

528.48
Я66

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”

ЯНЧУК ОЛЕКСАНДР ЄВГЕНОВИЧ

(043)
УДК 528.48 ~~528.482~~

Я66

**ГЕОДЕЗИЧНИЙ МОНИТОРИНГ ТЕХНОГЕННО-НАВАНТАЖЕНИХ
ТЕРИТОРІЙ**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Національному університеті водного господарства та природокористування, Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України, м. Рівне.

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Черняга Петро Гервазійович,
Національний університет “Львівська політехніка”,
завідувач кафедри картографії та геопросторового
моделювання.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Костецька Яромира Михайлівна,
Національний університет “Львівська політехніка”,
завідувач кафедри інженерної геодезії;


кандидат технічних наук
Кучер Олег Васильович,
Науково-дослідний інститут геодезії і картографії,
перший заступник директора з наукової роботи.

Захист відбудеться “02” листопада 2011 р. о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті “Львівська політехніка” (79013, Львів-13, вул. С. Бандери, 12, ауд. 502 II навчальний корпус).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету “Львівська політехніка” (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано “01” серпня 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доцент



Б. Б. Паляниця



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Експлуатація та використання територій під житловими будинками чи промисловими об'єктами вимагає індивідуального підходу до питань визначення та врахування горизонтальних і вертикальних зміщень земної поверхні та об'єктів на ній. Тільки врахування елементів просторових рухів дасть можливість створити надійну модель прогнозування розвитку геодинамічних процесів і тим самим передбачити інженерний захист споруд та об'єктів на техногенно-навантажених територіях. У населених пунктах нашої держави виникає широкий спектр небезпечних геодинамічних явищ і процесів, тому що 60 % території України займають лесові просідні ґрунти, 3 % території вражено карстовими процесами, 4 % – зсувами, близько 24 % – підтопленням, що під дією техногенного навантаження викликає просідання або випучування земної поверхні та рухи об'єктів на ній.

Такі небезпечні геодинамічні процеси повинні підлягати контролю (особливо визначення їх кількісних характеристик), на основі якого можна виконати якісний прогноз просторового руху земної поверхні та об'єктів на ній.

Територія України насичена потенційно небезпечними промисловими об'єктами та ділянками з активними геодинамічними процесами в різних населених пунктах (береги р. Дніпро, Донбас, Кримське та Чорноморське узбережжя, Карпатський регіон). Тому ретельний контроль за розвитком геодинамічних процесів на техногенно-навантажених територіях та їхній прогноз, а також застосування заходів інженерного захисту споруд і житлових будинків був і є завжди актуальним.

Основним засобом для цього є комплексні спостереження за станом таких територій, невід'ємною складовою яких є геодезичний моніторинг. З появою нових геодезичних технологій, підвищенням їх точності, виникає потреба у вдосконаленні існуючих чи розробці нових підходів до методів виконання спостережень і опрацювання їх результатів. Завжди актуальними є питання прогнозування стану земної поверхні та споруд на основі геодезичних вимірів. Широке впровадження супутникових технологій для спостережень у міських умовах вимагає використання їх при обмеженій видимості супутників, що потребує дослідження впливу закритості небосхилу на точність визначення місцезнаходження. Саме вирішенню вищезазначених питань присвячена робота.

У розвиток теоретичних і практичних питань організації геодезичного моніторингу, впровадження новітніх технологій, оптимізації схем і методів спостережень, опрацювання та аналізу результатів, прогнозування деформацій значний внесок зробили такі вчені, як П. І. Баран, П. Й. Брайт, К. О. Буряк, М. Г. Відуєв, С. П. Войтенко, В. М. Ганьшин, Ю. П. Гуляев, Я. М. Костецька, Г. П. Левчук, В. Я. Лобазов, А. С. Мазницький, А. О. Майоров, Ю. І. Маркузе, О. І. Мороз, В. Є. Новак, А. Л. Островський, П. В. Павлів, В. К. Панкрушин, Б. Є. Резник, В. С. Староверов, І. С. Тревого, К. Р. Третьак, Ю. Є. Федосєєв, П. Г. Черняга, J. Cranenbroeck, O. Heunecke, R. Jäger, F. Sanso, W. Welsch та інші.

МБА

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вирішення проблем, пов'язаних із своєчасним виявленням осередків виникнення і розвитку небезпечних геодинамічних процесів на техногенно-навантажених територіях, є одним із найважливіших чинників переходу від системи реагування на надзвичайні події до їх попередження та забезпечення безаварійної експлуатації об'єктів народного господарства. Роботу виконано відповідно до Законів України “Про основи містобудування” від 16.11.1992 р. № 2780-XII; “Про планування та забудову територій” від 20.04.2000 р. № 1699-III; “Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру” від 08.06.2000 р. № 1809-III; Постанов Кабінету Міністрів України “Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля” від 30.03.1998 р. № 391; “Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру” від 03.08.1998 р. № 1198; “Про організацію системи оперативного контролю за зсувонебезпечними ділянками з використанням новітніх технологій” від 16.10.1998 р. №1641; Постанови Верховної Ради України “Про Основні напрями державної політики України в галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки” від 05.03.1998 р. № 188/98-ВР та інших законодавчо-нормативних актів.

Дисертаційна робота тісно пов'язана з Програмою наукових досліджень кафедри землеустрою, геодезії та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування “Прогнозування розвитку територій з врахуванням їх функціональних властивостей та впливу геодинамічних процесів” за державним реєстраційним номером 0111U001505 та науково-дослідними роботами галузевої науково-дослідної лабораторії тієї ж кафедри.

Мета і задачі дослідження: розробити теоретичні положення та практичні рекомендації щодо проектування й проведення геодезичного моніторингу, опрацювання його результатів та побудови прогностичних моделей на техногенно-навантажених територіях для забезпечення їх надійної експлуатації.

Відповідно до мети було визначено такі *задачі*:

1. Дослідити ймовірність виконання та оцінити точність визначення місцеположення з використанням GPS в умовах обмеженої видимості горизонту.
2. Встановити критерій обмеження видимості небосхилу для вибору можливості використання супутникових або традиційних методів вимірювань.
3. Дослідити точність визначення високоточним геометричним нівелюванням вертикальних рухів окремими нівелірними ходами, які опираються на тверді пункти.
4. Підвищити точність моделі прогнозування просторових рухів земної поверхні залежно від величин зміщень і часу.
5. Оцінити безпеку осідання техногенно-навантажених територій на основі даних про інженерно-геологічні умови.

