

УДК: 656.2.08:665.6+502.36:66

ЗЕЛЕНЬКО Ю.В., к.т.н., доцент (ДНУЗТ);
ГОРБОВА О.В., провідний інженер комп'ютерних систем (ДНУЗТ);
ВОСТРОКНУТОВА І.В., завідувач відділом «Інтелектуальна власність» (ДНУЗТ);
ЛЕЩИНСЬКА А.Л. аспірант (ДНУЗТ).

Оптимізація використання біокомпозитних матеріалів та моделювання процесів біологічної деструкції нафтопродуктів

Вступ

На сучасному рівні одним з важливіших питань, з позиції забезпечення позитивних екологічних показників експлуатації залізничного транспорту, є: оптимізація моніторингу стану екологічної безпеки і організація управління еколого-економічними ризиками. При цьому, об'єктивне управління екологічними ризиками потребує наявності математичного апарату для моделювання можливих масштабів емісії і швидкості процесів нафтодеструкції у кожному конкретному випадку [1, 2].

Постановка проблеми

В даний час є велика кількість математичних моделей, що описують динаміку нафтового забруднення. Проте, фактично відсутні математичні моделі динаміки нафтового забруднення з одночасним обліком конвективного перенесення, дифузії і біологічної деструкції, крім того, багато проблем досліджено з недостатньою повнотою, так, наприклад, в наявних моделях не враховується фракційність складу нафти, різні види бактерійного населення та час початку біологічної обробки.

Таким чином, необхідним стає завдання розробки і адаптації математичних моделей динаміки нафтового забруднення з одночасним обліком конвективного перенесення, дифузії і біологічної деструкції, фракційності складу нафти, при цьому, для спрощення користування моделями необхідно вивчення факторів, що

впливають на процес з ціллю вилучення факторів з незначним впливом [3].

Аналіз досліджень і публікацій

В літературі [4-7] запропоновано дворівневу ієрархічну систему математичних моделей біологічної деструкції нафтового забруднення у вигляді краєвих завдань для систем квазілінійних рівнянь параболічного типу. При цьому використання базової моделі можливе лише для грубої оцінки процесу біологічної деструкції нафтового забруднення;

Узагальнення базової математичної моделі за рахунок обліку просторової неоднорідності розвитку популяцій, так звана «базова математична модель з урахуванням таксису», вона може бути застосованою в тих випадках, коли враховують характер деструкції і те, що поверхня нафтового забруднення не може бути оброблена рівномірно біопрепаратом, наприклад із-за свого розміру. Математична модель з урахуванням таксису дозволяє досліджувати просторову неоднорідність розвитку популяції нафтоокислюючих мікроорганізмів і оцінити її вплив на біологічну деструкцію нафтового забруднення. Проте, це завдання ставиться насамперед перед підрозділами, що займаються ліквідаційними заходами (підрозділи МНС). У нашому випадку важливою є оцінка екологічних наслідків аварійної емісії та оцінка можливих економічних збитків для залізниці з метою їх мінімізації.

Зазвичай, в практиці, при вивченні процесів розповсюдження нафтопродуктів

не враховують їх фракційну склад - розглядають тільки нафту. Проте, в нашому випадку неможливо нехтувати цим чинником, оскільки статистика вантажоперевезень підтверджує широту спектру нафтопродуктів, що транспортуються, залізничними магістралями.

Для більш об'єктивного та детального аналізу було чітко сформульовано завдання та умови протікання процесу біологічної нафтодеструкції. З ціллю підвищення ефективності процесу збору нафтопродуктів, запропоновано використання сучасних сорбуючих біомінеральних композитів на базі відходів виробництв, які відрізняються комплексним ефектом очистки – сорбцією та біодеструкцією. Досліджено характер і швидкості протікання процесу деструкції адсорбованих нафтопродуктів, а також визначено чинники та умови навколишнього середовища, що найістотніше впливають на процес очистки [1].

