



Universitatea Tehnică a Moldovei

EVALUAREA COMPLEXĂ A STABILITĂȚII PANTELOR PE BAZA MĂSURĂTORILOR GEODEZICE ȘI A TESTELOR GEOTEHNICE

Student: Cristeva Iulia

**Coordonator: Pantaz Alexandru
Lector Universitar**

Chișinău, 2026

ADNOTARE

la teza de licență cu tema

„EVALUAREA COMPLEXĂ A STABILITĂȚII PANTELOR PE BAZA MĂSURĂTORILOR GEODEZICE ȘI A TESTELOR GEOTEHNICE”, autor Cristeva Iulia

Teza de licență este dedicată cercetării metodelor de evaluare a stabilității versanților utilizând tehnologii geodezice și geotehnice moderne. Actualitatea temei este determinată de necesitatea monitorizării proceselor de deformare în zonele cu relief complex și cu potențial risc de dezvoltare a alunecărilor de teren.

Cuvinte-cheie: stabilitatea versanților, monitorizare geodezică, geomonitoring, deformații ale terenului, fotogrammetrie UAV, măsurători GNSS, investigații geotehnice.

Scopul lucrării constă în analiza stabilității versantului studiat pe baza măsurătorilor topo-geodezice, prelucrării datelor spațiale și determinării posibilelor deplasări ale masivului de sol.

În primul capitol sunt analizate bazele teoretice ale geodeziei și monitorizării geologice, principalele metode ale măsurătorilor geodezice, precum și rolul datelor geodezice în studierea proceselor de deformare.

În capitolul al doilea sunt prezentate tehnologiile moderne de executare a lucrărilor geodezice utilizând stația totală Leica TS16, receptorul GNSS Leica GS18 și vehiculul aerian fără pilot DJI Phantom 4 Pro.

Capitolul al treilea conține partea practică a cercetării, realizată pe un sector situat pe strada Schinoasa Vale din localitatea Codru. Sunt descrise efectuarea măsurătorilor satelitare și tahimetrice în două perioade de timp, analiza coordonatelor punctelor de control și calcularea incrementelor coordonatelor și a valorilor deplasărilor. Suplimentar, a fost realizată aerofotografierea teritoriului și construit modelul digital al reliefului în programul specializat Agisoft Metashape.

În cadrul cercetării au fost utilizate metode de analiză comparativă, prelucrare a datelor coordonatelor, prelucrare fotogrammetrică a imaginilor și analiză a proceselor de deformare. Rezultatele obținute au permis evaluarea stării actuale a versantului analizat și identificarea sectoarelor cu cele mai pronunțate deplasări.

Cercetarea efectuată a demonstrat că aplicarea unei abordări complexe, bazate pe combinarea măsurătorilor satelitare, ridicărilor tahimetrice și aerofotogrammetriei, permite creșterea preciziei și a gradului de informativitate în monitorizarea versanților.

ABSTRACT

to the license thesis with the theme

«COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF SLOPE STABILITY BASED JN GEODETIC MEASUREMENTS AND GEOTECHNICAL TESTING », author Cristeva Iulia

The license thesis is dedicated to the study of slope stability assessment methods using modern geodetic and geotechnical technologies. The relevance of the topic is determined by the necessity of monitoring deformation processes in areas with complex relief and a potential risk of landslide development.

Keywords: slope stability, geodetic monitoring, geomonitoring, ground deformations, UAV photogrammetry, GNSS measurements, geotechnical investigations.

The aim of the thesis is to analyze the stability of the investigated slope based on topographic and geodetic measurements, spatial data processing, and determination of possible soil mass displacements.

The first chapter examines the theoretical foundations of geodesy and geological monitoring, the main methods of geodetic measurements, as well as the role of geodetic data in the study of deformation processes.

The second chapter presents modern technologies for performing geodetic works using the Leica TS16 total station, Leica GS18 GNSS receiver, and DJI Phantom 4 Pro unmanned aerial vehicle.

The third chapter contains the practical part of the research carried out on a site located on Schinoasa Vale Street in Codru. It describes the implementation of satellite and total station measurements during two observation periods, the analysis of control point coordinates, and the calculation of coordinate increments and displacement values. In addition, aerial surveying of the territory was performed and a digital terrain model was created using the specialized software Agisoft Metashape.

During the research, methods of comparative analysis, coordinate data processing, photogrammetric image processing, and deformation process analysis were applied. The obtained results made it possible to assess the current condition of the investigated slope and identify the areas with the most significant displacements.

The conducted research demonstrated that the application of an integrated approach based on the combination of satellite measurements, total station surveying, and aerial photogrammetry increases the accuracy and informativeness of slope monitoring.

