

В результате применения геоинформационных систем при проведении ремонтно-восстановительных работ на КП КХ «Харьковкоммуночиствод» удалось:

- 1) автоматизировать и сократить время регистрации заявок на проведение ремонтно-восстановительных работ, исключить возможность потери или невыполнения заявки;
- 2) обеспечить ремонтные бригады заданиями на выполнение аварийно-восстановительных и планово-предупредительных работ, содержащими полный объём текстовой и графической информации, необходимой для их эффективного выполнения;
- 3) автоматизировать обмен данными между всеми подразделениями на КП КХ «Харьковкоммуночиствод», что позволило существенно повысить эффективность их взаимодействия при выполнении аварийно-восстановительных и планово-предупредительных работ;
- 4) автоматизировать процесс контроля выполнения аварийно-восстановительных и планово-предупредительных работ на любой стадии;
- 5) автоматизировать процесс расширенного анализа качества выполнения работ;
- 6) внедрить систему мотивации персонала ремонтных бригад по итогам выполненных аварийно-восстановительных и планово-предупредительных работ.

1.Тевяшев А.Д., Есилевский В.С., Никитенко Г.В. Методологические основы разработки прогрессивной информационной технологии управления ремонтно-восстановительными работами на канализационных сетях и коллекторах // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2006. – №2/1 (20). – С.62-69.

*Получено 11.01.2010*

УДК 542.67 : 628.16

В.Л.ПОЛЯКОВ, д-р техн. наук  
*Институт гидромеханики НАН Украины, г.Киев*

### **ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВАНИЯ СУСПЕНЗИИ ЧЕРЕЗ ОДНОРОДНУЮ И ДВУХСЛОЙНУЮ ЗАГРУЗКИ**

Представлены эффективные приближенные решения задач фильтрования суспензии с постоянной скоростью через однородную и двухслойную загрузки при линейной кинетике массообмена. На примерах показана их высокая точность.

Представлено ефективні набліжені розв'язки задач фільтрування суспензії зі сталою швидкістю через однорідні і двохшарове завантаження при лінійній кінетиці масообміну. На прикладах показано їх високу точність.

Effective approximate solutions have been presented to suspension filtration tasks at constant rate through uniform and two-layer filter media for linear mass-exchange kinetics.

Their high accuracy has been shown at a number of examples.

*Ключевые слова:* фильтрование, суспензия, однородная и двухслойная загрузка.

Ключевым при формализации разделения суспензии фильтрованием является описание отложения взвешенных частиц в порах загрузки. В теоретических исследованиях фильтрования широко практикуются два подхода к учету этого явления, имеющего сложную физико-химическую природу. Более обоснованным является представление об удалении взвеси как результате процессов прилипания к фильтрующему материалу и отрыва прилипших частиц суспензии. Тогда уравнения линейной кинетики массообмена между твердой и жидкой фазами и массопереноса будут [1]

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \alpha C - \beta S, \quad V \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial S}{\partial t} = 0, \quad (1)$$

где  $S$ ,  $C$  – объемные концентрации осажденных и взвешенных частиц;  $\alpha, \beta$  – коэффициенты скоростей прилипания и отрыва частиц суспензии;  $V$  – скорость фильтрования.

Нелинейной кинетике в литературе уделено намного меньше внимания. Система уравнений (1) дополняется условиями:

$$z = 0, \quad C = C_0, \quad t = 0, \quad S = 0. \quad (2)$$

Строгое решение задачи (1)-(2) при постоянной скорости  $V$  известно давно, но не нашло применения в инженерной практике вследствие его интегральной формы. В работе [2] построено очень простое приближенное решение, которое, тем не менее, обеспечивает высокую точность расчетов всех характеристик фильтрования. Из него вытекают зависимости для относительных концентраций:

$$\begin{aligned} \bar{C}(\bar{z}, \bar{t}) &= \frac{\bar{C}(z, t)}{C_0} = 2e^{-\lambda_1(\bar{t})\bar{z}} - e^{-\bar{\alpha}\bar{z}}; \\ \bar{S}(\bar{z}, \bar{t}) &= \frac{S(z, t)}{n_0 C_0} = \lambda_1(\bar{t})\bar{t}e^{-\lambda_1(\bar{t})\bar{z}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\bar{z} = z/L$ ;  $\bar{t} = Vt/(n_0 L)$ ;  $\lambda_1 = 2\alpha/(2 + \bar{\beta}\bar{t})$ ;  $\bar{\alpha} = \alpha L/V$ ;  $\bar{\beta} = \beta n_0 L/V$ ;  $L$  – высота загрузки;  $n_0$  – пористость чистой загрузки. Тогда выходная концентрация взвеси со временем будет расти следующим образом:

