ГЕОІНФОРМАТИКА

УДК 550.681

О.М. Іванік, канд. геол. наук,
А.Г. Михайленко, заст. дир.,
В.В. Шевчук, д-р геол.-мінералог. наук

ПЕРЕДУМОВИ ТА ОСНОВНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ПІДСИСТЕМИ АНАЛІЗУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ ГЕОГРАФІЧНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВОДІВ

Розглянуто проблеми створення підсистеми аналізу геологічного середовища для ГІС магістральних трубопроводів. Показано, що методичною основою аналізу геологічного середовища має стати комплексна інтегральна оцінка умов геологічного середовища зі створенням та дослідженням низки аналітичних блоків. Основним інструментальним методом підсистеми аналізу геологічного середовища ГІС МТ є метод створення й актуалізації картографічних моделей, що описують геологічне середовище та його зміну у просторі і часі.

Problems of the creation of a subsystem for a geologic environment analysis for Geographic information systems of transcontinental pipelines have been discussed. It is demonstrated that methodical basis of geological conditions assessment is the complex integral assessment of geologic environment conditions with the creation and analysis of analytical blocks. Method of creation and actualization of cartographical models depicting the geologic environment and its variation in space and in time should become a main method of a subsystem of geologic environment analysis GIS TP.

Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень. Всі лінійні споруди, у тому числі і магістральні трубопроводи, є функціонуючими природно-техногенними системами (ПТС). Їх функціонування перебуває у прямій залежності від інженерно-геологічних умов території. Головним завданням є забезпечення надійності та підвищення ефективності створення й функціонування цих ПТС, збереження навколишньої природи та в першу чергу **геологічного середовища (ГС)**. Для цього необхідним є оцінка, аналіз та прогноз змін у геологічному середовищі об'єктів та негативних наслідків таких змін для самих об'єктів, довкілля та життєдіяльності працюючого на них персоналу. Оцінка впливу прямих і зворотних зв'язків лінійних споруд на природні об'єкти та природних об'єктів на споруди вимагають аналізу комплексу факторів у просторі та часі, що передбачає обов'язкові прогнозні характеристики поведінки природних і техногенних об'єктів. Недостатність врахування глибинних змін геологічного середовища призводить, зазвичай, до негативних наслідків, що, безсумнівно, породжує низку екологічних і природних економічних проблем.

Геологічне середовище ПТС являє собою складно побудовану динамічну геосферу, межі якої, як і її блоків, зазнають у процесі створення та функціонування ПТС постійного зворотно-поступального сковзання у просторі та часі. При функціонуванні ПТС між численними елементами, що складають її гео- та техносферу, виникає безліч прямих та зворотних зв'язків, які розглядаються як геотехнічні функції геологічних та техногенних процесів, що відбуваються у ПТС. Для вивчення цих функцій необхідним є створення комплексної методики оцінки взаємозв'язків глибинних та поверхневих геологічних факторів при експлуатації лінійних споруд, а також методики оцінки впливу лінійних об'єктів на стан геологічного середовища.

У цьому аспекті показовим є підприємство ТОВ "Сургутгазпром" (одне із найбільших дочірніх підприємств ВАТ "Газпром" (Росія)), де проводяться роботи зі створення та впровадження у виробництво Геоінформаційної системи магістральних трубопроводів (ГІС МТ).

Створена та впроваджена у промислову експлуатацію ГІС МТ є інформаційною системою, що вирішує у першу чергу технологічні інженерні завдання. Серед них слід підкреслити такі: експлуатація та прогноз розвитку лінійної частини трубопроводів та їх електрохімічного захисту, компресорних і газорозподільних станцій, систем автоматизованого управління технологічними процесами та зв'язки. Реалізована у ГІС МТ підсистема діагностики технічного стану магістральних трубопроводів оперує у першу чергу матеріалознавчими властивостями та монтажними особливостями трубопровідних елементів, що відповідає галузевим нормативам та вимогам, але часто-густо не вирішує поставлених завдань.

