

**ГЕОІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ ШАХТНИХ ВИРОБОК  
ТА ПОРОЖНИН КРИВБАСУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНОГЕННИХ ЯВИЩ**

*А.П. Деньгін, М.В. Назаренко, ДУ "ННДІПБОП", Україна*

Приведені загальна структура і опис головних компонентів створюваної геоінформаційної системи моніторингу та режимних спостережень за станом території Криворізького залізничного басейну.

Місце розташування Криворізького залізрудного басейну і самого міста Кривий Ріг приурочене до району потужного Криворізько-Кременчуцького глибинного розламу. Місто розташоване на шести плитах жорстких кристалічних порід, що розбиті тріщинами на менші блоки, які зв'язані одна з одною вельми відносно. Тобто кожен такий блок може бути представлений у вигляді фізичного тіла, яке може рухатися у всіх напрямках самостійно. Зв'язуються такі блоки між собою вельми ненадійно, тому навіть незначні коливання земної поверхні можуть ці зв'язки розірвати.

На сьогодні в Кривбасі обсяги підземних порожнин, які виникли в наслідок видобутку корисних копалин, складають понад 30 млн. кубічних метрів. Така обставина ще більше впливає на зменшення геологічної стійкості. Більш того, в наслідок постійного підтоплення територій зі ставків накопичувачів та шламосховищ, а також внаслідок значної депресії шахт виникають зони зниженої стійкості порід геологічного середовища. За приблизними даними площа карстових порожнин може досягати понад 100 квадратних кілометри, а це майже третина території міста. Переміщення великих об'ємів порід між геологічними блоками також знижують загальну стійкість системи.

Проблема ускладнюється ще й тим, що криворізькі вчені не мають повної та детальної картини реального стану підземного Кривбасу. Останні повномасштабні дослідження проводились ще в 1970-80 роках минулого сторіччя, а з того часу стан геологічної системи Кривого Рогу значно змінився. Видобуток корисних копалин ведеться на глибинах понад 1500 метрів, збільшились значною мірою і площі підробленого гірничими роботами простору.

Як наслідок, останнім часом на території міста спостерігається ціла низка явищ виходу підземних порожнин на поверхню. Такі утворення носять циклічний характер, і є наслідками як природних явищ, що відбуваються у земній корі, так і пов'язані з техногенним впливом. Саме тому провали та просідання над місцями їх розташування – це особливо актуальна для цього регіону причина. Провалення виробок може бути тяжким удвічі для шахтарів, що працюють під землею, і для людей та матеріальних цінностей на території безпосередньо над місцем провалу. Хоча провали покрівлі трапляються часто і представляють величезну небезпеку, вони досить рідко досягають масштабу, достатнього для просідання земної поверхні [1]. Проте закриті за давніх часів шахти можуть приховувати значну загрозу для будівель і людей, що знаходяться над ними.

За технологією та вимогами правил техніки безпеки роботу в підземних рудниках необхідно вести так, щоб деяка кількість породи залишалася у вигляді ціликів для опори покрівлі. Проте економічно завжди вигідніше витягнути з шахти якомога більший об'єм корисної копалини, без закладення виробленого простору породами. Процес руйнування порід триває певний час, що складає деякий латентний період, до того як опора і покрівля обрушаться.

Слабо консолідовані породи є поганим матеріалом для покрівлі, і це робить її обрушення після закінчення певного часу майже неминучим, навіть якщо видобування велося обережно і розумно. В якості прикладу можна навести провал на шахті ім. Орджонікідзе, що трапився 13 червня 2010 року. Загальна площа провалу склала близько 16 Га (рис. 1), 17 серпня 2010 року стався провал на території центрально-міського ринку, а 22 січня 2011 року за чотири дні після глибинного землетрусу – поблизу автомобільної траси в районі шахтного поля ПАО «АрселорМіттал Кривий Ріг». Всі ці обставини говорять про те, що геологічна структура району є не стійкою, і в будь-який час може призвести до виникнення небезпечних явищ і катастроф. Про це, до речі, зазначають багато фахівців, що займаються вивченням Кривбасу [2].

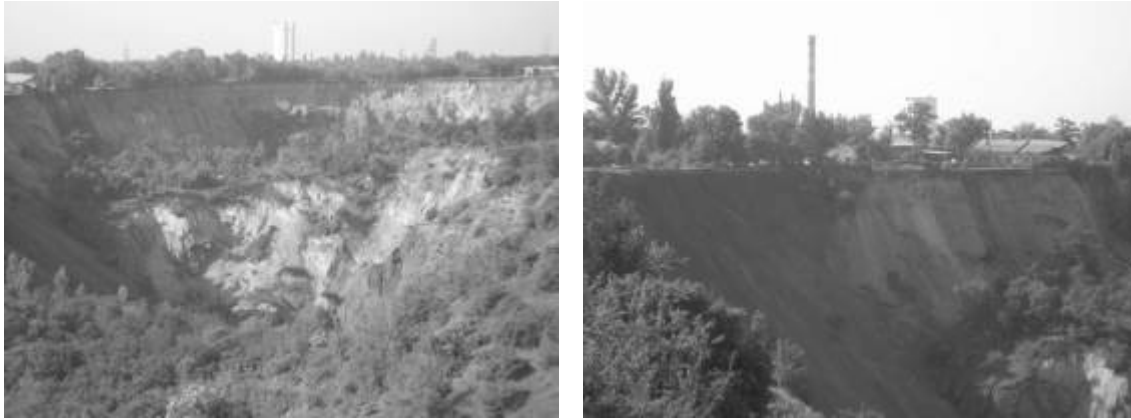


Рисунок 1. – Провал ґрунту на шахті ім. Орджонікідзе м. Кривого Рогу

Для того, щоб певним чином прогнозувати та запобігати наслідкам подібних явищ необхідним є детальне вивчення території Криворізького басейну, а також створення систем постійно-діючого моніторингу та режимних спостережень за станом геологічного середовища, в зонах впливу розробки корисних копалин для діючих та закритий гірничих підприємств.