Об'єкт дослідження – техногенно-навантажені території з небезпечними геодинамічними процесами та явищами.

Предмет дослідження – принципи та методи організації спостережень за небезпечними геодинамічними процесами на техногенно-навантажених територіях.

Методи дослідження ґрунтуються на використанні чисельно-аналітичного моделювання, монографічного, кореляційного та регресійного аналізу, моделювання за умов невизначеності, імітаційного моделювання.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі теоретичних і практичних досліджень удосконалено принципи геодезичного моніторингу із застосуванням супутникових технологій, використанням високоточного геометричного нівелювання та створенням моделі просторового руху земної поверхні на основі геодезичних спостережень, а саме:

- одержано залежності ймовірності та точності визначення базових ліній від величини вільної від перешкод частини небосхилу та тривалості спостережень;
- виконано аналіз точності визначення вертикальних рухів високоточним геометричним нівелюванням окремими нівелірними ходами, які опираються на тверді пункти;
- розглянуто аспекти використання методу приведення результатів геодезичних спостережень до однієї епохи на основі даних вимірювань та на основі побудованих аналітичних моделей;
- удосконалено модель прогнозування просторового руху земної поверхні залежно від величин зміщення точок і часу;
- запропоновано методику оцінювання небезпеки осідання техногенно-навантажених територій залежно від інженерно-геологічних умов на основі теорії нечітких множин.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що вони дозволяють оптимізувати та підвищити рівень геодезичного забезпечення спостережень за деформаційними процесами земної поверхні та споруд. Зокрема, на основі одержаних функціональних залежностей ймовірності та точності визначення базових ліній можливо виконувати вибір розташування пунктів GPS-спостережень з попередньою оцінкою точності визначення місцеположення. Дослідження точності визначення вертикальних рухів і модель просторового руху, а також приведення геодезичних спостережень до однієї епохи можна використовувати при проектуванні геодинамічних полігонів і опрацюванні результатів спостережень на них. Методика оцінювання небезпеки осідання техногенно-навантажених територій залежно від інженерно-геологічних умов дозволяє визначати придатність території під можливу забудову та приймати рішення щодо інженерного захисту на сформованих землекористуваннях. Розробки використовуються при проведенні геодезичного моніторингу на Рівненській АЕС та в м. Кузнецовську.

Основні положення, що виносяться на захист:

- дослідження супутникових методів і геометричного нівелювання для геодезичного моніторингу техногенно-навантажених територій;

- функціональні залежності ймовірності та точності визначення базових ліній залежно від закриття небосхилу перешкодами, тривалості видимості супутників протягом доби та інтервалу часу спостережень;
- алгоритм вибору методик геометричного нівелювання, частоти спостережень і тривалості циклу вимірювань залежно від довжини нівелірних ходів і швидкостей вертикальних рухів;
- модель прогнозування просторового руху земної поверхні залежно від величин зміщення точок і часу, доповнена новою змінною – зміщенням (осіданням) вздовж осі z;
- методика оцінювання небезпеки осідання техногенно-навантажених територій на основі теорії нечітких множин.

Особистий внесок здобувача – збір, аналіз і опрацювання статистичного матеріалу, проведення досліджень в умовах моделювання стану об'єкта, математична обробка отриманих результатів та їх аналіз. Основні положення та результати досліджень дисертаційної роботи опубліковані автором у самостійних працях [1-4] і у співавторстві, де автору належать: [6-7] – участь у розрахунках та аналізі результатів, висновках; [5, 8-10] – участь у постановці задачі, розробці методик досліджень, розрахунках та аналізі результатів, висновках.

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні положення та результати дисертаційної роботи апробовані на 14-ій та 15-ій Міжнародних науково-технічних конференціях “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва” Геофорум – 2009, 2010 (Україна, Львів-Яворів); Міжнародній науковій конференції “Культурний ландшафт і науки про Землю – основні завдання та шляхи вирішення” (Україна, Львів, 2009); XV Міжнародному ювілейному науково-технічному симпозіумі “Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS – технології” (Україна, Алушта, 2010); III Міжнародній науково-технічній конференції “Актуальні проблеми водного господарства та природокористування” (Україна, Рівне, 2009); науково-методичних семінарах кафедри землевпорядкування, геодезії та геоінформатики.

Публікації. Основні положення та результати наукового дослідження висвітлено в 10 публікаціях, з них 9 статей (у тому числі 4 одноосібних) у фахових виданнях, затверджених ВАК України та 1 тези конференції.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки, із них: 20 сторінок списку використаних джерел із 175 найменувань, 26 ілюстрацій, 20 таблиць і додатки на 37 сторінках. Додатки містять допоміжні матеріали та акти впровадження результатів досліджень за темою дисертації.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету і задачі дослідження, висвітлено наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача стосовно основних положень дисертації, наведено структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі “Організація геодезичного моніторингу на техногенно-навантажених територіях” розглянуто принципи організації й проведення геодезичного моніторингу на техногенно-навантажених територіях із небезпечними геодинамічними процесами.

Проведений аналіз наукової літератури дозволяє зробити висновок, що інтенсифікація господарської діяльності людини, розвиток промисловості, зміна природних умов територій населених пунктів і зростання міст спричиняє негативний вплив на природне геологічне середовище. Відзначено, що основними факторами, пов’язаними з сучасними тенденціями розвитку міст, які впливають на зміни геологічного середовища, є освоєння під міську забудову “незручних” територій (заболочені ділянки, засипані яри, русла річок тощо) через недостатню кількість корисної площі; збільшення поверховості та розмірів будинків; зростання динамічних навантажень на ґрунти; зростаючі тенденції освоєння підземного простору; значні антропогенні перетворення природних ландшафтів; збільшення об’ємів водовідбору з підземних водоносних горизонтів; поширення процесів техногенного підтоплення та забруднення території. Внаслідок цього активізуються небезпечні геодинамічні процеси, що призводить до значних матеріальних збитків і людських жертв. Наведено приклади проявів таких процесів на території України.

Обґрунтовано необхідність виконання комплексного моніторингу для вивчення стану земної поверхні та споруд на ній, невід’ємною складовою якого є геодезичний моніторинг. Зазначено, що з появою нових методів і засобів виконання вимірювань, значним підвищенням їх точності необхідні дослідження в питаннях проєктування програм робіт, періодичності спостережень, що дозволить повною мірою використовувати їх переваги та підвищити якість і економічність спостережень. Підвищення точності горизонтальних визначень вимагає розробки й уточнення прогностичних моделей планових і просторових зміщень.