Досвід експлуатації ГІС МТ демонструє, що традиційний підхід до оцінки стану інженерного комплексу не є вичерпним та достатнім. Якщо на сьогодні проводиться розрахунок напружено-деформованого стану трубопроводу з оцінкою його трьохвимірного положення, заглиблення, навантаження, сукупності трубних елементів монтажу та ін., то додатково необхідно аналізувати напружений стан геологічного середовища території прокладення трубопроводу та визначати його стійкість.

© О.М. Іванік, А.Г. Михайленко, В.В. Шевчук, 2005

Проблемам стійкості геологічного середовища при функціонуванні ПТС різних видів присвячено роботи Аверіної П.Н. та Герасимової А.С. (1993), Ломтадзе В.Д. (1985, 1987, 1988), Пахомова С.І., Монюшко О.М. (1988) та інших, однак проблемним питанням залишається розробка системи аналізу стану геологічного середовища при функціонуванні магістральних трубопроводів.

Постановка завдання. Нагальна потреба розробки підсистеми аналізу геологічного середовища стає конче необхідною в умовах підвищення кількості та скупченості інженерних комплексів, а отже, і підвищення навантаження на геологічне середовище. Ефективність такої підсистеми буде тим вищою, чим більш інтегрованою вона буде із технологічними підсистемами ГІС МТ.

Викладення основного матеріалу досліджень. *Методичною основою* оцінки геологічних умов при експлуатації магістральних трубопроводів та визначення обов'язкових заходів їх безпечної експлуатації є **комплексна інтегральна оцінка умов геологічного середовища**. Вона передбачає багатоелементний та багатофакторний аналіз великої кількості геологічних даних з оцінкою ступеня їх взаємодії та впливу на навколишнє середовище. Такий аналіз передбачає використання різних функцій ГС, а саме ресурсної, геофізичної, власне геологічної, геохімічної, гідрогеологічної, геодинамічної. Великого значення при цьому набуває **стійкість ГС**, під якою розуміють його здатність зберігатись і протидіяти певному виду зовнішнього впливу, не виходячи за межі конкретного діапазону, виконуючи при цьому визначену соціально-економічну функцію.

В цілому для вивчення стану геологічного середовища необхідні спеціалізовані інженерно-геологічні дослідження та моделювання з кількісною оцінкою енергетичного балансу сучасних і прогнозних геологічних та технологічних процесів. Основу стратегії таких досліджень становить аналіз обміну речовиною, енергією та інформацією, що відбувається протягом створення та функціонування ПТС, а також пізнання механізму та закономірностей, за якими такий обмін проходить. Провідним при цьому є територіально-функціональний підхід, що спирається на системний, багатофакторний, порівняльно-геологічний аналізи, на апарат статистики, методи теорій планування експерименту, розпізнавання образів, а також інтеграції досліджень.

Використання з цією метою системного підходу та методів геоінформаційного картографування дозволяє об'єднати розрізнену, різномасштабну та різночасову інформацію. Застосування нових можливостей комп'ютерних технологій дозволить виявити та відобразити складні причинно-наслідкові зв'язки, що існують у геологічному середовищі. Однак проблема оцінки стану ГС має слабкоструктурований характер. Успішне вирішення завдань геологічного прогнозування можливе лише на шляху поєднання досвіду, знань та інтуїції спеціалістів-геологів з величезними можливостями інформаційних технологій, оскільки саме ці технології найбільш повно відповідають вирішенню завдань комплексного аналізу різної просторової та часової інформації.

Важливим є те, що геоінформаційні технології не здатні вирішити поставлені завдання без конкретного алгоритму дії, який, безумовно, вимагає аналітичних розробок. Створення ефективного алгоритму дій та класифікації геологічних об'єктів і факторів геологічного середовища дозволить провести комплексну інтерпретацію даних геологічних досліджень та істотно зменшити значний обсяг рутинної обробки великої кількості матеріалів.

