

УДК 504.064

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФОРМУВАННЯ АРЕАЛУ ЗАБРУДНЕНЬ ВИТОКАМИ КОНДЕНСАТУ З ПРОМИСЛОВИХ ТРУБОПРОВОДІВ

¹А.Я.Лопушанський, ²Л.В.Палійчук

¹НАК "Нафтогаз України", 01001, м. Київ-1, вул. Б. Хмельницького, 6, тел. (044) 4612537,
e-mail: spars@ugr.viaduk.net

²ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: public@nung.edu.ua

Приведены результаты математического моделирования фильтрации жидкости в пористой среде, которые позволяют построить ареал загрязнения почвы при истоках конденсата из трубопровода в результате коррозионного повреждения стенки.

The results of mathematical design of filtration of liquid in a porous environment, which settle to build the natural habitat of contaminations to soil at the sources of condensata from a pipeline as a result of corrosive damage of wall, are resulted.

Продукція свердловин, що транспортується промисловими трубопроводами газоконденсатних родовищ, містить корозійно-активні інгредієнти (вуглекислий газ, сірководень та ін.), які при високих тисках вступають в хімічні реакції з металом труб, викликаючи його корозію. Тому при проектуванні сітки промислових трубопроводів приймаються рішення, спрямовані на боротьбу з внутрішньотрубною корозією. Однак в результаті тривалої експлуатації під впливом агресивного середовища внаслідок корозійних процесів в стінках трубопроводів виникають свищі, через які конденсат під тиском газу поступає в навколишнє середовище, тобто в ґрунт, наносячи шкоду довкіллю.

Питанням формування ареалів забруднень присвячено ряд робіт [1,2], в яких розглянуто фізичну картину процесу, даються результати фізичного моделювання і їх аналіз, розроблено методичні основи прийнятого ризику. Однак завданням формування ареалів забруднень не приділено належної уваги.

Тому виникає завдання формування ареалу забруднення, тобто побудови поля швидкостей фільтрації в пористому середовищі як функції просторових координат та часу.

З математичної точки зору розглядається пористе середовище безмежних геометричних розмірів, в якому спостерігається фільтрація рідини. В початковий момент часу швидкість фільтрації рідини відсутня і тиск в пористому середовищі є сталою величиною. В момент часу $t \geq 0$ в деякій точці порового простору спостерігається поступлення нестискуваної рідини з певною витратою, тобто починає діяти додатне джерело маси q_1 (кг/м·с). Необхідно встановити, як змінюватиметься тиск та швидкість фільтрації в різних точках пористого середовища залежно від часу.

Диференціальне рівняння фільтрації рідини в пористому середовищі, як відомо [1], має такий вигляд:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \chi \nabla^2 p + \frac{f}{q\beta^*}, \quad (1)$$

де: p – тиск рідини в пласті; t – час; $\chi = \frac{k}{\mu\beta^*}$ –

коефіцієнт п'єзопровідності; k – коефіцієнт проникності пласта, який характеризує властивість пористого середовища пропускати через себе рідину під дією прикладеного перепаду тиску; μ – коефіцієнт динамічної в'язкості рідини; $\beta^* = m\beta_p + \beta_c$; m – пористість середовища пласта (безмірна величина); β_p, β_c – коефіцієнти об'ємної пружності відповідно рідини і пласта); ρ – густина рідини; ∇^2 – оператор Лапласа (в декартовій системі координат

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}).$$

Внаслідок того, що задача розглядається осесиметричною, а пористе середовище однорідним, можливий перехід від просторової постановки до плоскої. Розглянемо вертикальну площину, довільно орієнтовану в пористому середовищі, в якій діє постійне джерело інтенсивністю q_1 , розміщене в точці з координатами (x, y) . В такому випадку оператор Лапласа

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}.$$

Функція внутрішнього джерела маси в пласті

$$f(x, y, t) = \lim_{\substack{\Delta V \rightarrow 0 \\ \Delta t \rightarrow 0}} \frac{\Delta G}{\Delta V \cdot \Delta t},$$

де: ΔV – об'єм, взятий в пласті; Δt – проміжок часу; ΔG – маса рідини, що поступає в об'єм ΔV за проміжок часу Δt .

