

СИСТЕМНІ ЕКОЛОГО-ЕНЕРГЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ENVIRONMENTAL AND ENERGY SYSTEM RESEARCH

УДК 681.518:55:622

С.П. Денисюк, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-6299-3680

С.В. Зайченко, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-8446-5408

О.О. Вовк, д-р техн. наук, проф. ORCID 0000-0002-7531-9847

Н.А. Шевчук, канд. техн. наук, доц. ORCID 0000-0003-0355-9793

А.В. Данілін, канд. техн. наук, доц. ORCID 0000-0003-3207-1156

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАСАДИ СТВОРЕННЯ МОБІЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГЕОТЕХНІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ЕКЗЕМПТОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

В статті розглянуто основні етапи створення геомехатронного комплексу для проведення екологічного та геотехнічного моніторингу техногенно забруднених екземптованих територій. Особливістю даного комплексу є застосування принципово нового методу проведення візуально автоматизованого дослідження стану ґрунтів. Це дозволить з високою точністю виявляти та локалізувати небезпечні техногенні перетворення ґрунтів.

Відсутність оператора у зоні проведення досліджень зменшує до мінімуму ймовірність його ураження через небезпечні техногенні процеси і пристрої.

Ключові слова: екземптовані території, техногенна небезпека, геомехатронний комплекс, система керування.

Проблема, її зв'язок з науковими і практичними результатами.

Проблема техногенно забруднених територій в результаті функціонування об'єктів промислового і військового комплексів потребує негайного втручання наукових, виробничих і освітніх організацій. Особливої уваги вимагають території, де окрім екологічних проблем, спричинених характерними виробничими процесами, існують інші види небезпек, наприклад, пов'язані із веденням військових дій (мінування, використання фосфорних мін, знищення інфраструктури населених пунктів тощо). Отже, розроблення надійного комплексу для збору та обробки інформації щодо потенційних та реальних небезпек на таких територіях як для біотопів, так і для людей є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз досліджень і публікацій. Переважна більшість військових конфліктів, починаючи з другої половини ХХ ст., проходить без застосування ядерної зброї, з поодиноким використанням хімічної. В кінці минулого століття спостерігається позитивна тенденція до зниження загрози застосування ракетно-ядерної зброї, яка, на жаль, створила новий виток розвитку боєприпасів "звичайної дії", відносно безпечних для навколишнього середовища, але таких, що мають високу руйнівну і вражаючу здатність. Особливе місце займають мінно-вибухові боєприпаси, що дозволяють з мінімальними втратами у власній живій силі вирішувати тактичні військові завдання [1-4]. Зворотним боком цієї проблеми є "спадок", який залишає кожен військовий конфлікт - мінні поля і поодинокі боєприпаси, що не розірвалися, на яких гинуть або отримують каліцтва мирні жителі [5, 6]. Рух за заборону таких видів мінно-вибухових боєприпасів (International Campaign to Ban Landmines (ICBL)), таких як протипіхотні міни, не має високих шансів на успіх, поки його ігнорують найбільш серйозні гравці на ринку озброєнь: США, Росія, Китай [7, 8]. Використання інженерних загороджень в промислових районах унеможливує контроль і ліквідацію небезпечних з точки зору екології процесів, які відбуваються як під час процесу виробництва, так і після його припинення. Для умов України особливо небезпечними екологічними явищами, які супроводжують зупинку та консервацію виробництва гірничих підприємств, є вихід на поверхню метану і руйнування поверхні землі в результаті затоплення шахт. Також, підняття рівня ґрунтових вод призводить до значної мінералізації і збільшення концентрацій небезпечних компонентів, наприклад – радіоактивних, що вже сьогодні загрожує шахті "Юнком" (Україна) та іншим потенційно небезпечним об'єктам промислового та військового комплексу.

Площа територій, що потребує негайного проведення даних моніторингових досліджень, за розрахунками експертів складає для України близько 10 тис. км² і близько 2 млн. км² у Світі. Зволікання

проведення досліджень цих територій за даними ICBL у 2015 році призвело до втрати 5461 чоловік, серед яких 38% є діти. Тому створення комплексу геотехнічного моніторингу територій, які зазнали впливу військових конфліктів та техногенних катастроф, є важливою науково-технічною проблемою, що потребує першочергового вирішення.