Відзначено стрімке поширення використання супутникових вимірювань для вирішення різноманітних задач. Наведено приклади використання супутникових технологій для геодезичного моніторингу та описано переваги автоматизованих систем деформаційного моніторингу. Відмічено, що основними недоліками таких систем є їх висока вартість і необхідність забезпечення їх збереження для підтримки постійної експлуатаційної здатності. Для ділянок, де не потрібна міліметрова точність, організація автоматизованих систем моніторингу є недоцільною. Встановлено, що значною проблемою залишається виконання спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу через недостатню кількість видимих супутників. Її вирішують розташуванням приймачів на дахах будівель або за зоною забудови, розробкою засобів, що дозволяють підвищити висоту антени, використанням псевдолітів (псевдосупутників) і приймачів, здатних працювати з декількома супутниковими навігаційними системами. Відзначено, що на визначення реальної точності вимірювань у таких умовах спрямовано незначну кількість досліджень.

У другому розділі “Використання супутникових технологій для геодезичного моніторингу на техногенно-навантажених територіях” досліджено використання GPS-спостережень, з оцінкою точності визначення приростів координат базової лінії, залежно від обмеження небосхилу перешкодами, тривалості видимості супутників протягом доби та інтервалу часу спостережень.

Одним із основних завдань геодезичного моніторингу на техногенно-навантажених територіях є спостереження за просторовими рухами земної поверхні та споруд на ній. Визначення просторового положення пункту може бути виконане з використанням супутникових спостережень, однак у такому випадку потрібно розглядати кожний об’єкт окремо, залежно від вимог до точності спостереження та особливостей території. За наявності значної кількості пунктів, для одержання рішень високої точності, економічно вигідніше використовувати традиційні наземні технології. Тому нас цікавить можливість одержання рішень сантиметрової точності в умовах обмеженої видимості, при затратах часу співрозмірних із традиційними вимірюваннями. У нашій роботі виконано дослідження точності супутникових визначень місцеположення точок в умовах обмеженої видимості при спостереженнях тривалістю 0,5-2 години.

Для дослідження з web-сторінки SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) було запозичено файли добових спостережень від 30 січня 2009 року на 4 перманентні станції (P691, P695, P696, P699), які утворюють між собою вектори з приблизною довжиною 1, 4 та 7 км, розташованих на широті 46° (широта півдня України). Спостереження на них виконується двочастотними приймачами з дискретністю 15 секунд, кут відсікання при реєстрації спостережень становить 0°. За геоцентричними координати згаданих станцій, отриманими з цієї ж web-сторінки, обчислено прирости координат векторів P695-P696, P699-P696, P691-P696, використані як еталонні для порівняння зі значеннями, одержаними в результаті обчислень. Суть дослідження полягає в аналізі точності визначення приростів координат базової лінії при різних конфігураціях закриття видимості горизонту, усуваючи з файлів добових спостережень формату RINEX спостереження на супутники, видимість від яких вважали відсутньою. Опрацювання спостережень проводили з використанням програмного забезпечення Trimble Geomatics Office. При опрацюванні використовували такі параметри: модель тропосфери – Хопфілд; модель іоносфери – стандартна; ефемериди – бортові (передані); тип даних – кодові та фазові. Рішення вважали успішним, якщо базова лінія була опрацьована й стандартні характеристики оцінки точності (обчислені програмою TGO) знаходились у таких межах: відношення (ratio) >3, коефіцієнт дисперсії (reference variance) <5 та СКП (RMS) <0,02 м. Якщо хоча б одна із перерахованих умов не виконувалась, вважалось, що рішення отримане з недостатньою точністю і отримане значення не використовували в подальших обчисленнях.

На першому етапі виконано обчислення під час закритої видимості половини небосхилу почергово в північній, східній і західній частині світу, що практично відповідає моделюванню ситуації, коли роверний приймач знаходиться безпосередньо під перешкодою. Для дослідження використано файли добових

спостережень на дві перманентні станції P695 і P696, відстань між якими становить близько 1 км. Опрацювання базової лінії виконували в Trimble Geomatics Office при кутах відсікання 0° , 5° та 15° за 60-ти та 30-ти хвилинними інтервалами супутникових спостережень, які обирали рівномірно протягом доби на початку кожної години з файлу добових спостережень.

На наступному етапі моделювали ситуацію, коли роверна станція знаходиться в центрі території, довкруги якої розташовано перешкоду певної висоти. Тобто, фактично така модель відповідає умові встановлення певного кута відсікання на приймачі. Кут закритості горизонту під час опрацювання змінювали в межах від 35 до 45° з кроком 5° . Опрацювання спостережень виконували інтервалами сесій спостережень 30, 60 та 120 хвилин за двома векторами з приблизною довжиною 4 та 7 км.

На заключному етапі точність визначення місцеположення аналізували при різних варіантах розташування роверного приймача в межах території квадратної форми, оточеній за периметром перешкодою певної висоти. Обчислення виконано у 12-ти варіантах розташування приймача в межах згаданої території, абрис перешкод для яких наведено на рис. 1 та 2. Опрацювання спостережень виконували у програмі TGO інтервалами сесій спостережень 30, 60 та 120 хвилин із використанням векторів приблизною довжиною 4 та 7 км (всього опрацьовано близько 3000 сесій спостережень).

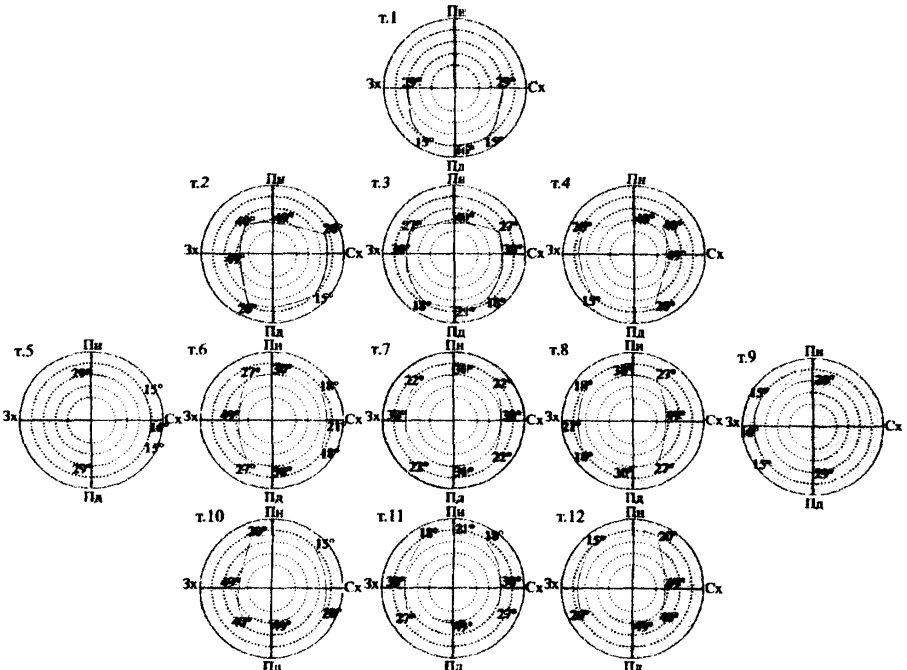


Рис. 1. Абриси перешкод при куті закриття горизонту в центральній точці порядку 26°

