

## ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ТРИВАЛОЕКСПЛУАТОВАНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

*О.М. Мандрик, Л.Я. Побережний, А.І. Станецький*

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 727186,  
e-mail: public@nuing.edu.ua*

*У зв'язку зі старінням газотранспортної мережі та недосконалістю державного контролю за її безпекою, в останні роки спостерігається збільшення кількості аварій на газопроводах України (розрив труб через просідання ґрунту; утворення корозійних тріщин; деформація трубопроводів, спричинена зсувами і повеннями; електрохімічна корозія на ділянках підтоплення тощо). Також зростає вплив на ГТС факторів глобальної зміни клімату: потепління, збільшення кількості та нерівномірності опадів, частота повеней тощо.*

*Вивчено закономірності зміни несучої здатності матеріалу тривалоексплуатованих газопроводів. Показано, що найнебезпечнішими є хлоридно-сульфатні та підкислені хлоридно-сульфатні електроліти.*

*Розроблена геоінформаційна комп'ютерна система екологічної безпеки (ГІС КСЕБ) для зони впливу магістральних газопроводів „Союз” і „Прогрес” на території Чортківського і Борщівського районів, яка задовольняє основним вимогам щодо екологічної безпеки та дає змогу визначати небезпечні ділянки траси та вчасно проводити заходи з ремонту та обслуговування газопроводів для попередження аварійних ситуацій.*

*В подальшому потрібно продовжити розробку та впровадження таких геоінформаційних систем з метою підвищення екологічної безпеки газотранспортного комплексу України.*

*Ключові слова: газотранспортна система, екологічний моніторинг трубопроводів, деградація трубопроводів*

*В связи со старением газотранспортной сети и несовершенством государственного контроля за ее безопасностью, в последние годы наблюдается увеличение количества аварий на газопроводах Украины (разрыв труб вследствие проседания почвы, образования коррозионных трещин, деформации трубопроводов, вызванной сдвигами и наводнениями, электрохимической коррозии на участках подтопления). Также возрастает влияние на ГТС факторов глобального изменения климата: потепления, увеличения количества и неравномерности осадков, частоты наводнений.*

*Изучены закономерности изменения несущей способности материала длительноэксплуатируемых газопроводов. Показано, что наиболее опасными являются хлоридно-сульфатные и подкисленные хлоридно-сульфатные электролиты.*

*Разработанная геоинформационная компьютерная система экологической безопасности (ГИС КСЕБ), для зоны влияния магистральных газопроводов "Союз" и "Прогресс" на территориях Чертовского и Борщовского районов, удовлетворяет основным требованиям экологической безопасности и позволяет определять опасные участки трассы и своевременно проводить мероприятия по ремонту и обслуживанию газопроводов для предупреждения аварийных ситуаций.*

*В дальнейшем нужно продолжить разработку и внедрение таких геоинформационных систем с целью повышения экологической безопасности газотранспортного комплекса Украины.*

*Ключевые слова: газотранспортная система, экологический мониторинг трубопроводов, деградация трубопроводов*

*Due to the aging of the gas transportation network and imperfect state control over its security, in recent years there has been an increase in the number of accidents on Ukrainian pipelines (pipe break because of soil subsidence, formation of corrosion cracks, deformation of pipelines caused by land slides and floodings, electrical and chemical corrosion on the preparation areas etc.). There is a growing impact of such global climate change factors onto the GTN: warming, increase in the amount and unevenness of precipitations, flooding frequency etc.*

*The regularities of the material bearing capacity change of the long-term operated pipelines have been studied. It has been shown that chloride-and-sulfate and acidified chloride-and-sulfate electrolytes are the most dangerous.*

*The geoinformational computer-aided system for environmental safety (GIS CSES) has been developed for the zone of the main gas pipelines "Soiuz" ("Union") and "Progress" ("Progress") influence on the territories of Chortkiv and Borshchiv districts. The system meets basic requirements for environmental safety and allows to identify dangerous pipeline sections and conduct timely repair and maintenance of gas pipelines to prevent accidents.*

*It is needed to continue development and implementation of such geoinformational systems to improve environmental safety of the gas transportation sector of Ukraine.*

*Key words: gas transportation system, environmental monitoring of gas pipelines, degradation of pipelines*

Магістральні трубопроводи є найбільш капіталоемними елементами газового комплексу держави. Оскільки вартість нового газопроводу на порядок вища від раніше побудованого, то економічно доцільно, спираючись на дані технічного та екологічного моніторингу, максимально продовжити технологічну та екологічно-безпечну експлуатацію газопровідних систем.

У зв'язку зі старінням газотранспортної мережі та недосконалістю державного контролю за її безпекою, в останні роки спостерігається збільшення кількості аварій на газопроводах України (розрив труб через просідання ґрунту; утворення корозійних тріщин; деформація трубопроводів, спричинена зсувами і повеннями; електрохімічна корозія на ділянках підтоплення то-

що). Також зростає вплив на ГТС факторів глобальної зміни клімату: потепління, збільшення кількості та нерівномірності опадів, частота повеней тощо.

Продовження терміну служби та забезпечення надійної роботоздатності газопроводів, які експлуатуються в сучасних умовах, вимагає розробки комплексної методології оцінювання та прогнозування їх безпечної експлуатації.

Тому важливими першочерговими завданнями в галузі підвищення еколого-техногенної безпеки газотранспортного комплексу України є:

- дослідження закономірностей зміни несучої здатності тривалоексплуатованих трубопроводів при їх взаємодії з навколишнім природним середовищем;

- удосконалення системи екологічного моніторингу за об'єктами комплексу (від родовищ і трубопроводів до сховищ та об'єктів використання газу) на основі спостережень за змінами хімічного складу атмосфери та ґрунту, їх спектрально-фізичних параметрів тощо;

- розробка наукових основ та організація постійного екологічного аудиту на об'єктах газотранспортної інфраструктури;

З метою визначення закономірностей зміни несучої здатності тривалоексплуатованих трубопроводів проведено дослідження синергічної дії корозійного і механічного чинників на зразках-моделях, вирізаних зі стінки труби [1]. Особливо важливого значення набувають експериментальні роботи в цьому напрямку, виконані за новими ефективними методиками, а саме, комплексні дослідження деформівної системи „труба – ґрунтовий масив“ та вивчення кінетики протікання корозійних процесів.

Дослідження деформаційної поведінки сталі в умовах навантажень та впливів, які імітують експлуатаційні, дасть змогу краще оцінити залишковий ресурс безпечної експлуатації діючих, та ресурс роботи нових трубопроводів, коректніше прогнозувати експлуатаційні ризики та оцінити рівень потенційних загроз довіллю, спричинених експлуатацією даних технічних об'єктів. Важливо вивчити кінетику деформації у корозійних середовищах, оскільки рівень пошкоджень у результаті синергічної дії механічного та корозійного чинників зростає нелінійно, відповідно так само збільшуються імовірності розгерметизації чи руйнування трубопроводу, а, отже, й пов'язані з цим експлуатаційні ризики. Вважається, що поведінка сталі трубопроводу в ґрунтах у багатьох відношеннях аналогічна її поведінці при повному зануренні у розчини з відповідним рН. При цьому переважає електрохімічний механізм корозії з утворенням мікрогальванічних елементів [2].