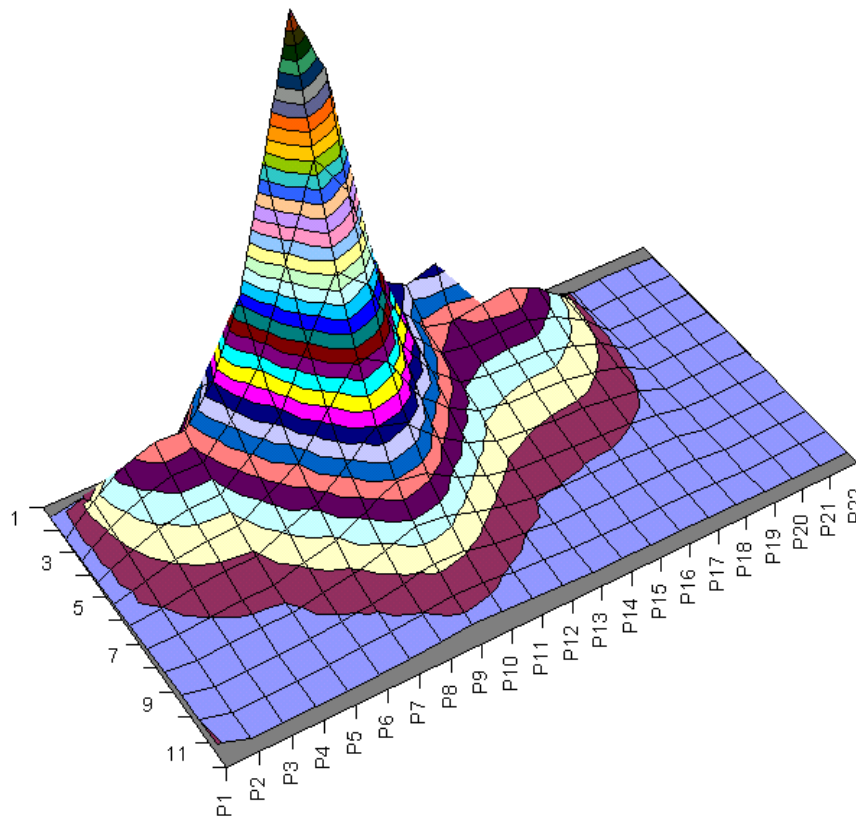


Рисунок 1 — Результати математичного моделювання поля швидкостей фільтрації при появі витоку з промислового трубопроводу

Для фільтрації рідини у пористому просторі із рівняння (1) будемо мати

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{f}{F}, \quad (2)$$

де

$$F = g \beta^* x = g \beta^* \frac{k}{\mu \beta^*} = \frac{gk}{\mu}.$$

Враховуючи сказане, функція f набуває такого вигляду:

$$f = q_1 \delta(x) \delta(y). \quad (3)$$

При цьому сформульована фізична задача в математичному записі буде:

– знайти розв’язок рівняння

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{q_1}{F} \delta(x) \delta(y) \quad (4)$$

при таких початкових та граничних умовах:

$$p(x, y, 0) = p_0; \quad p|_{x \rightarrow \infty} \rightarrow p_0, \quad p|_{y \rightarrow \infty} \rightarrow p_0, \quad (5)$$

де: p_0 – початковий тиск в пласті; $\delta(x)\delta(y)$ – дельта-функції Дірака [2].

Для розв’язання поставленої задачі скористаємося методом функцій Гріна [3, 4]. Функція Гріна для даної крайової задачі знаходиться так:

$$G|_{t=\tau} = \delta(x-x')\delta(y-y'); \quad (6)$$

$$G|_{|x| \rightarrow \infty, |y| \rightarrow \infty} \rightarrow 0, \quad t > \tau.$$

Розв’язок задачі (6) є фундаментальним розв’язком двовимірної задачі фільтрації рідини, який записується у вигляді

$$G = \frac{1}{(2\sqrt{\pi x(t-\tau)})^2} \cdot e^{-\frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{4x(t-\tau)}}. \quad (7)$$

Задача (4), (5) є неоднорідною задачею фільтрації рідини в пласті з граничними умовами першого роду на нескінченності. Розв’язок такої задачі через функцію Гріна буде [5, 6]

$$p(x, y, t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} p_0 G(x-\xi, y-\ell, t) d\xi d\ell + \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{F} q_1 \delta(\xi) \delta(\ell) G(x-\xi, y-\ell, t-\tau) d\xi d\ell d\tau. \quad (8)$$