Визначено, що для врахування обмеження видимості необхідно встановити критерій, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Очевидно, що параметр GDOP дозволяє обрати момент найкращої геометричної конфігурації супутників у пункті спостереження з урахуванням оточуючих перешкод. Однак протягом сесії спостереження його значення може значно змінюватися, а конфігурація перешкод навколо приймача зберігається постійною. Якщо розрахувати значення DOP при розташуванні супутників у крайніх точках зони видимості на небосхилі, то таке значення може спостерігатися лише в певний момент, а після зміни положення супутників – погіршуватися. Або супутники взагалі можуть не набути такої конфігурації під час виконання спостережень. Тому представлено методику оцінювання ймовірності та точності визначення місцеположення у пункті спостереження, не прив'язуючись до конкретного часу вимірювань, що може бути корисно на етапі вибору місця розташування пунктів.

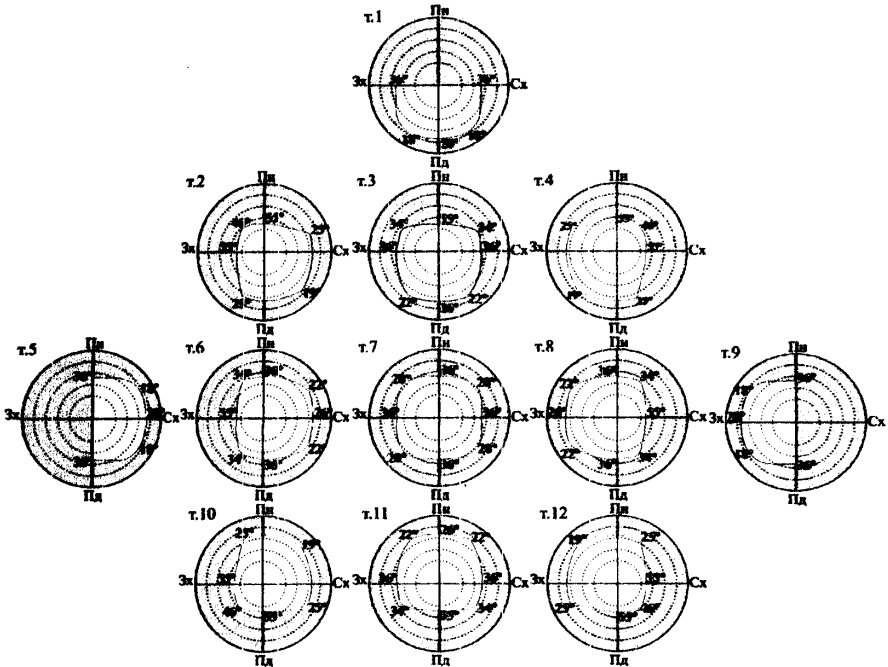


Рис. 2. Абрис перешкод при куті закриття горизонту в центральній точці порядку 32°

Для врахування тривалості видимості супутників у певному секторі небесної сфери протягом доби, необхідно встановити вагу тривалості перебування супутників у i -му секторі $p_{\text{трив}}^i$, яку пропонуємо обчислити за формулою:

$$p_{\text{трив}}^i = \frac{T_{\text{секст}}^i}{T_{\text{макс}}}, \quad (1)$$

де $P_{трив}$ – вага тривалості перебування супутників у i -му секторі; $T_{сект}$ – тривалість перебування супутників у i -му секторі, хв/добу; $T_{макс}$ – максимальне значення тривалості перебування супутників у одному зі всіх секторів, хв/добу.

Наступним кроком слід урахувати закритість видимості супутників перешкодою в кожному секторі, яку можна виразити кутом висоти v , на який закритий небосхил перешкодами. Таким же чином можна характеризувати відкритість горизонту за допомогою зенітної відстані $Z=90^\circ-v$. Чим більше значення Z – тим краще для спостережень. Остаточну вагу відкритості горизонту в кожному секторі $P_{відкр}$ представимо функцією від ваги тривалості перебування супутників у секторі та зенітної відстані. При емпіричному підборі функції ми зупинилися на такій формулі:

$$P_{відкр} = P_{трив} \cdot \sin Z. \quad (2)$$

Формула (2) характеризує вагу відкритості горизонту в секторі. Для подальших досліджень нами введено коефіцієнт відкритості горизонту $k_{відкр}$, який можна обчислити за формулою:

$$k_{відкр} = \sum_{i=1}^n P_{відкр} = \sum_{i=1}^n (P_{трив} \cdot \sin Z), \quad (3)$$

де $i = \overline{1, n}$, n – кількість секторів, на які розмічено небосхил.

На основі формули (3) обчислено коефіцієнти відкритості горизонту для 27 досліджуваних точок: 3 точки при різних кутах відсікання (35° , 40° , 45°) та 24 точки при різних конфігураціях закриття видимості (рис. 1, 2). Розмір сектора прийнято 10° . За абрисами перешкод визначено середню зенітну відстань для кожного сектора. Вагу тривалості перебування супутників $P_{трив}$ визначено в кожному 10-ти градусному секторі небесної сфери для станції р696 (значення $P_{трив}$ буде змінюватися залежно від розташування станції). Мінімальне значення коефіцієнта відкритості за таких умов становить 0 при $Z=0^\circ$, а максимальне – 13,39 при $Z=90^\circ$. Оскільки при спостереженнях не рекомендується використовувати сигнали від супутників на висоті менше 10° , то максимальне "корисне" значення коефіцієнта відкритості становить 13,19 при $Z=80^\circ$. Для досліджуваних точок обчислені значення коефіцієнта відкритості знаходяться в межах від 5,86 до 12,05.

