

Абдурасулов И.Л., Бажиева А.М.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТОЧНЫХ ВОД НА СОСТОЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД

I.L. Abdurasulov, A.M. Bazhieva

MODELING THE IMPACT OF WASTEWATER STATE OF SURFACE WATER

УДК: 131628.03/342(043)

Изложены вопросы моделирование загрязнения поверхностных вод сточными водами.

Set out the simulation of surface water pollution from sewage.

Основным уравнением, используемым для моделирования загрязнения и самоочищения, является уравнение турбулентной диффузии жидкости:

$$\frac{dC}{dt} + V_x \frac{dC}{dx} + V_y \frac{dC}{dy} + V_z \frac{dC}{dz} = \frac{d}{dx} \left(D_x \frac{dC}{dx} \right) + \frac{dC}{dx} \left(D_y \frac{dC}{dy} \right) + \frac{d}{dz} \left(D_z \frac{dC}{dz} \right) - F(S), \quad (1)$$

где: C – концентрация загрязнения, мг/л; t – время, с; x – горизонтальная координата, м; y – поперечная координата, м; z – вертикальная координата, м; V_x, V_y, V_z – компоненты вектора скорости, м/с; D_x, D_y, D_z – коэффициенты турбулентной диффузии по соответствующим направлениям; $F(S)$ – функция, характеризующая разложение загрязнения.

При построении математических моделей следует учитывать [1]: мерность исследуемой области и процесса (модель одномерная, двухмерная (в вертикальном сечении или в плане), трехмерная; тип конвективно-диффузионного переноса (стационарный, нестационарный); описание конвективно-диффузионного процесса по связи с направлением диффузии (изотропная, анизотропная, смешанная), по степени неоднородности (однородная, неоднородная) и по типу загрязняющих веществ). Выбор математической модели определенной сложности обусловлен в значительной мере простотой пользования модели при решении практических задач [2].

Вопросы моделирования воздействия сточных вод на водные объекты посвящены работы М.И. Адексева, Ю.Б. Безобразова, А.В. Караушева, Г.Г. Кривошеева, Н.Н. Лапшова, Л.Л. Пааля, И.Д. Родзиллера, В.А. Сууркаска, В.А. Фролова и других исследователей. При расчете необходимой степени очистки сточных вод для водотоков с сосредоточенными береговыми и русловыми выпусками наиболее часто рекомендуют использовать методику, основанную на применении для решения одномерной задачи коэффициента смешения по формуле Фролова-Родзиллера и А.В. Караушева [3-9].

Метод В.А. Фролова – И.Д. Родзиллера нашел наибольшее распространение из-за своей простоты и небольшого объема вычислительных работ. Его целесообразно применять для больших и средних

рек при оценочных расчетах; когда решается вопрос о возможности сброса сточных вод в реку.

В инженерной практике получили распространение приближенные аналитические методы решения целого ряда относительно простых задач прогноза качества воды. Однако при исследовании процессов турбулентной диффузии в естественных водоемах со сложной морфологией при переменных граничных условиях этот чрезвычайно мощный математический аппарат становится громоздким и поэтому теряет свое главное преимущество – простоту.

Подробный анализ методов расчета имеется в монографии [10] и в работе [11]. Следует отметить, что эти методики рассматривают только выпуск сточных вод через организованные выпуски.

Процессы формирования качества воды в водотоках существенным образом зависят от вида поступающих в него сточных вод, в том числе поверхностного стока с территории населенных мест, животноводческих комплексов и удобряемых сельскохозяйственных угодий.

Процесс смешения сточных вод с водой реки считается ключевым при выборе систем водоотведения [12]. Для расчета поверхностного стока в случае его перехвата системой дождевой канализации, балками, ручьями, оврагами могут использоваться те же методы, что и для сосредоточенных выпусков бытовых сточных вод. Учитывая, что дождевая канализация обычно имеет несколько выпусков, данную задачу необходимо свести к определению воздействия на водоем множества выпусков.

Оценить влияние на водоем поверхностного стока, если он поступает неорганизованно через береговую линию, т.е. более или менее распределенным вдоль береговой линии, очень трудно. В ряде работ [13, 14], предлагается равномерно поступающий вдоль береговой линии расход поверхностных вод заменять дискретным т.е. некоторым числом сосредоточенных расходов, привязанных к каким-то точкам участка, расход которого он объединяет.

В этих работах для решения задачи распространения загрязнений в водотоке используется, как правило, простейшая модель – одномерное уравнение турбулентной диффузии:

$$\frac{dC}{dt} + v \frac{dC}{dx} = \frac{1d}{Fdx} D F_x \frac{dC}{dx} - k_1 C + f, \quad (2)$$

где: D – коэффициент продольной дисперсии; F – площадь живого сечения, v – средняя скорость потока; f – мощность источников; C – концентрация вещества; k_1 – коэффициент неконсервативности.