Вибір моделі для опису поведінки нафтопродуктів у ґрунтах залежить від умов їх знаходження, дії різних факторів, а також від поставленої мети. Найбільш важливими завданнями стає моделювання процесу міграції (розповсюдження) нафтопродукту у ґрунті та модель санації ґрунту. Для удосконалення опису процесів необхідно провести аналіз існуючих математичних рівнянь.

Для вирішення завдання міграції може бути використана програмна система MODTECH, розроблена в ЗАТ «Геолінк Консалтинг». У основу рішення покладено рівняння конвективного перенесення [4, 5], :

$$n_o \frac{\partial C}{\partial t} = u_x(t) \frac{\partial C}{\partial x} + u_y(t) \frac{\partial C}{\partial y} + u_z(t) \frac{C}{m} + \frac{WC_w}{m} - \lambda \cdot C,$$

де C — концентрація нафтопродуктів у водоносному горизонті; $u_x(t)$, $u_y(t)$ і $u_z(t)$ — компоненти швидкості фільтрації відповідно по осях x , y і z (в даному випадку $u_z(t)$ відповідає перетіканню у водоносний горизонт, що пролягає ниж-

че); W — інтенсивність інфільтраційного водного живлення; C_w — концентрація нафтопродуктів інфільтраті; n_o — ефективна пористість; m — потужність водоносного горизонту. Коефіцієнт розпаду λ приймається в даному випадку для анаеробних умов і, як правило, на порядок менше цієї ж величини для зони аерації.

У деяких роботах [4], що розглядають в основному процес міграції забруднюючої речовини в розчиненому вигляді, при розрахунку біорозкладання використовується рівняння швидкості розкладання першого порядку і зміна концентрації забруднюючої речовини (C) виражається у вигляді:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -K_c \cdot C,$$

При моделюванні процесів зменшення концентрацій нафтопродуктів в ґрунті спосіб розрахунку за даним рівнянням не може бути використаний, оскільки в цьому випадку не враховуються мікробіологічні процеси (зростання і відмирання клітин). Проте його застосовують при моделюванні міграції розчинених нафтопродуктів з потоком підземних вод, оскільки із-за обмеженого надходження кисню концентрація бактерій тут може бути постійною.

Основний матеріал досліджень

Для моделювання процесів мікробіологічного окиснення нафтопродуктів для опису динаміки бактеріологічної популяції та зменшення концентрації нафтопродукту використовують залежність, на базі рівняння Моно, з врахуванням відмирання бактерій [4]. Використання зазначених рівнянь є доцільним для моделювання процесу біологічної деструкції нафтозабруднених ґрунтів шляхом обробки зони емісії бактеріологічним розчином при досить значних витратних показниках.

Таким чином, з ціллю подальшої можливості оптимізації і моделювання процесу біорозкладання за допомогою за-

пропонованих біокомполіти́в запропоновано використання базових математичних рівнянь, які описують процес біорозкладання.

Враховуючи особливості взаємодіючої системи, що моделюється, пропонується формулювати процес біорозкладання на базі рівняння масопереносу, принципу Лібіха і формули Моно. Таким чином вони будуть мати наступний вигляд:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \gamma \cdot \delta_i \cdot \frac{\mu_m G}{K_s + G} \cdot M - \lambda \cdot M - \frac{\partial M}{\partial x}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial G}{\partial t} = -\delta_i \cdot \frac{\mu_m G}{K_s + G} \cdot M, \quad (2)$$

де M – концентрація бактерій в ґрунті, кл/г; G – концентрація нафтопродуктів в ґрунті, г/г; K_s – константа споріднення субстрату до бактерій; μ_m – максимальна швидкість росту бактерій; λ – швидкість відмирання бактерій; δ_i – коефіцієнт, що враховує фракційний склад нафтопродукту; γ – коефіцієнт пропорційності між нафтофільним препаратом та кількістю окисненого нафтопродукту, враховує просторову неоднорідність.