На підставі результатів досліджень обчислено статистичну оцінку коефіцієнта кореляції між запропонованим коефіцієнтом відкритості горизонту та ймовірністю визначення базової лінії (у межах від 0,84 до 0,92) та СКП просторового, планового й висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової (у межах від -0,56 до -0,85).

Встановлено, що найкращим чином функціональні залежності ймовірності визначення базової лінії $P_{визнач}$ (%) та СКП просторового $m_{прост}$ (мм), планового $m_{план}$ (мм) та висотного $m_{вис}$ (мм) положення від значень коефіцієнта відкритості горизонту $k_{відкр}$ і тривалості спостережень t (год) описуються рівняннями:

$$P_{визнач} = (-32,52 \pm 5,44) + (47,09 \pm 4,11) \cdot t + (10,59 \pm 0,55) \cdot k_{відкр} - (3,56 \pm 0,41) \cdot t \cdot k_{відкр}, \quad (4)$$

$$m_{\text{прост}} = (35,62 \pm 2,27) - (5,33 \pm 1,72) \cdot t - (2,09 \pm 0,23) \cdot k_{\text{відкр}} + (0,33 \pm 0,17) \cdot t \cdot k_{\text{відкр}}, \quad (5)$$

$$m_{\text{плшн}} = (23,85 \pm 2,07) - (5,94 \pm 1,57) \cdot t - (1,49 \pm 0,21) \cdot k_{\text{відкр}} + (0,46 \pm 0,16) \cdot t \cdot k_{\text{відкр}}, \quad (6)$$

$$m_{\text{вис}} = (25,43 \pm 1,14) - (1,59 \pm 0,35) \cdot t - (1,41 \pm 0,11) \cdot k_{\text{відкр}}. \quad (7)$$

Наведені СКП характеризують точність визначення просторового, планового та висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової за умови опрацювання вектора та з урахуванням впливу лише фізичного обмеження радіовидимості супутників. При вимірюваннях у реальних умовах будуть накопичуватися й інші похибки, які потрібно оцінювати додатково. Для уточнення коефіцієнтів запропонованих рівнянь бажано провести додаткові дослідження на інших векторах, при більших діапазонах тривалостей сесій спостережень і довжинах векторів. Наведені рівняння (4)-(7) одержані для тривалості сесій спостереження від 0,5 до 2 годин, довжин базових ліній від 4 до 7 км і коефіцієнта відкритості від 5,86 до 12,05. Точність апроксимації становить 6,6 % для виразу (4), 2,7 мм для виразу (5), 2,5 мм для виразу (6) та 2,7 мм для виразу (7).

Одержані рівняння можна використовувати на етапі проектування GPS-вимірювань при виборі місця розташування пункту спостережень залежно від величини відкритої частини небосхилу. Запропоновану методику визначення придатності пункту до GPS-спостережень із необхідною точністю представлено наведеною на рис. 3 схемою.



Рис. 3. Модель IDEF0 визначення придатності пункту до GPS-спостережень

У третьому розділі “Вдосконалення методів геодезичного моніторингу та опрацювання результатів вимірювань” розглянуто питання, пов’язані з розрахунком точності геометричного нівелювання, прогнозуванням просторових рухів і оцінюванням стійкості території.

У рамках ведення геодезичного моніторингу значну увагу слід приділяти спостереженням за вертикальними рухами земної поверхні та споруд. У попередньому розділі нами встановлено, що використання супутникових

технологій для геодезичного моніторингу техногенно-навантажених територій можливе лише при значних величинах зміщень. Оскільки точність визначення висотного положення за допомогою GPS нижча від планового, то для високоточних спостережень за вертикальними зміщеннями необхідно використовувати класичні методи, найдосконалішим із яких є високоточне геометричне нівелювання. Враховуючи, що на території України швидкості вертикальних рухів переважно знаходяться в межах 1-5 мм/рік, визначати їх на основі повторних вимірів за невеликий проміжок часу можливо лише за умови, що вимірювання будуть проводити з точністю до 1 мм. Оскільки вимірювання виконують не миттєво, а за деякий проміжок часу, виникає також питання можливої тривалості окремого циклу вимірювань та їх зсуву в часі для мінімізації впливу на точність визначення швидкостей вертикальних рухів. Встановлення необхідної та достатньої точності вимірювань важливо і для вибору методів та приладів вимірювань, що в кінцевому результаті визначає затрати часу та коштів на виконання спостережень. Тому нами проведено аналіз можливості визначення рівномірних вертикальних рухів залежно від методики геометричного нівелювання, довжин ходів і частоти спостережень. Встановлено, як впливає на точність визначення швидкостей тривалість окремого циклу спостережень та подано рекомендації щодо його можливої тривалості.

Для поодиноких висячих нівелірних ходів використано відомі формули очікуваних граничної середньої квадратичної похибки перевищення δ_h та різниці перевищень $\delta_{\Delta h}$ для висячого ходу з n станцій:

$$\delta_h^2 = \eta_h^2 \cdot n + \sigma_h^2 \cdot n^2, \quad (8)$$

$$\delta_{\Delta h}^2 = \eta_{\Delta h}^2 \cdot n + \sigma_{\Delta h}^2 \cdot n^2, \quad (9)$$

де η_h , σ_h – відповідно випадкова та систематична граничні похибки перевищення на станції, що враховують 10 випадкових і 5 систематичних джерел похибок; $\eta_{\Delta h}$, $\sigma_{\Delta h}$ – відповідно випадкова та систематична граничні похибки різниці перевищень у сусідніх циклах.

Для встановлення відносної похибки визначення швидкості вертикальних рухів залежно від їх швидкості, довжин ходів і частоти спостережень використано відому формулу:

$$\left(\frac{m_v}{v}\right)^2 = \left(\frac{m_{\Delta S}}{\Delta S}\right)^2 + \left(\frac{m_{\Delta t}}{\Delta t}\right)^2, \quad (10)$$

де m_v , $m_{\Delta S}$ та $m_{\Delta t}$ – похибки визначення швидкості, вимірювань і тривалості вимірювань відповідно; v , ΔS та Δt – швидкість вертикальних рухів, величина зміщень і відрізок часу між повторними вимірами відповідно.