$$\bar{C}_e(\bar{t}) = \bar{C}(1, \bar{t}) = 2e^{-\lambda_1(\bar{t})} - e^{-\bar{\alpha}}. \quad (4)$$

Используя критерий качества фильтрата ( $C_e \leq C_{e*}$ ), из (4) выво-

дится формула для относительного времени  $\bar{t}_p$  защитного действия загрузки

$$\bar{t}_p = \frac{2}{\bar{\beta}} \left[ \frac{\bar{\alpha}}{\ln 2 - \ln(\bar{C}_{e\bullet} + e^{-\bar{\alpha}})} - 1 \right]. \quad (5)$$

Если время  $\bar{t}_p$  задано, то можно определять соответствующие ему высоту загрузки или скорость фильтрования с помощью уравнения

$$2 \exp \left[ -\frac{2L\alpha(V)}{2V + t_p V \beta(V)} \right] - \exp \left[ -\frac{L\alpha(V)}{V} \right] = \bar{C}_{e\bullet}. \quad (6)$$

При вычислении  $V$  учитывается зависимость коэффициентов  $\alpha, \beta$  от нее. Чрезмерный рост потерь напора в загрузке  $\Delta h$ , который ведет к снижению производительности фильтра, легко прогнозировать благодаря выводу расчетной формулы на базе выражения для  $\bar{S}$  (3), уравнения

$$V = -k(S_d) \frac{\partial h}{\partial z}, \quad (7)$$

эмпирических зависимости для коэффициента фильтрации  $k$  [3] и соотношения [4]

$$k = k_0 \left[ 1 - \left( \frac{S_d}{n_0} \right)^{m_1} \right]^{m_2}, \quad S_d = \gamma S. \quad (8)$$

Здесь  $S_d$  – объемная концентрация осадка,  $k_0$  – коэффициент фильтрации чистой загрузки;  $m_1, m_2, \gamma$  – эмпирические коэффициенты.

Более общий случай, когда состав осадка по мере его накопления меняется и, следовательно,  $\gamma$  зависит от  $S$ , исследован в [5]. В итоге вышеупомянутая формула при  $m_2=3$  получена в таком виде [2]:

$$\Delta \bar{h}(\bar{t}) = \frac{1}{\lambda_1} \left[ \frac{2\lambda_2}{1-\lambda_2} \frac{e^{\lambda_1} - 1}{e^{\lambda_1} - \lambda_2} - \frac{\lambda_2^2}{2(e^{\lambda_1} - \lambda_2)^2} + \frac{\lambda_2^2}{2(1-\lambda_2)^2} + \ln \frac{e^{\lambda_1} - \lambda_2}{1-\lambda_2} \right], \quad (9)$$

где  $\Delta \bar{h} = \Delta h / (h(0,0) - H_d)$ ;  $H_d$  – напор на выходе из загрузки. Время действия фильтра ограничивается вследствие больших затрат

механической энергии на фильтрование. Поэтому при установлении длительности фильтроцикла  $t_f$  следует наряду с  $t_p$  также определять относительное время  $t_h$  достижения в загрузке предельно допустимых потерь напора  $\Delta h_*$ , решая подбором уравнение  $\Delta \bar{h}_* = \Delta \bar{h}(\bar{t}_h)$ .

