

Угненко Е.Б., д-р техн. наук, Сорочук Н.И. (ХНАДУ)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА ОДНОКОМПОНЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Анотація. Представлені двох- і тривимірні рівняння турбулентної дифузії, а також уравнения поперечної дисперсії із зазначенням граничних умов. Удосконалена математична модель може бути використана для визначення якості поверхневих вод при реконструкції автомобільних доріг.

Ключові слова: поверхневий стік, математична модель, турбулентна дифузія, рівняння поперечної дисперсії.

Аннотация. Представлены двух- и трехмерные уравнения турбулентной диффузии, а также уравнение продольной дисперсии с указанием граничных условий. Усовершенствованная математическая модель может быть использована для определения качества поверхностных вод при реконструкции автомобильных дорог.

Ключевые слова: поверхностный сток, математическая модель, турбулентная диффузия, уравнение продольной дисперсии.

Annotation. In this article two- and three-dimensional equation of turbulent diffusion and the equation of longitudinal dispersion with the boundary conditions are presented. The developed mathematical model can be used to determine the quality of surface waters during roads reconstruction.

Key words: surface runoff, the mathematical model, turbulent diffusion, the equation of longitudinal dispersion.

Однокомпонентные модели качества воды используются в прогнозных расчетах содержания неконсервативных веществ в водоемах и водотоках при эксплуатации и реконструкции автомобильных дорог. С их помощью описываются процессы биохимической трансформации веществ. Зависимость скорости биохимической трансформации веществ от гидродинамических характеристик потока и внешних условий учитывается с помощью

коэффициента неконсервативности. Величина коэффициента неконсервативности:

$$k = k_{cm}k_d, \quad (1)$$

где k_{cm} - статический коэффициент неконсервативности, сут.⁻¹, характеризующий скорость биохимической трансформации вещества в статических условиях (при отсутствии течения). Величина этого коэффициента определяется для каждого вещества экспериментально. Значения статических коэффициентов неконсервативности веществ для нормальных условий (температура воды 20°C и атмосферное давление 1 атм.) приводятся в справочной литературе [4]; k_d - динамический коэффициент неконсервативности, сут.⁻¹, учитывающий интенсификацию процессов биохимической трансформации в водном потоке. Величина этого коэффициента всегда больше или равна 1 и увеличивается при росте скорости потока в диапазоне от 0 до 0,2 м/с.

При проведении прогноза качества воды водных объектов расчет процессов переноса и трансформации веществ осуществляется на основе уравнения турбулентной диффузии. При среднесрочном или долгосрочном прогнозировании используется запись этого уравнения для условий установившегося потока. Для водотоков обычно используется запись этого уравнения для условий установившегося потока. Для водотоков обычно используется одномерное уравнение продольной дисперсии, которое получается из трехмерного уравнения турбулентной диффузии осреднением его по живому сечению потока. Для водоемов в зависимости от их гидродинамических характеристик могут использоваться одно-, двух- и трехмерные уравнения турбулентной диффузии [2]. Двух- и трехмерные уравнения турбулентной диффузии, как правило, не имеют аналитического решения и решаются численными методами с применением компьютерных программ. Уравнение продольной дисперсии при граничном условии $C(0) = C_0$:

$$D \frac{d^2C}{dx^2} - v \frac{dC}{dx} - k \cdot C + f = 0 \quad (2)$$

имеет аналитическое решение вида:

$$C(x) = C_0 \cdot \exp(\gamma \cdot x) + \frac{f}{k} (1 - \exp(\gamma \cdot x)) \quad (3)$$

$$\gamma = \frac{v - \sqrt{v^2 + 4 \cdot k \cdot D}}{2D}$$

где C_0 - концентрация вещества в начальном створе, г/м³; k - коэффициент неконсервативности вещества, 1/с; v - скорость потока, м/с; D - коэффициент продольной дисперсии, м²/с; f - интенсивность аллохтонного поступления вещества, г/м³.

Одним из основных внешних диффузных (равномерно распределенных по всему потоку) источников поступления в водный объект веществ является неорганизованный поверхностный сток с автомобильных дорог. В этом случае интенсивность аллохтонного поступления вещества в водный объект определяется по формуле:

$$f = \frac{Q_{нов} \cdot C_{нов}}{L \cdot w} \quad (4)$$

где $Q_{нов}$ и $C_{нов}$ - расход и концентрация вещества в поверхностном стоке соответственно, м³/с и г/м³; L -протяженность водосборной территории (участка автомобильной дороги) вдоль водного объекта, м; w - площадь живого сечения потока, м². При отсутствии диффузного поступления вещества извне величина f принимается равной нулю.