Сутність проблеми створення систем моніторингу та режимних спостережень за станом територій полягає в забезпеченні зменшення кількості надзвичайних ситуацій, що обумовлені процесами зрушення гірських масивів під час ведення гірничих робіт, які проводяться або проводилися підземним способом, та підвищенню рівня безпеки населення, захищеності промислових та цивільних об'єктів від цих загроз, створення в регіоні необхідних умов для сталого розвитку шляхом координації спільних зусиль та фінансових коштів державного, обласного та місцевого бюджетів, а також коштів підприємств [3].

Керування робіт з розробки і впровадження інформаційно-аналітичної системи моніторингу стану підробленого простору Криворізького залізрудного басейну (Системи) доручене Держгірпромнагляду та його установам. На сучасному етапі розроблена концепція здійснення заходів з розробки Системи та її основних елементів.

Для реалізації проекту розробки і впровадження Системи концепцією передбачається виконання низки заходів, а саме: техніко-економічне обґрунтування Системи; розробка технічного завдання та проект (робочий та техноробочий); визначення загальних функціональних характеристик та специфікацій компонентів та блоків Системи; розробка методологій порядку інформаційної взаємодії між її функціональними підсистемами, та Системою в цілому з органами державного та місцевого контролю; створення інформаційно-аналітичного та комунікаційного центру, що буде виконувати системні дослідження території, аналітичну обробку даних цих досліджень та прогнозувати техногенні явища; визначення методики інтерпретації результатів досліджень і системних спостережень; придбання необхідного обладнання та програмного забезпечення, для виконання робіт з моніторингу; проведення навчання користувачів системи; проведення дослідної експлуатації та пілотних проектів за ділянками територій, найбільш схильних до виникнення небезпечних явищ; забезпечення постійного функціонування Системи; розроблення рекомендацій щодо подальшого розвитку Системи, її інформаційної та наукової складових.

Головним елементом системи моніторингу та режимних спостережень за станом території Криворізького залізрудного басейну є геоінформаційна система (ГІС). Як показує практика, для побудови систем такого роду доцільніше застосовувати розподілену багаторівневу архітектуру з центральним блоком і низкою периферійних функціональних підсистем, які територіально розташовані в безпосередній близькості з об'єктом моніторингу та режимних спостережень (рудник, шахта, кар'єр), а також низки службових підсистем, що забезпечують її надійну та безперебійну роботу.

Загальна структура ГІС моніторингу (рис. 2) включає:

- центральний блок;
- блок системного забезпечення;

- функціональні підсистеми, що взаємодіють із центральним блоком;
- інформаційно-телекомунікаційний блок;
- комплексну підсистему захисту інформації.

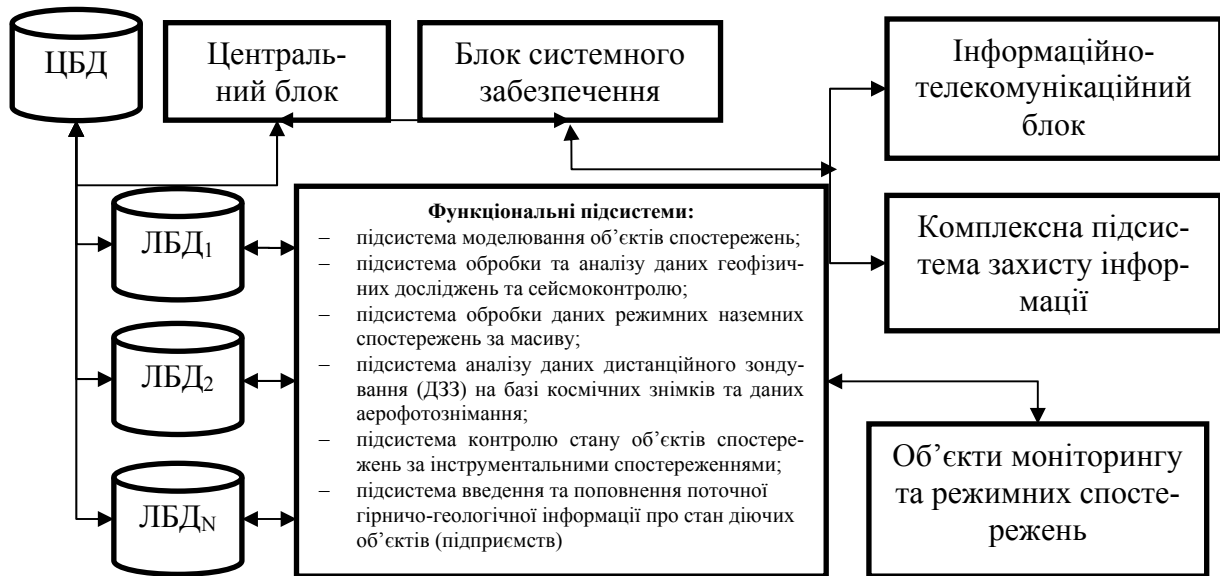


Рисунок 2. – Загальна структура геоінформаційної системи моніторингу та режимних спостережень за станом території

**Центральний блок** (див. рис. 2) забезпечує об'єднання та доступ до інформаційних ресурсів Системи. Він територіально розташовується в Інформаційно-аналітичному центрі. Складається з таких підсистем:

- центральний банк даних (База Даних – БД);
- підсистема ведення реєстру місць можливого виникнення небезпечних явищ в межах підробленого гірничими роботами масиву;
- підсистема контролю виконання спостережень, моніторингу об'єктів та прогнозування техногенних явищ;
- підсистема введення/виведення даних для актуалізації стану моделей (геологічних, гідрогеологічних, розламної тектоніки, підземних виробок та порожнин діючих та закритих підприємств, денної поверхні підроблених гірничими роботами територій, напруженого стану гірничого масиву ті інших);
- підсистема аналітичної обробки геопросторових даних для визначення на основі системних спостережень небезпечних явищ, надання інформації для системи підтримки прийняття рішень для попередження наслідків можливих техногенних явищ;
- підсистема підтримки прийняття рішень;
- підсистема ведення управлінської звітності підприємств про проведення заходів щодо моніторингу стану підробленого гірничими роботами масиву;
- підсистема підготування та надання звітності для зацікавлених сторін (МНС, Держгірпромнагляд, Мінприроди, міські та обласні Державні Адміністрації, проектні інститути і установи).

Головними завданнями роботи Центрального блоку системи є узагальнення всієї наявної геопросторової інформації, що надходить від локальних підсистем (діючих підприємств), та виникає під час проведення різноманітних досліджень, формування організаційно-технічних рішень для запобігання виникнення небезпечних явищ, оперативного попередження та зменшення негативних наслідків.

На рисунку 3 наведено структуру інформаційних зв'язків системи моніторингу стану шахтних виробок і порожнин Кривбасу на базі геоінформаційних систем.

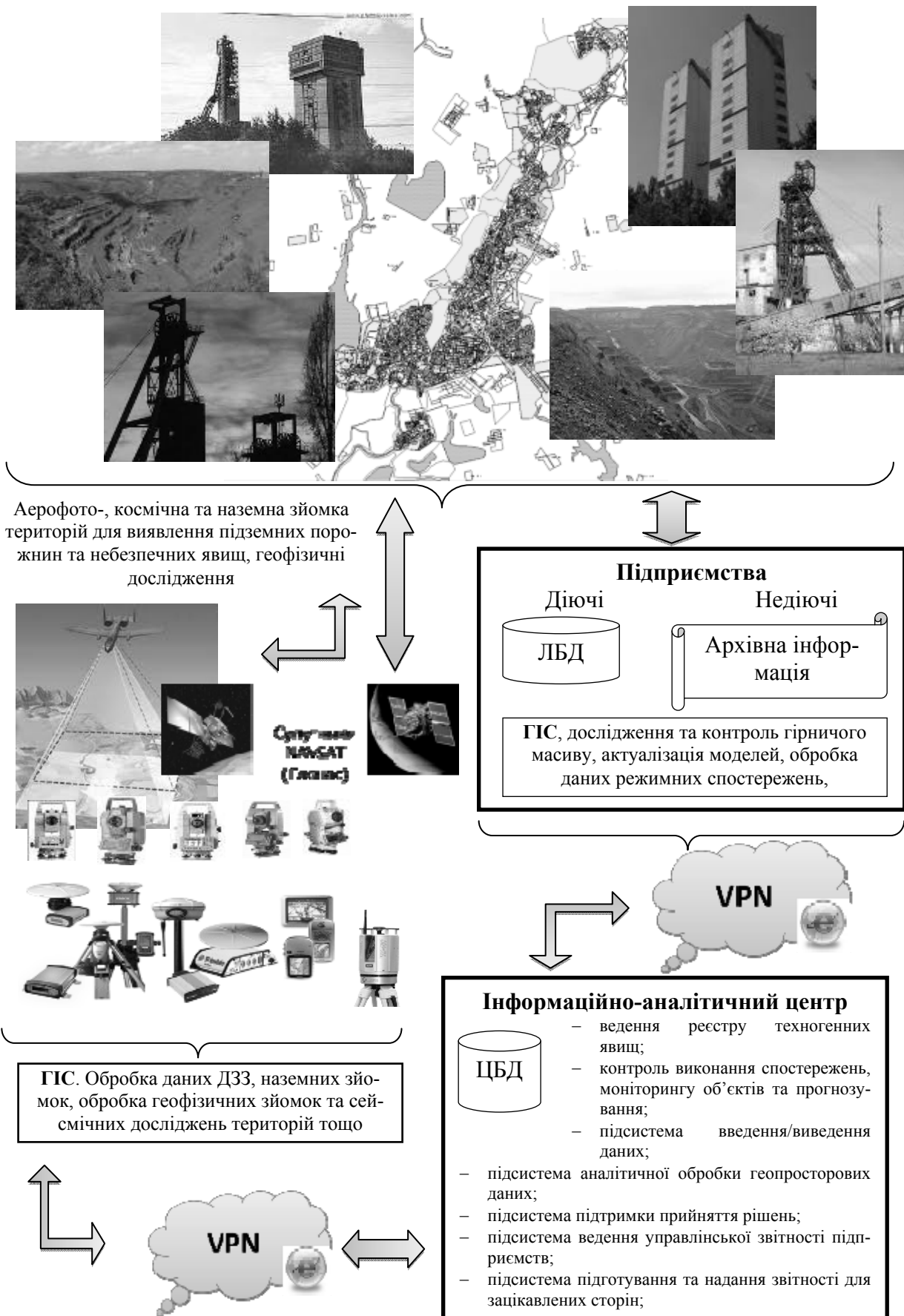


Рисунок 3. – Структура інформаційних зв'язків геоінформаційної системи

Як видно зі схеми, центральною ланкою системи є інформаційно-аналітичний та комунікаційний центр (ІАЦ). Основними функціональними властивостями центру є збирання, на-

копичення, деталізація та аналітична обробка інформації про стан діючих та закритих гірничих підприємств, а також підроблених підземними гірничими роботами територій. Оперативна інформація про стан геологічного середовища в межах гірничих відводів діючих підприємств збирається та актуалізується силами експлуатаційного персоналу (геолого-маркшейдерських служб), а також при виконанні режимних спостережень за станом території (різні види зйомок та спостережень, які виконуються безперервно стаціонарними пристроями, або регулярними інструментальними зйомками).

