КИЇВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

На правах рукопису

Тригуб Олександр Семенович

УДК 532.546

Чисельний розв'язок деяких задач міграції забруднень в грунтах

05.13.16 - застосування обчислювальної техніки, математичного моделювання і математичних методів у наукових дослідженнях

Автореферат
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Київ - 1993

АО 28925

Роботу виконано на кафедрі обчислювальної математики факультету кібернетики Київського університету ім.Тараса Шевченка.

Науковий керівник - академік АН України, професор Ляшко І.І.

Офіційні опоненти - доктор фіз.-мат. наук, професор Дейнека В.С.
кандидат фіз.-мат. наук, доцент Лукових В.М.

Провідна установа - Державний архітектурно-будівельний університет (м. Санкт-Петербург).

Захист відбудеться "____"_____ 1993 року о __ годині на засіданні спеціалізованої ради К 068.18.10 у Київському університеті ім. Тараса Шевченка за адресом: 252127, м.Київ-127, просп. Академіка Глушкова,6, факультет кібернетики, ауд.40.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського університету ім. Тараса Шевченка (вул. Володимирівська,58).

Автореферат розіслано "___"_____ 1993р.

Вчений секретар спеціалізованої ради І.В.Бейко

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00802832 (N)

ЛННБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В останні роки дослідників все більше турбує проблема забруднення навколишнього середовища, в основному, надходження в біосферу штучних радіоактивних речовин. Актуальність її пояснюється тим, що у зв'язку з інтенсивним використанням атомної енергетики і широким застосуванням радіонуклідів у різних галузях людської діяльності існує ймовірність попадання їх в організм людини, головним чином, через грунт. Особливої уваги заслуговують аварійні випадки на атомних електростанціях, ядерних реакторах та інших об'єктах, що супроводжуються значним викидом радіонуклідів у біосферу і становлять реальну загрозу здоров'ю людей. Так, в результаті аварії на Чорнобильській АЕС у квітні 1986 року викид у навколишнє середовище становив $7{,}6 \cdot 10^{7}$ Ки радіоактивності. При цьому цілий комплекс проблем вимагає довгострокового й детального вивчення. Одна з них - вертикальна міграція радіонуклідів у грунтах. У першу чергу треба знати, як швидко мігрує той чи інший нуклід в грунті при даних умовах. У багатьох випадках виникає необхідність у проведенні прогнозних розрахунків розподілу нукліда на досить довгі проміжки часу.

Перші результати в області теоретичного вивчення питань переносу розчинних речовин були одержані Н.Х.Арутюняном, М.М.Веригіним, А.М.Патрашевим і С.М.Нумеровим. Подальшому вивченню процесів масопереносу мігрувчих речовин у пористих середовищах і математичним методам їх розв'язку присвячені роботи С.Ф.Аверʼянова, Е.В.Бондарева, Г.М.Бондаренка, Ф.М.Бочевера, О.В.Голубєвой, В.С.Дейнеки, А.І.Денченко, В.І.Лаврика, І.І.Лячка, Г.Ш.Шистецького, Г.А.Холтянера, В.М.Николаєвського, О.Я.Олійника, Г.Б.Орадовської, Ф.І.Павлоцької, В.І.Пеньковського, Ю.О.Полякова, В.М.Прохорова, А.М.Рекса, П.А.Рудченка, В.С.Саркісяна, В.В.Скопецького, А.Б.Ситніʼва, Э...Соботовича, Е.Б.Терикановой, В.М.Шестакова, Б.С.Шершукова, Д.Ф.Зульгіна та багатьох інших.

Прогрес у вивченні фізико-хімічних механізмів міграції шкідливих речовин в грунтах обумовив появу більш складних і точних математичних моделей транспорту нуклідів, що враховують

зразу кілька механізмів перенесення (конвективний, дифузійний, сорбція, радіоактивний розпад).

