



УДК 528.48(075.8)

**GEODESIC OBSERVATIONS OF SUBSIDENCE OF BUILDING
STRUCTURES OF THE STATE SPECIALIZED
"CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT" ENTERPRISES
ГЕОДЕЗИЧНІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ПРОСІДАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ
ДЕРЖАВНОГО СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО
ПІДПРИЄМСТВА «ЧОРНОБИЛЬСЬКА АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ»**

Titova S./ Тітова С.В.*c.g.s., as.prof. / к.з.н, доц. PhD on geographical sciences, docent**Department of Geodesy and Cartography Geography Faculty**ORCID ID: 0000-0002-9250-805X**Scopus ID: 57219950799***Mordynska A./ Мординська А.І.***student, 4 year, bachelor/студент, 4 курс, бакалавр**Department of Geodesy and Cartography Geography Faculty**Taras Shevchenko national university of Kyiv,**ave. Akademika Glushkova, 2a, Kyiv, 03127, Ukraine/**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**просп. Академіка Глушкова, 2а, м. Київ, 03127, Україна*

Анотація. В роботі розглядаються теоретичні основи визначення геодезичними методами просідання будівельних конструкцій державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція», а також обґрунтовуються методичні основи вибору зони для проведення геодезичних спостережень, надається оцінка якості землевпорядних територій із висвітленням питань практичної розробки моніторингу просідання будівельної конструкції нового безпечного конфайменту.

Ключові слова: землеустрій, геодезичні спостереження, земельна ділянка, деформаційні зміщення, будівельна конструкція.

Вступ.

Метою дослідження є проведення геодезичних спостережень просідання будівельних конструкцій Державного спеціалізованого підприємства «Чорнобильська атомна електростанція», на прикладі нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття». Визначення деформаційних зміщень та просідань є досить спірним питанням, бо в даний час досі невирішені безліч питань земельного характеру, а з початку повномасштабного російського вторгнення, ці питання набули широкої теоретичної точки зору та практичної спрямованості. В процесі їх вирішення особливо актуальним є питання забезпечення вискоєфективного науково-технічного обґрунтування питань моніторингу за вертикальними і горизонтальними зміщеннями таких інженерних конструкцій як нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття», бо цей комплекс знаходиться в досить небезпечному регіоні та має на меті тримати всі небезпечні радіаційні частки в середині, без шкоди для суспільства та навколишнього середовища. Вирішення якого передбачає відновлення якості земельних ресурсів, які були залучені до процесу його експлуатації та відновлення їх стану для збільшення термінів використання. Проведення систематичного моніторингу на основі інженерно-геодезичних спостережень за просіданням будівельних конструкцій на Державному спеціалізованому



підприємстві «Чорнобильська атомна електростанція», на прикладі будівельної конструкції комплексу нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття», може одразу знаходити певні деформації, тріщини та осідання споруди для того, щоб якнайшвидше усувати їх та в майбутньому на період експлуатації - це не викликало обвалів, зсувів та просідання землі під його фундаментом, через велику вагу та розміри даної конструкції, та в далекому майбутньому не призвело до другої масштабної катастрофи на підприємстві. Бо як відомо, чим швидше була знайдена проблема, то тим менше вона потребує витрат сили, ресурсів та часу для вирішення.

Основний текст.

Проблеми проведення інструментального інженерно – геодезичного моніторингу висвітлюються в наукових працях вітчизняних фахівців зокрема Смоля К., Волошина П., Дзуліта П., Віват А., Ісаєва О., Барана П. та інших.[2]