Существенным недостатком традиционных фильтров с однородной загрузкой является быстрое увеличение потерь  $\Delta h$  из-за сильной неравномерности распределения осадка по высоте и, как следствие, сокращение времени  $t_h$  и длительности  $t_f$ . Для продления работы фильтров применяют слоистые загрузки, обычно двухслойные. Постановка математической задачи для них изложена, например в [6]. Расчет фильтрования через двухслойную загрузку предлагается выполнять, опираясь на приведенные выше формулы, причем применительно к верхнему слою их можно использовать непосредственно. При переходе к нижнему слою вид модели сохраняется. Меняются только значения исходных параметров и входная концентрация становится переменной в соответствии с (4). Ход решения задачи для этого слоя усложняется, однако расчетные формулы и уравнения оказались весьма простыми. Основной среди них является формула для выходной концентрации взвеси

$$\bar{C}_{2e}(\bar{t}) = 2F(\bar{t})e^{\frac{-2\bar{\alpha}_2(1-\bar{L}_1)}{2+\bar{\beta}_2\bar{t}}} + [\bar{C}_e(\bar{t}) - 2F(\bar{t})]e^{-\bar{\alpha}_2(1-\bar{L}_1)}, \quad (10)$$

где коэффициенты  $\bar{\alpha}_i$ ,  $\bar{\beta}_i$  относятся к  $i$ -му слою ( $i = 1, 2$ );

$$\bar{L}_1 = \frac{L_1}{L}, \quad L = L_1 + L_2, \quad L_1 - \text{мощность верхнего (первого) слоя; } \bar{C}_e(\bar{t})$$

вычисляется по формуле (4);

$$F(\bar{t}) = \frac{2}{\bar{\beta}_1\bar{t}} \left\{ (2 + \bar{\beta}_1\bar{t})e^{\frac{2\bar{\alpha}_1\bar{L}_1}{2+\bar{\beta}_1\bar{t}}} - 2e^{-\bar{\alpha}_1\bar{L}_1} + 2\bar{\alpha}_1\bar{L}_1 \left[ Ei(-\bar{\alpha}_1\bar{L}_1) - Ei\left(-\frac{2\bar{\alpha}_1\bar{L}_1}{2+\bar{\beta}_1\bar{t}}\right) \right] \right\} e^{-\bar{\alpha}_1\bar{L}_1};$$

интегральная показательная функция  $Ei(-x)$  детально затабулирована, а также вычисляется с любой точностью с помощью стандартных пакетов программ. Потери напора определяются отдельно в верхнем и нижнем слоях по формуле (9), а затем складываются. Подробно методика упрощенного расчета фильтрования через двухслойную загрузку изложена в [7].

Ниже приводится лишь малая часть результатов вычислений важнейших характеристик, которые убедительно свидетельствуют о высокой точности построенных приближенных решений и формул.

Для однородной загрузки рассчитано время  $\bar{t}_p$  в зависимости от ее сорбционных свойств и нормы  $\bar{C}_e$  по приближенной (5) и строгой [6] формулам. Расхождение между точными (2, 3, 5) и приближенными (1, 4, 6) кривыми  $\bar{t}_p(\bar{\alpha})$ , которые изображены на рис.1, минимальное. Более полная оценка качества новых решений сделана в [2]. В примерах с двухслойной загрузкой предметом расчетов стала относительная выходная концентрация  $\bar{C}_e$ . Значения коэффициентов  $\bar{\alpha}_i$  для нижнего и верхнего слоев зафиксированы ( $\bar{\alpha}_1 = 4, \bar{\alpha}_2 = 8$ ), а соотношение между мощностями  $L_1, L_2$  менялось дискретно. Кривые  $\bar{C}_e(\bar{t})$ , построенные с помощью приближенной новой (10) и точной [6] формул, показаны на рис.2. Соответствующие контрольные и приближенные кривые при  $\bar{L}_1 = 0,5$  сливаются, а при  $\bar{L}_1 = 0,25$  и  $0,75$  оказываются очень близкими друг к другу.

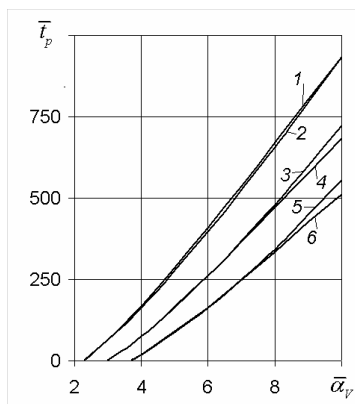


Рис.1 – Графики зависимости:  
 1, 4, 6 – приб.; 2, 3, 5 – точн.;  
 1, 2 –  $\bar{C}_e = 0,1$ ; 3, 4 –  $\bar{C}_e = 0,05$ ;  
 5, 6 –  $\bar{C}_e = 0,025$ .