Повніше приблизити модельні математичні зображення до умов реальних природних грунтів дозволяє застосування чисельних математичних методів розв'язку рівняння переносу. Але чисельний розв'язок рівнянь геоміграції пов'язаний з характерними математичними складностями ("схемна" дифузія, нефізичні сплески в результатах розрахунків). Ці обчислювальні проблеми ще більше загострюються при розв'язанні багатовимірних задач у зв'язку з жорсткими обмеженнями на витрати оперативної пам'яті і часу обчислення ЕОМ. Одержання прийнятних для практики розв'язків за однією із звичайних скінченнорізницевих схем можливе тільки за умови достатньо детальної просторової та часової дискретизації. Враховуючі специфіку задач міграції радіонуклідів у грунтах (великі лінійні розміри області, необхідність прогнозних розрахунків на довгострокові проміжки часу) використання стандартних скінченнорізницевих апроксимацій малоефективне. Тому, незважаючи на досягнуті успіхи в області моделювання міграції радіоактивних речовин, задача побудови ефективних чисельних методів розв'язку рівнянь переносу, які враховують специфіку проблем, що виникають, вельми важлива і актуальна.

Мета роботи полягає в розробці методики чисельного моделювання (дослідження математичної моделі, обґрунтування чисельного методу розв'язку, програмна реалізація на ЕОМ) одновимірних та двовимірних задач геоміграції радіонуклідів при фільтрації грунтових вод та застосування її до розв'язання задачі розрахунку розповсюдження радіонукліду стронція-90 із ставка-охолоджувача Чорнобильської АЕС в р.Прип'ять.

Методика досліджень заснована на математичному моделюванні процесів геоміграції за допомогою диференціальних рівнянь у частинних похідних другого порядку параболічного типу з змінними коефіцієнтами; при цьому рух підземних вод описується за допомогою диференціальних рівнянь гідродинамічної теорії двовимірної фільтрації. Чисельні методи розв'язання рівнянь геоміграції будуться з використанням математичного апарату теорії різницевих схем. Дослідження зако-

номірностей транспорту радіонуклідів та оцінки параметрів підземного масопереносу проводяться методом обчислювального експерименту на основі розроблених чисельних алгоритмів.

Наукова новизна полягає в розробці методики чисельного моделювання задач геоміграції радіоактивних забруднень під час фільтрації підземних вод, що враховує процеси конвективного переносу, гідродисперсії, сорбції та радіоактивного розпаду.

Показано, що застосування лагранжево-ейлерових різницевих схем дозволяє: 1) збільшити на 1-2 порядки різницевий крок у часі (в порівнянні з відомими скінченнорізницевими апроксимаціями конвективного члену); 2) отримати при розв'язанні двовимірних геоміграційних задач системи лінійних алгебраїчних рівнянь з симетричними матрицями.

Побудована та обгрунтована (тобто досліджена на стійкість та збіжність) лагранжево - ейлерова різницева схема для нестаціонарного рівняння геоміграції при наявності в рівнянні мішаних похідних.

Розроблено програмне забезпечення для розрахунку міграції забруднень в грунтах.

Практична цінність роботи. Запропоновані чисельні методи розв'язку рівнянь геоміграції можуть бути ефективними в підземній гідродинаміці, меліорації, цілому комплексі задач екології.

Запропонована методика моделювання транспорту шкідливих речовин була застосована для розрахунку та прогнозу міграції радіонуклідів при фільтрації підземних вод із ставка-охолоджувача Чорнобильської АЕС в р.Прип'ять.

Розроблене програмне забезпечення дає можливість оперативно приймати обгрунтовані рішення щодо захисту об'єктів від забруднень, а також здійснювати контроль за якістю підземних вод в зонах їх забруднень.

Апробація роботи. Основні результати дисертації доповідались та обговорювались :

- на I-III наукових конференціях молодих вчених Київського університету (м.Київ, 1985-1987рр.);
- на другому Республіканському науково-технічному семінарі "Чисельні методи розв'язання задач теорії фільтрації" (м.Казань, 1992р.);

- на Українських конференціях "Моделювання та дослідження стійкості процесів (м.Київ, 1992-1993рр.);
- на другій Школі-семінарі "Методи математичного моделювання в наукових дослідженнях" (м.Донецьк, 1990р.);
- на наукових семінарах кафедри обчислювальної математики Київського університету (м.Київ, 1985-1993рр.);
- на науковому семінарі кафедри моделювання складних систем Київського університету (м.Київ, 1993р.);
- на семінарі "Математичне моделювання гідрогеологічних процесів (м.Душанбе, 1991р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 10 наукових праць.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, трьох розділів, висновку та списку використаної літератури.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтовано актуальність обраної теми досліджень, сформульовані мета й завдання досліджень, показана наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, коротко викладений зміст дисертації.