Об'єктом досліджень вибрано трубопровідну сталь 17Г1СУ, яка є на даний час однією з найпоширеніших у нафтогазовому комплексі. З неї виготовляються труби широкого сортаменту, як прямошовні, так і зі спіральним швом діаметром до 1420 мм, які використовувалися при прокладанні значної частини магістральних газонафтопроводів та продовжують широко

використовуватися під час ремонту і модернізації діючих та будівництва нових магістральних трубопроводів. Для дослідження впливу експлуатаційної деградації було виготовлено партію зразків з матеріалу труби, яка працює в експлуатації 41 рік.

Зміну несучої здатності матеріалу трубопроводу запропоновано оцінювати за величиною приросту деформації повзучості  $\Delta\epsilon_c$  та корозійної повзучості  $\Delta\epsilon_{cc}$  для зразків з експлуатованої та неексплуатованої сталі.

Механічні випробовування проводили при навантажених чистим згином, використовуючи ступінчастий метод навантаження-розвантаження з витримкою 20 с на кожному ступені з метою поглибленого вивчення деформаційної поведінки сталі трубопроводу та відстеження процесів механічної релаксації.

Для вивчення кінетики низькотемпературної корозійної повзучості вибрано три рівні номінальних напружень відповідно до величини границь текучості матеріалу трубопроводу  $\sigma_{0,2}^*$ : 1,05  $\sigma_{0,2}^*$ , 1,35  $\sigma_{0,2}^*$  та 1,65  $\sigma_{0,2}^*$ , які відповідають штатним, підвищеним штатним та позаштатним режимам роботи трубопроводу відповідно та становлять 330, 420 та 510 МПа. Для коректного виявлення впливу корозійного середовища на деформаційну поведінку сталі трубопроводу повзучість вивчали спочатку на повітрі (імітуючи роботу трубопроводу з непошкодженим ізоляційним покриттям) (рис. 1), а потім у відповідних модельних середовищах (табл. 1). Час експозиції становив 300000 хв.

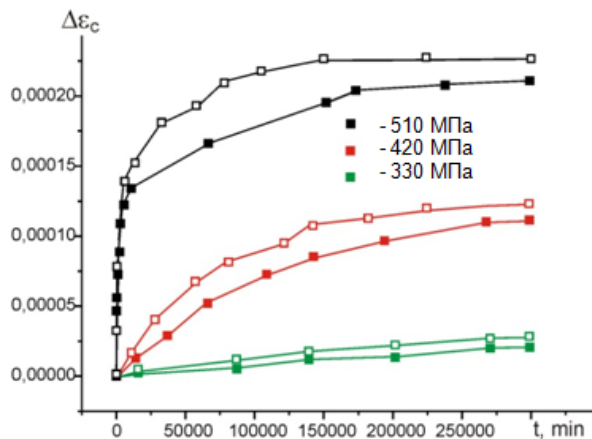


Рисунок 1 – Кінетика повзучості матеріалу трубопроводу на повітрі

На повітрі спостерігаємо зростаючу кінетику (рис. 1) із зниканням на останній стадії та виходом на плато як для матеріалу в стані поставки, так і для експлуатованого. Зміна деформації повзучості знаходиться в межах 15...20%. Такі тенденції не становлять небезпеки, з чого можна зробити висновок, що несуча здатність трубопроводу, який в процесі 40 років експлуатації не піддавався дії корозивного середовища зміниться незначно. Однак на практиці, беручи до уваги недосконалість протикорозійних покриттів, які використовувалися при будівництві магістральних трубопроводів наприкінці 60-х та

**Таблиця 1 – Хімічний склад модельних середовищ для корозійних випробовувань**

№ МС	Концентрація, моль/л			
	NaCl	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	0,01	-	-	-
2	0,05	-	-	-
3	0,1	-	-	-
4	0,005	0,005	-	-
5	0,025	0,025	-	-
6	0,05	0,05	-	-
7	0,01	-	0,00001	-
8	0,05	-	0,0001	-
9	0,1	-	0,001	-
10	0,005	0,005	-	0,000005
11	0,025	0,025	-	0,00005
12	0,05	0,05	-	0,0005

в 70-х роках минулого століття, така ситуація є скоріше гіпотетичною. Випробовування на повітрі мало на меті стати головним чином відправною точкою для виокремлення впливу корозивного середовища на несучу здатність сталі трубопроводу на пізній стадії експлуатації.

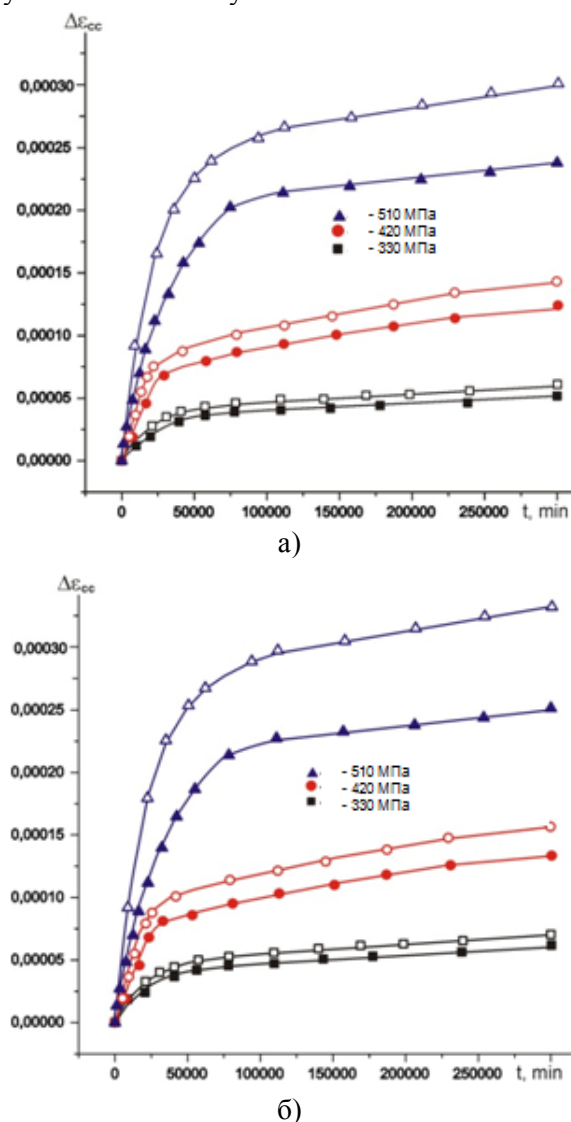
Зі збільшенням величини номінальних напружень інтенсивність процесу зростає. При найвищому, близькому до границі міцності навантаженні, спостерігаємо на кривій повзучості уступи. Причому характерно, що для деградованого матеріалу вони різкіші і починають появлятися при нижчих рівнях напружень (помітні уже при 420 МПа). Очевидно, така деформаційна поведінка може бути спричинена поширенням мікротріщин, що й зумовлює стрибкоподібне зростання деформації. Оскільки в деградованій сталі значно більша кількість накопичених пошкоджень, в тому числі і мікротріщин в зародковому стані, то для їх зрушення потрібен нижчий рівень номінальних напружень. Така деформаційна поведінка підтверджується раніше проведеними в ІФНТУНГ дослідженнями.

