

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПРАЦІВНИКІВ ШАХТ У ВИПАДКУ ВИНИКНЕННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**

**Мета** статті полягає у визначенні ефективності роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг». Шахти повинні бути обладнані системами позиціонування і пошуку працівників, що дозволяють контролювати їх місцезнаходження та здійснювати пошук у діючих гірничих виробках, через завали гірських порід, в тому числі при відсутності електроенергії.

**Методи дослідження.** У роботі використано статистичний метод дослідження даних технічної документації систем позиціонування, який спрямовано на збір первинного статистичного матеріалу та інтерпретацію даних.

**Наукова новизна.** Проблема, що піднімається в роботі, обґрунтована невідповідністю систем позиціонування, що використовуються на підприємствах країни, які не відповідають вимогам стандарту, оскільки позиціонування виконується тільки «з точністю до дільниці гірничих виробок», з інтервалами, що не відповідають режиму реального часу.

**Практична значимість.** Практична реалізація запропонованої системи має переваги перед аналогічними, так як при відповідному покритті гірничих виробок зчитувачами системи становище персоналу і транспорту визначається безперервно з точністю  $\pm 10$  м. Система дозволяє створювати автономні пристрої з довгим часом роботи від одного джерела живлення (до 2-3 років) за рахунок малого енергоспоживання пристроїв.

**Результати.** Система може забезпечувати можливість передачі невеликих обсягів даних в радіоканалі між пристроями і далі, по дротовим і оптичним інтерфейсам, на верхній рівень системи. Система СППТМГШО побудована на базі технології ZigBee і стандарті IEEE 802.15.4. Приймачі даного стандарту дозволяють проводити вимірювання відстані при встановленні зв'язку один з одним методом TWR (two-way ranging). Система СППТМГШО має сертифікат відповідності Серія RU №03033013 про безпеку обладнання "О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах" (ТР ТС 012/2011. Таким чином, більш точні дані про місцезнаходження персоналу дозволять прийняти найбільш оптимальні рішення з надання допомоги постраждалим під час пожежі і при ліквідації аварійних ситуацій.

**Ключові слова:** система позиціонування, позиціонування, мітка, зчитувач, надзвичайна ситуація, пожежа, гірничавиробка, гірниче устаткування.

doi: 10.31721/2306-5435-2021-1-109-14-19

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями.** Серед основних причин надзвичайних ситуацій, що виникають в шахтах є обвалення порід покрівлі, падіння гірників у виробки, нагромадження шляхів породою чи іншими предметами, незадовільний стан підземного транспорту, падіння механізмів чи інструменту, вибух вугільного пилу та пожежі. Пожежі, як відомо, бувають ендегенні та екзогенні. Ендегенні виникають внаслідок самозапалення підземних порід та горючих матеріалів.

Якщо пожежа виникає внаслідок займання горючих матеріалів (кріплення, конвеєрні стрічки) внаслідок впливу зовнішнього джерела тепла (несправне обладнання, робота без захисних пристосувань або неправильна організація виробничого процесу).

На гірничорудних шахтах корисні копалини, що розробляються, не схильні до самозаймання. Тому в основному виникають екзогенні пожежі.

Основними причинами пожеж є: застосування відкритого вогню, порушення протипожежних правил при проведенні зварювальних робіт, загоряння вибухових речовин, коротке замкнення в шахтних електричних мережах, теплове випромінювання від тертя конвеєрної стрічки по роликам, тощо.

В гірничорудних шахтах до горючих матеріалів відноситься дерев'яне кріплення, забутовка, стрічка конвеєрів, оболонка кабелю, елементи технологічного обладнання.

В результаті пожежі виникають токсичні та газоподібні продукти горіння, що потрапляють в гірничі виробки. Це все спричиняє потенційно небезпечні та аварійні ситуації, що загрожують здоров'ю працівників.

Виявлення працівників при пожежі чи аварії в шахті може бути ускладнене через те, що розвиток пожежі, наприклад, ендегенного походження, відбувається в недоступних для людей місцях (у виробленому просторі).

У випадку обвалення покрівлі гірничої виробки виникає аварійна ситуація, коли за завалом залишилися працівники. При порушенні роботи водовідливних засобів чи при прориві води із затоплених виробок виникають затоплення гірничих виробок. Вони призводять до нещасних випадків через раптовий приплив великої кількості води. Проникання води у гірничі виробки приводять до порушення кріплення і обвалення виробок та пошкодження здоров'я працівників. Вони не мають можливості покинути місце аварії, тому виникає необхідність встановлення місця положення працівників при надзвичайній ситуації [1].