За світовими даними значні досягнення у сфері автоматизованого дослідження стану поверхні і атмосфери має Національне управління з аеронавтики і дослідження космічного простору. Одним з найвдаліших і відомих проєктів у рамках програми Mars Science Laboratory є марсохід третього покоління Curiosity, який являє собою хімічну лабораторію, що дозволяє вирішувати цілу низку геоморфологічних задач. Складність використання створених технологічних рішень NASA для дослідження поверхні полягає в закритості, а іноді – суперечливості інформації і вартості. Так, вартість проєкту Mars Science Laboratory за різними оцінками становить від 2,5 до 40 мільярдів доларів при вартості Curiosity 1,6 млрд доларів. Залишаються відкритими і питання використання ядерних технологій на поверхні Землі, покладених в основу роботи марсоходів. Корисним для створення наземних роботів дослідників є використання загальної концепції компонування обладнання з приводу переміщення і маніпуляторів.

Серед зразків автоматичних комплексів дослідження поверхні Місяця і Марса на європейському просторі можливо відзначити комплекси ExoMars спільної програми Європейського Космічного Агентства (ЄКА) і Федерального космічного агентства Росії (Роскосмос) з дослідження Марса, Марс-Астер Науково-виробниче об'єднання ім. С. О. Лавочкина, "Робот-Геолог" інституту геохімії й аналітичної хімії імені В. І. Вернадського РАН та інші. Також слід відзначити китайський проєкт "Чанчжэн-5", розрахований до запуску в 2020 році.

Окремої уваги заслуговують військові робото-технічні комплекси провідних фірм Northrop Grumman Corporation, Konzern Foster-Miller, iRobot, Remotec Inc., Resquared, MED-ING, АТ «Ижевский радиозавод» та інші. Загальною базою комплексів є колісне або гусеничне шасі з встановленим маніпулятором і камерами, які дозволяють проводити достатньо складні дії з ліквідації небезпечних об'єктів. Деякі з них, наприклад - система фірми SRI International, дозволяють проводити відбір небезпечних матеріалів. Але дані системи не придатні для виявлення небезпечних об'єктів під шаром ґрунту та проведення екологічного моніторингу.

До теперішнього часу найбільш відпрацьованими є дистанційно керовані пристрої для пошуку мін і суцільного розмінування мінних полів. За принципом роботи вони є байковими мінними-тралами, використання яких призводить до руйнування всієї поверхні досліджуваного поля. Роботи зі створення автономних роботів-саперів, що проводяться численними компаніями та науково-дослідними організаціями, знаходяться на початковій стадії. Серед них роботизована широкозахватна радіотехнічна система виявлення мін (Canadian Husky Mk 3, RMDS), яка дозволяє виявляти місце знаходження як металевих, так і пластикових протитанкових мін на транспортних шляхах.

До основних методів, які дозволяють виявляти об'єкти різного походження, відносять: нелінійний радіолокатор, підґрунтовий, ультразвуковий, лазерний локатори, тепловізор, хімічний аналізатор, прилади на основі ядерного резонансу тощо. Жоден із зазначених методів не дає необхідну вірогідність (0,97), яку вимагає ООН.

Зазначені методи і засоби досліджень поверхні ґрунту в складних умовах мають недоліки, які впливають на точність і швидкість проведення моніторингу, що є неприпустимим для локалізації небезпечних пристроїв, з подальшим визначенням ступеню деградації техногенно забруднених ділянок.

До загального недоліку розроблених автоматизованих комплексів можна віднести націленість на встановлення загальних хімічних і фізичних параметрів без можливості локалізації небезпечних техногенних пристроїв.

Постановка завдання. Метою проєкту є розроблення алгоритму функціонування та створення промислово-експериментального зразка інформаційного геомехатронного комплексу моніторингу техногенно забруднених територій.

Виклад матеріалу і результати.

Основним призначенням геоінформаційного комплексу є дослідження стану поверхні біотопу техногенно перетворених територій, в тому числі тих, що зазнали військового втручання, з метою виявлення та ідентифікації хімічних і біологічних перетворень ґрунту та об'єктів, небезпечних для людини та навколишнього середовища.