При переході до середнього рівня напружень спостерігаємо практично монотонну зростаючу кінетику, а з наближенням до границі плинності – майже лінійну. Порівнюючи характер еволюції процесу, можемо відмітити, що найшвидше вона досягає завершальної стадії при 510 МПа, найдовше – при 330 МПа. Найрівномірнішою кінетикою характеризується повзучість при  $1,35 \sigma_{0,2}^*$  (420 МПа). Водночас тут спостерігаємо найдовшу активну еволюцію повзучості – 75 % часу фіксуємо досить активне зростання деформації повзучості.

За кутом нахилу завершальної ділянки кривої повзучості можемо вивчити швидкість затухання процесу. Даний параметр може бути використаний у якості додаткового критерію оцінки та прогнозування розвитку повзучості та корозійної повзучості, з його збільшенням ризик втрати несучої здатності в результаті негативної синергічної дії механічних напружень та

корозійного середовища зростає, і навпаки, з його зменшенням – спадає. Для всіх модельних середовищ спостерігається збільшення кута нахилу завершальної ділянки кривої корозійної повзучості, що свідчить про більшу небезпеку втрати несучої здатності попередньо експлуатованою трубою сталлю.

Кінетика повзучості у хлоридних середовищах (рис. 2, а, б) відрізняється від такої на повітрі перш за все монотонністю. Практично відсутні різкі перепади, відрізняються лише швидкості та абсолютні величини приросту деформації. Найімовірніше – це наслідок впливу ефекту Ребіндера, який зумовлює зменшення поверхневої енергії, полегшуючи утворення одиниці площі поверхні і, відповідно, плинність металу.



**Рисунок 2 – Кінетика повзучості сталі трубопроводу в МС1 (а), МС2 (б)**

Слід також вказати на істотне зменшення швидкості зникання процесу порівняно з повітрям. Особливо помітним воно є для величини номінальних напружень 330 МПа ( $1,05 \sigma_{0,2}^*$ ), де спостерігається зростаюча кінетика із поступовим зниканням, але без виходу на плато.

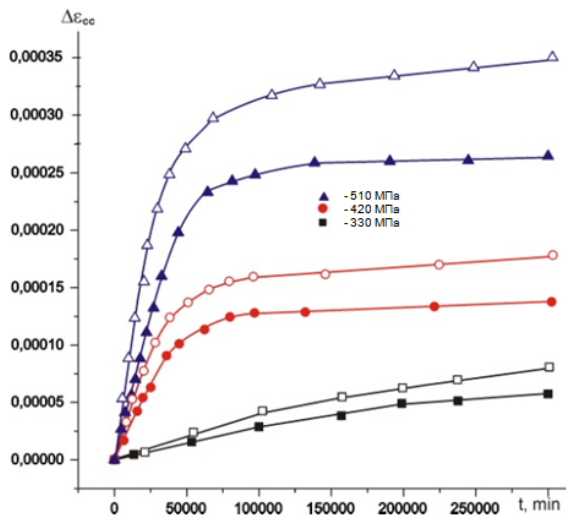


Рисунок 3 – Кінетика повзучості сталі трубопроводу в МС3

Таку корозійно-механічну поведінку сталі трубопроводу можна пояснити синергічною дією корозійного та механічного чинників, оскільки рівень напружень, як свідчать результати випробовувань на повітрі, недостатній для такого тривалого інтенсивного приросту деформації. Причому частка корозійного чинника (зменшення несучої здатності внаслідок появи нових та розвитку наявних дефектів) є основною, про що свідчить кінетика деформації на повітрі з практично горизонтальною останньою ділянкою. Корозійні процеси полегшують розвиток наявних та викликають накопичення додаткових пошкоджень, небезпечно зменшуючи несучу здатність та створюючи додаткові ризики у штатних режимах експлуатації. Такі приховані ризики необхідно вчасно виявляти, щоб попередити пошкодження трубопроводу та виникнення зв'язаних з цим позаштатних ситуацій.

Для всіх рівнів напружень спостерігаємо небезпечно інтенсивне монотонне зростання деформації, яке свідчить про постійне виникнення нових ушкоджень та зменшення несучої здатності. Така деформаційна поведінка в умовах експлуатації може призвести до розгерметизації трубопроводу та наступної позаштатної, а при недостатньо оперативному реагуванні і аварійної ситуації. Виникає ризик витіку транспортованого продукту і завдання шкоди довкіллю вздовж траси трубопроводу.

Якщо порівняти деформаційну поведінку експлуатованого та неексплуатованого матеріалу, неважко помітити збереження зафіксованої на повітрі тенденції приросту абсолютної величини деформації повзучості. Водночас у всіх модельних середовищах, на відміну від повітря, неозброєним оком фіксуємо тенденцію збільшення абсолютного приросту деформації повзучості і з зростанням рівня номінальних напружень.

При проведенні досліджень у хлоридно-сульфатних модельних середовищах МС 4-6 (табл. 1) спостерігаємо значну втрату несучої

здатності [3]. Порівняно із випробовуваннями на повітрі (рис.1) фіксуємо інтенсифікацію деформування матеріалу трубопроводу, яка досягає максимуму в МС6, де, як показано раніше, маємо специфічне співвідношення концентрацій хлоридів та сульфатів з максимальної синергетикою (рис. 4, в). Особливо слід зазначити значні кути нахилу завершальної ділянки кривої в МС4 та МС5 (рис. 4, а, б), що свідчить про нестационарність процесу і несе в собі ризики виникнення значних (аж до наскрізних) корозійних уражень в високомінералізованих ґрунтових електролітах за середніх та підвищених номінальних напружень.

