

Б. С. ШАКИРОВ, С. Д. КУРАКБАЕВА

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В СИСТЕМЕ СООБЩАЮЩИХСЯ ВОДОЕМОВ

(Представлена академиком НАН РК О. С. Балабековым)

Моделирование и анализ последствий распространения промышленных выбросов в водных системах является актуальной проблемой, так как вода является важнейшим источником жизнедеятельности человека. В своей предыдущей статье [1] мы рассмотрели модели динамики загрязнений проточного водного резервуара в результате воздействия внешнего источника (стоков промышленного предприятия). В условиях реальной жизни часто приходится сталкиваться с ситуацией, когда возле предприятия находится система сообщающихся резервуаров. Это предположение существенно меняет ранее описанные модели и приводит к их существенному усложнению [2–4].

В общем случае стоки промышленных предприятий распространяются по сетям сообщающихся водных резервуаров и создают довольно сложную картину загрязнений [5–7]. В настоящей работе для облегчения анализа и выработки подходов к дальнейшим исследованиям рассматривается простейший случай системы, состоящей из трех проточных резервуаров, на берегу одного из которых располагается источник загрязнений заданной интенсивности $I(t)$ (рис. 1)

Предположим выполнение в данной системе условия полного баланса расходов по потокам. Это условие фактически означает пренебрежение фильтрацией вод в грунте. Разумеется, более детальная модель должна учитывать этот фактор.

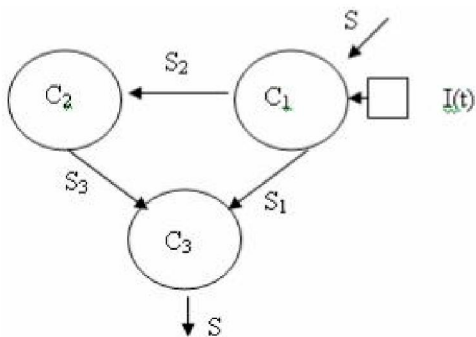


Рис. 1. Схема потоков в системе трех сообщающихся водных резервуаров

Тогда можно записать следующую систему дифференциальных уравнений баланса загрязнений водных резервуаров устойчивой примесью:

$$\begin{cases} V_1 \frac{dc_1}{dt} = I(t) - sc_1, \\ V_2 \frac{dc_2}{dt} = (s - s_1)c_1 - (s - s_1)c_2, \\ V_3 \frac{dc_3}{dt} = s_1c_1 + (s - s_1)c_2 - sc_3, \end{cases} \quad (1)$$

где c_1, c_2, c_3 – средние концентрации примеси соответственно в 1-м резервуаре, 2-м и 3-м резервуарах, кг/м³; s, s_1, s_2, s_3 – водные потоки, м³/с; V_1, V_2, V_3 – объемы водоемов, м³; I – интенсивность выбросов, кг/с; t – время, с.

Примем во внимание, что для нашей системы характерны следующие допущения:

$$s_1 + s_2 = s; \quad s_2 = s_3; \quad s_1 + s_3 = s, \quad (2)$$

соответствующие полному балансу по потокам.

Рассмотрим динамику концентраций примеси в каждом из водоемов в случае залпового выброса с постоянной интенсивностью $I(t) = I = \text{const}$ в течение некоторого периода T .

Если происходит выброс вредных веществ с резко возрастающей в течение короткого времени интенсивностью, продолжающийся затем в течение некоторого времени и затем также быстро спадающий по интенсивности, то можно представить аппроксимирующую функцию залпового выброса в виде прямоугольника (см. рис. 2).