Підставляємо функцію Гріна (7) в (8)

$$p(x, y, t) = p_0 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\ell)^2}{4xt}} \frac{1}{(2\sqrt{\pi xt})^2} d\xi d\ell + \int_0^t \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x}{F} q_1 \delta(\xi) \delta(\ell) e^{-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\ell)^2}{4x(t-\tau)}} \frac{1}{(2\sqrt{\pi x(t-\tau)})^2} d\xi d\ell d\tau.$$

Після виконання інтегрування отримуємо розв'язок задачі (4), (5)

$$p(x, y, t) = \frac{p_0}{4\pi\chi t} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{(x-\xi)^2 + (y-\ell)^2}{4\chi t}\right] d\xi d\ell + \frac{x q_1}{F} \int_0^t \frac{1}{\left(2\sqrt{\pi x(t-\tau)}\right)^2} - \frac{x^2 + y^2}{4x(t-\tau)} d\tau. \quad (9)$$

Підстановка (9) у рівняння (4), (5) доводить правильність отриманого результату.

Для побудови поля швидкостей фільтрації доцільно скористатися рівнянням закону Дарсі

$$W = -\frac{k}{\mu} \text{grad}P,$$

або в плоскій постановці задачі

$$w(x, y, t) = \frac{k}{\mu} \left(\frac{\partial P(x, y, t)}{\partial x} + \frac{\partial P(x, y, t)}{\partial y} \right). \quad (10)$$

На основі отриманих розв'язків у вигляді (9) і (10) складено алгоритм і розроблено програму моделювання процесу формування ареалу забруднень довкілля в результаті появи витоку продукції з промислового газопроводу.

На рис. 1 зображено результати математичного моделювання процесу формування ареалу забруднень при появі витоку продукції з промислового трубопроводу. В горизонтальній площині зображено лінії, що відповідають різним моментам часу процесу формування ареалу

активних дій, тобто управління або екологічний менеджмент. Висвітленню питання про наукові, вертикальна вісь відображає в масштабі величини швидкостей фільтрації в кожній точці площини і на кожен момент часу. Аналіз результатів засвідчує, що найбільшої величини швидкості фільтрації досягає в точці розміщення джерела, однак з плином часу ця швидкість падає за рахунок збільшення обсягу ареалу забруднення.

Література

1. Говдяк Р.М. Удосконалення технологічного проектування нафтогазопроводів з врахуванням їх взаємодії з довкіллям: Дис. ... канд. техн. наук. – Івано-Франківськ, 2001.
2. Гладкий А.В., Скопецький В.В. Методи числового моделювання екологічних процесів. – К.: НТУУ "КПІ", 2005. – 152 с.
3. Анциферов В.С. Уравнения математической физики. Ч.І. – М., 1975. – 190 с.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
5. Арсенин В.Я. Методы математической физики и специальные функции. – М.: Наука, 1974. – 431 с.
6. Карташов Э.М. Аналитические методы в теории теплопроводности твердых тел. – М.: Высш. шк., 1985. – 480 с.

УДК 504.36.574 (234.421.1)

МЕТОДИ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОЇ СИТУАЦІЇ НАФТОПРОМИСЛОВИХ РАЙОНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В.С.Скрипник

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 559698,
e-mail: adolmak@nung.edu.ua*

Исследована экологическая ситуация нефтепромышленного района с определением техногенной нагрузки на основные компоненты природных экосистем для их защиты и сохранности.

The ecological situation of the oil produced region has been explored with the purpose of determination of the technogenious loading on the main components of the natural geo ecosystem to make it protected and well-kept.

Вступ. Проблеми екологічної оцінки техногенного впливу на стан ландшафтів, на якій ґрунтуються екологічний моніторинг та екологічна безпека, розглянуті в багатьох опублікованих роботах. Сам термін “моніторинг довкілля” з’явився перед проведенням у 1972 р. Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища, а основні його елементи описані R.F. Mann у 1973 р. стосовно глобального рівня [9].

Моніторинг доповнював контроль за станом довкілля. Він включав не тільки спостереження і отримання інформації, але й елементи

основи екологічної оцінки техногенного впливу на ландшафти були присвячені роботи І.П.Герасимова, Ю.А.Ізраеля та багатьох інших дослідників [7]. Особливу увагу вони приділяли міжнародним аспектам глобальної екологічної системи. Ці дослідження активізувались перед першою міжурядовою нарадою з моніторингових проблем, скликаною в Найробі (Кенія, лютий 1974 р.) Радою керуючих Програми ООН з проблеми оточуючого середовища (ЮНЕП), однак спостереження за багатьма змінами в біосфері, викликаними антропогенними причинами, здійснювались вже раніше, зокрема гід-