У першому розділі наводиться використана в роботі математична модель перенесення забруднень грунтовими водами. Перераховані основні припущення, на яких побудована модель. Розглядається усталена профільна фільтрація рідини в жорсткому режимі. Припускається, що мігруюча речовина істотно не впливає на питому вагу, в'язкість та інші гідродинамічні характеристики розчину. Записується рівняння фільтрації грунтових вод, яке при зроблених припущеннях має вигляд:

$$\frac{\partial v_1}{\partial x_1} + \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \quad v_i = -K\frac{\partial h}{\partial x_i}, \quad i=1,2, \qquad (1)$$

де x_i - декартові прямокутні координати; v - складові швидкості фільтрації; K - коефіцієнт фільтрації; $h=p/\rho g - x_2$ - п'єзометричний напор; p - тиск; ρ - густина рідини; g - прискорення сили тяжіння (координатна вісь ox_2 напрямлена

вниз). Зазначається, що поглинання радіоактивних забруднень фільтрувчими породами може йти різними шляхами. Стисло розглядаються іонообмінне поглинання специфічна сорбція, ізоморфне заміщення в кристалічній решітці, наведені критерії перебігу цих процесів. Подано математичні співвідношення, що описують міграцію речовин у грунтових водах. Використана математична модель перенесення враховує такі головні механізми : конвективний перенос, гідродисперсію, сорбцію та радіоактивний розпад. Сорбція припускається миттєвою, оборотною, що описується лінійною ізотермою Генрі. Загальне рівняння транспорту мігранта може бути одержано з умов балансу маси розчиненої речовини в елементі водоносного пласту і при зроблених припущеннях має вигляд

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \sum_{\substack{\alpha=1,2 \\ \beta=3-\alpha}} \frac{\partial}{\partial x_\alpha}\left(\mathcal{D}_{\alpha\alpha}\frac{\partial c}{\partial x_\alpha} + \mathcal{D}_{\alpha\beta}\frac{\partial c}{\partial x_\beta} - v_\alpha^* c\right) - \lambda c + \sum_{k=1}^{s} R_k ,$$

$$v_\alpha^* = v_\alpha/(R\,m), \quad \alpha=1,2, \quad R = 1 + \rho \cdot K_d/m , \qquad (2)$$

$$\mathcal{D}_{\alpha\beta} = \delta_{\alpha\beta}(\mathcal{D}_m + \alpha_T v) + (\alpha_L - \alpha_T)\, v_\alpha^* v_\beta^* / v, \quad \alpha,\beta=1,2,$$

де $C(x_1, x_2, t)$ - об'ємна концентрація мігранта в розчині (шукана змінна); $\mathcal{D}_{\alpha\beta}$ - компоненти тензора коефіцієнта конвективної дифузії; $\delta_{\alpha\beta}$ - символ Кронекера; $R_k, k=\overline{1,s}$ - джерельні члени, що описують массообмінні процеси між розчином та фільтрувчим пористим середовищем; λ - константа радіоактивного розпаду; R - коефіцієнт сповільнення переносу мігранта внаслідок сорбційних процесів; ρ - щільність грунту; m - пористість грунту; K_d - коефіцієнт розподілу речовини, що являє собою с' ввідношення рівновагових концентрацій мігрувчої речовини в твердій фазі і в розчині; $\mathcal{D}_m$ - коефіцієнт молекулярної дифузії у пористому середовищі; α_L, α_T - параметри поздовжньої (в напрямі швидкості фільтрації) та поперечної гідродисперсії; v - модуль швидкості фільтрації; t - час. На межі області фільтрації в залежності від типу задачи, що розглядається, для функції C задаються крайові умови першого чи другого роду. У момент часу $t=0$ припускається заданим початковий розподіл концентрації мігранта в розчині.