Інформація про стан порожнин в межах гірничих відводів закритих підприємств, або територій, де гірничі роботи проводились дуже давно, і інформація за якими вважається втраченою, в ІАЦ надходить після виконання наземних зйомок різного призначення, а також при обробці даних ДЗЗ (аерофото- та космічних знімків).

**Центральний банк (база) даних (ЦБД)** Системи забезпечує накопичення, систематизацію та узагальнення інформації в базах даних про стан підробленого гірничими роботами масиву території Криворізького залізорудного басейну та прилеглих територій, інформаційну підтримку аналізу діяльності підприємств з моніторингу стану поточної ситуації, прогнозування наслідків та прийняття управлінських рішень.

ЦБД вміщує оброблену, узагальнену та приведену інформацію про різні компоненти геологічного середовища: родовища корисних копалин та супутні породи, тектонічні порушень, гідрогеологію, підроблені гірничими роботами масиви, виробки та порожнини, фізичні поля тощо (рис. 4).

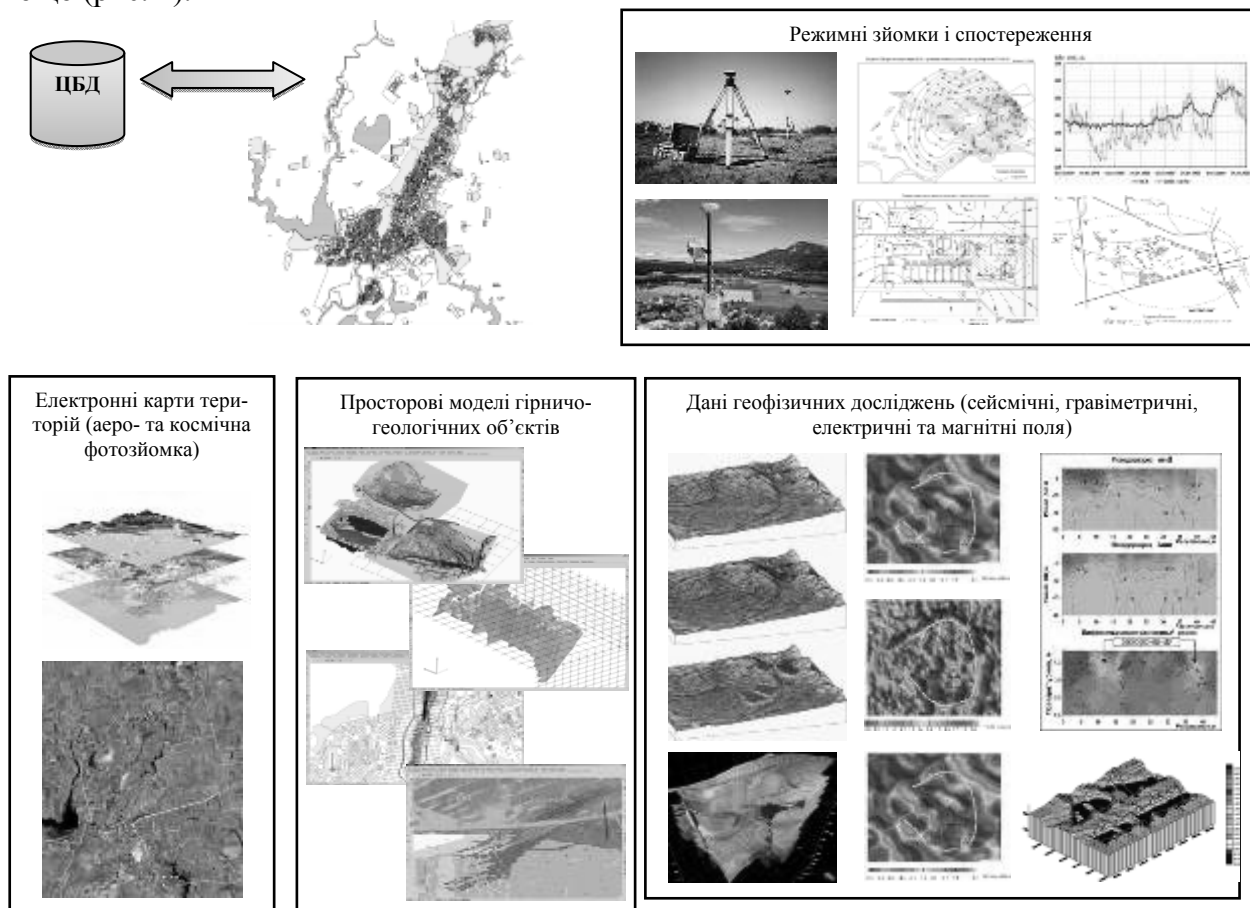


Рисунок 4. – Структура інформації, що міститься в центральній базі даних

Наповнення системи даними повинно проводитись поетапно. Насамперед, виконується аналіз і систематизація всієї наявної геолого-маркшейдерської документації діючих підприємств. Така інформація на поточний момент є найточнішою і дозволяє створити точні моделі, які актуалізуються під час відпрацювання родовища. Для деяких підприємств Кривого Рогу такі комп'ютерні моделі вже створені та експлуатуються. Виникає питання приведення всіх цих даних до єдиного прозорого формату, який буде використовуватися в Системі.