Так, Смолий К. у статті «Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд» оглядає класичні та більш сучасні методи дослідження деформацій.[3] А також, у відомій публікації «Моніторинг геодинамічних процесів у центральній частині Львова» П. Волошина, наведено результати проведення моніторингу деформацій земної поверхні за даними високоточного нівелювання. [4] У публікаціях «Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements» [5] та «A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction» [6] науковців та дослідників «Львівської політехніки» основну увагу було приділено підвищенню точності вимірювання деформацій за допомогою електронних та роботизованих тахеометрів. А вченими кафедри інженерної геодезії КНУБА в періодичному виданні – «Геодезичний моніторинг – з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА» [7] розглянуто саме види методів моніторингу горизонтальних та вертикальних переміщень та їх вимірювання сучасними геодезичними приладами. Застосування більш класичних методів моніторингу наведено в роботі «Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта «Укриття» на Чорнобильській АЕС» під керівництвом Барана П.І. [8] Кореляція дистанційних датчиків при проведенні моніторингу та використанні роботизованих тахеометрів дозволяє отримувати інформацію дистанційно в режимі online, що розглядає польський вчений Malesa A.M. в роботі «Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique». [9] Моніторингом деформацій зсувних процесів ґрунтових масивів займаються також і зарубіжні науковці, а саме Devendra Kumar Yadav індійський вчений статті «A Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT» [10], де виконання роботи геодезичними приладами доповнює робота інклінометра, за його дослідженням така комбінація дає значно більше інформації. На державному спеціалізованому підприємстві «Чорнобильська атомна електростанція», дослідження проводилися безпосередньо працівниками, ще до зведення нового безпечного конфайменту, для проведення геодезичних робіт та введення в експлуатацію об'єкта «Укриття» над четвертим блоком у 2006 році, які лягли в основу «Концептуальних засад організації інженерно-



геодезичних робіт при будівництві та експлуатації нового безпечного конфайменту об'єкта "Укриття" ЧАЕС» Баран, П.І. ; Сушко, В.Г. ; Чорнокінь, В.Я., [11, 78-79 с.] в даній статті наведено теоретичні дослідження похибок формоутворення металевої кругової арки нового безпечного конфайменту над об'єктом «Укриття» ЧАЕС, а також проведення дослідження та визначення методів врахування температурної деформації арки, аналіз похибок виготовлення та збирання блоків і секцій арки в єдину будівельну конструкцію, розрахунок допустимих похибок для геодезичного контролю збирання частин арки, необхідна величина точності для побудови головної планової та висотної геодезичної мережі та особисті пропозиції дослідників з організації спостережень за деформаціями споруди.

Новий безпечний конфаймент – це багатофункціональний комплекс для перетворювання об'єкта "Укриття" в екологічно безпечну систему (рисунок 1).



Рисунок 1 - Загальний вигляд комплексу нового безпечного конфайменту Чорнобильської АЕС

Джерело: [1]

Роботи з будівництва даного об'єкта були розпочаті в жовтні 2007 року, а вже в листопаді 2017 року закінчені і новий безпечний конфаймент введений в дослідно-промислову експлуатацію спостережувального пункту NOVARKA. Цей будівельний комплекс складається з 19 підструктур, включаючи основну: захисна споруда у вигляді арки із спеціальною подвійною обшивкою, а також особливі фундаменти, західну і східну торцеві стіни, нестандартні мостові крани, багатофункціональну систему вентиляції, технологічний комплекс з ділянками дезактивації, фрагментації і упаковки радіоактивних матеріалів, саншлюзи, майстерні, резервне електроживлення, системи протипожежного захисту, водоочисні споруди, радіаційний контроль, систему сейсмічного контролю і контроль стану будівельних конструкцій, систему зв'язку і промислового телебачення, засоби мобільного зв'язку та іншу інтегровану систему управління та інші допоміжні системи і технологічні приміщення.



Під терміном деформація мають на увазі змінення форми об'єкта, за яким ведуться спостереження. У практиці інженерів-геодезистів прийнято розглядати деформацію як зміну положень об'єкта щодо його початкового значення.