Уравнение (2) можно использовать в случае, когда распределение концентрации по живому сечению потока близко к равномерному [15]. Однако это условие не выполняется, если в отдельных точках течения имеются области с повышенной концентрацией примеси, что приводит к ее неравномерному распределению по сечению. Такая картина наблюдается при поступлении в водоток загрязнений с производственными стоками, когда более высокие концентрации будут у берегов. В связи с этим использование уравнения (2) для расчетов концентрации примеси в водотоке с учетом поверхностного стока требует специального обоснования [2]. Так как с учетом неравномерности распространения загрязнений по живому сечению одномерное уравнение нельзя получить простым отбрасыванием не характерных для одномерной задачи членов. Подходящая в этом случае математическая зависимость была найдена в работе [16] осреднением трехмерного уравнения диффузии с учетом неустановившегося характера движения потока. Она имеет вид

$$\frac{dC}{dt} + v \frac{dC}{dx} = \frac{1}{F} \frac{d}{dx} DF \frac{dC}{dx} - \frac{1}{F} \frac{d}{dx} - qC + f,$$

где: $qC = q_{пр}C/F$ – член, определяющий дополнительное разбавление за счет поступления воды в ПС; член, связанный с неравномерностью распределения загрязнения по живому сечению.

Исследование степени влияния величины $qC = q_{пр}C/F$ было сделано годом позже в работе [17], где показано, что пренебрежение этим членом ведет к занижению результатов до 25 %. Там же предложено в качестве исходного уравнения для расчета концентрации веществ в водотоке, принимающем ПС, уравнение в котором свободный член выражен известными величинами.

Константой x , определяющей распределением осредненных скоростей в потоке и корректирующей константой v . Это уравнение имеет вид

$$\frac{dC}{dt} + v \frac{dC}{dx} = \frac{1}{F} \frac{d}{dx} DF \frac{dC}{dx} - vx \left(vf - D \frac{df}{dx} \right) - qC. \quad (4)$$

В [18] *считается*, что если на исследуемом участке водотока источники поступления ПС обладают малой мощностью, то влиянием неравномерности распределения примеси по живому сечению на ее продольное рассеивание можно пренебречь.

Рассмотрим математическую модель, описывающую взаимодействие ПС с водным потоком в установившемся режиме, основанную на одномерном дифференциальном уравнении первого порядка с постоянными коэффициентами на некотором интервале – $Q(x)$

$$\frac{dC}{dt} + k \cdot C = - \frac{q}{Q(x)} (C - C_n), \quad (5)$$

где: $C(x)$ – концентрация примесного вещества в водотоке; k – коэффициент неконсервативности ($k = \text{const}$); v – средняя по сечению скорость течения ($V = \text{const}$); D – коэффициент продольной дисперсии ($D = \text{const}$); $Q(x) = Q_0 + qx$ – расход воды, медленно изменяющийся по длине водотока; q – удельный расход (на единицу длины) поверхностного стока ($q = \text{const}$); C_n – концентрация примесного вещества в ПС ($C_n = \text{const}$); x – продольная координата; k^* – коэффициент, учитывающий влияние продольной дисперсии в рамках уравнения первого порядка (при $D \rightarrow 0$ значение $k^* \rightarrow k/v$).

$$k^* = - \frac{v}{2D} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4kD}{v^2}} \right). \quad (6)$$

Решение уравнения (5), с учетом граничного условия $C_{x=0} = C_0$ было получено в работе [18] и имеет зад:

$$C(x) = \frac{1}{Q(x)} \left[C_0 Q_0 e^{-k^*x} + \frac{qC_n}{k} (1 - e^{-k^*x}) \right] \quad (7)$$

Для расчета допустимых нагрузок загрязнения водотоков необходимо помимо прочих факторов знать зависимости, характеризующие процессы их самоочищения, то есть процессы смешения, выделения и превращения веществ загрязнения, поступающих в реки со сточными водами.

В работе [10], отмечено, что оценка загрязнения и самоочищения водного объекта должна начинаться с расчета разбавления сточных вод и осаждения взвешенных загрязняющих веществ.

В своей работе И.Д. Родзиллер [14] предложил следующий алгоритм расчета неорганизованного ПС: длину берегового участка l_6 , на котором ПС поступает в водоем с удельным расходом на единицу длины береговой линии q_y , надо разбить на отдельные отрезки длиной $l_{от}$. В зависимости расхода воды на участках

$$q_y = Q_{сб}/l_6$$

Тогда расход отрезка береговой линии будет равен

$$Q_{от} = q_y l_{от} \quad (9)$$

Этот расход $Q_{от}$ и следует привязать к какой-либо точке отрезка, например к его середине, и рассматривать как сосредоточенный сброс через береговой выпуск.

Очевидно, что для небольших рек, где учет поступления загрязненной воды через береговую линию особенно актуален, расход воды по длине реки будет переменной величиной. Поэтому при прогнозировании влияния поступающего поверхностного стока на качество воды такой реки расход воды в ней следует принимать переменным. Для этого надо к какой-то исходной величине расхода

реки прибавлять все дискретные расходы ПС, принятые по пути.

