (за створом «полного перемешивания»).

Приведенная выше методика рассматривает разбавление сточных вод только в области с большими концентрациями загрязняющего вещества (область загрязнения).

НОРМИРОВАНИЕ СБРОСОВ В РЕКИ ПО ОДНОМУ ЗАГРЯЗНЯЮЩЕМУ ВЕЩЕСТВУ

1. Створ «полного (достаточного) перемешивания»

В створе «полного перемешивания» уравнение материального баланса для загрязняющего вещества будет иметь вид:

$$S_{nn} \cdot (Q_e + Q_{cm}) = S_{cm} Q_{cm} + S_e Q_e . \quad (15)$$

Если предприятие забирает воду для технологических целей из этой же реки выше сброса, и «забор» примерно равен «сбросу», то

$$S_{nn} \cdot Q_c = S_{cm} Q_{cm} + S_c (Q_c - Q_{cm}). \quad (16)$$

При $Q_c \gg Q_{cm}$

$$S_{nn} \cdot Q_c = S_{cm} Q_{cm} + S_c Q_c. \quad (17)$$

Предельно допустимое (ПД) состояние качества вод по загрязняющему веществу в створе $nn - dn$ определяется ПДК:

$$S_{nn} \approx S_{on} = \text{ПДК}. \quad (18)$$

Если M_{no} – предельно допустимый сброс загрязняющего вещества (г/с или кг/с), то

$$M_{no} = (S_{cm} Q_{cm})_{no} \quad (19)$$

а из (17) и (18):

$$M_{no} = (\text{ПДК} - S_c) Q_c. \quad (20)$$

При $S_c \approx \text{ПДК}$ сброс загрязняющего вещества с $S_{cm} > \text{ПДК}$ недопустим.

Когда Q_c и Q_{cm} соизмеримы, используются уравнения (15) и (16). В обоих случаях при проектировании Q_{cm} или S_{cm} задается, а вторая величина вычисляется из (19).

Если вода для технологических целей забирается из другого источника, то из (15) и (18):

$$M_{no} - ПДК \cdot Q_{cm} = (ПДК - S_c) Q_c, \quad (21)$$

откуда

$$M_{no} = ПДК \cdot Q_c \left(\frac{Q_{cm}}{Q_c} + 1 - \frac{S_c}{ПДК} \right). \quad (22)$$

При заборе воды из той же реки выше сброса из (16):

$$M_{no} - S_c Q_{cm} = (ПДК - S_c) Q_c, \quad (23)$$

или

$$M_{no} = ПДК \cdot Q_c \left[\frac{S_c / ПДК}{Q_{cm} / Q_c} + 1 - \frac{S_c}{ПДК} \right]. \quad (24)$$

2. СТОР «НЕДОСТАТОЧНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ»

В створе «недостаточного перемешивания» должно выполняться следующее условие:

$$\frac{S_{\max}}{\text{ПДК}} \leq 1, \quad (25)$$

откуда кратность разбавления определяется следующим уравнением:

$$n = \frac{S_{\text{ст}} - S_e}{S_{\max} - S_e}. \quad (26)$$

Для ПД состояния качества вод из (25)

$$S_{\max} = \text{ПДК}, \quad (27)$$

а из (19), (26) и (27):

$$M_{\text{по}} = [n_{\text{по}}(\text{ПДК} - S_e) + S_e] \cdot Q_{\text{ст}}. \quad (28)$$

$Q_{\text{ст}}$ и $n_{\text{по}}$ взаимозависимы, поэтому, как и в предыдущем разделе, должны задаваться $Q_{\text{ст}}$ или $S_{\text{ст}}$. Тогда $n_{\text{по}}$ вычисляется по уравнению (26). Выбор вариантов выполнения ПДС делается с учетом технологических и экономических возможностей.

3. НОРМИРОВАНИЕ СБРОСОВ В РЕКИ ПО НЕСКОЛЬКИМ ЗАГРЯЗНЯЮЩИМ ВЕЩЕСТВАМ

3.1 СТОР «ПОЛНОГО (ДОСТАТОЧНОГО) ПЕРЕМЕШИВАНИЯ»

Нормирование сбросов, содержащих несколько загрязняющих веществ, возможно лишь в том случае, когда все они характеризуются одним лимитирующим показателем вредности (ЛПВ). ЛПВ может быть общесанитарным, санитарно-токсикологическим, органолептическим или рыбохозяйственным.