Другий розділ присвячений побудові та обгрунтуванню лагранжево-ейлерових різницевих схем (ЛЕРС) для двовимірного рівняння геоміграції при наявності в рівнянні мішаних похідних. На прикладі модельного рівняння переносу для найпростіших скінченнорізницевих схем демонструються характерні обчислювальні проблеми, наводяться особливості розв'язку багатовимірних задач. Розглядається лагранжево-ейлеровий метод (ЛЕМ) розв'язання рівняння геоміграції, основна ідея якого полягає в розщепленні в процесі обчислень розрахунку конвекції і дифузії та розгляді кожного типу переносу окремо. Конвекція розраховується лагранжевим методом (методом слідкування за частинками), а дифузія - стандартним ейлеровим (на нерухомих сітках). Наведено стислий огляд робіт по ЛЕМ. За допомогою інтегро-інтерполяційного методу на прямокутних сітках для рівняння геоміграції, записаного в лагранжевій формі, побудована різницева схема

$$y_{\bar{t}}^{(k+1)} = \Lambda y^{(k+1)} - g y^{(k+1)} + \varphi,$$

$$y_{\bar{t}}^{(k+1)} = \frac{y^{(k+1)} - \hat{I}(y^k, \tilde{x}_i)}{\tau}, \quad \Lambda y^{(k+1)} = \sum_{\alpha,\beta=1}^{2} \Lambda_{\alpha\beta} y^{(k+1)},$$

$$\Lambda_{\alpha\alpha} y^{(k+1)} = \frac{1}{2}\left((B_{\alpha\alpha} y_{\bar{x}_\alpha})_{x_\alpha} + (B_{\alpha\alpha} y_{x_\alpha})_{\bar{x}_\alpha} \right), \quad \alpha = 1,2, \tag{3}$$

$$\Lambda_{\alpha\beta} y^{(k+1)} = \frac{1}{2}\left((B_{\alpha\beta} y_{x_\beta})_{\bar{x}_\alpha} + (B_{\alpha\beta} y_{\bar{x}_\beta})_{x_\alpha} \right), \quad \alpha = 1,2, \quad \beta = 3-\alpha,$$

де y, g, φ - сіткові аналоги функцій c, λ, f відповідно; $\hat{I}(y^k, \tilde{x}_i)$ - значення полілінійної процедури інтерполяції, знайдене за значеннями y^k в момент часу t^k в точці $\tilde{x}_i$, такій, що в наступний момент часу t^{k+1} надходить у вузол сітки x_i.

Наведено дослідження стійкості побудованої різницевої схеми. Доведена збіжність у середньому різницевої схеми (3) зі швидкістю $O(\tau+h)$, $h = h_1 + h_2$.

При розв'язанні багатьох практичних задач транспорту забруднень можна знехтувати впливом поперечної гідродисперсії та враховувати при проведенні розрахунків лише поздовжню гідродисперсію. Це дає можливість привести початкову двовимірну задачу підземного масопереносу до сукупності одновимірних задач

переносу вздовж виділених ліній струму рідини. Такий підхід аналізується у третьому параграфі розділу II. Зазначимо, що методика, близька до викладеної, використовувалась у роботах О.В.Голубєвой та В.І.Лаврика з співавторами при розрахунках конвективного переносу водорозчинних речовин. Рівняння, що описує перенос радіоактивних забруднень в фільтраційній течії, має вигляд

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \mathcal{D}\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v\frac{\partial c}{\partial x} - \lambda c + N, \quad 0 \le x \le L, \quad 0 \le t \le T \qquad (4)$$

- для концентрації мігранта в розчині та

$$\frac{\rho}{m}\frac{\partial S}{\partial t} = -N - \frac{\rho}{m}\lambda S \qquad (5)$$

для сорбованої фази. Тут $S(x,t)$ - концентрація мігруючої речовини в сорбованій фазі (на одиницю маси фільтруючих порід); N - джерельний член, що описує процеси адсорбції - десорбції; x - лінійна координата, що відраховується вздовж лінії струму; v - дійсна швидкість фільтрації; $\mathcal{D} = \alpha v$ - коефіцієнт гідродисперсії (α - параметр поздовжньої гідродисперсії). Припускаючи, що має місце рівновага адсорбція розчиненого у воді мігранта, що описується лінійною ізотермою Генрі, після нескладних алгебраїчних перетворень остаточне рівняння міграції забруднень в грунтових водах можна отримати у вигляді

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \mathcal{D}'\frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v'\frac{\partial c}{\partial x} - \lambda c, \qquad (6)$$

де $\mathcal{D}' = \mathcal{D}/R$, $v' = v/R$ - "ефективні" (із врахуванням сорбції) коефіцієнт дисперсії та швидкість переносу забруднень грунтовими водами.