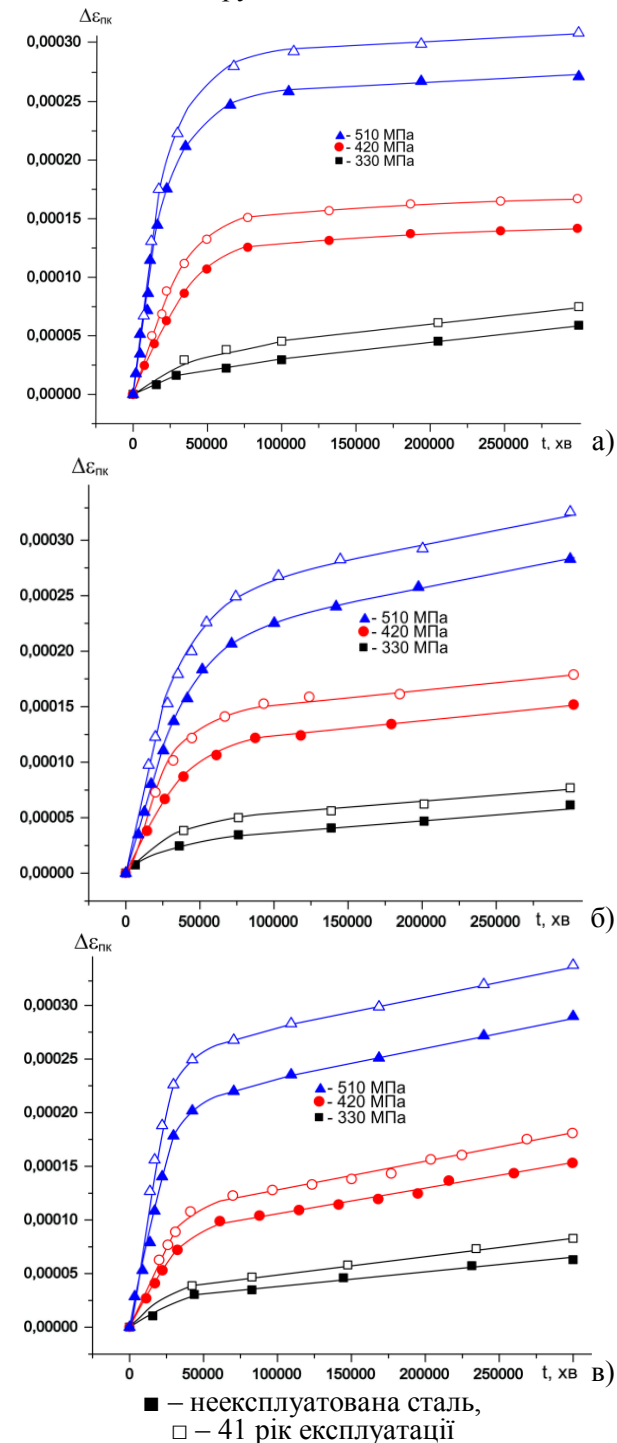


Рисунок 4 – Криві повзучості матеріалу трубопроводу у МС 4-6

Найбільші експлуатаційні ризики прогноуються для ділянок трубопроводів у складних умовах експлуатації (гірських та зсувонебезпечних районах тощо).

В підкислених хлоридних середовищах МС 7-9 (табл. 1) спостерігаємо кінетику повзучості подібну до такої у нейтральних аналогах (рис. 2, 4). Зокрема, зі збільшенням концентрації кислоти при високому рівні номінальних напружень з'являються стрибкоподібні прирости деформації, пов'язані, очевидно із зміною механізму перебігу корозійних процесів. Такий перехід зумовлює збільшення частки водневої деполяризації та супроводжується виділенням атомарного водню у місцях утворення гальванічних пар [4]. Останній спричиняє перебіг процесу наводнення та розвиток водневої крихкості, що, в свою чергу, викликає корозійне розтріскування, яке й ілюструють стрибки деформації на кінетичній кривій.

В МС7, значення рН в якому рівне 5, спостерігаємо приріст деформації, який відповідає втраті несучої здатності від 5 до 15 відсотків (рис. 5), залежно від рівня номінальних напружень, фіксуємо також збільшення кута нахилу завершальної ділянки кривої, що вказує на небезпеку подальшої втрати матеріалом опору тривалим деформаціям. Помітних деформаційних стрибків не фіксується, ризик аварійної розгерметизації незначний, що пов'язано із превалюючим механізмом кисневої деполяризації, і незначним водневим окрихченням.

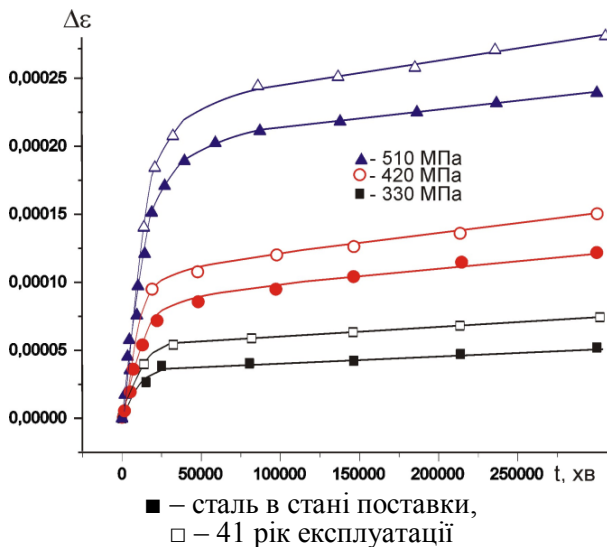


Рисунок 5 – Кінетика деформації сталі трубопроводу в МС7

При подальшому зменшенні рН до 4 (МС8) фіксуємо істотні деформаційні флуктуації (рис. 6). Особливо помітні вони в області високих напружень, що пояснюється впливом механічного чинника на фоні водневого окрихчення. Виразно спостерігаються цикли прискорення-сповільнення деформації, які відповідають циклам росту тріщини. Найінтенсивніші вони на першому етапі експозиції, далі швидкість приросту деформації спадає. Це пов'язано з притупленням вершин корозійних тріщин внаслідок збільшення швидкості розчинення мате-

ріалу трубопроводу та відповідним зменшенням рівня концентрації напружень у їх вершинах. Зменшення несучої здатності становить 7-18%, проте є ризик раптової розгерметизації внаслідок розтріскування, зумовленого водневим окрихченням.

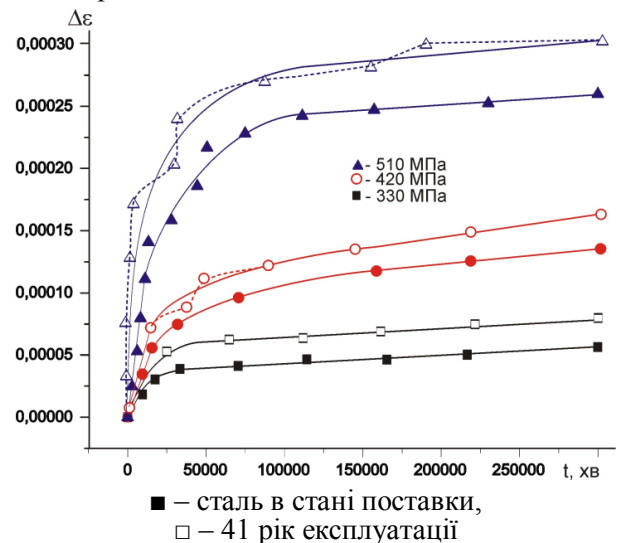


Рисунок 6 – Кінетика деформації сталі трубопроводу в МС8

Деформаційна поведінка деградованої сталі у МС9 при рН 3 є більш прогнозованою (рис. 7). Деформаційні стрибки фіксуються, проте вони значно плавніші, ніж в МС8. Це зумовлено значною хімічною активністю середовища, яка призводить до швидкого притуплення вершини тріщини. Проте тут фіксуємо найбільший абсолютний приріст деформації, який становить 9-24%.