Пусть в начальный момент выброса концентрация загрязняющих веществ в водоемах составляет соответственно

$$c_1(0) = c_{1(0)}, \quad c_2(0) = c_{2(0)}, \quad c_3(0) = c_{3(0)}. \quad (3)$$

В этом случае решение системы (1) можно записать в виде:

$$c_1^* = \frac{I}{s} + A_1 e^{-\frac{s}{V_1}t}, \quad (4)$$

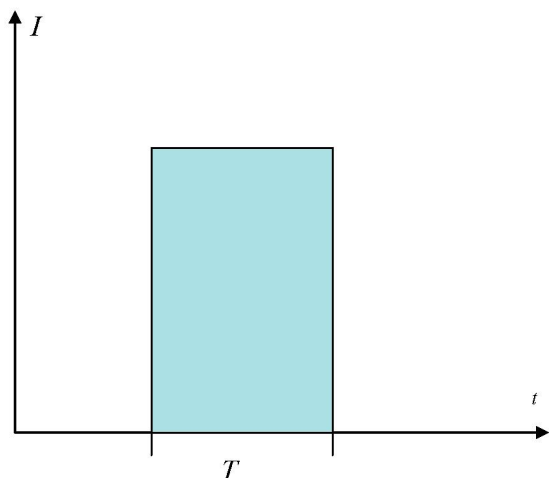


Рис. 2. Схема залпового выброса

$$c_2^* = \frac{I}{s} + A_2 e^{-\frac{s}{V_1}t} + A_3 e^{-\frac{s-s_1}{V_2}t}, \quad (5)$$

$$c_3^* = \frac{I}{s} + A_4 e^{-\frac{s}{V_1}t} + A_5 e^{-\frac{s-s_1}{V_2}t} + A_6 e^{-\frac{s}{V_3}t}, \quad (6)$$

где

$$\eta = \frac{V_2}{V_1} \frac{s}{s-s_1}, \quad (7)$$

$$A_1 = c_{1(0)} - \frac{I}{s}, \quad (8)$$

$$A_2 = \frac{A_1}{1-\eta}, \quad (9)$$

$$A_3 = c_{2(0)} - \frac{I}{s} - A_2, \quad (10)$$

$$A_4 = \frac{A_1 s_1 V_1 + A_2 (s-s_1) V_1}{s(V_1 - V_3)}, \quad (11)$$

$$A_5 = \frac{A_3 V_2}{\eta V_1 - V_3}, \quad (12)$$

$$A_6 = c_{3(0)} - \frac{I}{s} - A_4 - A_5. \quad (13)$$

В качестве примера рассмотрим изменение концентрации во времени в трех резервуарах при условии, что объемы резервуаров соответственно составляют 500 000, 400 000, 450 000 м³; интенсивность выброса устойчивой примеси 1000 кг/с; расходы воды по потокам: s=10 м³/с и s₁=4 м³/с, а в начальный момент выброса концентрация загрязняющих веществ во всех водоемах равна 0.

На рис. 3–5 приведены графики временной динамики концентрации примеси в водоемах как во время, так и после завершения выброса при условии c₁(0) = 0, c₂(0) = 0, c₃(0) = 0. Эти графики свидетельствуют о том, что средние концентрации примеси в каждом из резервуаров после начала выброса начинают расти, и только достигнув определенных значений, стабилизируются.

Очевидно, что при достаточно большой продолжительности выброса постоянной интенсивности в каждом из резервуаров устанавливается постоянная одинаковая концентрация c_∞ = I/s. Однако при небольшой продолжительности выброса динамики концентраций в каждом из резервуаров заметно различаются.

