

## **Аналіз проведених досліджень у галузі автоматизованої інтелектуальної гравіметричної системи з елементами штучного інтелекту**

*В роботі виконано аналіз відомих інформаційних джерел про відомі на сьогодні різні автоматизовані гравіметричні системи, що можуть використовуватись для вимірювань прискорення сили тяжіння або його аномалій і призначені для дистанційного пошуку корисних копалин.*

### **Вступ**

У наш час актуальними є дослідження автоматизованих інтелектуальних гравіметричних систем (АГС), призначених для вимірювання гравітаційних аномалій, інформація про які свідчить про залягання родовищ корисних копалин, наявність підводних човнів або інших об'єктів. Основним елементом такої АГС є її чутливий елемент – гравіметр. Сьогодні особливо гостро стоїть проблема підвищення точності гравіметрів, що використовуються у геолого-розвідувальних роботах для пошуку родовищ корисних копалин, та побудови на їх основі швидкодіючих, високоточних, автоматизованих вимірювальних систем, що працюють у режимі реального часу.

Однак, нажаль, у відомій літературі [1-6 та ін.] відсутній аналітичний огляд проведених у цій галузі досліджень. Тому мета даної роботи – надати аналіз проведених досліджень у даній галузі.

Аналіз відомих інформаційних джерел вказує, що на сьогодні відомі різні автоматизовані гравіметричні системи (АГС), що можуть використовуватись для вимірювань прискорення сили тяжіння (ПСТ) або його аномалій і призначені для дистанційного пошуку корисних копалин. Вони відрізняються по будові, точності, швидкодії, рівню автоматизації при обробці інформації. Проведеним дослідженням АГС присвячено багато робіт [1-6 та ін.]. Проаналізуємо їх.

У роботі [1] представлено АГС для вимірювання прискорення сили тяжіння (ПСТ) на базі МЕМС-гравіметра, що має більшу точність ( $1 \text{ мГал} = 10^{-5} \text{ м с}^{-2}$ ) від відомих. Однак інформація у роботі надана занадто обмежено і не дає уявлення про принципи роботи АГС та обробки її інформації.

В [2] представлено комплекс для дослідження ємнісного гравіметра (ЄГ). Показано принципову схему комплексу і схеми підключення ЄГ до ЕОМ для отримання інформації про ПСТ. Надано інтерфейс програмного забезпечення комплексу для введення параметрів та отримання результатів роботи. Однак, у статті не наведено дані, що забезпечують використання ЄГ для вимірів ПСТ з заданою точністю.

У [3] представлено безплатформний навігаційно - гравіметричний комплекс, його датчики та алгоритми роботи. Однак дані надано настільки обмежено, що не можливо скласти чітку уяву про роботу комплексу. В [4] викладено основні відомості про геоінформаційну систему, яка орієнтована на

обробку наземних та космічних даних. Система опрацьовує та аналізує великі об'єми даних. Однак, система працює лише за умови використання наявних гравіметричних карт. Це унеможливує використання цієї системи у режимі реального часу при гравіметричній розвідці нових родовищ. Не описано методи отримання інформації. Технології застосування даних ПСТ представлено фрагментарно.

У [5] надано алгоритми рішення обернених задач гравіметрії. Найкраще рішення обирається за допомогою критеріїв оптимальності з теорії прийняття рішень, адаптованих до гравіметрії. Надана концепція здобуття інформації про джерела гравітаційних аномалій. У результаті приймається не одне оптимальне рішення задачі, а - набір окремих рішень. У цій роботі, як джерела інформації, використовують евристичні припущення. Це знижує достовірність результатів.

У роботі [6] показано роль емпіричних методів визначення ПСТ шляхом кластеризації наданих даних щодо ПСТ та застосування правил нечіткої логіки. Однак, має місце декларативність і фрагментарність описів нечітких правил, що взято за основу методів визначення ПСТ.

Тобто, результати досліджень [1-6] дещо фрагментарні та декларативні, у них відсутній єдиний комплексний підхід на основі використання штучного інтелекту. Це не забезпечує високих точності та швидкодії вимірювань ПСТ.