Деформації інженерних споруд. Причини виникнення деформацій частіше поділяють за походженням на деформації природного походження і в результаті людської діяльності. Деформація – це спотворення або зміни форми і розмірів об'єкту під дією зовнішніх впливів. Якщо об'єкт дослідження зазнає певних зсувних рухів, то відповідно головні контури змінюють своє положення в просторі, а відповідно змінюються його координати. Деформаційні процеси зазвичай проявляються - відхиленням від вертикалі (зміна планового положення – нахил, переміщення) та відхилення площини по горизонталі (зміна висотного положення, вертикальні переміщення – осідання, підйом, прогин). Для виявлення горизонтальних переміщень інженерних споруд визначають планові координати деформаційних марок та порівнюють їх з координатами в нульовому циклі вимірювання, тоді різниця координат й буде переміщенням. А вже для того, щоб виявити відхилення по вертикалі проводять вимірювання відміток осадкових марок та відповідно зрівнюють з нульовим циклом, різниця даних вважається вертикальним переміщенням.

Деформації ґрунтових масивів. Ґрунтовий масив – це територія зі складними формами рельєфу, які можуть піддаватися певним руйнуванням та обвалам під дією гравітаційних сил, гідродинамічного тиску, додаткових природних або техногенних навантажень (сейсмічних, навантажень схилу (забудова, яка там знаходиться) тощо). Моніторингом деформацій ґрунтових масивів називають комплекс інструментальних спостережень з метою виявлення зсувних процесів. Моніторинг деформацій здійснюють класичними способами (нівелюванням, лінійно-кутовим вимірюванням) та сучасними (лазерним скануванням, GNSS - моніторинг, роботизованими тахеометрами, датчиками нахилу тощо) та інструментальними інженерно-геодезичними методами з використанням деформаційних марок (аналогічно інженерним спорудам), або за допомогою інклінометрії. Якщо говорити, за актуальність моніторингу зсувних процесів ґрунтових масивів, то вона обґрунтовується збереженням та захистом територій від надзвичайних ситуацій.[2]

Геодезичному моніторингу, підлягають основи споруд, фундаменти, конструкції будівель або їх частин, об'єкти нового будівництва, інженерні мережі, підземні споруди, споруди інженерного захисту територій, території та об'єкти інфраструктури, що їх оточують. Для висотних будинків, експериментальних та складних споруд моніторинг входить до робіт з науково-технічним супроводом і є складовою частиною основного моніторингу об'єкту будівництва. Геодезичний моніторинг виконується геодезичними методами (рисунок 2) та приладами, або автоматизованими геодезичними комплексами. Проект та програму для геодезичного моніторингу розроблюють відповідно до його технічного завдання.

Склад геодезичних робіт при вимірюванні зсувів, осідань і деформацій, то він має наступний вигляд (рисунок 3).



Рисунок 2 - Графічна модель методів геодезичного моніторингу

Авторська розробка



Рисунок 3 - Графічна модель складу геодезичних робіт

Авторська розробка

Об'єктами для контролю, спостережень і технічного обслуговування будівельних конструкцій нового безпечного конфайменту є:

- фундаменти сервісної зони в період стаціонарного положення Арки на постійних опорах для ферм-арок;
- несучі конструкції Арки;
- західна і східна торцева стіни Арки;
- огорожувальні конструкції Арки (зовнішні, внутрішні обшивки Арки і західної і східної торцевих стін);
- технологічної будівлі (ТЕБ), будівлі електротехнічних пристроїв (БЕП), шлюза доступу пожежних підрозділів (ШДПП), насосної станції протипожежного водопостачання (НСПВ) та залізобетонні торцеві стіни Арки.