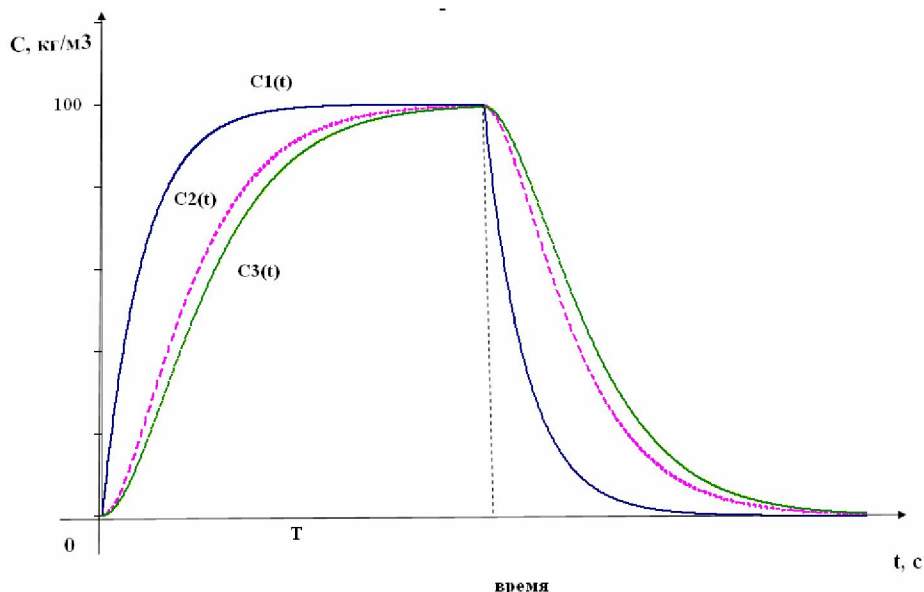


Рис. 3. Графики временной динамики концентрации примеси в трех водоемах во время и после завершения выброса при T=4,65·10⁵ с

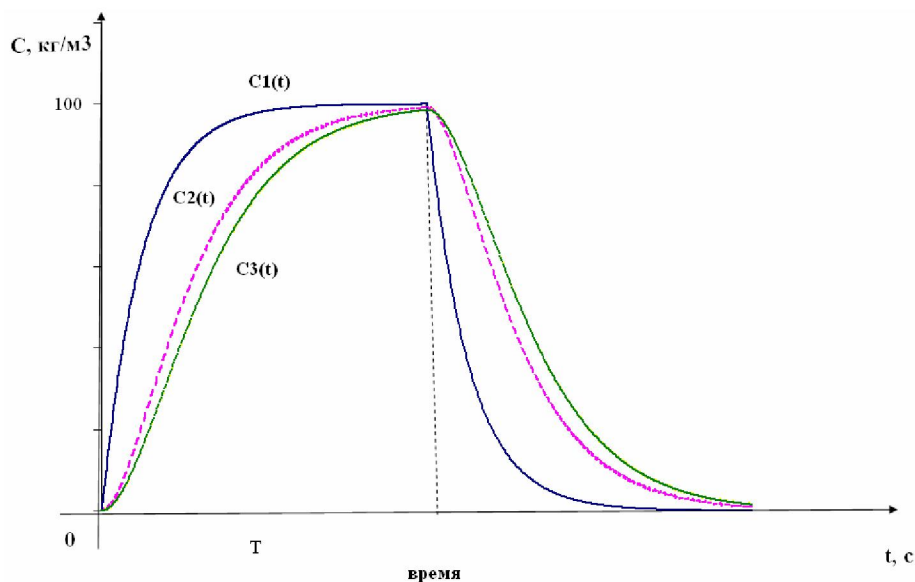


Рис. 4. Графики временной динамики концентрации примеси в трех водоемах во время и после завершения выброса при $T=4 \cdot 10^5$ с

Обратим внимание на то, что концентрация примеси в первом резервуаре после начала выброса начинает расти наиболее интенсивно по сравнению со вторым и третьим резервуарами. Для наглядности были выбраны три временных периода: $4,65 \cdot 10^5$, $4 \cdot 10^5$ с и $1 \cdot 10^5$ с. Например, в ходе эксперимента при $T=4,65 \cdot 10^5$ с концентрации примеси в водоемах во время выброса при $c_1(0)=0$, $c_2(0)=0$, $c_3(0)=0$ в первом, втором и третьем резервуарах соответственно составили 99,991, 99,653, и 99,413 кг/м³.

Этот анализ позволяет рассчитать максимальные значения концентраций, а также прогнозировать время, в течение которого после выброса

концентрация примеси в водоемах будет превышать предельно допустимую.

Расчеты показывают, что для концентрации примеси в каждом резервуаре получаем зависимость концентрации от времени с определенным запаздыванием вдоль временной оси. Установлено также, что при малой продолжительности выброса это запаздывание в резервуарах, удаленных от места непосредственного выброса, может сопровождаться временным возрастанием концентрации примеси даже после прекращения выброса (см. рис. 5).