Для рівняння (6) побудована та досліджена ЛЕРС, що має вигляд

$$\frac{y_i^{(n+1)} - \dot{I}_n(y^n, \bar{x}_i)}{\tau} = \mathcal{D}y_{\bar{x}x}^{(n+1)} - \beta y^{(n+1)}, \qquad (7)$$

де $\dot{I}_n(y^n, \bar{x}_i)$ - значення квадратичної процедури інтерполяції, що використовується при обчисленні субстанційної похідної. Теоре-

тичне дослідження точності різницевої схеми (7) базується на аналізі дисипативних та дисперсійних помилок різницевих апроксимацій рівняння геоміграції з використанням методу диференціальних наближень. Показано, що ЛЕМ мають помітну перевагу щодо точності чисельного розв'язання в порівнянні з іншими схемами, що часто використовуються на практиці. ЛЕМ поступаються кращим схемам із заданого класу лише при малих числах Куранта (Cu). наприклад ЛЕРС з лінійною інтерполяцією при малих числах C близька за точністю до явної різницевої схеми з односторонньою апроксимацією конвективного члену першого порядку точності. У той же час ЛЕМ мають значну перевагу перед іншими схемами при Cu > 1, наприклад ЛЕРС з квадратичною інтерполяцією зіставлювана за точністю зі схемами Лакса-Вендрофа і Кранка-Ніколсона другого порядку точності, але при цьому вільна від обмежень, що властиві останнім.

Проведено порівнювальний аналіз ЛЕМ, що використовують лінійну та квадратичну процедури інтерполяції при обчисленні субстанційної похідної. Показано, що у ЛЕРС з лінійною процедурою інтерполяції домінують амплітудні помилки і схемі властива чисельна дифузія. ЛЕРС з квадратичною процедурою інтерполяції вільна від чисельної дифузії, але має відносно великі фазові помилки. Методи мають відносно 1-й та 2-й порядок точності. При цілих числах Куранта ЛЕРС мають третій порядок точності. ЛЕРС з квадратичною процедурою інтерполяції показує з довільну точність в більш широкому діапазоні різницевих чисел Пекле (Pe) та Куранта, ніж ЛЕРС з лінійною процедурою інтерполяції. Установлено, що чисельна дифузія та фазові помилки ЛЕРС, обумовлені інтерполяцією, зменшуються з збільшенням кроку часової дискретизації, але поки не починає виявлятись вплив коефіцієнта при четвертій просторовій похідній в диференціальному наближенні, який визначає дисипативні властивості різницевої схеми. Це свідчить про те, що з збільшенням різницевого кроку за часом помилки апроксимації дифузійної частини починають переважати над помилками, які вносить інтерполяція при обчисленні субстанційної похідної.

Досліджена стійкість ЛЕРС з квадратичною процедурою інтерполяції. Доведена теорема про збіжність такої ЛЕРС з швидкістю $O(\tau+h^3)$.

У заключному параграфі глави II розглядаються питання, пов'язані з розв'язанням систем лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР), до необхідності чого приводить дискретизація двовимірного рівняння геоміграції (2). Різницева схема (3) може бути записана у вигляді

$$Ay = B, \quad A = E - \tau(\Lambda - d), \quad B = \hat{I}(y^{n}, \tilde{x}_{i}) + \varphi \cdot \tau, \qquad (8)$$

де A - матриця розрідженої структури, що має, як правило, велику розмірність. Показано, что застосування ЛЕМ до розв'язання задач вигляду (2) дає можливість одержати симетричну матрицю A, що значно знижує вимоги до об'єму необхідної оперативної пам'яті ЕОМ та полегшує розв'язання системи (8).