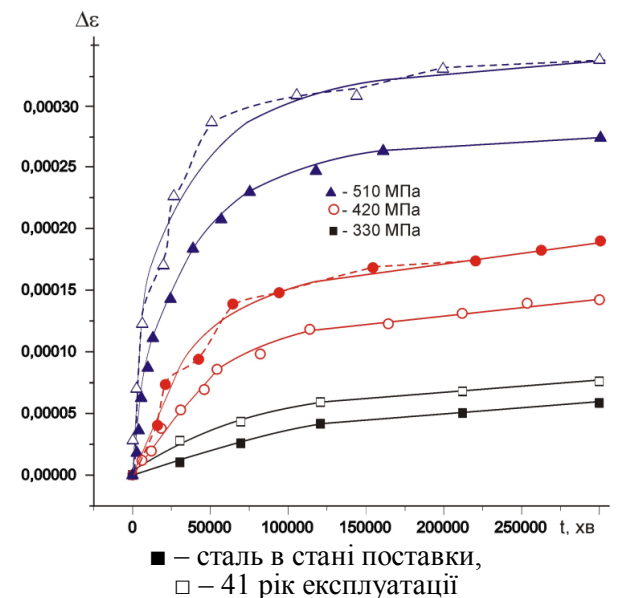


Рисунок 7 – Кінетика деформації сталі трубопроводу в МС9

Хлоридно-сульфатні підкислені. Еволюція повзучості у підкислених хлоридно-сульфатних електролітах (рис. 8 – 10) загалом незначно відрізняється від невідкислених середовищ, однак на фоні монотонного зростання з'являються

невеликі деформаційні стрибки, які, очевидно, зумовлені, як і у випадку підкислених хлоридних середовищ, зміною механізму корозійних процесів і частковим переходом до водневої поляризації.

Попри це, абсолютні величини деформації повзучості однозначно свідчать, що підкислені хлоридно-сульфатні середовища – одні із найбільш небезпечних в корозійному плані. Особливо це помітно на прикладі МС11, у якому при всіх рівнях напружень спостерігаємо зростаючу кінетику деформації, а при 420 МПа вона стає просто загрозливою. На кривій практично не спостерігається затухання приросту деформації, що в реальних умовах посиленних (близьких до критичних) експлуатаційних навантажень може спричинити до важких, або й непоправних наслідків, як для трубопроводу, так і для довокілья. Для деградованої сталі трубопроводу спостерігаємо деформаційні стрибки (рис. 9 – 10) подібні до таких у хлоридних середовищах (рис. 6 – 7) із відповідним значенням рН. Однак для хлоридно-сульфатних середовищ характерними є більша абсолютна величина приросту деформації та інтенсивніша локалізація корозійних процесів. Така поведінка несе в собі додаткові ризики виникнення позаштатних ситуацій, які можуть завдати шкоди довокілью.

Як засвідчують отримані результати, найнебезпечнішими у корозійному плані є підкислені хлоридні та, особливо, хлоридно-сульфатні середовища. В останніх надзвичайно небезпечною є локалізація корозійних процесів та виявлена схильність матеріалу до пітингової і виразкової корозії.

Для поглибленої оцінки ризиків розгерметизації та корозійно-механічного руйнування нафтогазопроводів внаслідок корозійних та стрес-корозійних процесів необхідна комплексна оцінка впливу основних чинників на цей процес.

Потрібно об'єднано розглядати деформаційну поведінку сталі трубопроводу, кінетику її електродного потенціалу в модельних середовищах та вплив на неї механічних напружень, а також динаміку корозійної деградації (швидкість масової втрати металу та утонення стінки труби). Такий об'єднаний аналіз уможливить полікритеріальну комплексну оцінку корозійної активності ґрунтових електролітів, а, отже, й ризику виникнення корозійних уражень та характеру їх еволюції.

Одержані результати вказують на значні ризики розгерметизації внаслідок швидкого розчинення металу в зонах пошкодження ізоляційного покриття. Якщо при цьому урахувати можливість виникнення макрогальванічних елементів вздовж траси трубопроводу та вплив змінного та наведеного струмів, то ситуація стає загрозливою.

Для оцінки можливих позаштатних ситуацій пов'язаних з експлуатаційними ризиками, зумовленими корозійним чинником необхідно збільшувати кількість моніторингових заходів і проводити аналіз екологічного стану тієї чи іншої

