

УДК 625.7:502.55

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УДАЛЕНИЯ И НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ЖИДКИХ СТОКОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

© 2004 г. В.П. Подольский, В.С. Турбин, М.Н. Радченко

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Рассматривается математическое моделирование процессов адсорбционной очистки поверхностного стока с поверхности автомобильных дорог.

Несущая способность покрытия автомобильных дорог зависит от функционирования дренирующих слоев, так как в период оттаивания, при поливе покрытия и дожде в них накапливается свободная вода с частицами твердых отходов. В результате расклинивающих напряжений в микропорах покрытия под действием колесных пар происходит разрушение автомобильных дорог за счет деформаций переувлажненного грунтового основания. Организация удаления жидких и твердых отходов с автомобильных дорог является важнейшей задачей в процессе их эксплуатации.

Система сбора и нейтрализации жидких стоков автомобильных дорог включает наружные сети дождевого водоотведения, дождеприемные колодцы, устройства очистки и нейтрализации стоков, отстойники.

После очистки стоки могут сбрасываться в водоемы. Поэтому, предпочтительно очистные устройства

размещать вблизи мостов, водоемов. В то же время при сбросе очищенных стоков в водоемы теряется большая часть воды, которую можно было бы использовать для технического водоснабжения, а часть воды использовать для собственных нужд очистных устройств. Особенно перспективна схема оборотного водоснабжения, если водоемы размещены далеко от автомобильной дороги. В этом случае строится озеро-отстойник. Схема оборотного водоотведения с автомобильных дорог представлена на рис. 1.

Для отведения поверхностного стока с примыкающей автодороги служит бетонный лоток с дождеприемными решетками, по которому сточные воды направляются на очистные сооружения. Система очистки включает несколько ступеней: фильтры и отстойники для удаления твердых включений, нефтяных пятен, адсорбционные фильтры для удале-

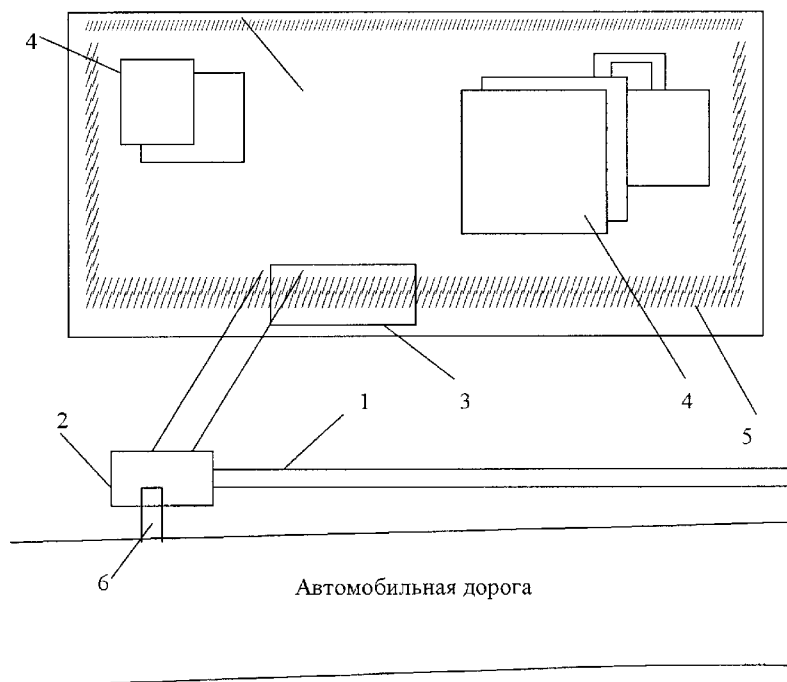


Рис.1. Система водоотведения жидких стоков с автомобильной дороги и их очистки: 1- наружные сети дождевого водоотведения, 2- дождеприемные колодцы, 3- устройства очистки и нейтрализации стоков, 4 – переливные колодцы, 5- обваловка участка очистки и озера-отстойника, 6- бетонный лоток с дождеприемными решетками

ния из воды растворенных загрязняющих веществ: тяжелых металлов, диоксидов азота, серы и др. Без адсорбционной очистки воду нельзя использовать в системах оборотного водоснабжения.

Системы механической очистки от твердых веществ и нефтяных продуктов достаточно изучены и известны.

Наиболее ответственной в очистке сточных вод является адсорбция растворенных загрязняющих веществ.

В настоящей работе рассматривается математическое моделирование процессов адсорбционной очистки сточных вод.

При адсорбции веществ из растворов движущей силой является разность химических потенциалов адсорбтива и адсорбента при хемосорбции или разность концентраций адсорбтива и адсорбата при физической адсорбции. Наиболее простым при обслуживании и распространенным является метод физической адсорбции, который и рассматривается ниже.