**Аналіз досліджень і публікацій.** У Солікамську (Росія) 22 грудня 2018 року відбулася пожежа при прохідницьких роботах в стовбурі на шахті СКРУ-3 [2]. Дев'ятеро людей загинуло під землею через задимлення шахти на глибині 362 м. Ростехнагляд завершив технічне розслідування пожежі на руднику СКРУ-3 ПАТ «Уралкалій», в результаті якого причинами аварії були визначені порушення порядку організації і ведення вогневих робіт в стовбурі №4 СКРУ-3, застосування обладнання для газополум'яного різання з використанням пропану і ручної зварки.

Відомство вважає, що аварія могла статися через застосування в якості матеріалу при кріпленні ствола двохкомпонентної поліуретанової смоли "Блокпур В", яка, згідно з експертними висновками, є легкозаймистою і високотоксичною. Займання сталося від попадання розпечених часток металу на спінений і затверділий матеріал податливого шару кріплення стовбура "Блокпур В" при проведенні несанкціонованих вогневих робіт. Вогонь підтримувався за рахунок горючого матеріалу опалубки (дошки, брус), що не були оброблені протипожежними речовинами відповідно до вимог.

Рятувальна операція ускладнювалася тим, що на місці НП була сильна задимленість і групи рятувальників не могли спуститися на глибину, де знаходилися люди. При цьому не було чіткого розуміння, в якому місці знаходяться прохідники, щоб забезпечити їх вихід на поверхню.

Специфіка проходки стовбурів в порівнянні з роботами по експлуатації родовища полягає в тому, що роботи ведуться в обмеженому обсязі простору. Для порятунку працівників в нештатній або аварійній ситуації необхідно встановлення точного місця розташування кожної людини на конкретному поверсі прохідницького полку, тобто більш точне позиціонування.

В роботі [3] М. О. Жукова, А. Е. Иванова, А. В. Мацко, И. В. Меркулова, Б. В. Наримського наведені виробники обладнання для позиціонування шахтарів. Більшість систем для контролю стану персоналу заснована на застосуванні RFID міток. При цьому використовується "Метод найближчого осередку" і фіксується тільки подія появи персоналу в зоні зчитувача на відстані до 30 м. Для більш точного визначення положення персоналу в шахті використовуються технології WiFi ("Гранч"), NanoLOC ("Інгортех"). Точність позиціонування в таких системах досягає 5-20 м.

Всі ці системи відносяться до систем локального позиціонування реального часу (RTLS - Real Time Location System). Такі системи інтенсивно розвиваються як для підвищення безпеки у вугільних шахтах, так і для підприємств інших галузей [4-6].

Тому використання системи позиціонування є актуальним завданням, запропонована система дозволяє забезпечити точне визначення місця розташування персоналу в шахті в on-line режимі, що підвищує безпеку працівників і допоможе при проведенні евакуації співробітників в разі виникнення позаштатних ситуацій.

**Постановка задачі.** Метою даної статті є визначення ефективності роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг». Шахти повинні бути обладнані системами позиціонування і пошуку працівників, що дозволяють контролювати їх місцезнаходження та здійснювати пошук у діючих гірничих виробках, через завали гірських порід, в тому числі при відсутності електроенергії.

**Викладення матеріалу та результати.** Система позиціонування і пошуку працівників повинна забезпечувати виявлення місцезнаходження людини у всіх гірничих виробках з передачею інформації диспетчеру і на командний пункт об'єкта в режимі реального часу. Інформація про місцезнаходження людей в гірничих виробках повинна зберігатися на шахті не менше одного місяця з дати її отримання. Відповідальність за справність системи позиціонування і збереження отриманої інформації покладається на керівника об'єкта.

Відповідно до нормативної документації, гірничі виробки шахт, надшахтні будівлі і споруди повинні бути обладнані комплексом систем і засобів, які забезпечують організацію і здійснення безпеки ведення гірничих робіт, контроль і управління технологічними та виробничими процесами в нормальних і аварійних умовах.