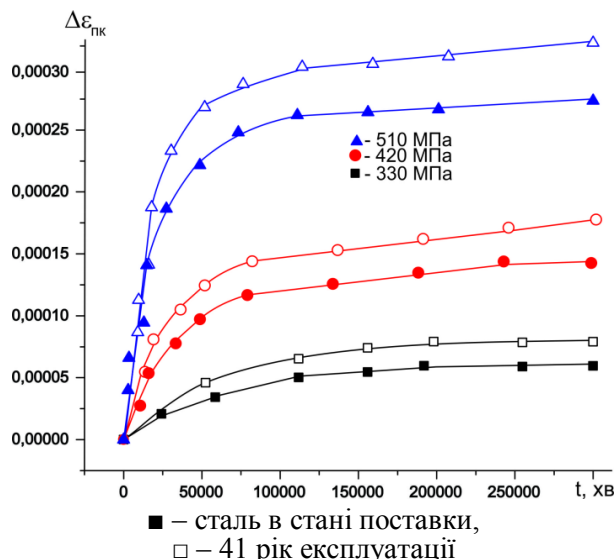


Рисунок 8 – Кінетика деформації сталі трубопроводу в МС10

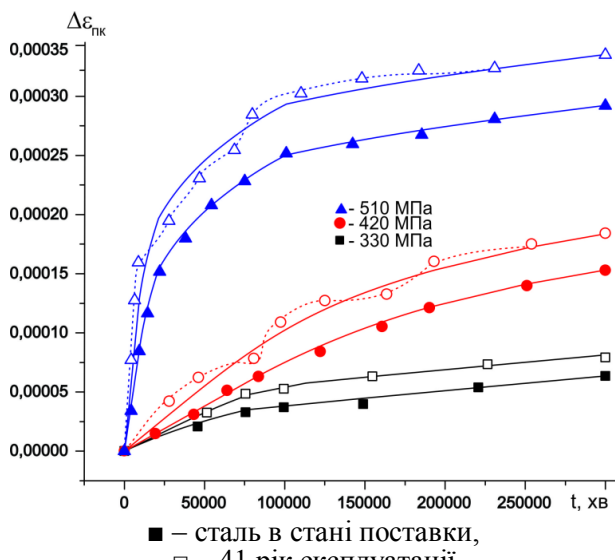


Рисунок 9 – Кінетика деформації сталі трубопроводу в МС11

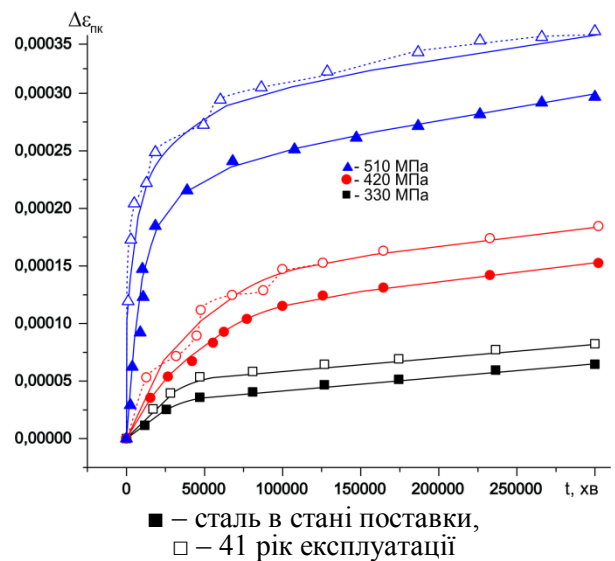
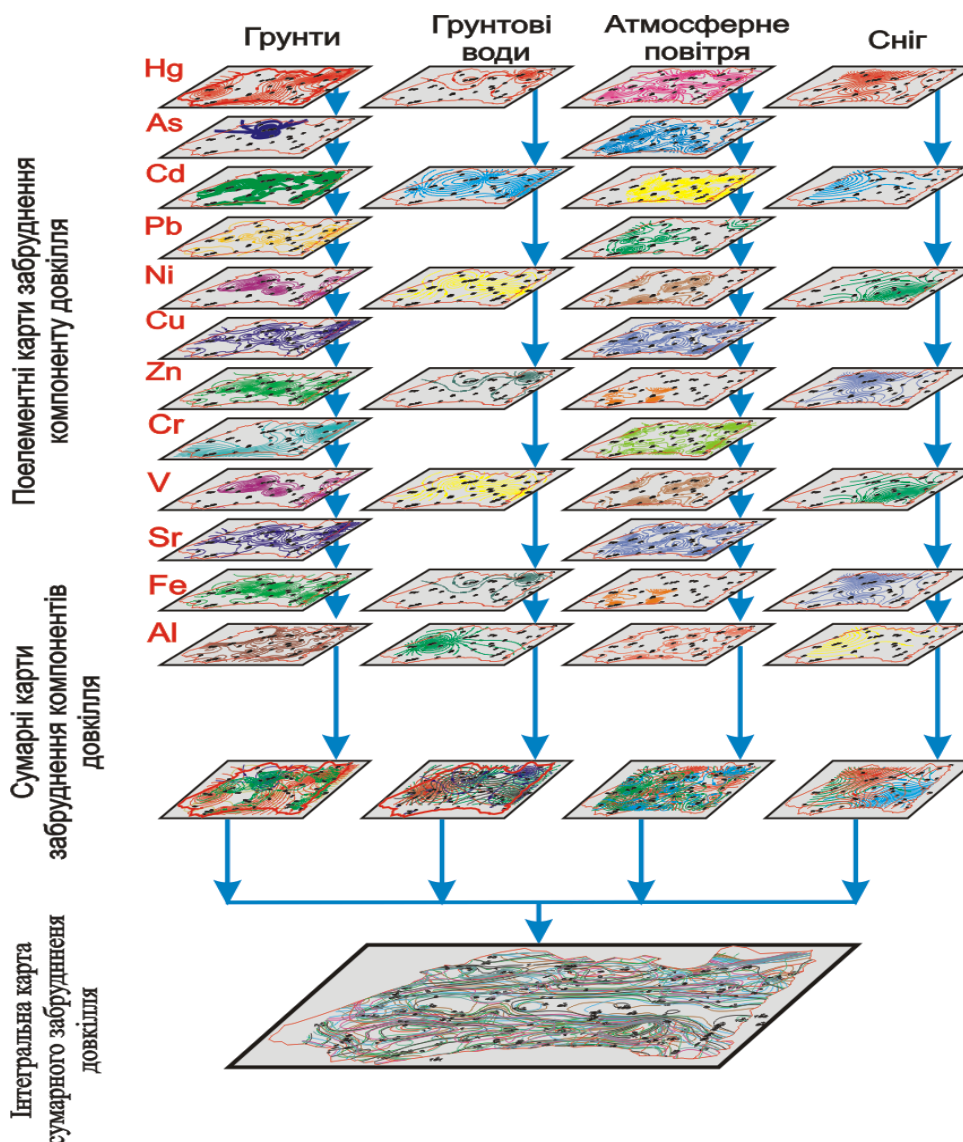


Рисунок 10 – Кінетика деформації сталі трубопроводу в МС12



**Рисунок 11 – Схема інтеграції елементних та компонентних еколого-техногеохімічних карт для побудови карти сучасної екологічної ситуації в зоні впливу магістральних газопроводів „Союз” і „Прогрес” у Чортківському і Борщівському районах Тернопільської області**

території або геоекосистеми, вивчати динаміку природних змін компонентів геоекосистеми, пов'язаних з впливом на них техногенних чинників, до яких, зокрема, належить і газотранспортна система.

Ефективно оцінювати цей вплив, відслідковувати його зміни, прогнозувати розвиток, щоб керувати станом довкілля і вчасно запобігати його негативним змінам можна шляхом комп'ютерної інтеграції поелементних еколого-техногеохімічних карт. Використання сучасних ГІС-технологій дає змогу створювати комп'ютерні багатокомпонентні постійно діючі системи екологічної безпеки територій [5, 6, 7]. ГІС – це інформаційні технології, які забезпечують збір, оброблення, зберігання, доступ, відображення та поширення просторово орієнтованих даних, а також сукупність електронних (комп'ютерних) карт, баз даних з інформацією про ці об'єкти. Наглядно технологія проілюстрована на рис. 11.

Отже, геоінформаційні системи:

- найбільш об'єктивно оцінюють і враховують зміни стану довкілля, щоб запобігти катастрофічних наслідків надзвичайних ситуацій природного походження (повені, зсуви, просідання, землетруси тощо);

- дозволяють управляти природоохоронною діяльністю так, щоб мінімально не нашкодити навколишньому природному середовищу.

Розроблена геоінформаційна комп'ютерна система екологічної безпеки (ГІС КСЕБ) для зони впливу магістральних газопроводів „Союз” і „Прогрес” на територіях Чортківського і Борщівського районів. Такі системи магістральних газопроводів повинні задовольняти основні вимоги щодо екологічної безпеки:

1. Забезпечувати комплексність моніторингу стану компонентів довкілля та джерел їх забруднення з уніфікацією параметрів – показників стану довкілля та географічних місць прив'язки відбору проб. Для забезпечення такої