Розроблений геомехатронний комплекс широкого (подвійного) призначення представляє собою повітряно-наземну інформаційну систему, яка містить такі переваги повітряних систем, як швидкість і інформативність збору інформації, так і наземних, до яких відносяться точність і висока вірогідність отриманих даних.

Повітряна система виконує моніторинг поверхні та здійснює зв'язок з наземним комплексом та системою керування в реальному часі. Інформаційна система забезпечує приймання інформації, її перетворення (кодування), обробку, збереження і передачу результатів обробки на основі розроблених унікальних алгоритмів та програмного забезпечення.

Структурно комплекс буде складатися з трьох основних блоків: повітряний комплекс, наземний і система керування (рис. 1). Особливістю даного комплексу є застосування принципово нового методу візуально автоматизованого дослідження стану ґрунтів, що дозволяє з необхідною точністю виявляти та локалізувати небезпечні техногенні перетворення ґрунтів. Відсутність оператора в зоні проведення досліджень зменшує до мінімуму ймовірність його ураження від небезпечних техногенних процесів і пристроїв. Більшість небезпечних об'єктів, які знаходяться в верхніх шарах ґрунту, виконані з полімерів, що позбавляє можливості використовувати електромагнітні способи локалізації. Застосування контактних методів пошуку дозволяє з високою точністю і вірогідністю встановити об'єкт будь-якої природи походження.

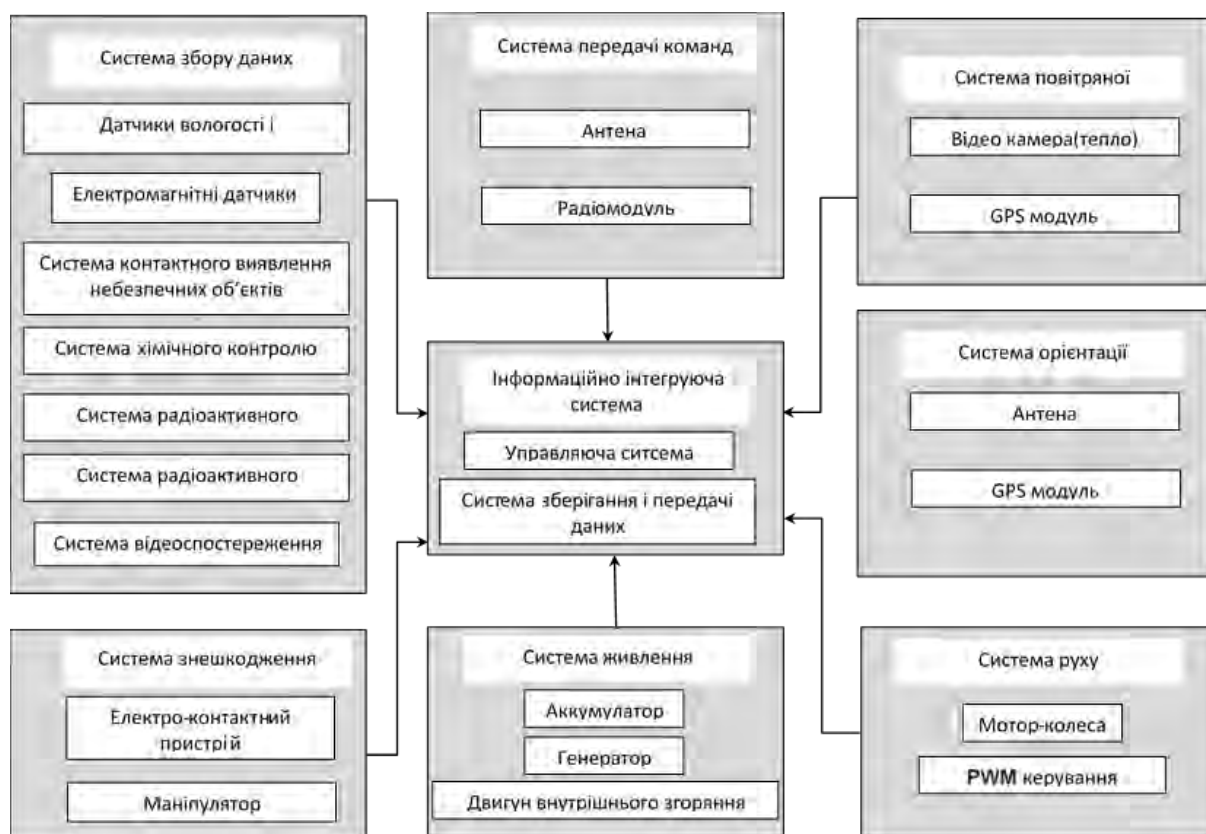


Рисунок 1 – Структурна схема мобільної системи геотехнічного моніторингу екземптованих територій