АННОТАЦИЯ

к дипломной работе на тему

«КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ НА ОСНОВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ»

автор Крестева Юлия

Дипломная работа посвящена исследованию методов оценки устойчивости склонов с использованием современных геодезических и геотехнических технологий. Актуальность темы связана с необходимостью контроля деформационных процессов на территориях со сложным рельефом и потенциальной опасностью развития оползней.

Ключевые слова: устойчивость склонов, геодезический мониторинг, геомониторинг, деформации земной поверхности, фотограмметрия БПЛА, GNSS-измерения, геотехнические исследования.

Цель работы заключается в анализе устойчивости исследуемого склона на основе топогеодезических измерений, обработки пространственных данных и определения возможных смещений грунтового массива.

В первой главе рассмотрены теоретические основы геодезии и геологического мониторинга, основные методы геодезических измерений, а также роль геодезических данных при изучении деформационных процессов.

Во второй главе представлены современные технологии выполнения геодезических работ с использованием электронного тахеометра Leica TS16, GNSS-приёмника Leica GS18 и беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 Pro.

Третья глава содержит практическую часть исследования, выполненного на участке по улице Скиноаса Вале в районе Кодру. Описаны выполнение спутниковых и тахеометрических измерений в два временных периода, произведён анализ координат контрольных точек и вычислены приращения координат и величины смещений. Дополнительно проведена аэрофотосъёмка территории и построена цифровая модель рельефа в специализированной программе Agisoft Metashape.

В ходе исследования были использованы методы сравнительного анализа, обработки координат данных, фотограмметрической обработки изображений и анализа деформационных процессов. Полученные результаты позволили оценить текущее состояние исследуемого склона и выявить участки с наиболее выраженными смещениями.

Проведённое исследование показало, что применение комплексного подхода, основанного на сочетании спутниковых измерений, тахеометрической съёмки и аэрофотограмметрии, позволяет повысить точность и информативность мониторинга склонов.

Оглавление

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ..... | 11 |
| 1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА ДЛЯ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ В РАМКАХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА | 13 |
| 1.1 Теоретическая основа для топогеодезических работ | 13 |
| 1.1.1 Определение и история возникновения геодезии | 13 |
| 1.1.2 Основные задачи геодезии | 14 |
| 1.1.3 Методы и виды геодезических измерений | 15 |
| 1.1.4 Роль геодезии в геологическом мониторинге | 17 |
| 1.2 Понятие геологического мониторинга и его задачи | 19 |
| 1.2.1 Понятие склонов и устойчивости склонов | 20 |
| 1.3 Взаимосвязь топогеодезических и геологических данных при мониторинге..... | 21 |
| 2 ТЕХНОЛОГИИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ | 23 |
| 2.1 Геодезические измерения с использованием тахеометра | 23 |
| 2.1.1 Электронный тахеометр Leica TS16..... | 26 |
| 2.2 Геодезические измерения с использованием GNSS-приёмника | 30 |
| 2.2.1 GNSS-приёмник Leica GS18..... | 32 |
| 2.3 Геодезические измерения с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) | 33 |
| 2.3.1 Дрон DJI Phantom 4 Pro | 35 |
| 3 КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ НА ОСНОВЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ..... | 37 |
| 3.1 Вводные данные о районе исследования | 37 |
| 3.1.1 Характеристика рельефа и высот исследуемого участка | 38 |
| 3.1.2 Влияние рельефа на устойчивость склонов..... | 38 |
| 3.1.3 Характеристика грунтов исследуемого участка по данным бурения и лабораторных исследований | 39 |
| 3.2 Выполнение геодезических измерений и обработка полученных данных..... | 40 |
| 3.2.1 Создание исходной геодезической основы | 41 |
| 3.2.2 Выполнение первичной тахеометрической съёмки..... | 42 |
| 3.2.3 Проведение повторных геодезических измерений | 45 |
| 3.2.4 Обработка результатов геодезических измерений..... | 46 |
| 3.2.5 Выполнение аэрофотосъёмки исследуемого участка | 47 |
| 3.2.6 Обработка аэрофотоснимков | 48 |
| 3.2.7 Анализ результатов мониторинга | 53 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 55 |
| БИБЛИОГРАФИЯ..... | 56 |

| | | | | | | | | |
|--------------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------|---|-----------------|--------------|-------------|
| | | | | | UTM 0731.2 007 ME | | | |
| <i>Mod.</i> | <i>Coala</i> | <i>Nr. doc.</i> | <i>Semnăt.</i> | <i>Data</i> | | | | |
| <i>Elaborat</i> | <i>Cristeva I.</i> | | | | Комплексная оценка устойчивости склонов на основе геодезических измерений и геотехнических испытаний | <i>Faza</i> | <i>Coala</i> | <i>Coli</i> |
| <i>Coordonator</i> | <i>Pantaz A.</i> | | | | | L | 10 | 58 |
| <i>Consultant</i> | <i>Ceban O.</i> | | | | | <i>UTM FCGC</i> | | |
| <i>Verificat</i> | <i>Ovdii M.</i> | | | | | <i>IGC-2203</i> | | |
| <i>Aprobat</i> | <i>Taranenco A.</i> | | | | | | | |