Створення тривимірних моделей геологічного середовища (геологія, тектоніка, гідрогеологія) та діючих гірничих об'єктів може бути виконано спеціалізованими організаціями, що мають досвід геологічного моделювання. Орієнтовна кількість матеріалів для наповнення ЦБД та створення тривимірних моделей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. – Родовища, та підприємства що входять до складу Криворізького залізородного басейну [4,5]. Розрахунок кількості матеріалів для створення моделей.

Назва родовища*, або ділянки та стан розробки	Орієнтовна кількість свердловин, шт. / метраж, м. пог.	Орієнтовний об'єм графічних матеріалів, м <sup>2</sup>	
<b>Відкритий спосіб розробки</b>			
1. Артемівське (розробляється); 2. Валявкінське – кар'єр 3 (розробляється); 3. Велика Глеюватка – кар'єр 1 (розробляється); 4. Ганнівське (розробляється); 5. Західне (не розробляється); 6. Інгулецьке (не розробляється); 7. Інгулецьке (діл. 12, 12П) (розробляється); 8. Новокриворізьке Діл. 2 (кар'єр 2-біс) (розробляється); 9. Новокриворізьке Діл. 1 (кар'єр 1) (відпрацьований); 10. Петшотравневе (розробляється); 11. Петрівське (розробляється); 12. Попельнастівське (не розробляється); 13. Скелеватське магнетитове (розробляється); 14. Східно-Валявкінське (не розробляється); 15. Шиманівське (не розробляється)			
<b>ЗАГАЛОМ, в т. ч.</b>		<b>1110</b>	
Діючі:	<b>4185/</b>	<b>840</b>	
Закриті:	<b>765000</b>	<b>100</b>	
Розвідані:	<b>-/98000</b>	<b>170</b>	
	-/ -/		
<b>Підземний спосіб розробки</b>			
Назва родовища, або шахти	Орієнтовна кількість свердловин, шт./ метраж, м.пог.	Орієнтовний об'єм графічних матеріалів, м <sup>2</sup>	Орієнтовний об'єм графіки щодо порожнин, м <sup>2</sup>
1. Діл. Басейну 8 (відпрацьоване); 2. Діл. Більшовик (відпрацьоване); 3. Діл. Зеленівська (не розробляється); 4. діл. Скелеватська (не розробляється); 5. Жовторіченське (відпрацьоване) 6. РУ ім. Кірова (не розробляється); 7. РУ ім. Фрунзе, діл. 6 (не розробляється); 8. Новокриворізьке (діл. Північна) (відпрацьоване); 9. Північне 2 (Валявка) (відпрацьоване); 10. Поле шахти Інгулецька (відпрацьоване); 11. РУ ім. Кірова «Арселор-Міттал Кривий Ріг» (розробляється);			

12. Скелеватське східне (не розробляється); 13. Шахта «Північна» ім. Валявко (відпрацьоване); 14. Шахта «Північна» ім. Валявко (дренажна) (відпрацьоване); 15. Шахта «Ювілейна» (розробляється); 16. Шахта 1 (відпрацьоване); 17. Шахта ім. В.І. Леніна (розробляється); 18. Шахта ім. Фрунзе (розробляється); 19. Шахта «Гігант Глибока» (відпрацьоване); 20. Шахта «Гвардійська» (розробляється); 21. Шахта «Нова» (не розробляється); 22. Шахта «Південна» (Валявка) (відпрацьоване); 22. Шахта «Центральна» (відпрацьоване); 23. Шахта ім. Орджонікідзе (розробляється); 24. Шахта «Октябрьська» (розробляється); 25. Шахта «Першотравнева» (дренажна) (відпрацьоване); 26. Шахта «Родина» (розробляється); 27. Шахта «Саксагань» (відпрацьоване)			
<b>ЗАГАЛОМ, в т. ч.</b> Діючі: Закриті: Розвідані:	<b>-/685000</b> <b>-/490000</b>	<b>1570</b> <b>800</b> 590 <b>180</b>	<b>1390</b> <b>800</b> 590
<b>ВСЬОГО МАТЕРІАЛІВ З ГЕОЛОГІЧНОЇ РОЗВІДКИ ДЛЯ КАР'ЄРІВ І ШАХТ</b>		<b>2680</b>	

\* курсивом вказані відомі родовища, або їх ділянки, що не розробляються, або вже відпрацьовані.

Наступним кроком наповнення ЦБД первинними даними є проведення масштабних досліджень підроблених гірничими роботами територій в межах ділянок закритих підприємств. Як вже відмічалось, в наслідок того, що родовища Кривбасу розробляються вже понад 100 років, інформація про гірничі виробки та порожнини, особливо найперші, неповна, або відсутня повністю. В цьому випадку, головними роботами, що дозволять визначити місцезнаходження та оконтурити підземні порожнини, виступають геофізичні дослідження (сейсмічні, гравіметричні, електромагнітних полів тощо).

Зрозуміло, що будь-яка велика інформаційна система базується на використанні цілої низки апаратних та програмних засобів, які забезпечують її надійне та безперебійне функціонування. Так і в складі Системи передбачається блок *системного забезпечення*, який включає підсистеми:

*Підсистема службової інфраструктури* призначена для ефективного керування обладнанням програмно-технічного комплексу, адміністрування ресурсів, операційних середовищ, організації зв'язку та інформаційного обміну.

*Транспортна підсистема* забезпечує інформаційний обмін між центральною та функціональними підсистемами.

