

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ В СИСТЕМЕ ВОДНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ С УЧЕТОМ ФИЛЬТРАЦИИ В ГРУНТЕ

Б.С. Шакиров, С.Д. Куракбаева
ЮКГУ им. М.Ауезова, г. Шымкент

Деятельность многих химико-технологических производств, энергетических предприятий и ТЭЦ связана с образованием и сбросом большого объема сточных вод. Предугадать последствия аварийных сбросов весьма сложно. Поэтому наиболее эффективным инструментом для контролирования и исследования такого рода ситуаций является применение методов математического моделирования. Математическая модель, в отличие от реального физического эксперимента, имеет ряд неоспоримых преимуществ, которые связаны с тремя основными особенностями:

- во-первых, это экономия материальных ресурсов и средств, требуемых для постановки и проведения физического эксперимента;
- во-вторых, возможность апробации экологической системы в изменяющихся по воле экспериментатора условиях;
- в-третьих, оценка работоспособности системы с длительным жизненным циклом в существенно сжатые сроки [1].

В своих предыдущих работах [2,3] нами рассмотрены модели динамики загрязнений в системе сообщающихся водных резервуаров в результате воздействия внешнего источника (стоков промышленного предприятия) с условием пренебрежения фильтрацией вод в грунте. Дальнейшее развитие модели было направлено на анализ динамики концентрации примесей в системе сообщающихся резервуаров уже с учетом процесса фильтрации стоков в грунте, т.е. в динамической модели необходимо было предусмотреть характерные времена распространения примеси в пределах каждого резервуара.

Стоки промышленных предприятий распространяются по сетям сообщающихся водных резервуаров и создают довольно сложную картину загрязнений. В настоящей работе для облегчения анализа и выработки подходов к дальнейшим исследованиям рассматриваются системы, состоящие из трех проточных резервуаров, на берегу одного из которых располагается источник загрязнений заданной интенсивности $I(t)$ (рисунок 1).

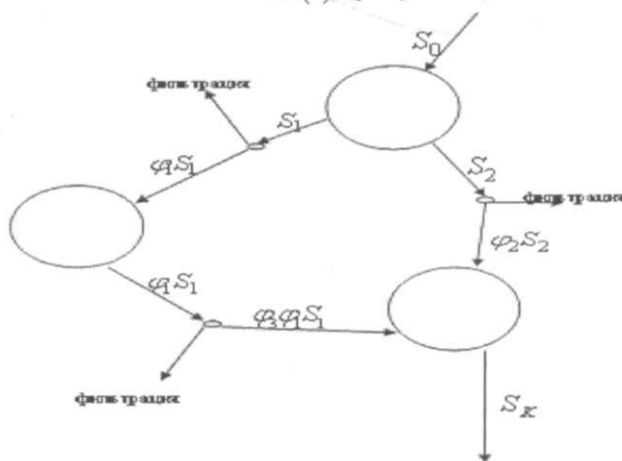


Рисунок 1 - Схема потоков в системе трех сообщающихся водных резервуаров с учетом фильтрации

В результате получаем математическую модель динамики загрязнений водных резервуаров устойчивой примесью с учетом процесса фильтрации в грунте:

$$\begin{cases} V_1 \frac{dc_1}{dt} = I(t) - s_0 * c_1 = I(t) - (s_1 + s_2) * c_1 & (I) \\ V_2 \frac{dc_2}{dt} = \varphi_1 * s_1 * c_1 - \varphi_1 * s_1 * c_2 & (II) \\ V_3 \frac{dc_3}{dt} = \varphi_2 * s_2 * c_1 + \varphi_3 * \varphi_1 * s_1 * c_2 - (\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) * c_3 & (III) \end{cases} \quad (1)$$

где c_1, c_2, c_3 - средние концентрации примеси соответственно в 1-ом резервуаре, 2-м и 3-м резервуарах, кг/м³;
 s_0, s_1, s_2, s_3, s_k - водные потоки, м³/с;
 V_1, V_2, V_3 - объемы водоемов, м³;
 I - интенсивность выбросов, кг/с;
 t - время, с;
 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ - коэффициенты фильтраций.

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

$$\begin{aligned} s_1 + s_2 &= s_0 \\ s_k &= \varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2 \end{aligned} \quad (2)$$

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:

$$c_1(t) = \frac{I}{s_1 + s_2} + A_0 * e^{-\frac{(s_1 + s_2) * t}{V_1}}, \quad (4)$$

$$c_2(t) = \frac{I}{s_1 + s_2} + \frac{\varphi_1 * s_1 * V_1 * A_0}{V_1 * \varphi_1 * s_1 - V_2 * (s_1 + s_2)} * e^{-\frac{(s_1 + s_2) * t}{V_1}} + B_0 * e^{-\frac{\varphi_1 * s_1 * t}{V_2}}, \quad (5)$$