Головними перевагами розроблених комплексів перед існуючими є:

- низька вартість;
- гарантована безпека для операторів;
- простота конструкції;
- відсутність серйозних пошкоджень при впливі небезпечних факторів;
- простота управління;
- мобільність;
- транспортабельність.

Для створення даної системи моніторингу необхідним є проведення ґрунтовних теоретичних і експериментальних досліджень з механіки контактної взаємодії інденторів у різних типах ґрунтів, з різними варіантами закладання небезпечних об'єктів, що становитиме основу алгоритму розпізнавання даних об'єктів. Швидкість роботи системи і оперативну передачу даних забезпечуватиме повітряний комплекс.

Для вирішення даної проблеми залучено фахівців з Академії наук України (ІГТМ ім. Полякова), КБ «Южное», провідних технічних навчальних закладів (КПІ ім. Ігоря Сікорського, Національна

Львівська Політехніка). На даному етапі проходять випробування складових компонентів системи геотехнічного моніторингу екземптованих територій на базі експериментальної колісної бази (рис. 2).

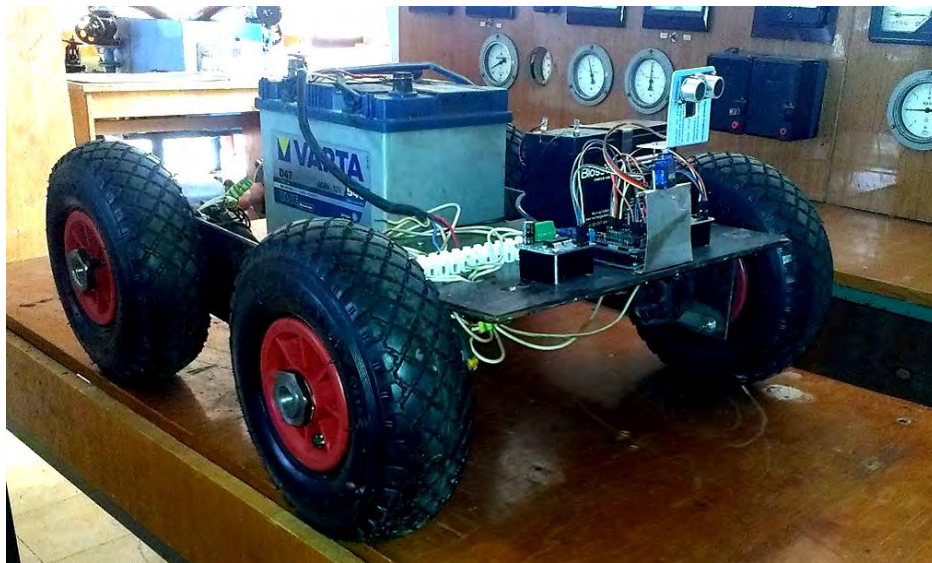


Рисунок 2 – Експериментальна колісна база системи геотехнічного моніторингу екземптованих територій

Створення геомехатронного комплексу моніторингу територій дозволить зменшити втрати людського капіталу, розробка може бути корисна для військових України та світу. Низька вартість, мобільність і транспортабельність дозволить використовувати комплекс практично всіма підрозділами збройних сил. Особливу зацікавленість в даному комплексі мають підрозділи спецпризначення, які виконують приховану інженерну розвідку місцевості, маршруту руху на наявність встановлених або відсутніх небезпечних пристроїв та інших техногенних небезпек.

Головними етапами роботи по створенню мехатронного комплексу моніторингу техногенно – небезпечних територій буде розробка:

- системи моніторингу небезпечних пристроїв;
- інформаційно-керуючої системи;
- системи зв'язку і передачі команд;
- системи управління рухом;
- системи технічного зору для управління рухом;
- системи топоприв'язування і орієнтування;
- системи електроживлення.