Контроль планово-висотного положення північного і південного фундаментів сервісної зони нового безпечного конфайменту виконується шляхом спостереження за контрольними марками, які встановлюються на конструкціях зовнішньої стіни галереї шарнірних опор (ГШО), які спираються безпосередньо на ростверки і пов'язані з ними конструктивно. Марки встановлюють з кроком близько 20 м., при цьому враховується розташування температурних швів. В цьому випадку установка контрольних марок виконується по обидва боки від нього. Всього передбачається встановити 25 контрольних марок: 12 марок на північному фундаменті (марки N 10 - N 21) і 13 контрольних марок на південному фундаменті Арки (марки S 510 - S 522). Таким чином, для геодезичних спостережень за осіданнями і деформаціями будівель і споруджень нового безпечного конфайменту встановлено 85 контрольних марок, у тому числі 25 призм-відбивачів. Висотне положення осідальних марок визначається нівелюванням II розряду (рисунок 4).

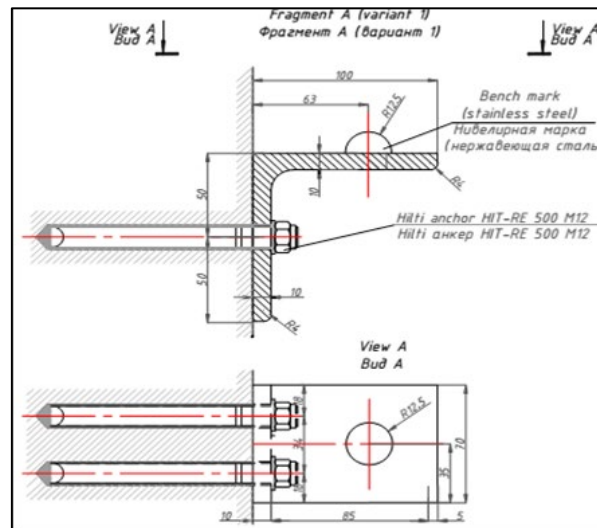


Рисунок 4 - Конструкція осідальної деформаційної марки

Джерело: [12]

Для геодезичного контролю планово-висотного положення несучих конструкцій Арки зі східної і західної сторін зовнішніх частин покрівлі Арки встановлюються відбиваючі призми в точках 7, 10, 17, 18, 26, 29 арок A_0 і N_0 (всього 12 шт., по шість - з кожної торцевої сторони Арки).

Планово-висотне положення призм визначається лінійно-кутовими засічками з пунктів геодезичної мережі нового безпечного конфайменту високоточним електронним тахеометром, схема установки (рисунок 5).

Проведення моніторингу просідання будівельних конструкцій були представлені дані за чотири цикли, перший з яких був виміряний в серпні 2018 (він вважається початковим), та всі інші виміряні починаючи з грудня 2021 року, закінчуючи листопадом 2022 року. Під час виконання кожного циклу здійснюють всі лінійно-кутові вимірювання по визначенню просторового положення контрольних марок за програмою тунельної триангуляції II-Т розряду. При цьому половина прийомів спостережень виконується в ранкові години, а друга половина прийомів – у вечірні години. Вимірювання горизонтальних кутів



проводиться способом кругових прийомів. Висотне положення контрольних марок закладених в будівлях нового безпечного конфайменту визначене геометричним нівелюванням II класу. При цьому прямий хід проводиться у першій половині дня, а зворотний – у другій. Нівелювання контрольних осадових марок виконується за програмою геометричного нівелювання II-го класу. У разі недопустимих відхилень планових або висотних координат марок порівняно з попередніми циклами проводиться серія повторних спостережень для підтвердження або спростування отриманих результатів. Також, одну з головних ролей відіграє вимірювання температури під час виконання спостережень, це виконують для виключення періодичної складової і найбільш коректного виділення температурної складової в деформаційній динаміці контрольних марок, де для усіх марок повинні будуватися чотири математичні моделі. Кожна з моделей описує деформаційні еволюції даної контрольної марки "приблизно" в одних і тих самих температурних умовах. [12]