ВВЕДЕНИЕ

Современные условия развития территорий, особенно в пределах урбанизированных зон, требуют пристального внимания к вопросам устойчивости склонов для предотвращения опасных геологических процессов. Одной из задач инженерной геодезии и геотехники является выявления и анализ деформация земной поверхности, обусловленных природными и техногенными факторами. В связи с этим особое значение приобретает применение комплексного подхода к мониторингу, позволяющее своевременно оценить состояние склонов и избежать развитие оползневых процессов.

Тема данной работы относится к области инженерной геодезии и геомониторинга и направлена на изучения устойчивости склонов с использованием современных геодезических и фотограмметрических технологий.

Выбор темы обусловлен актуальностью проблемы в условиях городской застройки, где даже малейшие отклонения и деформации могут привести к повреждению инфраструктуры и представлять угрозу для безопасности населения. В качестве объекта исследования был выбран участок, расположенный в районе города Кишинёв, в зоне Кодру, по улице Скиноаса Вале, которая сейчас находится на этапе активной застройки. Эта местность характеризуется выраженным рельефом и потенциальной склонностью к развитию оползневых процессов.

Степень новизны работы заключается в применении комплексного подхода к оценке устойчивости склонов, который включает в себя как геодезические измерения, так и геотехнические испытания. К геодезическим измерениям в рамках работы относятся спутниковых измерения, тахеометрическая съёмка и данные аэрофотоснимков сделанные при помощи беспилотного летательного аппарата. В свою очередь, к геотехническим испытаниям относятся буровые работы на местности, а также лабораторные исследования проб грунтов, взятых на исследуемой территории. Совмещение результатов различных методов позволяет повысить точность анализа и получить более полное представление о состоянии исследуемой зоны.

Целью данной работы является комплексная оценка устойчивости склонов на основе геодезических измерений ,фотограмметрических данных и геотехнических испытаний, а также выявление возможных деформаций на территории склона.

В работе использовались методы спутниковых измерений с использованием GNSS-приёмника Leica GS18, тахеометрической съёмки с использованием электронного тахеометра Leica TS16, а также методы фотограмметрии с применением беспилотного летательного аппарата DJI Phantom 4 Pro. Обработка данных выполнялась с использованием программного обеспечения Agisoft Metashape. Анализ результатов проводился на основе сравнительного

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-----------------|------------------|-------------|----------------------------|--------------|
| | | | | | <i>UTM 0731.2 – 007 ME</i> | <i>Coala</i> |
| <i>Mod.</i> | <i>Coala</i> | <i>Nr. doc.</i> | <i>Semnătura</i> | <i>Data</i> | | 11 |

метода, включающего сопоставление координат контрольных точек, полученных в разные периоды наблюдений.

Структура работы включает три главы, логически связанные между собой. В первой главе рассмотрены определения геодезии, её основные задачи, история возникновения. Также описываются методы и виды геодезических измерений. Далее идёт плавный переход к теме геологического мониторинга, по средством демонстрации тесной взаимосвязи между топогеодезическими и геологическим данными в рамках мониторинга. Первая глава в основном состоит из теоретической части с ссылками на различные источники, такие как учебные пособия, книги, авторские работы и сайты с информацией по данной тематике.

Вторая глава посвящена методологии, а также технологиям сбора и обработки данных. В этой главе описано и показано наглядно современное геодезическое оборудование, которое было использовано в работе, их характеристики и методы работы с ними. Также тут описаны поэтапные ходы работ с используемыми приборами в рамках оценки деформации склонов.

Третья глава, и самая основная, полностью состоит из практической части работы. Она включает в себя детальное описание этапов всей проделанной работы. Выполнение геодезических измерений ,обработка полученных результатов, их сравнение и, в заключении, оценка устойчивости исследуемого склона. Эта глава несёт основной характер, так как основывается только на проделанной работе в рамках исследования, а также отвечает на все поставленные вопросы.

Таким образом, выполненное исследование направлено на комплексную оценку состояния склонов с использованием современных геодезических методов и может быть использовано для дальнейшего мониторинга и анализа устойчивости территорий.