На основі формул (8)-(10) нами обчислено відносні похибки визначення швидкостей вертикальних рухів за допомогою поодиноких висячих ходів (довжиною 2000 м, 1000 м, 500 м, 300 м, 200 м, 150 м, 100 м та 50 м), при рівномірній швидкості осідання 0,5 мм/рік, 1 мм/рік, 1,5 мм/рік, 2 мм/рік, 3 мм/рік та 5 мм/рік та частоті спостережень 1, 2, 3 та 4 рази/рік залежно від методики геометричного нівелювання (II класу, I класу, I класу коротким

променем, прецизійне нівелювання, прецизійне нівелювання коротким променем). Врахувавши у формулі (10) неодноразовість вимірювань, нами встановлено максимальну тривалість циклу спостережень, за наведених вище умов, вплив якої збільшує відносну похибку визначення швидкості вертикальних рухів не більше, ніж на 1/20.

Подібні обчислення відносних похибок визначення швидкості вертикальних рухів і тривалості циклу спостережень виконано для випадку окремого нівелірного ходу, який опирається на тверді пункти. Для найслабшого місця ходу (його середини) одержано такі формули:

$$\delta_{h_e}^2 = \frac{2\eta_h^2 \cdot n + \sigma_h^2 \cdot n^2}{8}, \quad (11)$$

$$\delta_{\Delta h_e}^2 = \frac{2\eta_{\Delta h}^2 \cdot n + \sigma_{\Delta h}^2 \cdot n^2}{8}. \quad (12)$$

Обчислення виконано для поодиноких нівелірних ходів, які опираються на тверді пункти, довжиною 4000 м, 2000 м, 1000 м, 500 м, 300 м, 200 м, 150 м та 100 м для зазначених вище методик нівелювання, швидкостей вертикальних рухів і частот спостережень.

Запропонований алгоритм вибору методики геометричного нівелювання, частоти спостережень і тривалості циклу вимірювань залежно від довжини нівелірних ходів і швидкостей вертикальних рухів можна представити наведеною схемою (рис. 4).

Зауважимо, що в наведених розрахунках прийнято рівномірний характер рухів при визначенні величин зміщень, оскільки при плануванні програми спостережень, як правило, швидкості визначають із двох попередніх вимірювань. У процесі накопичення результатів спостережень може відбуватися уточнення моделі перебігу вертикальних рухів. Тоді розрахунки виконують за представленим алгоритмом, обчислюючи величини зміщень за обраною (уточненою) моделлю вертикальних рухів. Аналогічно, знаючи характер рухів (довгоперіодичні, короткоперіодичні, ...), за наведеним алгоритмом можна розраховувати необхідну частоту спостережень таким чином, щоб точність вимірювань дозволяла визначати величини зміщень.

Виконання спостережень за осіданнями та просторовими зміщеннями різними виконавцями, у різні періоди часу, з різною тривалістю циклів спостережень порушує сприйняття всього комплексу об'єктів як єдиного цілого та ускладнює аналіз даних і оцінку його стану в цілому. Тому, актуальним є питання про приведення результатів геодезичних спостережень до однієї епохи. Нами розглянуто особливості використання відомого методу для приведення результатів геодезичних вимірювань до однієї епохи на основі лише даних вимірювань і на основі аналітичних моделей зміщень окремих елементів об'єкта спостережень. Описаним методом можна опрацьовувати як дані осідань, так і просторових зміщень. Це дає змогу оцінювати положення і стан спостережуваних об'єктів у комплексі, адже для побудови достовірної моделі зміщень всього комплексу об'єктів необхідно враховувати їх у взаємозв'язку.

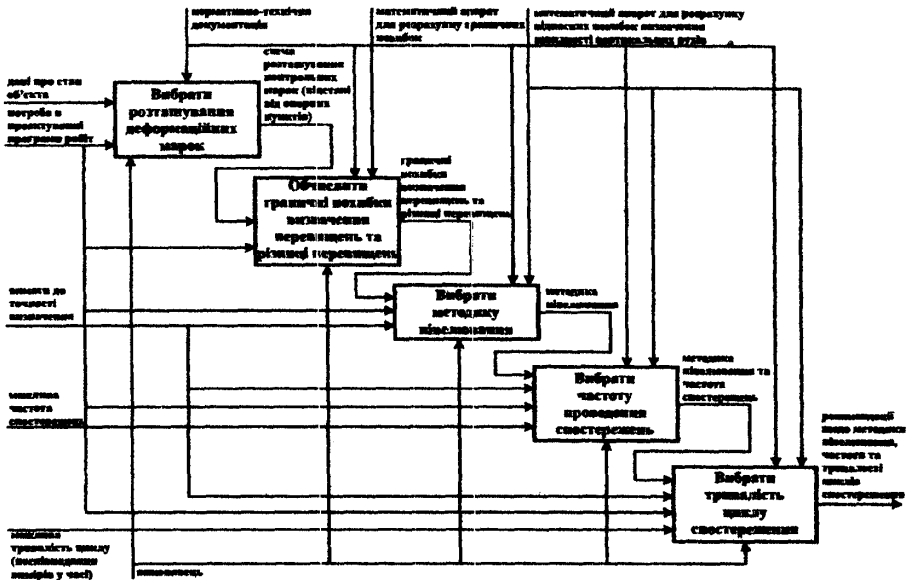


Рис. 4. Модель IDEFO алгоритму вибору методики геометричного нівелювання, частоти спостережень та тривалості циклу вимірювань

Важливим питанням при вивченні стану земної поверхні та споруд на ній є прогнозування їх просторових зміщень. Тому нами вдосконалено відомий метод прогнозування просторових рухів на основі даних спостережень шляхом введення додаткового параметру – зміщення (осідання) вздовж осі z . Отримано такий вираз для прогнозування просторових зміщень ΔL :

$$\Delta L = f(x, y, z, t) = \sum_{k=1}^{k_1} \sum_{l=1}^{l_1} \sum_{m=1}^{m_1} \sum_{n=1}^{n_1} A_{klmn} x^{k-1} y^{l-1} z^{m-1} t^{n-1}. \quad (13)$$

Наведена формула (13) є системою лінійних алгебраїчних рівнянь з k_1, l_1, m_1, n_1 невідомими відносно коефіцієнтів A_{klmn} , які визначають за методом найменших квадратів.

Перевірено ефективність такої методики на основі 20-ти серій геодезичних спостережень за ділянкою між 262 та 263 км траси Броди-Ужгород нафтопроводу "Дружба". У порівнянні з моделлю $f(x, y, t)$, навіть при використанні однакової кількості коефіцієнтів, похибка апроксимації зменшується у півтора рази, а точність прогнозу підвищується майже в два рази.