*Нормативно-довідкова підсистема* виконує функції ведення нормативно-довідкової бази даних, класифікаторів та довідників Системи.

*Підсистема створення та ведення звітних форм* для завантаження в бази даних забезпечує створення електронних форм для внесення даних, їх перевірку та контроль коректності.

*Програмно-технічний комплекс* Системи забезпечує збирання та передачу інформації, її запис на машинні носії, введення, обробку і накопичення інформації, контроль інформації на всіх етапах її обробки.



**Функціональні підсистеми**, що взаємодіють із центральною підсистемою, територіально розміщуються в місцях виникнення інформації при проведенні моніторингу за станом підробленого гірничими роботами масиву і забезпечують первинне введення інформації в Систему щодо стану гірничого масиву, поверхонь та підземних виробок і порожнин, отримання звітності про роботу відповідних служб, що виконують актуалізацію стану об'єктів спостережень та ін.

До функціональних підсистем (див. рис. 2) відносяться:

*Підсистема моделювання об'єктів спостережень* (рис. 5) дозволяє виконувати тривимірне моделювання та актуалізацію сучасного стану об'єктів спостережень на базі наданої інформації (геологія, гідрогеологія, тектоніка, стан поверхонь, підземні виробки, порожнини, рельєф поверхні, об'єкти інфраструктури тощо). Головним елементом підсистеми є геоінформаційні системи, що використовуються безпосередньо на гірничо-видобувних підприємствах в різній конфігурації (маркшейдерія, геологія, планування та проектування, інші роботи тощо). Інформація про актуальний стан об'єктів групується та передається до центральної бази даних Системи в аналітично-інформаційний центр, де оновлює стан об'єктів моніторингу та режимних спостережень.

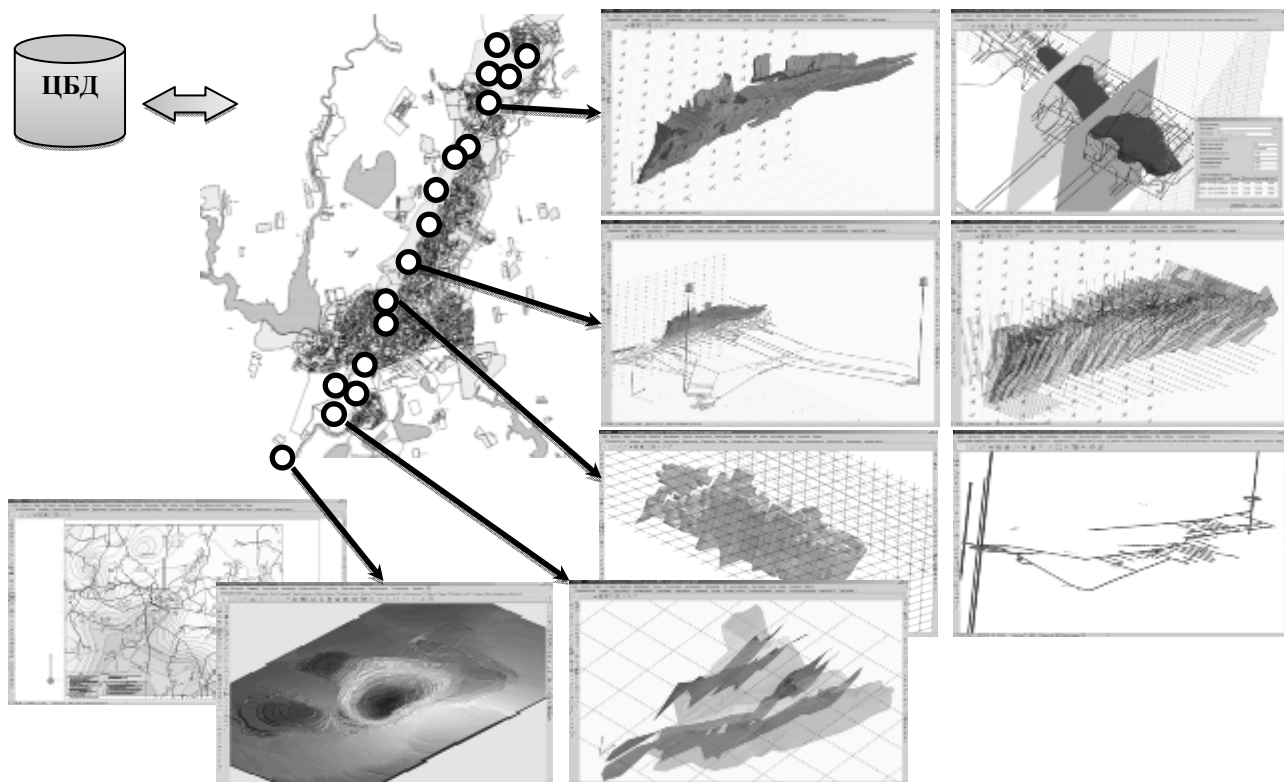


Рисунок 5. – Підсистема моделювання об'єктів спостережень

*Підсистема обробки та аналізу даних геофізичних досліджень та сейсмоконтролю* дозволяє виконувати збирання, обробку, інтерпретацію та аналіз даних геофізичних досліджень території та сейсмічного контролю зі стаціонарних та пересувних сейсмостанцій. В складі Системи пропонується створити центральну лабораторію сейсмічного контролю, яка буде займатися обробкою результатів сейсмічних досліджень за станом геологічного середовища Кривбасу.