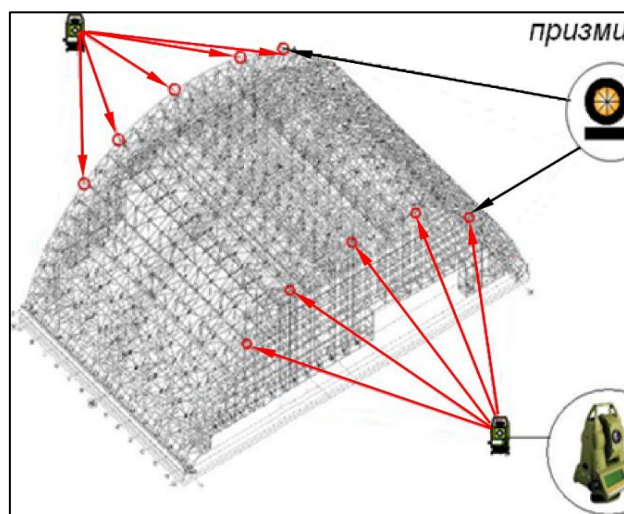


Рисунок 5 - Схема установки призм-відбивачів на конструкції нового безпечного конфайменту та принцип визначення планово-висотного положення призм

Джерело: [12]

Тобто математичні моделі для опису поведінки деформацій контрольних марок будуються відповідно до періодичності їх геодезичних спостережень. Такий підхід дозволяє спростити криві апроксимуючі експериментальні дані. Моніторинг за динамікою зміни вертикальних переміщень контрольних марок між трьома циклами досліджень встановлених на будівлі насосної станції пожежного водопроводу (НСПВ), будівлі електричних пристроїв (ЗЕУ) та технологічної будівлі (ТЕЗ) (рисунки 6,7,8).

За даними графіками динаміки вертикальних переміщень контрольних марок на різних частинах будівельної конструкції нового безпечного конфайменту, можна побачити, що всі вони мають хоч і незначні, але різного виду та складності деформації, що говорить про просідання деяких частин будівельної конструкції, але які знаходяться у межах встановленої норми.

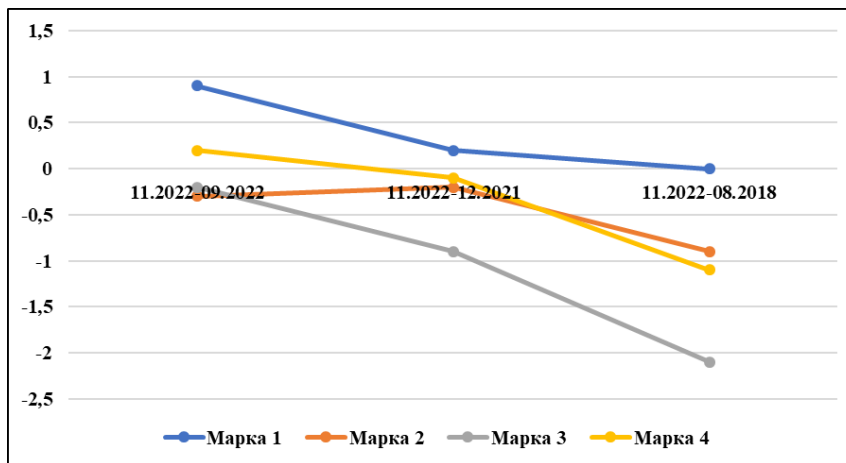


Рисунок 6 - Динаміка вертикальних переміщень контрольних марок між циклами встановлених на будівлі НСПВ