При аварійних ситуаціях життєво необхідна точна система позиціонування, яка дозволить визначити, де знаходиться людина. Встановлена в законодавчих нормативах похибка систем позиціонування на сьогоднішній день становить 20 м, тому розробка та впровадження систем більш точного і зонального позиціонування, яка може бути інтегрована з системами відео спостереження для підвищення рівня контролю, є актуальним завданням.

Завдання, які вирішуються:

- контроль рівнів доступу гірників;
- контроль місця розташування гірників у виробках шахти;
- контроль робочого часу і рівнів доступу персоналу;
- аварійне оповіщення гірників;
- евакуація і виявлення гірників, що захоплені аварією.

Склад такої системи визначається проектною документацією. В неї повинні входити системи, що відповідають за зв'язок, оповіщення та визначення місця розташування персоналу.

Відповідно до загальних вимог, що пред'являються до систем позиціонування [7-11]:

система позиціонування персоналу повинна безперервно в режимі реального часу відображати на мнемосхемі шахти місцезнаходження кожного працівника, що спустився в шахту, з дозволом  $\pm 20$  м;

система загальношахтного аварійного оповіщення в гірничих виробках.

Аналіз поширених в даний час на шахтах країни систем позиціонування показує (табл. 1), що вони не відповідають вимогам стандарту, оскільки:

позиціонування виконується тільки «з точністю до ділянки гірничих виробок», що істотно поступається параметру: «з дозволом  $\pm 20$  м»;

дані про місцезнаходження персоналу надаються в диспетчерську шахти дискретно - при попаданні індивідуальної мітки в зону дії зчитувачів, розставлених в шахті на значній, як правило, відстані один від одного;

з інтервалами, що не відповідають режиму реального часу.

Подібне становище спостерігається і в системах оповіщення. Автори А.В. Новиков, К.В. Паневник, І.В. Писарев [7] на основі досвіду використання систем позиціонування в умовах ТОВ НВФ «ГРАНЧ», проводять аналіз систем оповіщення. У табл. 1 представлений аналіз систем СПГТ-41 і СППТМГШО.

Таблиця 1

Характеристика систем визначення місця розташування персоналу на основі зчитувачів

Характеристика системи	Найменування системи	
	Система СПГТ-41	Система СППТМГШО
Принцип дії	Зональне (обмежене зчитувачами) позиціонування персоналу та техніки	Безперервне позиціонування персоналу та техніки в режимі реального часу
Швидкість передачі даних – кабель / радіо	Двосторонній радіозв'язок (полудуплекс): швидкість передачі – 1024 кБод. Двосторонній дротяний зв'язок (полудуплекс): швидкість передачі – 9,6 кБод	Двосторонній радіозв'язок (полудуплекс): швидкість передачі – одна тисяча двадцять чотири кБод. Двосторонній дротяний зв'язок контролер-зчитувач (полудуплекс): швидкість передачі – 38,4 кБод Двостороння зв'язок контролер-сервер: Ethermet 100Base-FX або 1000Base-LX
Точність координат місця розташування об'єкту	Координати об'єкта визначаються за місцем знаходження зчитувачів, в зонах дії яких знаходиться об'єкт – протяжність зон становить від десятків метрів до декількох кілометрів	$\pm 5$ метрів і вище
Період оновлення даних на АРМ оператора	не більше 5 с	5 с
Швидкість пересування об'єкта	Максимально допустима – 12 м/с	Максимально допустима – 15 м/с
Гарантована дальність зчитування міток	25 м	25-100 м – для пари зчитувач - мітка для персоналу; 100-300 м – для пари зчитувач - мітка для транспортних засобів

Підвищення точності позиціонування забезпечує безпеку працівників шахти. Воно потрібно не тільки для фіксації місця знаходження людини на момент початку аварії але і для відгородження зони надзвичайної ситуації, в якій можуть знаходитися працівники. Крім того, для попередження персоналу про транспорт, що рухається в певному напрямку, попередження водія про наявність перешкод на шляху транспортного засобу тощо.

У даній роботі наводиться аналіз роботи системи позиціонування персоналу, транспорту і моніторингу гірничо-шахтного устаткування (скор. СППТМГШО) виробництва компанії ТОВ «СПБЕК-Майнінг», яка має такі переваги перед аналогічними:

при відповідному покритті гірничих виробок зчитувачами системи становище персоналу і транспорту визначається безперервно з точністю  $\pm 10$  м;

мале енергоспоживання пристроїв, що дозволяє створювати автономні пристрої з довгим часом роботи від одного джерела живлення (до 2-3 років);

можливість передачі невеликих обсягів даних в радіоканалі між пристроями і далі, по дровим і оптичним інтерфейсам, на верхній рівень системи.