В этом случае в створе « $дт$ » частные значения концентраций загрязняющих веществ обозначим s_{ni} , сумму концентраций m учитываемых веществ – S_n . Вредность сточных вод (или вод реки) будет характеризоваться обобщенным показателем вредности R .

Тогда в створе « $дт$ » должно выполняться условие

$$\left(\frac{\sum_{i=1}^m s_{ni}}{ПДК_i} \right)_{нп} = 1, \quad (29)$$

а

$$S_n = \sum_{i=1}^m s_{ni}. \quad (30)$$

$$R_{cm} = \left(\frac{1}{S_{cm}} \right) \cdot \left(\frac{\sum_{i=1}^m S_{cmi}}{ПДК_i} \right) \quad (31)$$

или

$$\sum_{i=1}^m \frac{S_{cmi}}{ПДК_i} = S_n R_{cm} . \quad (32)$$

Для предельного состояния вод (ПД) из (29):

$$(S_n)_{no} = 1/R_{cm} . \quad (33)$$

Если фон по учитываемым веществам равен нулю, то ПДС:

$$M_{mno} = (S_{cm} Q_{cm})_{no} = (S_n)_{no} \cdot Q_c , \quad (34)$$

откуда

$$M_{mno} = Q_c / R_{cm} , \quad (35)$$

где $M_m = \sum_i m_i .$

Если фоном пренебречь нельзя, методика расчета ПДС существенно усложняется.

В этом случае следует рассматривать обобщенный показатель вредности по составу стока (R_{cm}) и по составу вод реки выше сброса (R_e):

$$\left. \begin{aligned} R_{cm} &= \left(\frac{1}{\boxed{\text{ПДК}}_m} \right) \left(\sum_1^m \frac{\alpha_{cmi}}{\xi_i} \right) \\ R_e &= \left(\frac{1}{\boxed{\text{ПДК}}_m} \right) \left(\sum_1^m \frac{\alpha_{cmi}}{\xi_i} \right) \end{aligned} \right\}, \quad (36)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{где } \boxed{\text{ПДК}}_m &= \sum_1^m \text{ПДК}_i \\ \alpha_{cmi} &= \frac{s_{cmi}}{S_{cm}}, S_{cm} = \sum_1^m s_{cmi} \\ \alpha_{ei} &= \frac{s_{cmi}}{S_e}, S_e = \sum_1^m s_{ei} \\ \xi_i &= \text{ПДК}_i / \boxed{\text{ПДК}}_m \end{aligned} \right\}. \quad (37)$$

$$\text{Из (15)} \quad (Q_e + Q_{cm}) \sum_1^m \frac{S_{ni}}{ПДК_i} = Q_{cm} \sum_1^m \frac{S_{cmi}}{ПДК_i} + Q_e \sum_1^m \frac{S_{ei}}{ПДК_i}, \quad (39)$$

$$\text{а из (36), (37)} \quad \sum_1^m \frac{S_{cmi}}{ПДК_i} = \frac{S_{cm}}{[ПДК]_m} \cdot \sum_1^m \frac{\alpha_{cmi}}{\xi_i} = R_{cm} S_{cm}, \quad (40)$$

$$\text{а } \sum_1^m \frac{S_{ei}}{ПДК_i} = S_e R_e. \quad (41)$$

Из (39) – (41)

$$\sum_1^m \frac{S_{ni}}{ПДК_i} = \frac{S_{cm} Q_{cm} R_{cm}}{Q_e + Q_{cm}} + \frac{S_e Q_e R_e}{Q_e + Q_{cm}}. \quad (42)$$

В условиях ПД из (29) и (31):

$$M_{m \text{ пд}} = \frac{Q_e \left(\frac{Q_{cm}}{Q_e} + 1 - S_e R_e \right)}{R_{cm}}. \quad (43)$$

Далее: задается S_{cm} , а Q_{cm} рассчитывается или, наоборот, задается Q_{cm} , а $(S_{cm})_m$ рассчитывается. Окончательно вариант характеристики сброса выбирают, исходя из технологической и экономической целесообразности.