Поставлене завдання не має аналітичного рішення, тому воно вирішувалося двома методами: методом кінцевих диференціалів та методом Рунге-Кутта 4-ого порядку.

Основною ціллю модельних досліджень було визначення терміну

біорозкладання для регулювання кількості внесення біопрепарату.

При цьому, використання запропонованої моделі дозволяє враховувати глибину, на якій відбувається процес біодеградації (рис. 1). Відомо, що в залежності від глибини термін протікання процесу очистки уповільнюється. Це, згідно проведених досліджень, пояснюється процесами інфільтрації нафтопродуктів за ґрунтовим профілем, кількістю ґрунтового повітря та кількістю поживних та ферментних речовин [8].

Для візуалізації чисельних рішень застосовано середовище програмування CBuilder C++ 7.0. На рис. 1 показано результати моделювання динаміки зміни чисельності популяцій (а) та концентрації дизельного палива (б) у відносних одиницях за 1 рік очищення на глибинах 0 – 0,1м; 0,1 – 2,5м; 2,5 – 5,0.

На основі запропонованої моделі, були розраховані зміни концентрацій нафтопродукту і бактерій за глибиною профілю ґрунту залежно від часу.

Результати моделювання динаміки біологічної деструкції нафтопродуктів за ґрунтовим профілем підтверджуються натурними дослідженнями за якими було визначено, що швидкість нафтодеструкції залежить від фракційного складу нафтопродукту, типу ґрунту, глибини за ґрунтовим профілем та кліматичних умов. Результати математичного моделювання процесу санації за 24 місяці, наведено на рис. 2.