$$\begin{aligned} c_3(t) &= \frac{\varphi_2 * s_2 * I}{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2} + \frac{\varphi_2 * s_2 * A_0 * V_1}{V_1 * (\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) - V_3 * (s_1 + s_2)} * e^{-\frac{(s_1 + s_2) * t}{V_1}} + \\ &+ \frac{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 * I}{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2} + \frac{\varphi_1^2 * \varphi_3 * s_1^2 * V_1^2 * A_0 * e^{-\frac{(s_1 + s_2) * t}{V_1}}}{(V_1 * \varphi_1 * s_1 - V_2 * (s_1 + s_2)) * ((\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) * V_1 - V_3 * (s_1 + s_2))} + \\ &+ \frac{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 * V_2 * B_0}{V_2 * (\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) - V_3 * \varphi_1 * s_1} * e^{-\frac{\varphi_1 * s_1 * t}{V_2}} + R_0 * e^{-\frac{(\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) * t}{V_3}} \end{aligned} \quad (6)$$

где

$$A_0 = c_{1(0)} - \frac{I}{s_1 + s_2}, \quad (7)$$

$$B_0 = c_{2(0)} - \frac{I}{s_1 + s_2} - \frac{\varphi_1 * s_1 * V_1 * A_0}{V_1 * \varphi_1 * s_1 - V_2 * (s_1 + s_2)}, \quad (8)$$

$$R_0 = c_{3(0)} - \frac{\varphi_2 * s_2 * \frac{I}{s_1 + s_2}}{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2} - \frac{\varphi_2 * s_2 * A_0 * V_1}{V_1 * (\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) - V_3 * (s_1 + s_2)} -$$

$$\frac{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 * \frac{I}{s_1 + s_2}}{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2} - \frac{\varphi_1^2 * \varphi_3 * s_1^2 * V_1^2 * A_0}{(V_1 * \varphi_1 * s_1 - V_2 * (s_1 + s_2)) * ((\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) * V_1 - V_3 * (s_1 + s_2))} -$$

$$\frac{\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 * V_2 * B_0}{V_2 (\varphi_1 * \varphi_3 * s_1 + \varphi_2 * s_2) - V_3 * \varphi_1 * s_1} \quad (9)$$

Используя полученные решения, рассмотрим изменение концентрации во времени в трех резервуарах при конкретных заданных условиях.

Целью нашего исследования является выявление зависимости концентрации примеси в каждом из резервуаров от степеней фильтраций протоков, соединяющих данные водные бассейны в течение определенного периода времени.

На рисунке 2 представлен график временной динамики концентрации примеси в водоемах как во время, так и после завершения выброса при условии $c_1(0) = 0$, $c_2(0) = 0$, $c_3(0) = 0$, а $\varphi_1 = 1$, $\varphi_2 = 1$, $\varphi_3 = 1$.

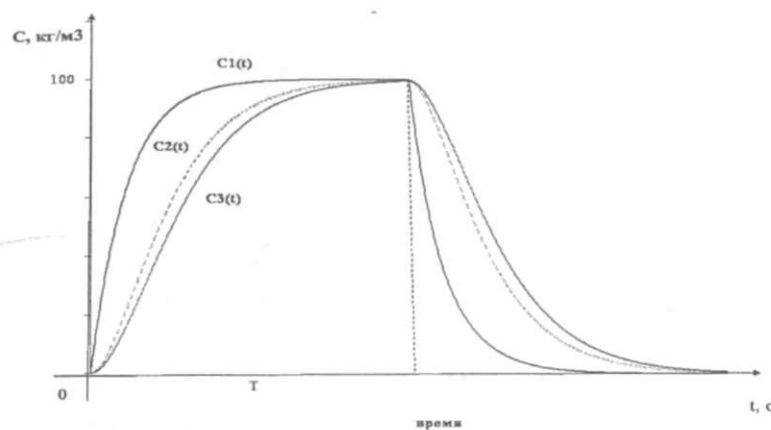
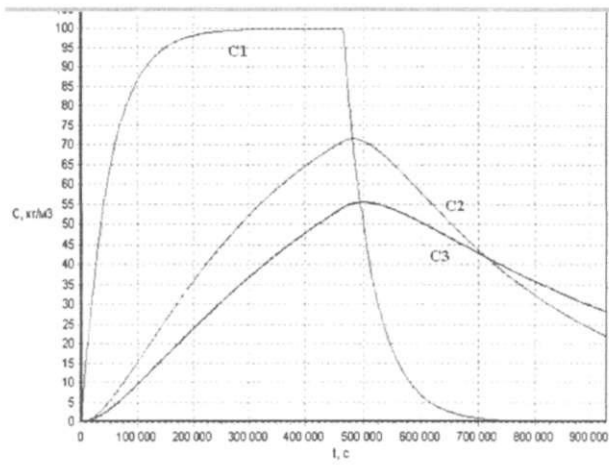
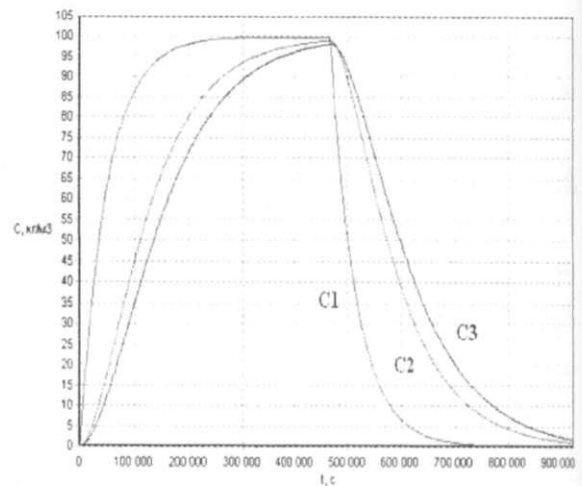