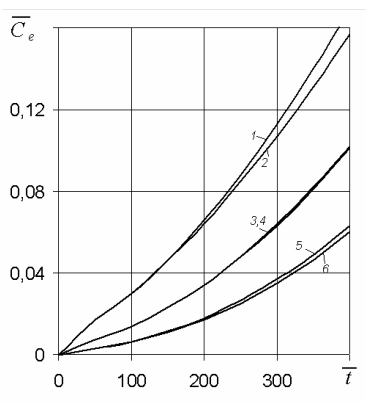


Рис.2 – Рост относительной объемной концентрации взвеси со временем:  
 1, 3, 6 – точн.; 2, 4, 5 – приб.;  
 1, 2 –  $\bar{L}_1 = 0,75$ ; 3, 4 –  $\bar{L}_1 = 0,5$ ; 5, 6 –  $\bar{L}_1 = 0,25$ .

Разработанный инженерный метод расчета осветления суспензии фильтрованием эффективен при изучении его закономерностей, обосновании конструктивных и технологических параметров.

1. Минц Д.М. Теоретические основы технологии очистки воды. – М.: Стройиздат, 1964. – 155 с.

2. Поляков В.Л. О прогнозе потерь напора в загрузке фильтра // Доповіді НАН Ук-

раїни. – 2010. – № 3. – С.61-67.

3.Венецианов Е.В., Рубинштейн Р.Н. Динамика сорбции из жидких сред. – М.: Наука, 1983. – 237 с.

4.Ojga C.S.P., Gragam N.J.D. Theoretical estimates of bulk specific deposit in deep bed filters // Weter Res. – 1993. – 27, № 3. – P.377-387.

5.Поляков В.Л. О математическом моделировании и инженерных расчетах осветления суспензии фильтрованием с учетом структуры осадка // Проблемы водопостачання, водовідведення та гідравліки. – 2009. – Вип.13. – С.109-119.

6.Поляков В.Л. Расчет фильтрования суспензий через многослойную загрузку при линейной кинетике массообмена // Химия и технология воды. – 2008. – 30, №1. – С.3-31.

7.Поляков В.Л. Эффективное решение задачи фильтрования суспензии через двухслойную загрузку при линейной кинетике массообмена // Химия и технология воды. – 2010. – 32, №6. – С.3-13.

*Получено 06.01.2010*

УДК 628.112

А.М.ТУГАЙ, д-р техн. наук, Ю.М.ПІКУЛЬ

*Київський національний університет будівництва і архітектури*

## **ВОДОЗАБІРНИЙ КОЛОДЯЗЬ ПОБЛИЗУ СМУГОПОДІБНОГО ЛІТОЛОГІЧНОГО ВІКНА**

Запропоновано математичну модель припливу підземної рідини до трубчастого колодязя від смугоподібного літологічного вікна. Представлено рішення у випадку експлуатації окремого водозабірною колодязя в згаданих умовах. Надано рекомендації щодо обліку додаткових фільтраційних опорів смугоподібного літологічного вікна.

Предложена математическая модель притока подземной жидкости к трубчатому колодцу от полосообразного литологического окна. Представлены решения для расчета основных параметров водозаборного колодца в упомянутых условиях. Предоставлены рекомендации относительно учета дополнительных фильтрационных сопротивлений полосообразного литологического окна.

The mathematical model of underground liquid inflow to the water well by stripe-shaped lithologic opening are offered. Are represented the evaluations for engineering calculations of the water well basic parameters in mentioned condishons. The recommendations in relation to account of stripe-shaped lithologic opening additional resistances are given.

*Ключові слова:* водопостачання, підземні води, режим фільтрації, водозабірні колодязі, літологічне вікно, математична модель.

Однією з гострих проблем для багатьох регіонів України є забезпечення надійного і безперебійного водопостачання населення сіл і міст питною водою. В умовах дефіциту поверхневих вод, і в цілому їх забрудненого стану, відсутності стандартних умов забору підземних вод, одним з шляхів подолання проблеми водопостачання є використання підземних вод у складних природних умовах.

З точки зору гідрогеологічної, гідродинамічної та гідрохімічної раціональності водозабору, навіть у складних природних умовах, ви-