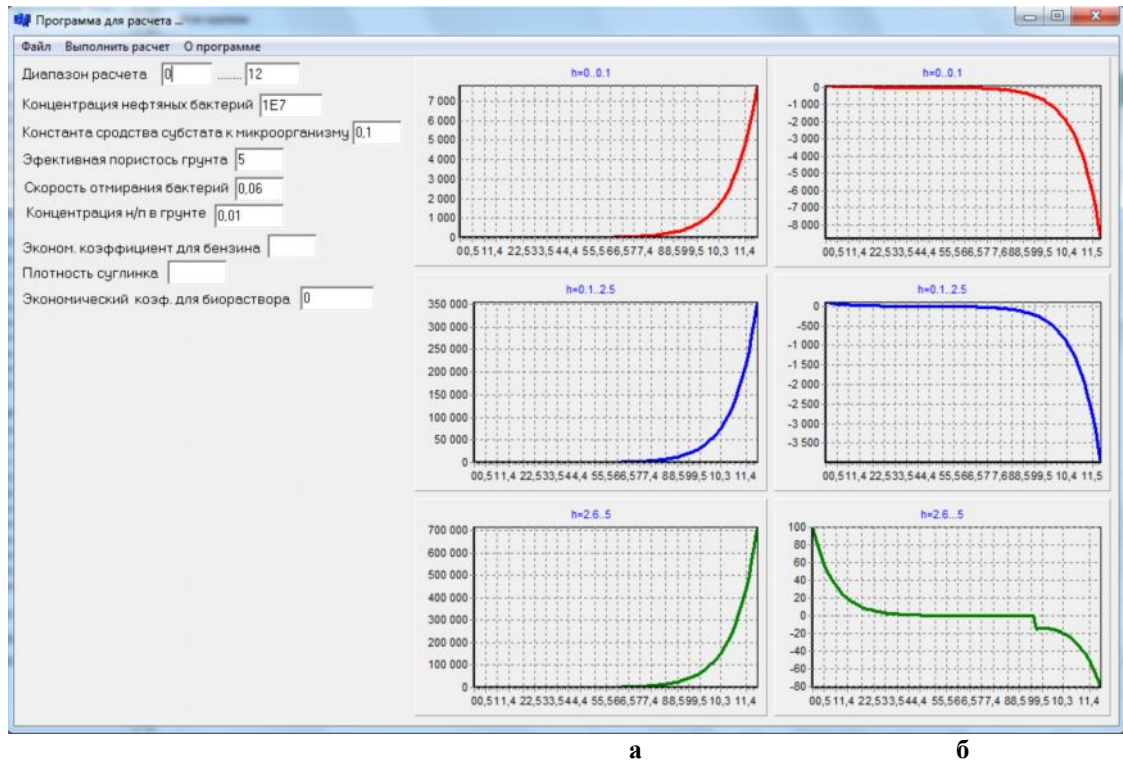


Рис. 1. Динаміка біологічної деструкції дизельного палива за 12 місяців.

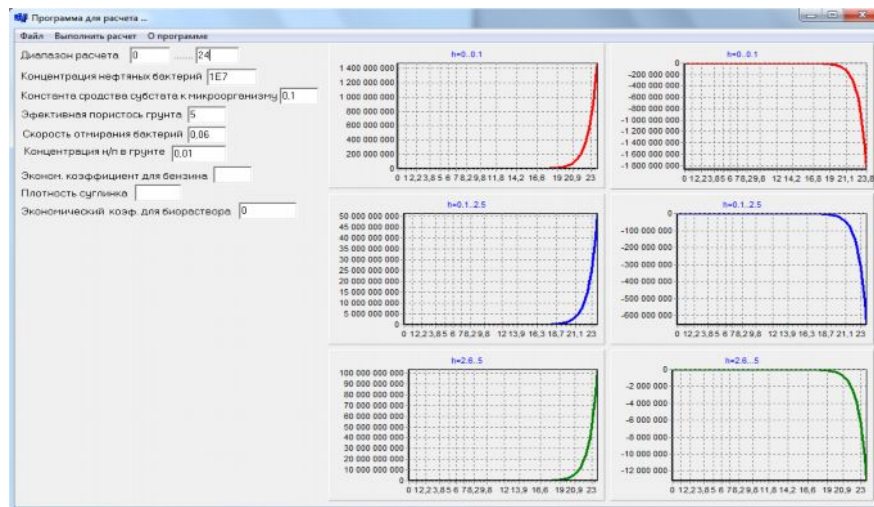


Рис. 2. Динаміка біологічної деструкції дизельного палива за 24 місяці.

Порівняльний аналіз прогнозних розрахунків динаміки зміни концентрації нафтопродуктів в ході біодеструкції з даними натурних досліджень (рис. 3) демонструє збіжність, що безперечно свідчить про адекватність запропонованої

моделі та методу її чисельного визначення. При цьому відхилення (погрішність) обчислювання не перевищувало 8% при допустимих параметрах погрішності – 20%.

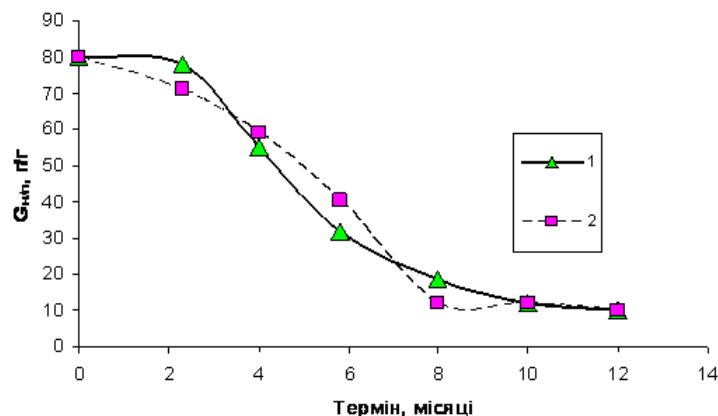


Рис. 3. Порівняльний аналіз розрахункових за моделлю результатів та даних натурних досліджень.

1 – за результатами модельного прогнозу; 2 – за даними натурних досліджень.