Если $Q_e \gg Q_{cm}$, то (43) можно упростить:

$$M_{m \text{ пд}} = \frac{Q_e (1 - S_e R_e)}{R_{cm}}. \quad (44)$$

СТВОР НЕДОСТАТОЧНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

В створе «недостаточного перемешивания» ПДС по нескольким загрязняющим веществам поддается расчету лишь при фоне по ним, равном нулю.

В этом случае из (43) и (2):

$$M_{\text{мн}} = \frac{(n_{\text{обш}} Q_{\text{см}})_{\text{н0}}}{R_{\text{см}}} . \quad (45')$$

2.4 НОРМИРОВАНИЕ СБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ОЗЕРА И МОРЯ

Озера могут быть непроточными и проточными. В первом случае перемешивание вод происходит лишь за счет ветровых течений, направление которых изменчиво. Поэтому сброс стоков с берега крайне нежелателен, так как с определенной степенью вероятности ветер будет дуть в сторону сброса от водоема, что приведет к очень сильному загрязнению прибрежной зоны, а ветер, дующий вдоль берега, будет приводить к загрязнению большой прибрежной зоны. Углубленный сброс вдали от берега возможен, но для проведения его нормирования необходимо подробное изучение гидрологии данного водоема.

Для проточных озер (искусственных водохранилищ), в отличие от рек, всегда полный объем воды, $W \gg \left(Q_{cm} + \sum_i Q_i \right)$ поэтому с учетом периода полного обмена воды (τ_n):

$$\tau_n = \frac{W}{Q_{cm} + \sum_i Q_i - Q_n}, \quad (45)$$

где Q_i – расход воды в каждом впадающем в озеро водоводе, Q_n – потери воды без загрязняющих веществ (испарение), концентрация загрязняющего вещества в створе «лт» («дт») будет составлять

$$S_{лт} = \frac{\left(S_{cm} Q_{cm} + \sum_i S_i Q_i \right) \tau_n}{W}, \quad (46)$$

если S_i – концентрация загрязняющего вещества в каждом впадающем в озеро водоводе.

Максимальную кратность разбавления (n_{max}) можно рассчитать по уравнению:

$$n_{max} = \frac{S_{cm} - \sum_i S_i}{\left[\left(S_{cm} Q_{cm} + \sum_i S_i Q_i \right) \frac{\tau_n}{W} \right] - \sum_i S_i}, \quad (47)$$

так как $n = \frac{S_{cm} - S_e}{S_{max} - S_e}.$ (48)

Разбавление сточных вод в морях связано с рядом особенностей. Плотность сточной воды всегда меньше, чем плотность морской воды, поэтому при глубинном сбросе струи стоков всегда поднимаются, и при этом происходит их разбавление. «Расход» морской воды всегда много больше расхода стока, а концентрация загрязняющего вещества в створе «лт» примерно равна его концентрации в исходной морской воде, так как максимальная кратность разбавления стремится к бесконечности. Исходя

МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ СБРОСОВ

Радикального снижения сбросов, как и выбросов, можно добиться за счет разработки и внедрения малоотходных и безотходных технологий, глубокой очистки сточных вод и внедрения замкнутого водооборота.

Совершенствование имеющихся способов очистки сточных вод позволяет также добиться определенного снижения сбросов загрязняющих веществ.

Необходимая степень очистки сточных вод ($\mathcal{E}$), которую следует достичь, может быть рассчитана по уравнению:

$$\mathcal{E}(\%) = \frac{S_{ст.исх} - S_{ст.доп}}{S_{ст.исх}} \cdot 100, \quad (49)$$

где индекс «исх» – исходная, «доп» – допустимая.

Применяются также так называемые «регулируемые» сбросы. В периоды неблагоприятных гидрологических условий (малый расход воды в реке) часть сбросов направляется в пруды-накопители, откуда затем сбрасывается во время половодья.