Для розв'язання специфічних СЛАР вигляду (8) в роботі обгрунтована висока ефективність застосування методів переобумовлення, суть яких полягає в перетворенні початкової СЛАР на еквівалентну систему

$$M^{-1}Ay = M^{-1}B \qquad (9)$$

з наступним застосуванням до (9) одного з економічних ітераційних методів (методу спряжених градієнтів). Переобумовлювач вибирається таким чином, щоб поліпшити обчислювальні властивості матриці ітерацій $M^{-1}A$ та забезпечити швидку збіжність ітераційного процесу. На модельних прикладах продемонстровано помітну перевагу цього методу розв'язку СЛАР у порівнянні з "чистим" методом спряжених градієнтів та методом послідовної верхньої релаксації.

У III главі запропонована методика використана для розв'язання задачі розрахунку розповсюдження радіонукліду стронцію-90 із стовпа-охолоджувача (СО) Чорнобильської АЕС в р.Прип'ять. Описана інженерно-геологічна та гідрогеологічна обстановка в зоні СО станції, а також ступінь забруднення стронцієм-90 поверхневих та грунтових вод біля СО. Розглядається задача профільної усталеної фільтрації в системі " СО - р.Прип'ять ", в результаті розв'язання якої одержані розподіли напорів, поля швидкостей в області фільтрації, побудо-

вані стрічки струму, що надалі використовуються при розв'язанні геоміграційної задачі.

Проводиться чисельне моделювання розповсюдження стронцію-90 підземними водами на перемичці між СО та р.Прип'ять. У результаті багатоваріантних розрахунків одержані оцінки параметрів підземного масопереносу стронцію-90. Значення параметра поперечної гідродисперсії α_T вар'ювались у межах $0,5 \div 0,1$ м. Одержані результати свідчать про те, що найкращого збігу між даними режимних спостережень та результатами чисельного моделювання можна чекати при $\alpha_T \leq 0,1$ м, що дозволяє звести двовимірну геоміграційну задачу до розв'язання сукупності одновимірних задач перенесення стронцію-90 вздовж ліній струму підйни. Перевага такого підходу полягає в поєднанні високої точності, обумовленої використанням криволінійних координат, з відносно низькими обчислювальними витратами, що досягається за рахунок зменшення вимірності рівнянь, що розв'язуються. Одержані розрахункові криві концентрацій стронцію-90 в грунтових водах у цілому адекватно відображають тенденції, виявлені під час режимних спостережень (утворення в початковий період часу концентраційного піку та переміщення його з плином часу в бік р.Прип'ять), тобто методика, що застосовується для даної задачі є правомірною й дає якісно правильні результати. Побудований прогноз змінювання концентрацій стронцію-90 на виході в р.Прип'ять.

Висновки з одержаних розв'язків задач міграції стронцію-90 в грунтових водах на перемичці між СО і р.Прип'ять підсумовані у четвертому параграфі глави V.

На закінчення наведено висновки за дисертаційною роботою.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ РОБОТИ

1.Запропонована методика чисельного моделювання задач геоміграції радіонуклідних забруднень при фільтрації підземних вод, яка враховує процеси конвективного переносу, гідродисперсії, сорбції та радіоактивного розпаду.

2.Показано, що застосування розробленої методики дозволяє:

а)збільшити на 1-2 порядки різницевий крок у часі (в порівнянні з відомими скінченнорізницевими апроксимаціями конвективного члену), не втрачаючи при цьому точності обчислень;

б)отримати при розв'язанні двовимірних геоміграційних задач СЛАР із симетричними матрицями, що значно знижує вимоги до необхідної оперативної пам'яті ЕОМ та полегшує їх розв'язання.

3.Побудована та обгрунтована (тобто досліджена на стійкість та збіжність) ЛЕРС для нестаціонарного рівняння геоміграції при наявності в рівнянні мішаних похідних.