Для дослідження структури природно-технічних систем, якими є магістральні трубопроводи та їх технологічні площадні об'єкти (компресорні та насосні станції, підземні сховища газу тощо), необхідним є створення та аналіз аналітичних блоків, що стосуються впливу геологічного середовища на споруди [1], а саме: геологічна будова, гідрогеологічні умови території, геодинамічний блок, геоморфологічна будова, геофізичний та ландшафтний блоки.

Геологічний блок є безумовно провідним та визначає всі головні особливості та взаємодії геологічного середовища із техносферою. Його головними елементами слід вважати такі: мінеральний та хімічний склад гірських порід; фізичні, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості відкладів, структурні та текстурні особливості породних комплексів; фаціальна структура відкладів; мікроагрегатний склад. Як правило, основну частину геосфери складають четвертинні відклади. Просторово-часові закономірності їх будови, складу та текстури обумовлені їх генезисом, а інженерно-геологічні властивості та структурні зв'язки багато в чому визначаються характером епігенетичних перетворень. Однак у гірських районах породні комплекси мають складну структуру фанерозойських відкладів, яка потребує комплексної інтерпретації.

Гідрогеологічний блок об'єднує підземні та порові води. Функціональні елементи, що є необхідними для комплексної інтегральної оцінки, – це форми і характер знаходження в породі, глибини залягання, типи, склад, агресивність, стан, режим, фільтрація та взаємовідношення із вміщуючими породами.

Геокріологічний блок (для оцінки умов західного Сибіру) є тісно пов'язаним із гідрогеологічним та охоплює верхню частину геосфери ПТС. Функціональними елементами цього блоку служать потужності та поширення багаторічномерзлих порід, їх деформаційні та міцнісні властивості, льодовитість і середньорічні температури.

Геодинамічний блок геосфери ПТС має вирішальну роль у їх функціонуванні, обумовлюючи основні параметри геологічних процесів, що діють у ПТС. Геологічні процеси, що являють собою елементи цього блоку, викликані впливом на геологічне середовище комплексу екзогенних та ендогенних факторів.

Серед *екзогенних* процесів слід виділити вивітрювання, заболочування, водно-ерозійні та водно-акумулятивні, гравітаційні та кріогенні процеси.

Ендогенні процеси, що впливають на функціонування ПТС, виявляються у вигляді різних видів тектонічних порушень.

У свою чергу при аналізі функціонування ПТС варто відслідковувати і **зворотні зв'язки інженерних споруд** на геологічне середовище. У цьому зв'язку аналізуються такі блоки:

1. Будівництво. Нафтогазотранспортне будівництво вимагає виконання у складі цього блоку великих обсягів інженерно-геологічних робіт з наданням геологічному середовищу заданих властивостей і якостей, необхідних для надійного й ефективного функціонування ПТС.
2. Транспорт. Магістральні газопроводи розглядаються в цьому блоці як самостійні ПТС.
3. Енергетика. Впливає на електричне поле великих масивів геологічного середовища.
4. Господарська діяльність, охорона і захист природи.

Подальшим етапом дослідження повинна стати оцінка **зміни** природно-технічних систем у процесі їхнього функціонування. Показники стану геосфери ПТС за час їхнього існування зазнають глибоких і найчастіше незворотних змін, масштаби яких обумовлені геологічною обстановкою, міцністю внутрішніх і зовнішніх зв'язків у ПТС і силою факторів, що на них впливають. Слід зазначити, що при функціонуванні магістральних газопро-

водів на геологічне середовище впливає, як правило, **комплекс факторів**, на які геологічне середовище реагує одночасними чи почерговими змінами або всього спектра, або більшості геологічних процесів, що відбуваються у ньому.