*Підсистема обробки даних режимних наземних спостережень* за станом підробленого гірничими роботами масиву призначена для збирання, обробки, інтерпретації та аналізу даних наземних маркшейдерських та геодезичних вимірювань і спостережень за станом денної поверхні об'єктів (території, ділянки поверхні над місяцями ведення підземних гірничих робіт, борти кар'єрів та відвалів, зони зсуву та інші). Вимірювання виконуються як при проведенні регулярних інструментальних зйомок територій з прогнозованим утворенням провалів,

так і шляхом використання автоматичних станцій на базі високоточних вимірюваних систем.

Підсистема *аналізу даних дистанційного зондування (ДЗЗ)* на базі космічних знімків та даних аерофотознімання призначена для обробки та інтерпретації даних космічних знімків різного призначення з метою виявлення зсувних явищ, уточнення меж областей розущільнення масивів гірських порід у підробленому гірничими роботами масиві, аналізу даних аерофотознімання для виявлення та уточнення зон можливих деформацій земної поверхні, зсувів та інше. Крім цього для виявлення динаміки утворення та розвитку зсувних явищ та просядок ґрунтів на земній поверхні в часі можуть бути використані дані радіолокаційних супутників (рис. 7).

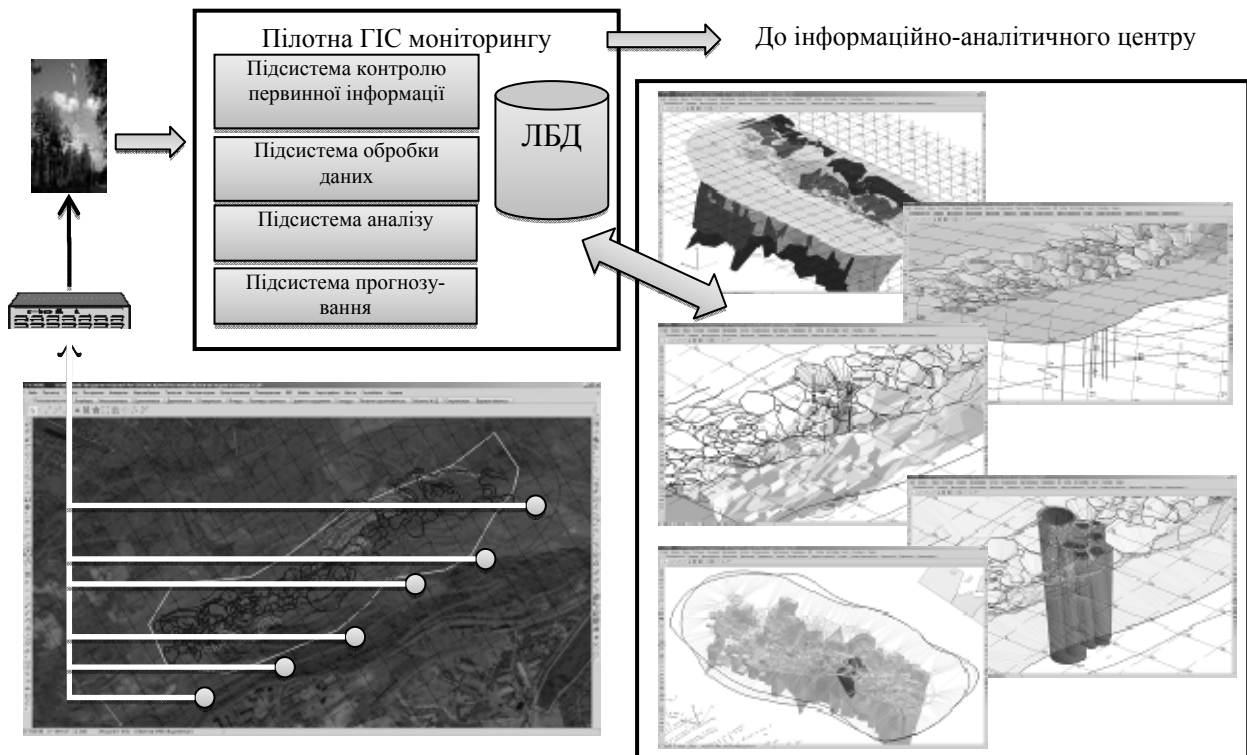


Рисунок 6. – Підсистема контролю за станом об'єктів спостережень на базі використання акустичних та сейсмічних датчиків.

Підсистема *введення та поповнення поточної гірничо-геологічної інформації про стан діючих об'єктів* (підприємств) призначена для постійної актуалізації стану моделей (геологічних моделей родовищ, моделей підземних виробок і порожнин, кар'єрів, відвалів, гідротехнічних споруд тощо) для діючих підприємств на базі даних режимних спостережень та роботи експлуатаційних служб діючих підприємств та спеціалізованих організацій.

**Інформаційно-телекомунікаційний блок** забезпечує інформаційний обмін між суб'єктами та складовими частинами системи моніторингу, забезпечує доступ до інформаційних ресурсів системи.

Інформаційно-телекомунікаційна підсистема повинна передбачати побудову необхідних каналів зв'язку й протоколів обміну інформацією. До функцій інформаційно-телекомунікаційної підсистеми входить:

- прийом даних від функціональних підсистем, попередній контроль, опрацювання і передача інформації до центральної підсистеми для внесення даних та інформації до відповідних баз даних;
- забезпечення інформаційного зв'язку між елементами Системи;
- забезпечення інформаційного зв'язку з особами, що приймають управлінські рішення;
- забезпечення доступу до інформації, що призначається для широкого використання.