Вже згадана система позиціонування дозволяє вирішувати наступні завдання:

безперервно визначати місце розташування приймачів системи в гірничих виробках з точністю  $\pm 5$  м. І відобразити їх позицію на плані гірничих робіт в 3D-форматі, з можливістю масштабування;

грунтуючись на даних точного позиціонування, створювати системи управління рухом підземного транспорту (колісна техніка, електровозний транспорт);

вбудовувати приймачі системи в інші пристрої і передавати з них різні дані (стан устаткування, результати вимірювань різних параметрів та ін.)

Вже згадана СППТМГШО [13] відноситься до класу RTLS-систем (від англ. Real-time Locating Systems - система позиціонування в режимі реального часу). Як правило, принцип дії всіх RTLS заснований на вимірюванні відстані між рухомим приймачем системи (міткою) і нерухомими «базовими станціями» (зчитувачами) із заздалегідь відомими координатами. При цьому, для точного визначення положення приймача в  $n$ -вимірному просторі щодо базових станцій необхідно, щоб була інформація про відстані до  $n + 1$  базових станцій. Маючи цю інформацію, можна обчислити координати рухомого передавача.

Як відомо, більшість гірничих виробок є протяжними об'єктами з великим відношенням довжини до ширини і висоти (як правило від 10 до 1000), і в загальному випадку їх можна вважати одновимірними об'єктами. Відповідно, для правильного визначення положення приймача у виробці, досить, щоб він знаходився в зоні видимості 2-х зчитувачів системи. При одночасній видимості міткою більшої кількості зчитувачів, точність вимірювання координат підвищується.

На поточний момент існуючі на ринку RTLS використовують як різні технології радіозв'язку (WiFi, UWB, ZigBee, NanoLOC і ін.), так і різні способи вимірювання відстані між приймачем і базовою станцією (ToA, TDoA, ToF, TWR, RSSI та ін.).

Система СППТМГШО має сертифікат відповідності Серія RU №03033013 про безпеку обладнання "О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах" (ТР ТС 012/2011. Виготовляє обладнання товариство з обмеженою відповідальністю "СПБЭК-Майнинг".

Логічна структура побудови мережі базових станцій для СППТМГШО показана на рис.1.

Система СППТМГШО побудована на базі технології ZigBee і стандарті IEEE 802.15.4. Приймачі даного стандарту дозволяють проводити вимірювання відстані при встановленні зв'язку один з одним методом TWR (two-way ranging). Метод TWR полягає в наступному: БС фіксує час відправлення сигналу ( $T1$ ), мобільний пристрій фіксує час отримання сигналу ( $t1$ ), а також час відправлення сигналу назад на БС ( $t2$ ). У сигналі від мобільного вузла до базової станції передаються часи  $t1$  і  $t2$ . БС отримує сигнал з мобільного пристрою і фіксує час його отримання. Відстань обчислюється за формулою  $S = ((T2 - T1) - (t2 - t1)) \cdot c / 2$ . Ініціатором вимірювання може бути мобільний пристрій за аналогічним алгоритмом.

Недоліком даного методу є великий розкид результатів вимірювань на малих відстанях (до 20 м), що пов'язано зі збільшенням відносини  $(t2 - t1) / (T2 - T1)$  і превалюванням часу обробки сигналу в другому приймачі над часом поширення радіосигналу.

Для збільшення точності вимірювання на малих відстанях на додаток до методу TWR часто застосовується метод RSSI (received signal strength indicator) - це індикатор рівня потуж-

ності сигналу. Даний метод дозволяє визначити місце розташування пристрою, ґрунтуючись на рівні інтенсивності сигналу, отриманого БС або навпаки.