Треба відзначити, що швидкість руйнування нафтозабруднення змінюється в залежності від варіативності комплексу наступних факторів: концентрація нафтопродукту в ґрунті, ступінь зволоження ґрунту, тип ґрунту, поруватість ґрунтової маси, глибина забруднення, склад аборигенної мікрофлори ґрунту, метеорологічні умови, ступінь спроможності ґрунту до самовідновлення, ступінь і характер попереднього забруднення ґрунту та інш. [9].

Висновок

Отже, застосування математичного моделювання на даному етапі дозволяє оцінити час, необхідний для повної санації ґрунту з урахуванням найважливіших факторів. Крім того, проведені модельні розрахунки довели, що внесення бактерійного субстрату достатньо проводити лише на першій стадії очищення, що дозволяє значно скоротити вартість запропонованої біоремедіаційної технології [8].

Список літератури

1. Зеленько Ю.В. Наукові основи екологічної безпеки технологій транспортування та використання нафтопродуктів на залізничному

транспорті / [Текст] = Монографія Видавництва Маковецький; – Д., 2010 – 242 с.

2. Зеленько Ю.В., Бойченко С.В., Белокопытов Ю.В. Анализ и оптимизация управления рисками возникновения чрезвычайных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным транспортом // Залізничний транспорт України, №3, 2011. – С.26-28.

3. Козлитин А.М., Яковлев Б.Н. Чрезвычайные ситуации техногенного характера. Прогнозирование и оценка. Детерминированные методы количественной оценки опасностей техносферы: Учебное пособие / Под ред. А.И.Попова. Саратов: Саратов.гос.ун-т, 2000. – 124 с.

4. Огняник Н.С. Основы изучения загрязнения геологической среды легкими нефтепродуктами / Н.С. Огняник, Н.К., Пармонова, А.Л. Брикс и др. – К.: [А.П.Н.], 2006. – 278с.

5. Технологии очистки геологической среды от загрязнения нефтепродуктами. Рекламный проспект компании «Геолінк». № 10, октябрь 2007г.

6. Хлесткин Р.Н., Шеметов А.В., Самойлов Н.А. Моделирование процесса механизированного сбора нефти и нефтепродуктов при их аварийных разливах.// Сборник тезисов докладов 11 Международной научной конференции «Математические методы в химии и технологиях». Владимир, 1998, том 2, С. 214-217.

7. Дембицкий С.И., Уртенев М.Х., Шарпан М.В. Математическое моделирование и анализ биологической деградации нефти при разных способах внесения биопрепаратов // «Экологические системы и приборы», №11, 2007 г.

8. Зеленько Ю.В. Изучение остаточной токсичности почв при аварийных разливах бензиновых фракций путем биотестирования // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В.Лазаряна, Дніпропетровськ, -2008, Випуск 23, С.133-137.

9. Зеленько Ю.В. Рациональное природокористування в ліквідаційних заходах під час транспортних аварій з нафтопродуктами // Международный научно-технический журнал «Локомотив информ», Харьков -2008, №10, С.7-9.

Анотації:

У статті розглянуті існуючі математичні рівняння щодо моделювання процесів нафтозабруднення. Запропоновано оптимізацію викори-

стання біокомпозитних матеріалів шляхом застосування розробленої математичної моделі, яка описує процес біодеструкції.

Ключові слова: ліквідація аварій, нафтопродукти, сорбент, біологічна деструкція, математична модель.

В статті рассмотрены существующие математические уравнения для моделирования процессов нефтезагрязнения. Предложена оптимизация использования биокompозитных материалов с применением разработанной математической модели, описывающей процесс биодеструкции.

Ключевые слова: ликвидация аварий, нефтепродукты, сорбент, биологическая деструкция, математическая модель.

The existing mathematical equations to simulate the processes of oil pollution is considered in the article. The optimization of biocomposite materials using the developed mathematical model describing the process of biodegradation was proposed.

Keywords: liquidation of failures, oilproducts, sorbent, biological degradation, the mathematical mode.