Рассмотрим следующую упрощенную математическую модель массообмена между раствором и твердым телом. Пусть твердое тело (типа молекулярные сита) расположено в пространстве $Z > 0$, а раствор движется в полупространстве $Z < 0$ со скоростью W в направлении оси X . Коэффициент диффузии в направлении движения положим равным нулю (т.е. пренебрежем диффузией по сравнению с конвективным переносом). Коэффициенты диффузии в направлении, перпендикулярном движению раствора, будем считать бесконечно большими, так что в поперечном направлении мгновенно устанавливается одинаковое распределение концентраций, и перенос веществ осуществляется только через плоскость $Z=0$. Вне этой плоскости концентрация U загрязняющего вещества в растворе зависит только от времени t и координаты X . Точно также, концентрацию U_s загрязняющего вещества на адсорбенте (в пористом твердом теле) или на границе U_s будем считать зависящей от t и X . Тогда уравнение массопереноса запишется в виде

$$\frac{\partial U}{\partial t} + w \frac{\partial U}{\partial x} + b_1(U - V_s) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} + b(V_s - U) = 0, \quad (2)$$

где $b_1 = \beta \frac{\rho'}{M'}$, c^{-1} - характеризует скорость отдачи массы адсорбента твердому телу; $b = \beta \frac{\rho}{M}$ – характеризует массоотдачу от твердого адсорбента в раствор; M' , M – соответственно массы воды и адсорбента, отнесенные к 1 м² зернистой массы адсорбента, кг/м²; ρ' , ρ – соответственно плотность очищаемой среды (адсорбата) и зернистой массы (адсорбента); β – коэффициент массоотдачи, м/с.

При этом в начальный момент времени $t=0$:

$$U(0, x) = V_s(0, x) = 0, \quad x > 0 \quad (3)$$

а на входной плоскости $x=0$ концентрация адсорбента одинакова в любой момент времени t :

$$U(t, 0) = U_0 \quad (4)$$

Решение уравнений (1) – (2) для тепловых задач, выполненное методом преобразований Лапласа, приведено в [1]. Применительно к диффузионным задачам при начальных и граничных условиях (3) – (4) решение в интегральной форме преобразуется к виду при $t > x/w$:

$$U = e^{-b_1 x/w} \left\{ 1 + (ax)^{1/2} \int_0^{t-x/w} \exp(-b\tau) I_0[2(ax\tau)^{1/2}] \tau^{-1/2} dt \right\} U_0 \quad (5)$$

$$V_s = b \exp(-b_1 \frac{x}{w}) \int_0^{t-x/w} \exp(-b\tau) I_1[2(ax\tau)^{1/2}] dt, \quad (6)$$

где обозначено $a = \frac{bw}{w}$.

При $t < x/w$ решение обращается в 0:

$$U = V_s = 0. \quad (7)$$

Разлагая подинтегральные функции Бесселя первого и нулевого порядков $I_0[z]$, $I_1[z]$ в сходящиеся при любых z степенные ряды [2], заменяя их коэффициенты рекуррентными формулами, приводим решения (5)–(6) к виду, удобному для численных расчетов.

Численные расчеты и опыт проводились при тчении загрязненной воды сквозь гранулированную набивку из активированного угля с диаметром частиц $d = 1,7 \div 2,2$ мм, скорость воды составила $W = 0,02 \div 0,5$ м/с.

Для определения коэффициента массоотдачи использовалось эмпирическое соотношение [2]:

$$\beta = 1,6 \frac{D \cdot w^{0,54}}{\nu^{0,54} d^{1,46}} \quad (8)$$

где D – коэффициент диффузии, ν – кинематический коэффициент вязкости.

Для $\nu = 10^{-6}$ м²/с, $D = 1,8 \cdot 10^{-9}$ м²/с (для оксида азота) получим

$$\beta = (1,6 \div 8) \cdot 10^{-2}, \quad 1/c \quad (9)$$

Были составлены блок – схема и программа расчета полей концентраций U , V_s по модели (5) – (6), написанная на языке Turbo-Basic, а также проведен вычислительный эксперимент.

На рис.2 приведены расчетная и экспериментальная зависимости изменения * концентрации диоксида азота по толщине слоя активированного угля при различных скоростях загрязненной воды и времени адсорбции 4 мин. Концентрация диоксида азота отнесена к предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющего вещества.

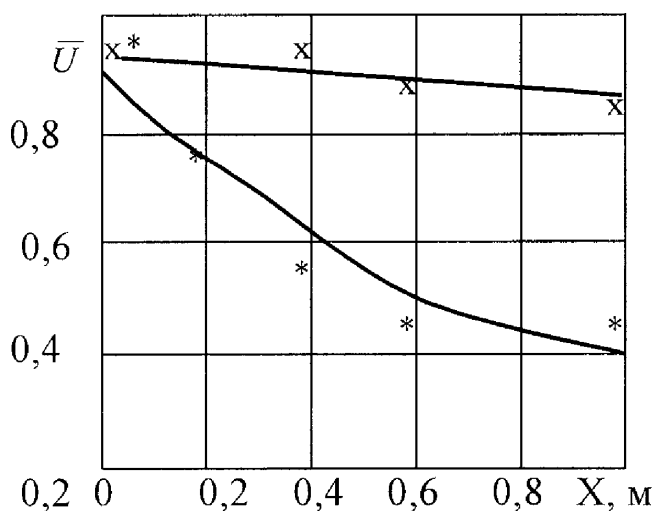


Рис.2. Изменение концентрации оксида азота на выходе из сечения слоя по его толщине: $x - t=4$ мин, $W=0,5$ м/с; * — то же, $W=0,1$ м/с (движение загрязненной воды сверху вниз по направлению X)

Из графиков видно, что с увеличением толщины слоя концентрация диоксида азота снижается с 0,9 долей ПДК до 0,4 долей ПДК. Исследования показали, что на процесс очистки в большей степени влияет скорость очищаемой среды: при снижении скорости среды с 0,5 м/с до 0,1 м/с эффективность очистки повышается в 2 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. — М.: Наука, 1968. — 488с.
2. Янке Е., Элде Ф., Лейс Ф. Специальные функции (формулы, графики, таблицы). — М.: Наука, 1964. — 344с.
3. Плановский А.Н., Николаев П.И. Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии. — М.: Химия, 1972. — 496 с.