4.На модельній задачі проведено обчислювальний аналіз точності ЛЕРС, що використовують різні процедури інтерполяції. Показано, що точність ЛЕРС з використанням квадратичної інтерполяції вища за точність ЛЕРС з використанням лінійної інтерполяції в більш широкому діапазоні різницевих чисел Пекле та Куранта. Порівняння ЛЕРС з відомими скінченнорізницевими схемами для рівняння геоміграції демонструє помітну перевагу перших при великих числах Куранта.

5.Для розв'язання СЛАР великої вимірності з симетричною матрицею розрідженої структури що виникає при дискретизації методом кінцевих різниць двовимірного рівняння геоміграції, яке записане в лагранжевій формі, обгрунтована висока ефективність методу спряжених градієнтів з використанням процедури переобумовлення. Проведено порівняльний аналіз даного методу з "чистим" методом спряжених градієнтів та методом послідовної верхньої релаксації.

6.Розроблено універсальне (щодо використання його для розрахунку міграції не тільки радіонуклідних, але й хімічних, біологічних та інших забруднень) програмне забезпечення, що дозволяє оперативно приймати обгрунтовані рішення щодо захисту об'єктів від забруднень та контролювати якість підземних вод в зонах їх забруднення.

7.Методом обчислювального експерименту знайдені оцінки параметрів підземного масопереносу та досліджені закономірності міграції радіонуклідів при фільтрації забруднених вод із ставка-охолоджувача Чорнобильської АЕС в р Прип'ять.

Основні положення дисертаційної роботи опубліковані в таких роботах:

1. Молчанов И.Н.,Рябцев В.Е.,Тригуб А.С. Проблемы построения и эффективной реализации неявных методов преобуславливания.Ч.1. // Вычисл. и прикл. математика. - 1987. - Вып.63. - С.42-49.

2. Молчанов И.Н.,Рябцев В.Е.,Тригуб А.С. Проблемы построения и эффективной реализации неявных методов преобуславливания.Ч.2. // Вычисл. и прикл. математика. - 1988. - Вып.65. - С.14-24.

3. Рябцев В.Е.,Тригуб А.С. Методы преобуславливания : принципы построения и способы реализации на ЭВС. К., 1987. 33с. Деп. в УкрНИИНТИ 1.06.87 N 1758.

4. Тригуб А.С. Математическое моделирование миграции загрязнений при фильтрации из пруда в реку // Моделирование и исследование устойчивости процессов. Тез. докл. конф. - 1992. - С.49.

5. Демченко Л.И.,Бугай Д.А.,Тригуб А.С. Численное моделирование переноса радиоактивных загрязнений грунтовыми водами // Методы математического моделирования в научных исследованиях. Тез.докл. второй Школы-семинара. - Донецк,1990. - С.35.

6. Демченко Л.И.,Тригуб А.С. Применение экспоненциальной схемы для уравнения конвективной диффузии // Задачи динамических процессов в сплошных средах. - Свердловск,1991. - С.83-88.

7. Демченко Л.И.,Тригуб А.С. Об одной разностной схеме для нестационарного уравнения конвективной диффузии // Прикладные задачи математической физики. - Рига,1989. - С.73-81.

8. Тригуб А.С. Математическое моделирование миграции стронция-90 при фильтрации из пруда в реку // Машинные методы решения задач теории фильтрации. Тез. докл. второго Респ. научно-технического семинара. - Казань,1992. - С.38.

9. Демченко Л.И.,Лявко С.И.,Клевин Д.А.,Тригуб А.С. Компьютерное моделирование миграции радионуклидов в системе связанных водоносных горизонтов // Теория приближения и задачи вычислительной математики. Тез. докл. междунар. конф. - Днепропетровск, 1993. - С.69.

10. Лявко С.И.,Демченк Л.И.,Клевин Д.А.,Тригуб А.С. Исследование миграционных процессов в геофильтрационной среде методами компьютерного моделирования // Моделирование и исследование устойчивости систем. Тез. докл. укр. конф. - Киев,1993. - С.90.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Підп. до друку 20.10.93. Формат 60x84/16. Папір друк. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 0,6 . Ум. фарбо-відб. 0,6 . Обл.-вид. арк. 0,7
Тираж 80 пр. Зам. 369

Віддруковано в Інституті математики АН України
252601 Київ 4, ГСП, вул. Терещенківська, 3

AB 28925
AB 28.925