Довга обробка результатів, що зазвичай складає до декількох місяців, недостатня точність та швидкодія існуючих гравіметрів виводять питання розробки нового гравіметра на новий рівень. Перспективним напрямом є побудова гравіметричних систем на основі мікроелектромеханічних систем (МЕМС). Одним із відомих на сьогодні перспективних гравіметрів є одноканальний смісний гравіметр (ЄГ). Проте інструментальні похибки та похибки вертикального прискорення у вихідному сигналі гравіметра є досить значними. Використання двоканальної схеми (ДЕГ) забезпечує усунення інструментальних похибок, а також похибки від дії вертикального прискорення, що дозволяє підвищити точність, чутливість. Малий розмір мікроелектромеханічних компонентів забезпечує економічність та практичність у використанні гравіметричних систем на його основі. І, зважаючи на перспективність, яку сьогодні має ДЕГ, доцільним є його подальше вивчення та дослідження для використання.

Очевидним є те, що необхідно у подальшому розробляти АІГС з використанням смісного ДЕГ з елементами штучного інтелекту підвищеної точності і швидкодії для вимірювань ПСТ (або його аномалій) та пошуку корисних копалин на рухомій основі. Цьому напрямку присвячено роботи науковців кафедри АІКС КПІ ім. Ігоря Сікорського.

### **Висновки.**

Шляхом проведеного аналізу відомих проведених досліджень, показано, що надзвичайно перспективним є: за даними, отриманими шляхом використання АІГС з елементами штучного інтелекту, визначати родовища корисних копалин з певною ймовірністю та більшими точністю і швидкістю.

Було створено автоматизовану гравіметричну систему на основі двоканального ємнісного МЕМС гравіметра з елементами штучного інтелекту, а саме нечіткої логіки.

Розроблено структурну схему та набір правил нечіткої логіки для визначення наявності корисних рудних копалин. Як вхідні величини, для створення прогнозу використовується лише значення аномалії прискорення сили тяжіння. Можна сказати, що за даними гравірозвідки, отриманими розробленою системою, можна з певною ймовірністю свідчити про наявність корисних копалин. Прогноз складається із ймовірної копалини, глибини її залягання та потужності родовища. При цьому час обробки сигналу та швидкодія залишаються на високому рівні у порівнянні з відомими аналогами.

Уточнення кількості, глибини та виду корисної копалини потребують подальшого дослідження за допомогою інших геолого- геофізичних методів, наприклад, буріння тестових скважин, використання методів дистанційного спектрального зондування Землі із супутника.

Отже, роблячи висновок, можна сказати, що АІГС з ємнісним МЕМС чутливим елементом перспективна та має бути об'єктом подальших досліджень.

### Список літератури

1. Безвесільна О. М. Автоматизована гравіметрична система для вимірювання аномалій прискорення сили тяжіння на базі МЕМС-гравіметра / О.М. Безвесільна, А.О. Просюк // Тези І Всеукраїнської науково-технічної конференції «Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення». – 2015. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/358> (Дата звернення 01.11.2021).

2. Безвесільна О. М. Апаратно-програмний комплекс для експериментального дослідження ємнісного гравіметра [Текст] / О. М. Безвесільна, К. С. Козько // Вісник інженерної академії України. – 2013. – №2. – с.15-17.

3. Тювин А.В. Особенности использования функционально-избыточных блоков акселерометров в бесплатформенных навигационногравиметрических комплексах/ Тювин А.В., Афонин А.А., Сулаков А.С.// Труды МАИ. Выпуск № 91, – 2016. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://trudymai.ru/upload/iblock/60d/tyuvin\\_afonin\\_sulakov\\_rus.pdf?lang=ru&issue=91](http://trudymai.ru/upload/iblock/60d/tyuvin_afonin_sulakov_rus.pdf?lang=ru&issue=91)

4. Бусьгин Б.С. Специализированная геоинформационная система Рапид: структура, технологии, задачи / Бусьгин Б.С., Никулин С.Л.// Геоинформация – 2016 – №1 – с.22-36 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.karbon-service.com.ua/wp-content/uploads/2015/01/2-1-2016.pdf>

5. Балк П.И. Обратные задачи гравиразведки как проблема принятия решения в условиях неопределенности и риска / П. И. Балк, А. С. Долгаль // Физика Земли – 2017 – №2 – с.45-61 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.psu.ru/files/docs/personalnnye-stranitsy-prepodavatelej/dogal/FZE0045.pdf>

6. Johanna Torppa. Unsupervised clustering and empirical fuzzy memberships for mineral prospectivity modelling/ Johanna Torppa, Vesa Nykänen, Ferenc Molnár // Ore Geology Reviews– 2019 – №107 – с.58-71 – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169136818305195>.