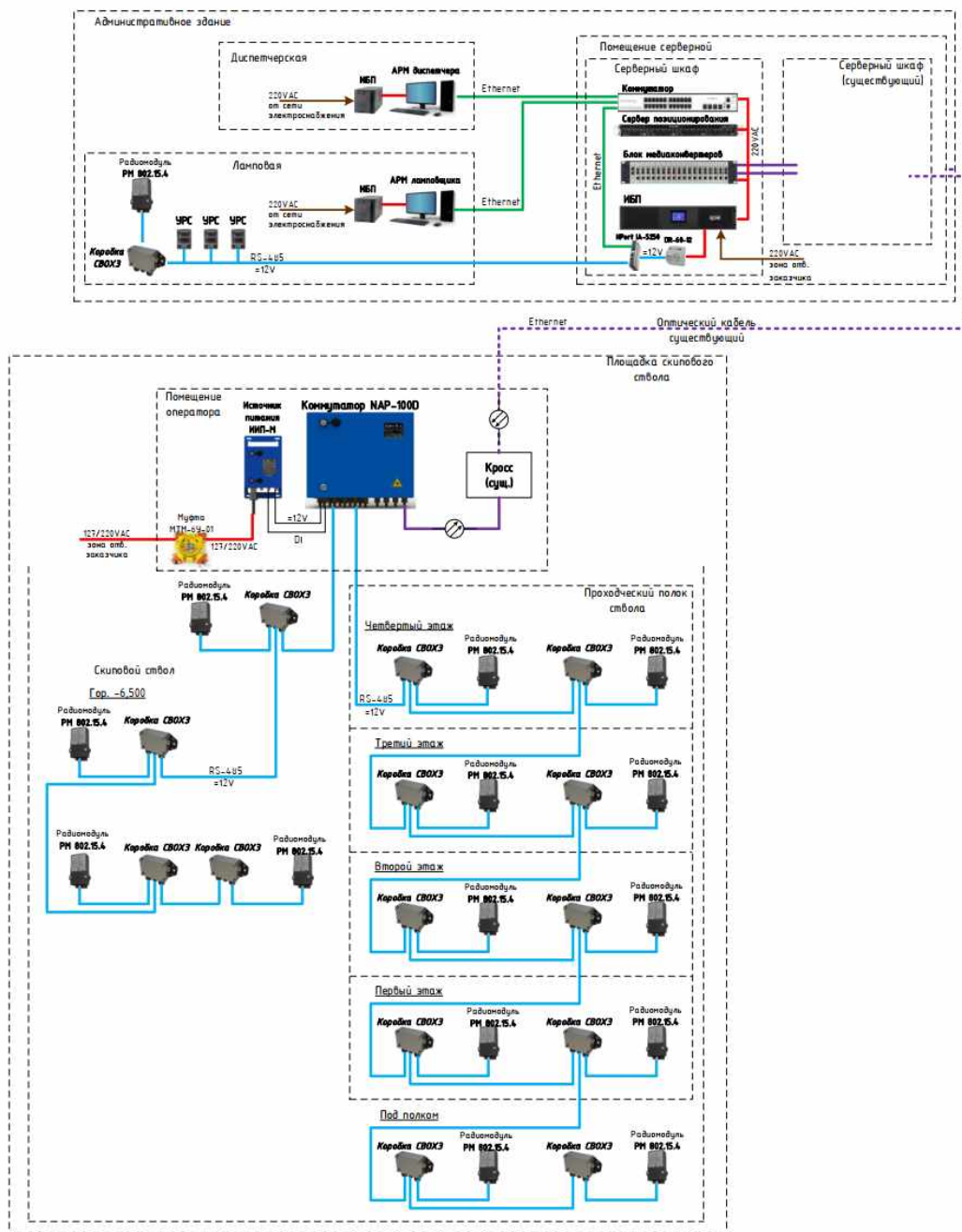


Рис. 1. Структура побудови мережі базових станцій для СППТМГШО

Метод RSSI зручно використовувати саме на найближчих відстанях, так як на цих відстанях відбувається найбільш швидко відносно загасання сигналу і пристрою, які практично завжди знаходяться в прямій видимості, тобто немає конструкцій, які ослаблюють сигнал, і, відповідно, вносять помилку в результат вимірювань.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Головна практична відмінність запропонованої системи СППТМГШО від існуючих систем полягає в збільшенні точності позиціонування, що дозволяє з необхідною достовірністю визначити місце розташування працівників не тільки в горизонтальних виробках, а й при виконанні специфічних робіт, наприклад, на поверхнях прохідницького або армуючого полку при будівництві вертикальних стволів.

Таким чином, більш точні дані про місцезнаходження персоналу дозволять прийняти найбільш оптимальні рішення з надання допомоги постраждалим під час пожежі і при ліквідації аварійних ситуацій.