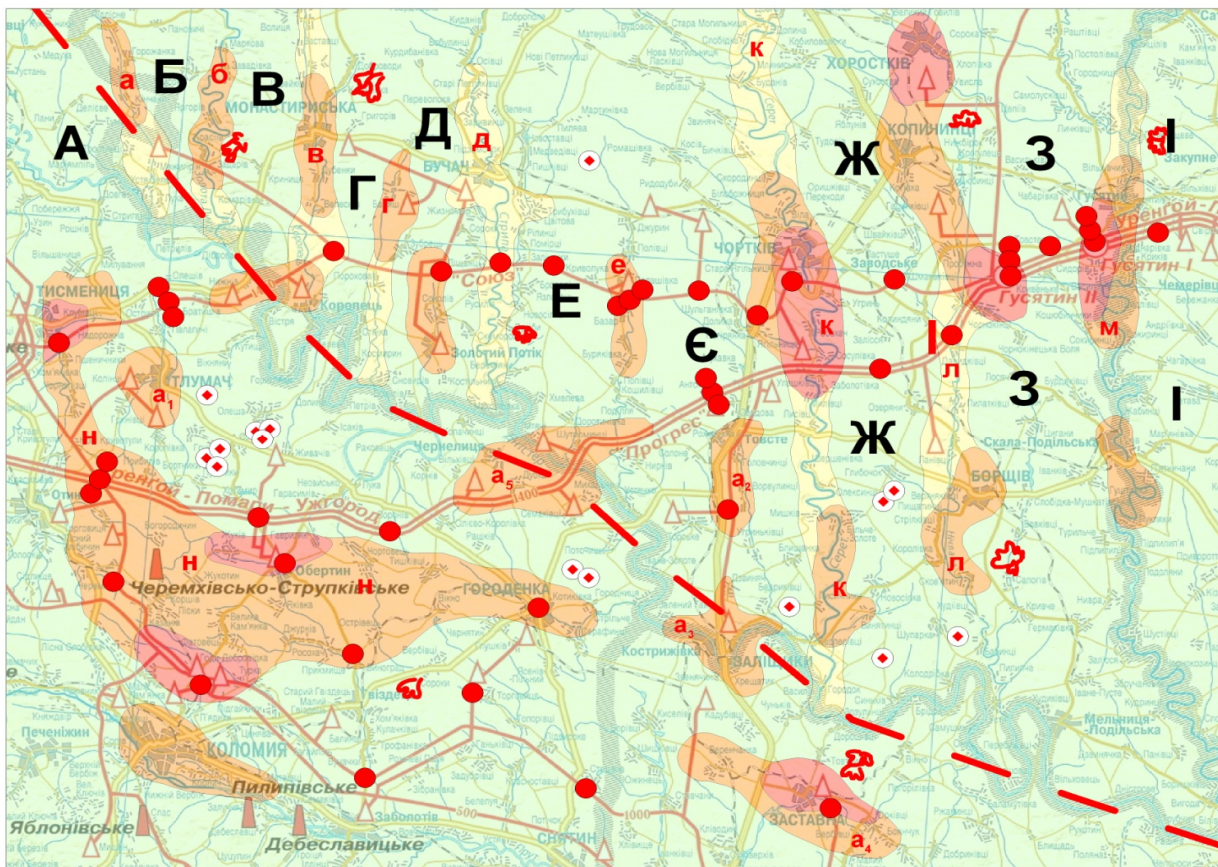


Рисунок 12 – Екологічна ситуація та екологічний стан довкілля для геоекологічного районування зони впливу магістральних газопроводів “Прогрес” та “Союз”

вимоги створюється карта фактичного матеріалу на топографічній багатозаровій основі, яка включає горизонталі рельєфу, гідрографічну мережу, дороги, населені пункти, контури лісових масивів, сільськогосподарських угідь та інші необхідні дані.

2. Забезпечувати постійне оновлення (актуалізацію) даних в автоматизованому режимі, що, по-перше, дозволить мати оперативну інформацію, по-друге, вимагатиме мінімуму часу на підтримку системи, по-третє, дасть можливість постійно перевіряти коректність даних, отриманих іншими дослідниками.

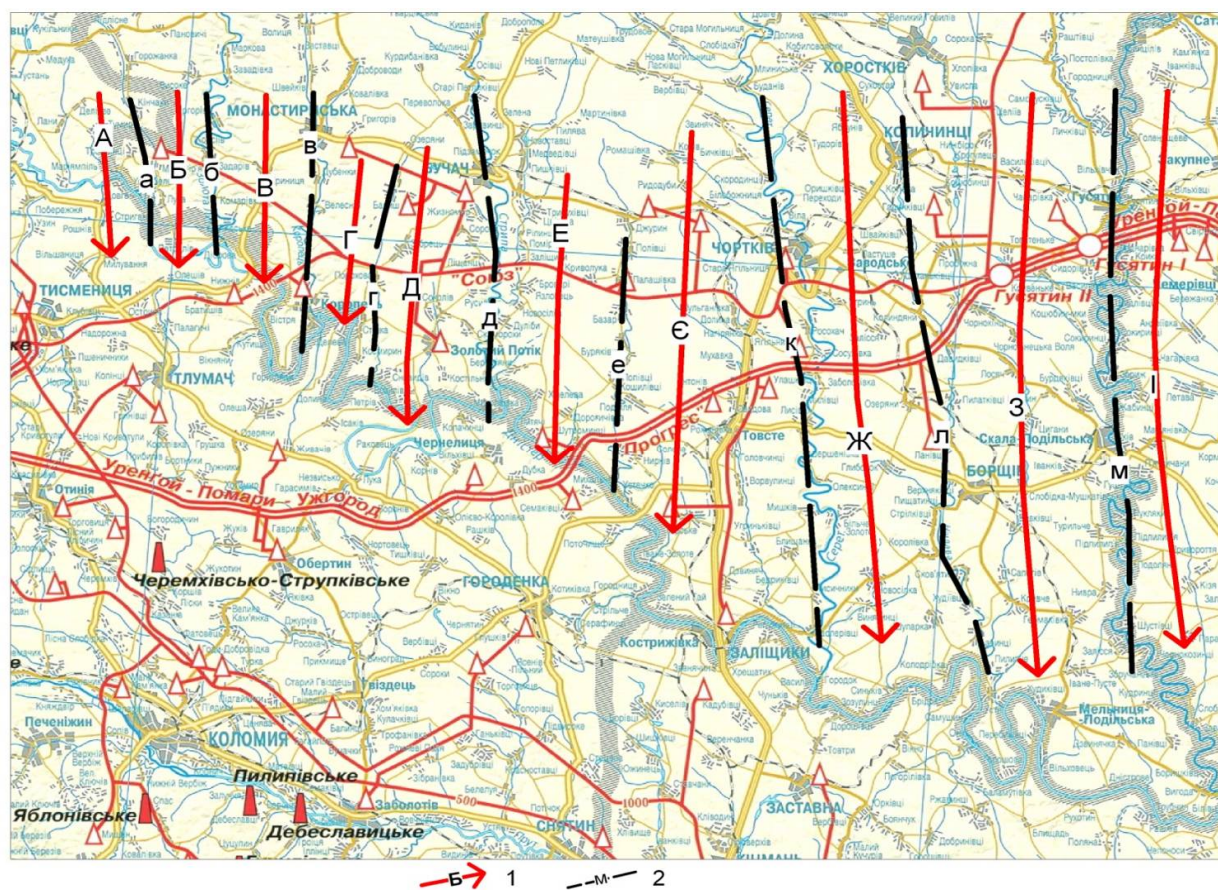
3. Забезпечувати інформаційну підтримку прийняття рішень як за територіально-адміністративним, так і за басейновим або ландшафтним принципами управління станом довкілля. Тобто введення, оброблення і виведення інформації здійснюється за критеріями, що відповідають названим принципам. Це забезпечує зручність використання системи для Державного управління охорони навколишнього природного середовища у Тернопільській області, для Борщівської та Чортківської районних державних адміністрацій, що вивчають забруднення і трансформацію ландшафтів, для басейнових управлінь водними ресурсами тощо.

4. Забезпечувати можливість експорту інформації в інші українські чи загальноєвропейські системи (XML, MS Excel, MS Word, Map Info тощо).

Необхідно уточнити деякі поняття в галузі сучасних ГІС-технологій, які необхідні для інтеграції отриманої інформації для складання комплексної карти сучасної екологічної ситуації (рис. 12) та карти геоекологічного районування (рис. 13). Геоінформаційна система (ГІС) – це сукупність електронних карт з умовними позначеннями об’єктів на них, баз даних з інформацією про ці об’єкти та програмного забезпечення для зручної роботи з картами і базами даних як з єдиним цілим.