Для консервативного вещества прогноз качества воды при наличии его внешнего диффузного поступления в водный объект производится по формуле:

$$C(x) = C_0 + \frac{f}{v} \cdot x, \quad (5)$$

Если в водный объект одновременно поступают сточные воды организованных выпусков и неорганизованный поверхностный сток с автомобильной дороги, то решение определяется в соответствии с принципом суперпозиции для неконсервативных веществ по формуле:

$$D \frac{d^2 C}{dx^2} - v \frac{dC}{dx} - k \cdot C + f = 0 \quad (6)$$

Двухкомпонентные модели качества воды получили широкое распространение при прогнозных расчетах содержания органических веществ, оцениваемого величиной БПК, и растворенного кислорода в воде водоемов и водотоков. Содержание кислорода в поверхностных водах определяется соотношением его поступления, главным образом, в процессе атмосферной реэрации и потреблением его в основном на процессы биохимического окисления органических веществ [3].

Атмосферная реэрация представляет собой процесс поступления кислорода из атмосферы в воду через свободную поверхность потока. Поступление кислорода в водный объект ограничивается его растворимостью в воде. Количественной характеристикой растворимости кислорода является величина концентрации насыщения, то есть концентрации растворенного кислорода в воде, при которой кислород находится в состоянии равновесия. Величина концентрации насыщения зависит от температуры воды и определяется по таблицам или рассчитывается по эмпирической формуле:

$$C_s = 14,62 - 0,4042 \cdot T + 0,00842T^2 - 0,00009T^3, \quad (7)$$

где T - температура воды, °С.

Скорость переноса кислорода через свободную границу потока характеризуется коэффициентом реэрации. Величина этого коэффициента зависит от температуры и солености воды, турбулентности потока, характеристик газообмена между водой и атмосферой. Экспериментально установлено, что процесс реэрации обуславливается явлением молекулярной диффузии на границе сред "вода-воздух". Существует ряд эмпирических формул для определения величины коэффициента реэрации. Наибольшее распространение получила формула О'Коннора-Доббинса, полученная для турбулентного потока при температуре воды 20° С:

$$k = 3,68 \sqrt{\frac{v}{h^3}} \quad (8)$$

где k_2 - коэффициент реэрации, 1/сут.;

v – скорость течения, м/с,

h – глубина потока, м.

Обычно величина коэффициента реэрации лежит в диапазоне от 0,1 до 2,0 1/сут. Зависимость величины коэффициента реэрации от температуры учитывается по формуле:

$$k_2(T) = k_2(20) - 1,024^{T-20} \quad (9)$$

Величина коэффициента неконсервативности для БПК может меняться в диапазоне от 0,05 до 0,7 1/сут. Для природных вод она обычно принимается равной 0,23 1/сут. Прогноз величины БПК и содержания растворенного кислорода в поверхностных водах, как правило, производится на основе математической модели Стриттера - Фелпса. Эта модель справедлива при следующих ограничениях:

- расход и гидравлические характеристики потока постоянны;
- в водоеме соблюдается режим полного перемешивания [1].

Выводы

Анализ решения уравнения зависимости величины коэффициента реэрации от температуры показывает, что при отсутствии аллохтонного поступления органических веществ в водном объекте дефицит кислорода стремится к нулю. Это означает, что в результате процесса самоочищения содержание кислорода в воде выходит на уровень насыщения. Если в водный объект поступают органические вещества, например, с поверхностным стоком с прилегающей территории, то дефицит кислорода отличен от нуля и стремится к величине f/k_2 . Содержание растворенного кислорода при этом устанавливается на уровне $S = C_s - f/k_2$. При большом поступлении органических веществ (если $f > C_s k_2$) растворенный кислород полностью расходуется на биохимическое окисление органических веществ и содержание его в водном объекте приближается к нулю.

Литература

1. Бочевер Ф.М. Гидрогеологическое обоснование защиты подземных вод и водозаборов от загрязнения / Бочевер Ф.М., Орадовская А.Е. - М.; Недра, 1972. -129 с.
2. Дикаревский В.С. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. / Дикаревский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П., Алексеев М.И. - Л.: Стройиздат, 1980. -224 с.
3. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. - К.: Держмінекобезпеки України, 1998. -28с.
4. Романенко В.Д. Экологическая оценка воздействия дорожного строительства на водные объекты / Романенко В.Д., Оксюк О.П., Жукинский В.Н., Стольберг Ф.В., Лаврик В.И. – К.: Наук. Думка, 1990. – 256 с.