### Список літератури

1. Євстратенко І.А., Ошмянський, Євстратенко Л.І. Гірничорятувальна справа на гірничорудних підприємствах – Кривий Ріг, Видавничий центр, 2012 - 275с.
2. Ростехнадзор завершил расследование пожара на шахте в Соликамске / газета "Коммерсантъ". Прикамье. Пермь. - 09.05.2019. <https://www.kommersant.ru/doc/3966272>
3. М. О. Жуков, А. Е. Иванов, А. В. Мацко, И. В. Меркулов, Б. В. Нарымский Система наблюдения и оповещения персонала угольных шахт. Состояние и перспективы развития / Конструкторско-технологический институт вычислительной техники СО РАН, Новосибирск, Россия Том 18, Специальный выпуск, 2013
4. Благодарный А.И., Гусев О.З., Журавлев С.С и др. Автоматизированная система наблюдения, оповещения и поиска персонала при авариях в шахтах // Горная промышленность. 2009. № 1. С. 34–38.
5. Технологии позиционирования в реальном времени. <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4>
6. CSS (ISO 24730-5) Измерение расстояний без рулетки и проводов. <http://habrahabr.ru/post/153237/>
7. Технологии позиционирования в реальном времени [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.rtlsnet.ru/technology/view/4>
8. Овчинников С. Технологии локального позиционирования / Сергей Овчинников. // Технологии и средства связи. – 2014. – №3. – С. 26–30.
9. Технологии локального позиционирования. Часть I [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/281837>
10. Технологии локального позиционирования. Часть II [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/282357>
11. Методы локального позиционирования [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/company/rtl-service/blog/301706/>
12. А.В. Новиков, К.В. Паневник, І.В. Писарев. Багатофункціональна система безпеки вугільних шахт - практика застосування систем визначення місця розташування та оповіщення персоналу / «Гірська Промисловість» №2 (138) / 2018. <http://dx.doi.org/10.30686/1609-9192-2018-2-138-xx-xx>
13. Сертификат соответствия. Система позиционирования СППТМГШО - 2018. - Режим доступу до ресурсу: <https://spbec-mining.ru/upload/iblock/1cd/1cd48f8e1cb67bb8de014710ba1c96e7.pdf>.

Рукопис подано до редакції 10.03.2021

УДК 528.4

О. Є. КУЛКОВСЬКА, д-р техн. наук, проф., О. І. СУГАНЯКА, магістр  
Криворізький національний університет

Ю. Ю. АТАМАНЕНКО, наук. співроб., Донецький юридичний інститут МВС України

## ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ І ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ КРИВБАСУ ІЗ УРАХУВАННЯМ ЗОНУВАННЯ ЗА СТУПЕНЕМ ЗСУВНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

**Мета.** Дослідження використання геоінформаційних технологій для моніторингу і прогнозування розвитку територій Кривбасу із урахуванням зонування за ступенем зсувної небезпеки.

**Методи дослідження.** Поставлена мета та завдання дослідження зумовили використання загальнонаукових підходів, логічних законів побудови висновків, спеціальних методів пізнання. В якості методологічної основи дослідження вжито сполучення «нейромережевий аналіз». При виконанні завдань дослідження спиралося на світовий досвід застосування геоінформаційних технологій для картування та дослідження зсувів. Інформаційною базою дослідження слугували монографії, збірники наукових праць, періодичні фахові видання, Інтернет-ресурси.

**Наукова новизна.** Сформульовано критерії вибору ефективного геодезичного методу збору просторових даних, який забезпечує оперативне автоматизоване отримання картографічної інформації з заданою точністю і необхідним обсягом інформації для виявлення зсувонебезпечних територій на підставі нейромережевого аналізу.

**Практична значимість.** Визначається цільовим спрямуванням даного дослідження для потреб фахівців гірничопромислового комплексу Криворізького регіону. Розроблена карта зонування території за ступенем зсувної небезпеки стане допоміжним матеріалом для початку дослідницької роботи з вивчення просторово-часової зміни структури гірничопромислових ландшафтів Кривбасу та, відповідно, передумовою районування гірничопромислових ландшафтів на локальному та регіональному рівнях.

**Результати.** Встановлено, що не існує стандартів, що регламентують якість застосовуваних вихідних матеріалів для цілей регіонального зонування зсувних явищ. Більше уваги приділяється локальним методам кількісної