Авторська розробка

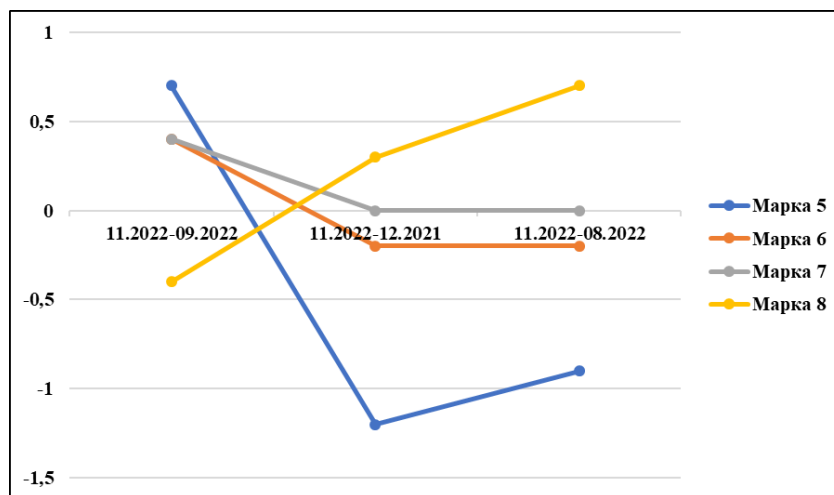


Рисунок 7 - Динаміка вертикальних переміщень контрольних марок між циклами встановлених на будівлі ЗЕУ

Авторська розробка

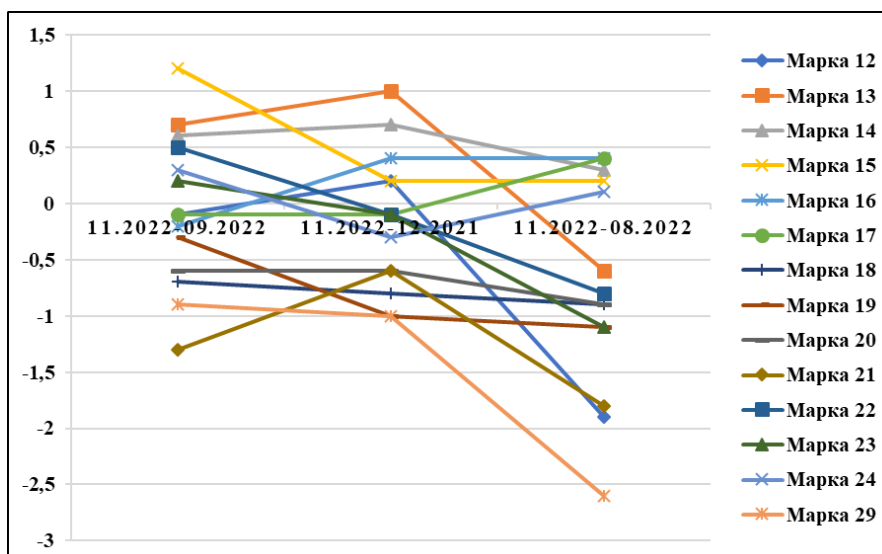


Рисунок 8 - Динаміка вертикальних переміщень контрольних марок між циклами встановлених на будівлі ТЕЗ

Авторська розробка



Висновки.

Визначено причини виникнення деформаційних зміщень та просідання будівельної конструкції нового безпечного конфайменту об'єкта «Укриття», які полягають в тому, що дана конструкція має велику масу та об'єм, а її фундамент знаходиться на так званому плавучому ґрунті – мергелі, який складається переважно з глини та вапняку, тому він не дуже підходить для зведення габаритних споруд, бо не має достатньої міцності, щоб витримати великі навантаження та не є стійким до води. Проаналізовано методи геодезичного моніторингу, які допомагають виявити причини просідань та деформацій. Найбільш точні з яких – нівелювання, автоматизовані геодезичні комплекси та лінійно-кутовий метод. Саме ці методи надають можливість визначити точність та стійкість будівельних конструкцій та забезпечити безпечність їх використання. Описано положення та кількість геодезичних марок, що контролюються на конструкції Арки об'єкта «Укриття», які розташовані на фундаменті технологічної будівлі (ТЕБ), будівлі електротехнічних пристроїв (БЕП), шлюза доступу пожежних підрозділів (ШДПП), насосної станції протипожежного водопостачання (НСПВ) та західних і східних торцевих стінках Арки у кількості 85 одиниць, 25 з яких це призми-відбивачі. Проведено моніторинг за просіданням та деформаціями будівельної конструкції Арки нового безпечного конфайменту, за яким можна визначити динаміку деформаційних зміщень та просідань в період з серпня 2018 року (початок проведення геодезичних спостережень) та до листопада 2022 (кінець проведення), за який даний об'єкт майже не зазнає значних деформаційних зміщень або просідань конструкції (вони знаходяться в межах допустимої норми).