Небезпека осідання земної поверхні значною мірою залежить від інженерно-геологічних умов території, які є визначальними для прояву локальних геодинамічних процесів. Як математичний апарат для вирішення задачі оцінювання небезпеки осідання території з урахуванням множини факторів пропонуємо використовувати метод моделювання за умов нечіткої вихідної інформації. Запропонована методика представлена схемою, наведеною на рис. 5.

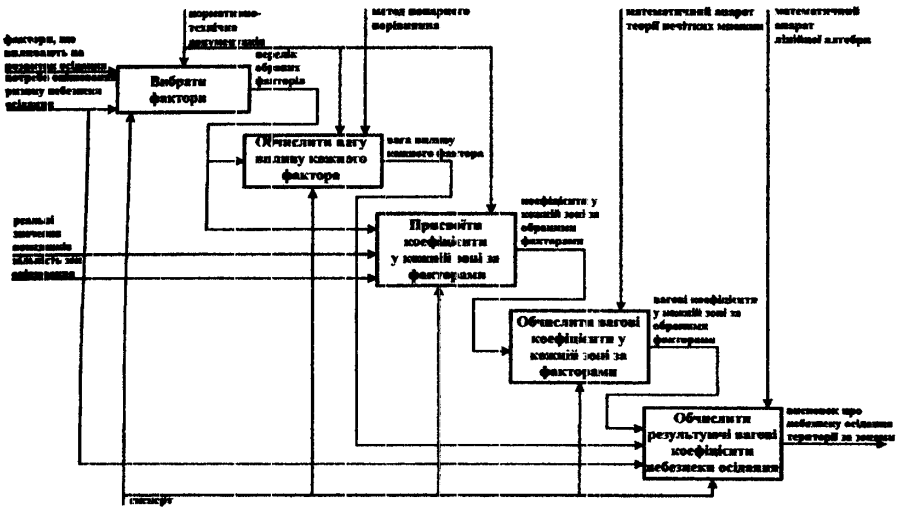


Рис. 5. Модель IDEF0 оцінювання небезпеки осідання територій

У дослідженні використано відомості про геологічні розрізи на 9-ти свердловинах м. Кузнецовська та дані про зміну рівня ґрунтових вод у них. Нами обрано 3 фактори: A_1 – стійкість підстилаючих порід, A_2 – рівень ґрунтових вод, A_3 – навантаження від споруд, за якими виставлено оцінки в кожній з 9 обраних зон (за кількістю наявних свердловин). За допомогою програмного комплексу MathCAD обчислено власні вектори матриць, які є ваговими коефіцієнтами кожного з факторів за зонами. Результуючу матрицю вагових коефіцієнтів небезпеки осідання розраховано при рівнозначному впливі факторів A_1, A_2, A_3 . Результати проведеного кореляційного аналізу підтвердили наявність залежності між величинами вагових коефіцієнтів небезпеки осідання (обчисленими за запропонованою методикою) та швидкістю осідання будівель, визначеною з незалежних даних геодезичних спостережень, що ведуть протягом 20-ти років.

Представлена методика може знайти застосування при плануванні забудови населених пунктів, управлінні територіями, грошовій оцінці земель і нерухомості. У разі потреби її можна легко розширити для врахування більшої кількості факторів, які впливають на стійкість території.

У сучасних умовах науково-технічний прогрес обумовлює нові вимоги до геодезичного забезпечення територій, зокрема використання методів геоінформатики. Обґрунтовані рішення з управління і розвитку територій неможливо приймати без урахування великої кількості містобудівних факторів. Взаємозв'язок усієї необхідної інформації потребує багато часу, що призводить до зниження оперативності прийняття рішення, а інколи і до неточностей. Тому ми наводимо концептуальну схему геоінформаційного забезпечення задач управління територіями на основі даних моніторингу, яка має складатися з таких основних функціональних блоків: блок проектування програми спостережень;

блок збору вихідних даних; блок опрацювання результатів спостережень; блок прогнозування стану об'єкта та території; блок відтворення і візуалізації інформації; блок інформування про стан території та надання пропозицій. Кінцевою метою організації подібної системи має бути програма заходів, спрямованих на підвищення рівня безпеки будівель і споруд, розміщених на територіях із небезпечними геодинамічними процесами. Рішення, представлені в нашій роботі, можна розглядати як можливі алгоритми при вирішенні завдань окремих блоків. Наприклад, алгоритми визначення придатності пункту до GPS-спостережень із необхідною точністю та вибору методики геометричного нівелювання, частоти спостережень і тривалості циклу вимірювань можна використовувати в 1-му блоці; приведення інформації до єдиної епохи – у 3-му блоці; моделі прогнозування просторових рухів та оцінювання небезпеки осідання територій – у 4-му блоці.

ВИСНОВКИ

Отримані основні наукові та практичні результати виконаних досліджень можна сформулювати наступним чином:

1. Виконано комплексні дослідження застосування супутникових технологій і геометричного нівелювання для геодезичного моніторингу техногенно-навантажених територій.

2. Досліджено точність GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості короткобазисними векторами на основі опрацювання близько 3000 сесій спостережень. Доведено можливість використання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту для геодезичних робіт, які потребують СКП планового визначення на рівні 1-2 см, з тривалістю сесій до 2 годин.

3. Встановлено функціональні залежності ймовірності та точності визначення базових ліній залежно від значення запропонованого коефіцієнта відкритості горизонту та тривалості спостережень. Точність апроксимації становить 6,6 % для ймовірності визначення базової лінії та знаходиться в межах 3 мм для оцінки точності визначення складових векторів. Така методика дозволяє визначати придатність пункту до виконання GPS-спостережень із необхідною точністю та приймати рішення про використання супутникових або традиційних методів спостережень на основі величини вільної від перешкод частини небосхилу з врахуванням ваги перебування супутників у ній протягом доби.

4. Наведено комплексну методику визначення точності геометричного нівелювання окремими нівелірними ходами, що опираються на тверді пункти, залежно від класу нівелювання, довжини ходів і частоти спостережень. Рекомендовано оптимальну тривалість циклів спостережень геометричного нівелювання для мінімізації впливу на точність кінцевих результатів.

5. Представлено удосконалену модель прогнозування просторових рухів земної поверхні на основі даних геодезичних спостережень, що підвищує точність апроксимації та прогнозу просторових зміщень у 1,5-2 рази.