Блок зміни інженерно-геологічної будови характеризує виникнення та динаміку істотних геотехнічних функцій. Склад ґрунтів як найбільш консервативних елементів геосфери ПТС підлягає істотним змінам лише за особливо сильних і тривалих впливів: обводнюванні ґрунтів сильномінералізованими промстоками, багаторазовому промерзанні-відтаюванні, глибокому осушенні та переробці землерийною технікою. Істотні зміни у гідро- та термодинамічних умовах призводять одночасно до необоротних змін текстури, структурних зв'язків і складу порід, включаючи навіть мінералогічний.

Зміни гідрогеологічних умов при функціонуванні ПТС виражаються прискоренням гідрогеологічних процесів, перетворенням структури водного балансу і, завдяки високій рухливості і міграційній здатності елементів цього блоку, залучають у геосферу ПТС значні масиви геологічного середовища. Переважна більшість технологічних процесів у ПТС призводить до стійкого підйому ґрунтових вод, накопиченню вологи у ґрунтах зони аерації, перетворенню хімічного складу підземних і поверхневих вод убік посилення їхньої корозійної здатності.

Блок зміни геокріологічних умов є важливим атрибутом ПТС. Усі його елементи пов'язані з прискоренням чи уповільненням фазових переходів вологи, змінами температур порід та їх теплофізичних властивостей. Поява у кріолітозоні численних великих джерел тепловиділення, якими є всі без винятку газопроводи, викликає деградацію навіть низькотемпературної мерзлоти.

Підвищення температури ґрунту відбувається внаслідок зниження альбедо його поверхні при забрудненні. У той час відслонені поверхні ґрунту істотно підсилюють його мерзлий стан чи сприяють його появі.

Блок змін геодинамічних умов відбиває просторово-тимчасові закономірності розвитку геологічних процесів. Традиційні впливи інженерних споруд на геологічне середовище, як правило, прискорюють переробку берегів річок і ярів. Такі впливи збільшують масштаби зсувоутворення на схилах долин і пагорбів, опустелювання поверхні піщаних ґрунтів. Усі впливи, що призводять до зміни теплообміну геологічного середовища з атмосферою, позначаються на динаміці кріогенних процесів.

Блок змін техносфери включає осадки, випучування, механічні ушкодження, розтріскування, температурні деформації, корозію, абразію, ерозію, адгезію, емanацію, розчинення, окислювання, розкладання, адсорбцію, засмічення фільтрів, засолення, замазучування, кристалізацію та інші процеси, що діють у ПТС як окремо, так і у різній сукупності та послідовності.

Важливим завданням досліджень є виявлення симптомів змін, що відбуваються у ГС і провісників їхніх критичних параметрів для визначення відхилень від нормального функціонування ПТС і попередження відмовних та аварійних ситуацій на трубопроводах.

Вибір найбільш ефективних діагностичних ознак–характеристик особливих геотехнічних функцій проводиться за допомогою евристичних і алгоритмічних методів пошуку. З цим завданням тісно пов'язане визначення гранично допустимих навантажень на геологічне середовище ПТС як від окремих впливів, так і від їхнього комплексу, необхідність оцінки інженерно-геологічного потенціалу геосфери, системотворних властивостей техносфери й інженерно-геологічного резерву ПТС. Вирішення цих проблем здійснюється головним чином шляхом стаціонарних інженерно-геологічних спостережень і різночасного геокартування реальних ПТС і експериментальних досліджень їх великомасштабних натурних імітаційних моделей.

Сукупність діагностичних параметрів ПТС $z_i = \{z_1^{(t)}, z_2^{(t)}, \ldots\ldots, z_n^{(t)}\}$, що характеризують можливе відхилення її функціонування від заданих чи прогнозних значень, що призводить до відмовлень чи несправностей техносфери, визначає стан працездатності ПТС у момент часу t [1].