Основою надійної роботи мехатронних систем є система живлення, яка забезпечує енергією увесь комплекс встановленого обладнання. Основними енергоспоживачами даного обладнання є системи збору даних і руху. При роботі системи збору даних комплекс знаходиться у стані спокою, що дозволяє зменшити загальну потужність комплексу. Найбільшим споживачем енергії при зборі даних є система контактного виявлення небезпечних об'єктів.

Процес контактного збору даних супроводжується зворотно-поступовим рухом щупа, який занурюється у ґрунт до моменту контакту з небезпечним об'єктом. При визначенні потужності даного процесу основним параметром є швидкість занурення і сила опору ґрунту.

Процес занурення щупу в ґрунт супроводжується стисненням ґрунту в передній частині і тертям по довжині (рис. 3). В результаті даної взаємодії сумарну силу занурення можливо представити двома складовими:

$$F = F_1 + F_2, \quad (1)$$

де F_1 - сила від стискання ґрунту в передній частині щупа; F_2 - сила від сил тертя щупа об ґрунт.

Сила F_1 залежить від міцності на стикання:

$$F_1 = \sigma_{cm} S, \quad (2)$$

де σ_{cm} - міцність ґрунту на стикання; S - площа перетину щупа ($\pi d^2/4$).

Сила тертя F_2 виникає від нормальних напружень σ_3 , які залишаються в ґрунті при його стисканні:

$$F_2 = \mu \sigma_3 S_\sigma, \quad (3)$$

де μ - коефіцієнт тертя; S_σ - бічна поверхня щупа:

$$S_\sigma = \pi d \Delta l, \quad (4)$$

де Δl - глибина занурення.

Напруження від стискання ґрунту:

$$\sigma_3 = \sigma_{cm} - 2\tau, \quad (5)$$

де τ - напруження зсуву.

З врахуванням складових залежності (1) сумарна сила занурення

$$F = \pi(\sigma_{cm} d^2/4 + \mu(\sigma_{cm} - 2\tau)d\Delta l),$$

На рис. 4 наведено графічні залежності зміни зусилля занурення щупа для різних типів ґрунтів для щупа діаметром 5мм для занурення до 0,3м. Дані графіки побудовані для супіску (суцільна лінія), суглинку (пунктирна лінія) і глини (штрих пунктирна). Для розрахунків обрано постійні трибо-технічний параметр $\mu = 0,3$. Цілковито очевидно, що для більш міцних ґрунтів, таких як глина, значення зусилля максимальне і може перевищувати 110Н.