Література:

1. НБК для ЧАЕС вартістю 1,5 млрд євро пущено в експлуатацію [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://mind.ua/news/20199560-nbk-dlya-chaes-varistytu-15-mlrd-evro-pushcheno-v-ekspluatsiyu>
2. Яковенко М., Нестеренко О. Аналіз методів геодезичного моніторингу деформацій інженерних споруд та зсувних процесів ґрунтових масивів / Яковенко М.С., Нестеренко О.В. // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Зб. наук. пр. – Київ: Вид-во КНУБА, – 2020. – Вип. 56. - с. 345-363.
3. Смолій К. Аналіз сучасних геодезичних та геотехнічних методів моніторингу за деформаціями інженерних споруд / К.Б. Смолій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», – 2015. – №1(29). – С.87-89.
4. Волошин П. Моніторинг геодинамічних процесів у центральній частині Львова / П. Волошин // Вісник Львівського університету. Серія : Географічна. - 2013. - Вип. 41. - С. 83-90.
5. Dvulit P., Dvulit Z., Sidorov I. Determination of plumb lines with using trigonometric levelling and GNSS measurements – 2019. - с. 12-19.
6. Vivat A., Tserklevych A., Smirnova O. A study of devices used for geometric



parameter measurement of engineering building construction – ISTCGCAP, – 2018. - Volume 87, Number 87 – с. 21-29.

7. Ісаєв О.П., Шульц Р.В., Білоус М.В. Геодезичний моніторинг – з досвіду виконання геодезичних робіт кафедри інженерної геодезії КНУБА / Ісаєв О.П., Шульц Р.В., Білоус М.В. // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник, – 2013. - №47. – с 265-274.

8. Баран П.І. Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта “Укриття” на Чорнобильській АЕС / П.І. Баран, В.Г. Сушко, О.В. Холодюк, В.Я. Чорнокінь // Вісник геодезії та картографії. – 1999. – № 1. – с. 18–23.

9. Malesa A.M. Monitoring of civil engineering structures using Digital Image Correlation technique - EDP Sciences, - 2010. – с. 1-8.

10. Devendra Kumar Yadav. Critical Review on Slope Monitoring Systems with a Vision of Unifying WSN and IoT - IET Wirel. Sens. Syst., - 2019. - Vol. 9 Iss. 4, - p. 167-180.

11. Концептуальні засади організації інженерно-геодезичних робіт при будівництві та експлуатації нового безпечного конфайменту об'єкта “Укриття” ЧАЕС / П.І. Баран, В.Г. Сушко, В.Я. Чорнокінь // Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля: наук.-техн. зб. — 2006. — Вип. 5. — С. 66-79.

12. Технічний звіт по геодезичним спостереженням за осіданнями і деформаціями НБК Чорнобильської АЕС цикл № 3 (09.2022 р.).

Abstract. *The paper examines the theoretical basis for determining the subsidence of construction structures of the state-owned specialized enterprise "Chernobyl Nuclear Power Plant" by geodetic methods, as well as substantiates the methodological basis for choosing a zone for conducting geodetic observations, provides an assessment of the quality of land management territories, highlighting the issues of practical development of monitoring the subsidence of a building structure of a new safe confinement.*

Key words: *land management, geodetic observations, land plot, deformation displacements, building structure.*

Стаття відправлена: 12.05.2023 р.

© Тітова С.В. Мординська А.І.