Крім того, інформаційно-телекомунікаційна підсистема забезпечує здійснення внутрішніх взаємозв'язків, що підтримують виконання таких завдань: збір і передачу інформації; обробка інформації за заздалегідь розробленими алгоритмами і програмами; зберігання і пошук інформації; видача інформації користувачам. Робота підсистеми виконується на базі сучасних засобів і каналі передачі інформації (провідних та безпроводних), а також комунікаційного обладнання.

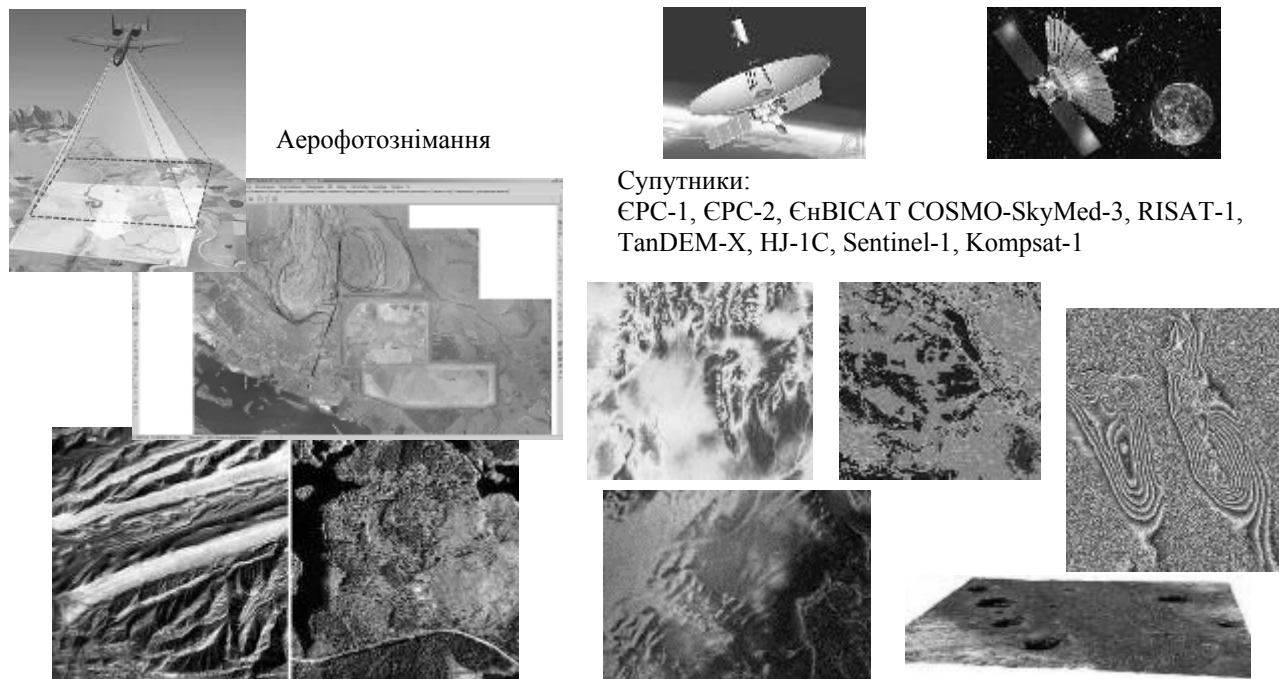


Рисунок 7. – Використання даних ДЗЗ для пошуку підземних порожнин та виконання режимних спостережень за станом територій Кривбасу.

**Комплексна підсистема захисту інформації** (надалі КСЗІ) забезпечує захист інформаційних ресурсів в Системі ті її підсистемах шляхом впровадження комплексу технічних, криптографічних, організаційних та інших заходів і засобів КСЗІ, спрямованих на недопущення блокування інформації, несанкціонованого ознайомлення з нею та/або її модифікації (див. рис. 3). Така система організується шляхом використання захищених каналів передачі інформації, використання віртуальних мереж для роботи елементів системи.

Розробка і впровадження Системи можливі лише при комплексному використанні сучасних науково-дослідних, інженерних, технічних, інформаційних технологій. Тільки при такому підході можуть бути суттєво знижені ризики виникнення надзвичайних ситуацій в регіоні, підвищиться рівень безпеки населення й захищеність важливих об'єктів від загроз техногенного характеру за рахунок дії системи попереднього оповіщення.

### Література

1. Обрушение и проседание над горными выработками. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL <http://restlessterra.ru/home/ground-subsidence/collapse-over-mine-workings.html>. – Назва з екрану.
2. Кривой Рог: Когда земля уходит из-под ног. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : URL [http://www.ochag.net.ua/krivoy\\_rog/1132-krivoj-rog-kogda-zemlya-uxodit-iz-pod-nog-ocherednoj-vzryv-porody-na-krivorozhskoj-shaxte-im-ordzhonikidze-i-posledovavshaya-za-nim-neozhidannaya-prosadka-grunta-vskryli-eshhe-odnu-problemu-krivbassa.html](http://www.ochag.net.ua/krivoy_rog/1132-krivoj-rog-kogda-zemlya-uxodit-iz-pod-nog-ocherednoj-vzryv-porody-na-krivorozhskoj-shaxte-im-ordzhonikidze-i-posledovavshaya-za-nim-neozhidannaya-prosadka-grunta-vskryli-eshhe-odnu-problemu-krivbassa.html). – Назва з екрану.
3. Инструкция о порядке утверждения мер охраны зданий, сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок : НПАОП 0.00-5.15-86 : Госгортехнадзор СССР, 1986.

4. Геология и генезис руд Криворожского железорудного бассейна: труды, совещания / Под ред. Н.А. Семененко, – издательство Академии наук УССР, 1955. –281 с.
5. Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна / Я.Н. Белевцев, Р.Я. Белевцев, –К.: Наук. Думка, 1981. –48 с.