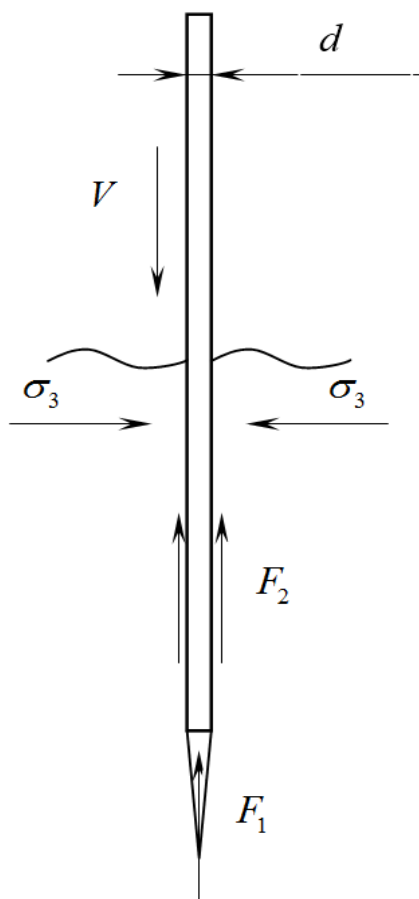


Рисунок 3 – Схема занурення щупа

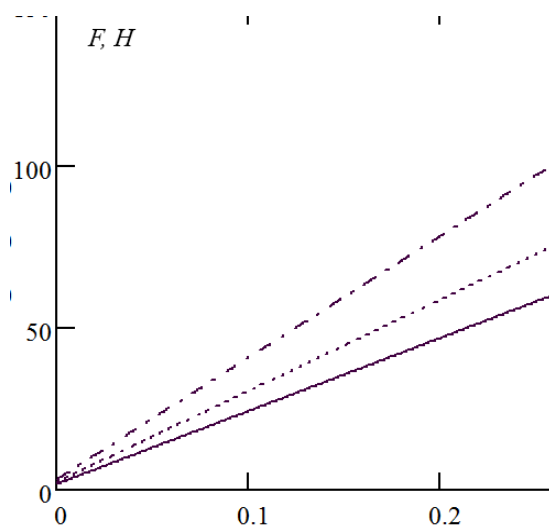


Рисунок 4 – Графік зміни зусилля для різних типів ґрунтів

Встановлення зусилля занурення при відомих значеннях швидкості дозволяє встановити потужність приводу і системи енергопостачання комплексу. Швидкість руху щупа залежить від умов проведення зондування і коливається від 0,1-0,3 м/с, що потребує 330 Вт для глинистих ґрунтів.

Висновки.

Виходячи з вищесказаного, мобільна система геотехнічного моніторингу екземптованих територій повинна містити цілий комплекс діагностичної апаратури і обладнання для проведення екологічних і геотехнічних досліджень. Характеристики засобів і апаратури вказаних досліджень взаємно доповнюють одне одного і мають високу ймовірність встановлення даних.

Застосування підходів при створенні мехатронних систем, які об'єднують такі важливі напрями розвитку науки техніки, як комп'ютерні технології, електротехніка, теорія керування і механіка, дозволить отримувати високу ймовірнісну оцінку необхідних даних.

Список використаної літератури

1. Kolibernov E.S. Spravochnik ofitsera inzhenernih voysk/ E.S. Kolibernov, V.I. Kornev, A.A. Soskov// – М.:Voенizdat, 1989.–432 s.
2. Borodulin Yu.I. Protivotankovyye i protivopohotnyie minyi / Yu.I.Borodulin, A.V.Markelenko//. – Penza, 1999. - 94 s.
3. Valetskiy O. V. Minnoe oruzhie. Voprosyi minirovaniya i razminirovaniya / O. V. Valetskiy//. – М. : Kraft, 2009. – 576 s.
4. Mentus I. E. Protyminnyy zakhyst viys'k / I. E. Mentus, V. H. Panov : zbirnyk naukovykh prats' "Trudy Akademiyi". – К.: NAOU , 2001. № 28. – S. 216-220.
5. Miniy: globalnaya ugroza zdorovyu / B. Grey, M. Henningsen, K. Lison, I. Meddoks ;]. – Moskva : 1998. – 84 s..
6. Litvin V.P. Ochistka mestnosti ot nerazorvavshihsiya boepripasov / V.P.Litvin // Nauk. vyun. 2008. - T. 17, № 1. - S. 167-171.
7. Andriyasov E. P. Organizatsiya, vooruzhenie i osnovyi boevogo primeneniya podrazdeleniy i chastey armiy inostrannyih gosudarstv/ E. P. Andriyasov, S. I. Blazhko, A. V. Markelenko // – Penza : PGUAS, 2005. – 317 s.
8. Buchanan N. Mine Warfare from a different perspective / N.Buchanan // Armada intern. 1995. - Vol. 19, N 1. - P. 20-32.

S. Denysiuk, Dr. Sc. Sciences., Prof. **ORCID** 0000-0002-6299-3680
S. Zaychenko, Dr. Sc. Sciences., Prof., **ORCID** 0000-0002-8446-5408
O. Vovk, Dr. Sc. Sciences., Prof., **ORCID** 0000-0002-7531-9847
N. Shevchuk, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0003-0355-9793
A. Danilin, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0003-3207-1156

National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

PRINCIPLES OF CREATION OF A MOBILE SYSTEM OF GEOTECHNICAL MONITORING OF THE EXEMPTED TERRITORIES

In the article the basic stages of geomhatronic complex for environmental and geotechnical monitoring of exempted technologically contaminated areas were represented. This complex peculiarities is the application of a fundamentally new method for visually automatize research of the soil conditions, that gives an innovative opportunity to detect and locate dangerous technological soil transformation. Lack operator in research area is minimized the likelihood of lesions from dangerous technological processes and devices.

Keywords: exempted territories, technogenic danger, geomhatronic complex, control system.

Надійшла 10.05.2017
Received 10.05.2017