Рисунок 2 - Графики временной динамики концентрации примеси в 3-х водоемах во время и после завершения выброса при $\varphi_1 = 1$, $\varphi_2 = 1$, $\varphi_3 = 1$

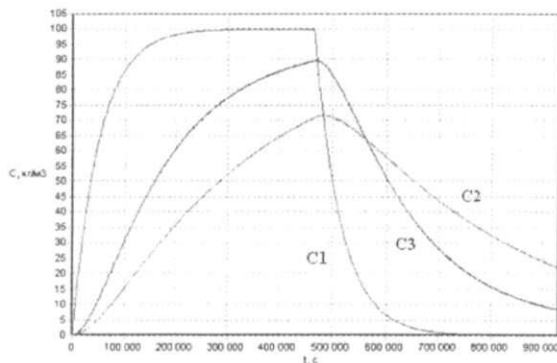
В ходе численных экспериментов особый интерес вызвали случаи, представленные на рисунке 3 (а, б, в, г).



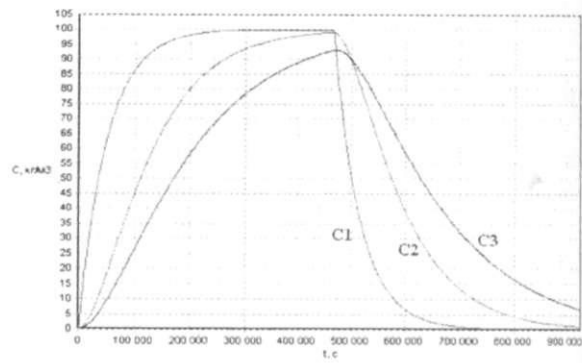
а) $\varphi_1 = 0,2; \varphi_2 = 0,2; \varphi_3 = 0,2$



б) $\varphi_1 = 0,8; \varphi_2 = 0,8; \varphi_3 = 0,8$



в) $\varphi_1 = 0,2; \varphi_2 = 0,8; \varphi_3 = 0,6$



г) $\varphi_1 = 0,8; \varphi_2 = 0,6; \varphi_3 = 0,2$

Рисунок 3 - Графики временной динамики концентрации примеси в 3-х водоемах во время и после завершения выброса при различных коэффициентах фильтраций

Анализ графических зависимостей, приведенных на рисунках 2 и 3, позволяет сделать следующие выводы:

- на временную динамику фильтрация большого влияния не оказывает;
- основное влияние фильтрации проявляется в изменении максимальной концентрации примеси в водоемах 2 и 3: c_2, c_3 ;
- релаксация замедляется с увеличением степени фильтрации ($\alpha = 1 - \varphi$, где φ - коэффициент фильтрации);
- в зависимости от степеней фильтрации максимальные значения концентраций могут наблюдаться либо во втором резервуаре, либо в третьем резервуаре (рисунок 3 в, г).

Численный эксперимент подтвердил хорошие адаптационные возможности предлагаемой нами модели. Несмотря на ее простоту, модель позволяет проследить временную динамику загрязнений как на стадии выброса, так и на стадии релаксации. Это позволяет рекомендовать нашу методику для анализа динамики загрязнений и обоснованного прогноза экологического состояния среды в зонах промышленных предприятий.

Литература

- 1 Шакиров Б.С., Куракбаева С.Д. Основные задачи и особенности математического моделирования катастрофических явлений в экологии // Наука и образование ЮК. - 2006. - №3 (52). - С.74-77.
- 2 Шакиров Б.С., Куракбаева С.Д. Моделирование распространения промышленных выбросов в системе сообщающихся водоемов // Доклады НАН РК. - 2007. - №2. - С.57-60.
- 3 Шакиров Б.С., Куракбаева С.Д. Математические модели динамики загрязнений проточного резервуара // Поиск, серия естественных и технических наук. - 2006. - №4. - С.147 -151.

Қорытынды

Жұмыста хабарланатын резервуарлар жүйесіндегі топырақты сүзу үрдісін есептегендегі қоспаның концентрациялық динамикасының математикалық үлгісі дамытылған, сандық эксперименттер көмегімен қоспаның жүйедегі таратылуының сипатталатын уақыттары және тастаманы аяқтағаннан кейінгі сәйкес релаксация уақыттары есептелген.

Summary

The paper deals with the mathematical model of the pollutant concentration dynamics in the system of water basins with allowance for the filtration in a soil, and on the base of numerical experiment the characteristic times for pollutants propagation in the system as well as relaxation times have been accounted.