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-----------------|------------------|-------------|----------------------------|--------------|
| | | | | | <i>UTM 0731.2 - 007 ME</i> | <i>Coala</i> |
| | | | | | | 12 |
| <i>Mod.</i> | <i>Coala</i> | <i>Nr. doc.</i> | <i>Semnătura</i> | <i>Data</i> | | |

БИБЛИОГРАФИЯ

1. Г.Г.ПОКЛАД С.П. ГРИДНЕВ. Геодезия. Учебное пособие для вузов.
<http://www.amac.md/Biblioteca/data/28/14/04/06.2.pdf>
2. Геодезия.История <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
3. Т.И. ЛЕВИТСКАЯ. Основы геодезии Учебное пособие
https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/54025/1/978-5-7996-2199-5_2017.pdf
4. Задачи инженерной геодезии
[https://www.nngasu.ru/geodesy/labraboty/obshchie-svedeniya-o-geodezii\(1\)/zadachi-geodezii/](https://www.nngasu.ru/geodesy/labraboty/obshchie-svedeniya-o-geodezii(1)/zadachi-geodezii/)
5. Методы геодезических измерений
<https://geo-terra.ru/articles/metody-geodezicheskikh-izmereniy/>
6. СИМОНЯН В.В. Методология геодезического обеспечения мониторинга деформационных процессов склоновых систем. ISBN 978-5-7264-3524-4
7. ФА.П. КАРПИК В.С. ХОРОШИЛОВ А.В. КОМИССАРОВ. Анализ методов и средств изучения динамики перемещений оползневых склонов.
8. ФОМЕНКО И.К., СИРОТКИНА О.Н. «КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТИ» МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет
9. Принцип работы тахеометра <https://www.ddgxyq.ru/news>
10. Составили В. Н. Анопин, Т. А. Сабитова, М. В. Катасонов. Методические указания к практической работе «Тахеометрическая съемка электронным тахеометром.
11. Тахеометр серии Leica TS16 <http://geospecprom.ru/shop/total-station/taheometr-serii-leica-ts16/>
12. С.В. Швец, В.В. Таран, М.Р. Владимирова. Работа с электронным тахеометром Leica TS03. С.В. Швец, В.В. Таран, М.Р. Владимирова
13. Metoda măsurătorilor geodezice prin satelit. <https://www.geo-prof.com/sputnikovye-geodezicheskie-izmereniya>
14. LUNGU, M. CHIRIAC, V. Studiul metodelor de verificare metrologică a instrumentelor geodezice. Conferința Tehnico-Științifică a Colaboratorilor, Doctoranzilor și Studenților Vol.2, 2016
15. Stația Leica https://ngc.com.ua/p/1052-leica-leica_gs18.html
16. N. NEDEOGLO, C. ROTARU, A. DANICI, V. SEINIC, V. SPRINCEAN, C.VOZIAN, V. CAZAN, I. CORCIMARI, E. SEBOTARU. Suport de curs educație pentru drone.
<https://repository.utm.md/bitstream>
17. BOTNARU, D., MUNTEAN, V., VLASENCO, A., NISTOR-LOPATENCO, L., VLAD, G. C. Comparative Analysis of Geodetic Surveys for Volume Determination. Journal of Geodesy and Cadastre RevCAD,2024. ISSN 2068-5203, ISSN-L 2068.

| | | | | | | |
|------|-------|----------|-----------|------|----------------------------|-------|
| | | | | | <i>UTM 0731.2 - 007 ME</i> | Coala |
| Mod. | Coala | Nr. doc. | Semnătura | Data | | 56 |

18. ТУРК Г.Г., КАРАЧЁВ Н.К. Использование беспилотных летательных аппаратов (бпла) в геодезии
19. Особенности дрона DJI Phantom 4 Pro <https://dronomania.ru/dji/phantom-4->
20. NISTOR-LOPATENCO, L., TIGANU, E., VLASENCO, A., IACOVLEV, A., GRAMA, V., Creation of the Point Cloud and the 3D Model for the Above-Ground Infrastructure in the City of Chisinau by Modern Geodetic Methods. In Bulletin of the Transilvania University of Braşov Vol. 15(64) No. 1-2022
21. NISTOR-LOPATENCO, L., VLASENCO, A., TIGANU, E., TIGANU, D. The Use of Laser Scanning Technology for the Restoration of Historical Buildings. International Symposium GEOMAT 2025, Technical University "Gheorghe Asachi" Iasi, România. In: RevCAD 38/2025, ISSN 2068-5203, pp. 37-46.

| | | | | | | |
|-------------|--------------|-----------------|------------------|-------------|----------------------------|--------------|
| | | | | | <i>UTM 0731.2 - 007 ME</i> | <i>Coala</i> |
| <i>Mod.</i> | <i>Coala</i> | <i>Nr. doc.</i> | <i>Semnătura</i> | <i>Data</i> | | 57 |