Бази даних – це структурований набір даних про певні характеристики фізичних чи віртуальних систем. Бази даних ГІС можуть бути як внутрішніми (інтегрованими у спеціалізовані геоінформаційні програмні пакети, які напругу працюють з електронними картами), так і зовнішніми (в інших програмних пакетах та форматах). Інформацію внутрішніх баз даних, зазвичай, називають атрибутами або атрибутивною інформацією. Просторову інформацію електронних карт (координати усіх об’єктів, їх типи та умовні позначення, іноді ще й правила топології – правила відображення відносно інших об’єктів), зазвичай, називають просторовими даними. Бази даних в роботі є зовнішніми, тому що вони можуть постійно наповнюватись новими даними, які з допомогою програм можуть оперативного вносити коректуру в електронні карти.





1 – геоекологічні смуги розсіювання; 2 – геоекологічні смуги концентрації  
**Рисунок 13 – Неотектонічні підняття та опускання і геоекологічне районування**

Отже, електронні карти ГІС містять просторову та атрибутивну інформацію. Практично будь-які сучасні ГІС містять і внутрішні бази даних, і зовнішні, оскільки останні легше оновлювати та супроводжувати, ніж внутрішні. Найчастіше природоохоронні органи та наукові екологічні установи оновлюють дані повторного екологічного аудиту як початок процесу екологічного моніторингу та характеристики, які не є просторовими даними, а тому ці дані легше вводити у пакет програм, призначений для роботи з базами даних, наприклад в MS Access 2003.

Є два способи подання інформації в ГІС: векторний і растровий. Векторне подання – це цифрове подання точкових, лінійних та полігональних просторових об’єктів у вигляді набору координатних пар з описанням тільки геометрії об’єктів. Растрове подання – це неперервний простір у вигляді матриці (мозаїки) комірок. Кожна така комірка ще називається елементом растра або пікселем, має прямо-, три- чи шестикутну форму і містить зображення з однорідними характеристиками в межах комірки (одного кольору чи гама та ін.). Растрове подання використовується для відображення неперервних числових величин, наприклад, для зображення однорідних концентрацій забруднювальних речовин в тому чи іншому компоненті довкілля.

Серед функцій ГІС розрізняють 5 груп:

1. Інформаційно-довідкова – створення і ведення банків даних просторово-координованої інформації, в тому числі:

- створення цифрових (електронних) еколого-техногеохімічних карт. В роботі – це комплект із 35 комп’ютерних карт вмісту у компонентах довкілля різних забруднювальних речовин і елементів (рис. 11);

- створення і ведення банків даних екологічної інформації;

- створення комплексних комп’ютерних (електронних, цифрових) карт сучасної екологічної ситуації (рис. 12) на ландшафтній основі з інтеграцією поелементних і покомпонентних електронних карт, а також карт геоекологічного районування (рис. 13).

2. Функція автоматизованого картографування – постійна інтеграція нових даних до побудованої на основі екологічного аудиту карти сучасної екологічної ситуації, яка є „нульовим” екологічним фоном, на який в процесі моніторингу компонентів довкілля надбудовуються послідовно нові екологічні карти.

3. Функція просторового аналізу і моделювання природних, природно-антропогенних і соціально-економічних систем – відповідно до заданого сценарію соціально-економічного розвитку території можна порівнювати різні екологічні ситуації, які будуть спричинені цими сценаріями, і уникати небажаних змін у навколишньому середовищі.

4. Функція прогнозування процесів у природних, природно-антропогенних і соціально-економічних територіальних системах – реалізується при оцінці і прогнозі поведінки природних і природно-антропогенних територіальних систем та їх компонентів при вирішенні різних наукових і прикладних завдань, у тому числі пов'язаних з охороною навколишнього природного середовища та збалансованим використанням природних ресурсів.

5. Функція підтримки прийняття рішень у плануванні, проектуванні та управлінні – реалізується за рахунок технологій штучного інтелекту, який забезпечує механізм формально-логічного висновку та ухвалення рішення на основі інформації, наявної в базі даних, довідково-інформаційному блоці і результатах просторово-часового аналізу та моделювання. В роботі прийняття рішень обґрунтовується тими змінами у довкіллі, які визначили поділ території на геоекологічні смуги з різним екологічним станом (рис. 13).

Виділяють закриті і відкриті геоінформаційні системи. Закриті ГІС не мають можливостей розширення, у них відсутні вбудовані блоки, не передбачено написання додатків, вони виконують тільки запрограмовані операції. Відкриті ГІС, до яких належить і розроблена (рис. 11), мають від 70 до 90% вбудованих функцій і на 10-30% можуть добудовуватися самим користувачем за допомогою спеціальних програм.

### Висновки

Вивчено закономірності зміни несучої здатності матеріалу тривалоексплуатованих газопроводів. Виявлено, що найнебезпечнішими є хлоридно-сульфатні та підкислені хлоридно-сульфатні електроліти.

Розроблена геоінформаційна комп'ютерна система екологічної безпеки (ГІС КСЕБ) для зони впливу магістральних газопроводів „Союз” і „Прогрес” на території Чортківського і Борщівського районів, яка задовільняє основним вимогам щодо екологічної безпеки та дає змогу визначати небезпечні ділянки траси та вчасно проводити заходи з ремонту та обслуговування газопроводів для попередження аварійних ситуацій.

В подальшому потрібно продовжити розроблення та впровадження таких геоінформаційних систем з метою підвищення екологічної безпеки газотранспортного комплексу України.

1 Крижанівський Є. І. Особливості стрескорозії сталі магістральних трубопроводів в кислих електролітах / Є. І. Крижанівський, Л. Я. Побережний // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2004. – № 4 (13). – С. 69-72.

2 Петров Л. М. Фізико-хімічні аспекти механіки корозійного руйнування / Л. М. Петров // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2001. – № 3. – С. 127-129.

3 Побережний Л. Я. Низькотемпературна корозійна повзучість сталі трубопроводів / Л. Я. Побережний // Машинознавство. – 2007. – № 9. – С. 24-28.

4 Експлуатаційне окрихчення сталі магістрального нафтопроводу / О.Т. Цирульник, Г.М. Никифорчин, О.І. Звірко, Д.Ю. Петрина // Фіз.-хім. механіка матеріалів. – 2006. – №4. – С. 5-16; 2004. – № 2. – С. 125-126.

5 Надежность технических систем и техногенный риск. / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов [и др.] – М.: Деловой экспресс, 2002. – 368 с.

6 Приходько М. М. Управління природними ресурсами та природоохоронною діяльністю / М. М. Приходько, М. М. Приходько (мол.). – Івано-Франківськ: Фоліант, 2004. – 847 с.

7 Скрипник В. С. Оцінка впливів об'єктів нафтогазового комплексу на антропогенні ландшафти Прикарпаття / В. С. Скрипник // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету ім. М. М. Коцюбинського. Серія: Географія, 2005. – вип. 10. – С. 30-35.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
23.01.13*

*Рекомендована до друку  
професором Адаменком О.М.  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором Марущаком П.О.  
(Тернопільський національний технічний  
університет імені Івана Пулюя, м. Тернопіль)*