6. Запропоновано методику оцінювання небезпеки осідання техногенно-навантажених територій із використанням теорії нечітких множин, яка може

знайти застосування при плануванні забудови, управлінні територіями, грошовій оцінці земель і нерухомості. Встановлено наявність кореляційного зв'язку (оцінка коефіцієнта кореляції 0,80) між коефіцієнтами небезпеки осідання та абсолютними величинами швидкості осідання, обчисленими за незалежними результатами 20-річних геодезичних спостережень.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях

1. Янчук О. Є. Планування GPS-спостережень за допомогою програми PLANNING / О. Є. Янчук // Вісник геодезії та картографії. – 2009. – № 3. – С. 11–13.
2. Янчук О. Є. Дослідження точності GPS-спостережень на забудованих територіях / О. Є. Янчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Рівне, 2009. – Вип. 4 (48). – С. 300–307.
3. Янчук О. Є. Дослідження точності GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту / О. Є. Янчук // Інженерна геодезія: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 55. – С. 224–235.
4. Янчук О. Є. Попереднє оцінювання впливу обмеженої видимості горизонту на точність GPS-спостережень / О. Є. Янчук // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – № 4. – С. 3–7.
5. Черняга П. Г. Вдосконалення моделі просторового руху земної поверхні / П. Г. Черняга, О. Є. Янчук // Інженерна геодезія: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2008. – Вип. 54. – С. 232–237.
6. Черняга П. Метод приведення геодезичних спостережень до однієї епохи / П. Черняга, О. Янчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2009. – Вип. 1 (17). – С. 98–102.
7. Черняга П. Г. Дослідження точності GPS-спостережень при закритих частинах горизонту / П. Г. Черняга, О. Є. Янчук // Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвідомчий наук.-техн. зб. – Л., 2009. – № 71. – С. 99–107.
8. Шульган Р. Б. Оцінка небезпеки осідань території в населених пунктах методом моделювання за умов невизначеності / Р. Б. Шульган, О. Є. Янчук // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 36. – С. 509–517.
9. Янчук О. Урахування закритості горизонту під час GPS-спостережень для земельно-кадастрової інвентаризації земель населених пунктів / О. Є. Янчук, П. Черняга, Ю. Голубінка // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2010. – Вип. 1 (19). – С. 56–61.

Тези доповідей, матеріали наукових конференцій

10. Янчук О. Проведення GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту / О. Янчук, П. Черняга // Збірник матеріалів XV Міжнародного ювілейного науково-технічного симпозіуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології". – Львів, 2010. – С. 8–10.

АНОТАЦІЯ

Янчук О. Є. Геодезичний моніторинг техногенно-навантажених територій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, 2011.

Виконано комплексні дослідження застосування супутникових технологій і геометричного нівелювання для геодезичного моніторингу техногенно-навантажених територій. Досліджено ймовірність виконання та точність визначення місцеположення з використанням GPS в умовах обмеженої видимості горизонту. Одержано функціональні залежності для визначення придатності пункту спостереження до визначення координат із необхідною точністю залежно від фізичного закриття небосхилу перешкодами, тривалості видимості супутників та інтервалу часу спостережень. Розраховано точність визначення високоточним геометричним нівелюванням вертикальних рухів окремими нівелірними ходами, що опираються на тверді пункти, з використанням сучасних методів і засобів вимірювань. Удосконалено модель прогнозування просторових зміщень земної поверхні. На основі теорії нечітких множин запропоновано методику оцінювання безпеки осідань території залежно від інженерно-геологічних умов.

Ключові слова: геодезичний моніторинг, техногенно-навантажені території, GPS-спостереження, обмежена видимість горизонту, геометричне нівелювання, прогнозування просторових зміщень, оцінка безпеки осідання.

АННОТАЦИЯ

Янчук А. Е. Геодезический мониторинг техногенно-нагруженных территорий. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – Геодезия, фотограмметрия и картография. – Национальный университет “Львовская политехника”, Львов, 2011.

Выполнены комплексные исследования применения спутниковых технологий и геометрического нивелирования для геодезического мониторинга техногенно-нагруженных территорий. Исследовано вероятность выполнения и точность определения местоположения с использованием GPS в условиях ограниченной видимости горизонта путем обработки около 3000 сессий наблюдений. Получены функциональные зависимости для определения пригодности пункта наблюдения к определению координат с необходимой точностью в зависимости от физического закрытия небосклона препятствиями, длительности видимости спутников и интервала времени наблюдений. Предложен коэффициент для оценки значения открытости горизонта с учетом веса пребывания спутников в конкретном секторе небосклона. Рассчитана точность определения высокоточным геометрическим нивелированием вертикальных движений отдельными нивелирными ходами, которые опираются на твердые пункты, с использованием современных методов и средств измерений в зависимости от класса и методики нивелирования, длины ходов, скоростей вертикальных

движений и частоты наблюдений. Представлены рекомендации относительно выбора оптимальной длительности циклов наблюдений геометрического нивелирования, для минимизации влияния на точность результатов. Рассмотрены аспекты использования метода приведения результатов геодезических наблюдений к одной эпохе на основании данных измерений, и на основании построенных аналитических моделей. Усовершенствована модель прогнозирования пространственных смещений земной поверхности на основании данных геодезических наблюдений, что повышает точность аппроксимации и прогноза пространственных смещений в 1,5-2 раза. На основании математического моделирования в условиях неопределенности предложена методика оценивания опасности оседаний территории в зависимости от инженерно-геологических условий, проверенная на реальных данных наблюдений.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, техногенно-нагруженные территории, GPS-наблюдения, ограниченная видимость горизонта, геометрическое нивелирование, прогнозирование пространственных смещений, оценка опасности оседания.

ANNOTATION

Yanchuk A. E. Geodetic monitoring of technologically impacted territories. – Manuscript.

Thesis for academic degree of candidate of technical sciences in speciality 05.24.01 – Geodesy, photogrammetry and cartography. – National university “Lviv politechnika”, Lviv, 2011.

Comprehensive research of satellite technologies and geometrical leveling application is carried out for the geodetic monitoring of technologically impacted territories. Probability of implementation and accuracy of position computation with the use of GPS under the conditions of limited horizon visibility is investigated. Functional relations are got for determination of observation station usefulness for coordinates computation with the required accuracy depending on the physical ceiling of the sky by obstacles, duration of satellite visibility and time slice of observations. The accuracy of vertical motions determination with highly precise geometrical leveling is calculated by separate leveling line based on fixed points, with the use of modern methods and means of measurements. The model of earth crust spatial displacements prognostication has been improved. On the basis of indecipherable set theory, the method of settlement area sagging risk estimation is suggested depending on geological-engineering conditions.

Key words: geodetic monitoring, technologically impacted territories, GPS-observations, limited horizon visibility, geometrical leveling, prognostication of spatial displacements, estimation of sagging risk.