Автор отмечает, что чем на меньшие участки или отрезки разбить береговую линию ($l_{от}$), тем более точным, но и более трудоемким будет расчет. Поэтому число отрезков береговой линии должно диктоваться требованиями к тщательности прогноза.

Литература:

1. Канализация. Изд. пятое, переработаное и дополненное / СВ. Яковлев, Я А. Карелин, А.И. Жуков, С.К. Колобанов. –М.: Строй издат, 1975. -632 с.

2. Кичигин В.И., Палагин Е.Д. К вопросу о моделировании процессов формирования качества воды на участке водотока, принимающего поверхностный сток // Актуальные проблемы в строительстве и архитектуре. Образование. Наука. Практика. Материалы 62-й Всероссийской науч. техн. конференции. Часть II. - Самара: СГАСУ, 2005.-С. 246- 248.

3. Алексеев М.И., Кривошеее Г.Г. Обобщение частных случаев расчета необходимой степени очистки сточных вод при множестве выпусков в водотоки // Городское хозяйство и экология. Водоснабжение и канализация: Известия ЖКХ, № 2,- М: 1997. - С. 53-64.

4. Балацкий О.Ф., Мельник Л.Г., Яковлев А.Ф. Экономика и качество окружающей природной среды. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 189 с.

5. Коваленко М.С., Карабаш Г.А. Оценка влияния выноса пестицидов поверхностным стоком на качество воды водотоков // Охрана вод от загрязнения поверхностным стоком. (Сборник научных трудов). - Харьков: ВНИИВО, 1983. - С. 80-92.

6. Пааль Л.Л., Сууркас В.А. О влиянии условий выпуска на перенос сточных вод в реках // Материалы VI Всесоюзного симпозиума по современным проблемам самоочищения водоемов и регулирования качества воды. I секция "Физические аспекты формирования качества воды". - Таллин: ТЛИ, 1979. - С. 21-24.

7. Прахова Т.Н. Метод расчета загрязненности и технология очистки поверхностных сточных вод предприятий стройиндустрии // Методы обработки и использования поверхностного стока с территорий промплощадок и населённых мест (тезисы докладов). — Челябинск, 1985. - С. 19-20.

8. Практические рекомендации по расчету разбавления сточных вод в реках, озерах и водохранилищах. - Л.: Изд. ГГИ, 1973.

9. Справочник проектировщика: Канализация населенных мест и промышленных предприятий / под ред. В.И. Самохина. - М.: Стройиздат, 1981. - 638 с.

10. Кичигин В.И. Основы моделирования и оптимизации территориальных систем водоотведения,- Самара: Самарская гос. арх.-строит, академия, 2002.-339 с.

И. Кичигин В.И., Палагин Е.Д. Выбор систем водоотведения на ЭВМ: Учебное пособие. - Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т, 2005.- 241 с.

11. Кичигин В.И., Палагин Е.Д. Принципы выбора систем водоотведения в условиях неопределенности // Водоотводящие системы промышленных предприятий: Учебно-справочное пособие,- Самара: Самарск. гос. арх.-строит. ун-т. 2004. - 504 с.

12. Кичигин В.И. Моделирование и оптимизация территориальных систем водоотведения. Автореф. дис. ... доктора тех. наук. НИИ ВОДГЕО. - Москва, 2001. -42 с.

13. Родзиллер И.Д. Прогноз качества воды водоемов - приемников сточных вод. Серия «Охрана окружающей природной среды» - М: Стройиздат, 1984. - 263 с.

14. Еременко Е.В., Колпак В.З. Определение концентрации примесей в водотоках, принимающих поверхностный сток // Материалы V всесоюзного научного симпозиума по современным проблемам самоочищения и регулированию качества воды. I секция «Физические аспекты самоочищения рек и водоемов» - Таллин, 1975. - С. 69- 73.

15. Еременко Е.В., Колпак В.З. Определение в водотоке концентрации примесей, поступающих с поверхностным стоком. — В кн.: Гидравлика и гидротехника. Вып. 16.- Киев: «Техника», 1973. — С. 9-14.

16. Колпак В.З. Об особенностях распределения концентрации примеси в водотоке, принимающем поверхностный сток. - В сб.: Проблемы охраны вод. Вып. 5.- Харьков, ВНИИВО, 1974. - С. 173 - 184.

17. Благущ П. Факторный анализ с обобщениями: Пер. с чешек.; Вступительная статья Б.Г. Миркина. - М.: Финансы и статистика, 1989.-248 с. - (Б-чка иностранных книг для экономистов и статистов).

18. Кичигин В.И. Основы моделирования и оптимизации территориальных систем водоотведения,- Самара: Самарская гос. арх.-строит, академия, 2002.-339 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Халимов Д.П.