Функціонування ПТС умовно розглядається як деякий перетворювач А параметрів її стану в параметри інженерно-геологічного сигналу y_i:

$$yi = Azi, \qquad (1)$$

де $y_i = \{y_1^{(t)}, y_2^{(t)}, \ldots\ldots, y_n^{(t)}\}$ – вектор ознак стану в n-мірному евклідовому просторі ознак. Координати такого вектора характеризують властивості елементів ПТС. Завданням інженерно-геологічного моніторингу є визначення залежності, зворотної (1):

$$z_i = A^{-1} y_i, \qquad (2)$$

де A^{-1} – оператор, зворотний перетворювачу А.

На підставі інформації, отриманої від інженерно-геологічного сигналу, необхідно провести висновок щодо параметрів стану ПТС. У найпростіших випадках залежність (2) може бути функціональною:

$$z_i = \varphi_i (y_1, y_2, \ldots\ldots, y_n), \qquad (3)$$

де i = 1,2,...n.

Конкретний вигляд цієї залежності встановлюється після обробки отриманих у результаті вимірів геотехнічних функцій. Для спрощення слід функціонування розділяти по підсистемах, блоках і по групах однорідних елементів, для яких складаються свої рівняння вигляду (3). Найбільший ефект досягається тоді, коли по кожному стану z_i є можливість поставити у відповідність тільки одну діагностичну ознаку $y_i = \varphi_i (z_i)$, інваріантну до інших параметрів стану. За відсутності чітких границь між станами використовують теорію розпізнавання образів.

Для моделювання очікуваних відмовлень ПТС використовується статистично-функціональний клас моделей, доповнений статистичними та фізичними моделями окремих геологічних і технологічних процесів.

Функціонально-статистичну модель відмовлення елемента, блоку чи всієї ПТС можна представити таким чином:

$$r_i = \varphi_i (x_{i1}, x_{i2}, \ldots\ldots, x_{in}, t_i), \qquad (4)$$

де r_i – вихідний параметр ПТС, що визначає її надійність і значення y_i; x_{i-n} – параметри, що характеризують факторні елементи техносфери і визначають впливи на геологічне середовище; t_i – час безвідмовного функціонування ПТС. Відмовлення надходить у момент t_{i0} досягнення вихідним параметром гранично допустимого значення r_{inp}. Для цього випадку вираз (4) може бути записаний у вигляді:

$$r_i = \varphi_i (x_{i1}, x_{i2}, \ldots\ldots, x_{in}, t_{i0}), \qquad (5).$$

Висновки. Таким чином, основним інструментальним методом підсистеми аналізу геологічного середовища ГІС МТ повинен стати метод створення й актуалізації картографічних моделей, що описують геологічне середовище та його зміну у просторі і часі. Застосування при цьому аерокосмічних методів, що володіють унікальною властивістю генералізації об'єктів дешифрування, при системно-поєднаному тематичному картографуванні оптимально реалізує принцип від загального до окремого, що дозволяє на всіх рівнях досліджень зберігати цілісність досліджуваних явищ.

Для комплексної оцінки геологічної ситуації створюється серія поєднаних комп'ютерних карт, на основі яких проводиться комплексна оцінка функціонування геологічного середовища і прогноз його стану. На основі серії комп'ютерних карт фіксується комплексний вплив техно-

генного навантаження, але оцінити вплив кожного фактора досить складно. Комплексний аналіз інтегральної карти за різними геологічними показниками дозволяє розробити основні типи заходів для зменшення негативного впливу на експлуатацію газопроводів.

1. Захаров Ю Ф. Инженерно-геологический мониторинг освоения Западно-Сибирского нефтегазового комплекса // Газовая промышленность. – 1987. – № 4. – С. 28. 2. Никонов А.И., Новаковский Б.А., Первезев М.В. Геоинформационное эколого-геохимическое картографирование территории подземного хранилища газа // Геоинформатика. – 2002. – № 1. – С. 3–8.

Надійшла до редколегії 08.06.04