Разработанная модель позволяет рассчитать указанные эффекты и тем самым правильно прогнозировать динамику концентрации примеси в различных взаимосвязанных резервуарах системы. Дальнейшее развитие модели должно быть направ-

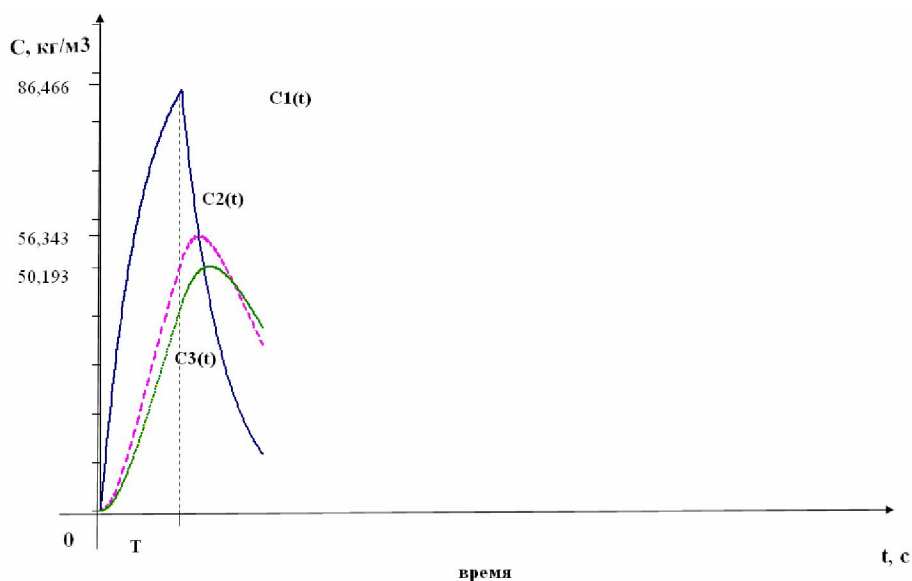


Рис. 5. Графики временной динамики концентрации примеси в трех водоемах во время и после завершения выброса при $T=1 \cdot 10^5$ с

лено на анализ динамики концентрации примесей в системе сообщающихся резервуаров с учетом процесса диффузии примеси в резервуарах и фильтрации в грунте, т.е. в динамической модели необходимо предусмотреть характерные времена распространения примеси в пределах каждого резервуара.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шакиров Б.С., Куракбаева С.Д. Математические модели динамики загрязнений проточного резервуара // Поиск. Алматы, 2006. №4. С. 147-151.
2. Инженерная экология и экологический менеджмент / Под ред. Н. Иванова. М.: Логос, 2004. 520 с.
3. Фелленберг Г. Загрязнение природной среды: Введение в экологическую химию. М.: Мир, 1997. 232 с.
4. Голицын А.Н. Основы промышленной экологии. М.: ИРПО Академия, 2002. 240 с.
5. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т. 2. М.: Мир, 1989. 477 с.
6. Арустамов Э.А. Экологические основы природопользования. М.: Дашков и К, 2005. 320 с.

7. Дончева А.В. Экологическое проектирование и экспертиза. Практика. М.: Аспект Пресс, 2002. 288 с.

Резюме

Үш байланысқан су резервуарлары жүйесінің өндіріс қалдықтарын бірден тастау кезіндегі қоспаның таралуының математикалық үлгісі келтірілген. Сандық эксперимент нәтижесінде қоспаның әрбір резервуардағы динамикалық қосылымының ерекшеліктері алынған және кейбір резервуарлардағы қалдықтың тасталуынан кейінгі қоспаның қосылымының уақыты мен өсуінің мүмкіндіктері көрсетілген.

Summary

The mathematical model of pollutants propagation in the system of three connecting water reservoirs under the volley pollution of toxic substance into the one of reservoirs has been submitted. As a result of numerical experiment the certain peculiarities of pollutants concentration dynamics in everyone reservoirs have been obtained. It is shown the possibility of temporary increasing the pollutant concentration in some of reservoirs even if the volley pollution finishing.

ЮКТУ им. М. Ауезова,
г. Шымкент

Поступила 4.03.07г.