

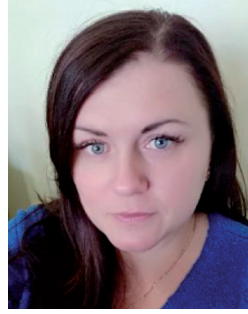


Doi: <https://doi.org/10.33644/2313-6679-34-2022-7>

УДК 624.012.045 (075.8)



ДОМБРОВСЬКИЙ Я. І.
Завідувач лабораторії,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
355niisk356@gmail.com,
тел. +38 (067) 420-57-55,
ORCID: 0000-0003-0687-1256



ШИДЛОВСЬКА О. В.
Молодший науковий
співробітник, ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: shidoksana@gmail.com,
tel. +38 (068) 476-16-18,
ORCID: 0000-0002-7126-9133



ШПАКОВСЬКА О. М.
Молодший науковий
співробітник, ДП «Державний
науково-дослідний інститут
будівельних конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: andresolkaoli4ka@gmail.com,
tel. +38 (068) 476-16-12,
ORCID: 0000-0001-6063-6607



ШУМІНСЬКИЙ В. Д.
Канд. техн. наук, провідний
науковий співробітник,
ДП «Державний науково-
дослідний інститут будівельних
конструкцій»,
м. Київ, Україна,
e-mail: shumikvd@gmail.com,
тел. +38 (096) 617-55-70,
ORCID: 0000-0002-8751-1983

РЕКОНСТРУКЦІЯ ФУНІКУЛЕРА ПО ВУЛ. НАБЕРЕЖНЕ ШОСЕ, 2 У ПОДІЛЬСЬКОМУ РАЙОНІ М. КИЄВА

АНОТАЦІЯ

В статті наведені результати обґрунтування необхідності проведення реконструкції Фунікулера по вул. Набережне шосе, 2 у Подільському районі м. Києва на основі аналізу інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов ділянки будівництва, аналізу результатів візуального обстеження схилу та підпірних стін з метою виявлення ознак зсувних процесів, оцінки стійкості схилу на ділянці розташування Фунікулера шляхом визначення коефіцієнтів стійкості схилу по трасі Фунікулера без споруди, із спорудою до та після реконструкції для ґрунтів у природному та водонасиченому станах, оцінки зміни напружено-деформованого стану схилу та визначення зони впливу Фунікулера на схил, а також надані рекомендації щодо забезпечення стійкості схилу в зоні розташування Фунікулера.

Конструкція Фунікулера належить до класу наслідків (відповідальності) ССЗ, згідно з [9, 10],

оскільки пов'язана із забезпеченням безпеки при перевезенні пасажирів.

Для оцінки впливу реконструкції Фунікулера були виконані перевірочні розрахунки стійкості схилу, які виконувались методом скінченних елементів, в якому розглядається напружено-деформований стан ґрунтового масиву з урахуванням пружної або пружно-пластичної моделі поведінки ґрунту по моделі Мора-Кулона.

При розрахунках стійкості схилу визначалися коефіцієнти запасу стійкості, які повинні бути більшими або рівними за нормативний коефіцієнт запасу стійкості k_{sp} , для класу наслідків (відповідальності) ССЗ, що відповідає настанню граничного стану рівноваги при різних реальних розрахункових ситуаціях.

Результати розрахунків стійкості схилу з Фунікулером свідчать про те, що нормативна стійкість схилу при реконструкції Фунікулера буде



забезпечена при різних розрахункових ситуаціях для ґрунтів у природному стані та при їх повному водонасиченні (зниженні фізико-механічних характеристик ґрунтів).

Для забезпечення безпеки роботи Фунікулеру були наведені рекомендації щодо підвищення стійкості схилу в зоні його впливу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: зона впливу, коефіцієнт стійкості, підпірна стіна, напружено-деформований стан, розрахунки, стійкість, схил, фунікулер.

RECONSTRUCTION OF CABLE RAILWAY AT STR EMBANKING SHOES, 2 N KYIV, PODILSKY DISTRICT

ABSTRACT

The paper presents the results of substantiating the need for the reconstruction of the cable railway on the street Naberezhnoe highway, 2 in Kyiv, Podolsky district based on the analysis of engineering-geological and hydrogeological conditions of the construction site, analysis of the results of a visual survey of the slope and retaining walls in order to identify signs of landslide processes, assess the stability of the slope at the location of the cable railway by identifying the coefficients of slope stability according to the cable railway route without structure, with structure before and after reconstruction for soils in natural conditions and in a water-saturated state, assessing the change in the stress-strain state of the slope and determining the zone of influence of the cable railway on the slope, as well as recommendations on ensuring the stability of the slope in the cable railway location area.

The structure of the cable railway belongs to the class of consequences (responsibility) CC3, according to [9, 10], since it is associated with ensuring safety during the transportation of passengers.

To assess the impact of the reconstruction of the cable railway, the stability of the slope was verified in the calculations, which were performed by the finite element method, in which the stress-strain state of the soil mass is considered with taking into account the elastic or elastic-plastic model of soil behavior according to the Mohr-Coulomb model.

When calculating the stability of the slope, the coefficients of the stability margin were determined, and those should be greater than or equal to the normative coefficient of the stability margin k_{sn} , for the class of consequences (responsibility) CC3, which corresponds to the onset of the limit state of equilibrium in various real design situations.

The results of calculations of slope stability with the cable railway indicate that the normative stability of the slope during the reconstruction of the cable railway will be ensured in various design situations for soils in their natural state and at full water saturation (at decrease in the physical and mechanical characteristics of soils).

To ensure the safety of the cable railway,

recommendations were given to improve the stability of the slope in the zone of influence of cable railway.

KEY WORDS: zone of influence, stability coefficient, retaining wall, stress-strain state, calculations, stability, slope, cable railway.

ВСТУП

Фунікулер експлуатується в м. Києві з 1905 року і з'єднує Поділ з центральною частиною міста, розташованою на більш високих відмітках. Фунікулер розташований на схилі, і для проведення реконструкції Фунікулеру необхідно забезпечити безпеку його роботи в складних інженерно-геологічних та гідрологічних умовах.

МЕТА РОБОТИ

Забезпечення стійкості схилу на ділянці розташування Фунікулеру для проведення його реконструкції та безпечної експлуатації.

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Розробка розрахункової моделі системи: «Фунікулер – ґрунтова основа», оцінки стійкості схилу із спорудою до та після реконструкції для ґрунтів у природному та водонасиченому станах, оцінки зміни напружено-деформованого стану схилу та визначення зони впливу Фунікулера на схил, а також надання рекомендацій щодо забезпечення безпеки Фунікулеру під час його реконструкції та експлуатації.

Розрахунки включали такі основні етапи:

1. Складання розрахункової моделі як системи «Фунікулер – ґрунтова основа» для оцінки стійкості схилу та визначення впливу Фунікулеру на схил.
2. Призначення геометричних та жорсткісних параметрів елементів системи, навантажень та впливів, розрахункових фаз, що відповідають етапам реконструкції.
3. Виконання розрахунків з імітаційного моделювання функціонування системи «Фунікулер – ґрунтова основа» для оцінки стійкості схилу та визначення впливу Фунікулеру на схил.

ХАРАКТЕРИСТИКА ДІЛЯНКИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

В геоморфологічному відношенні ділянка розташування Фунікулера знаходиться на краю Придніпровської височини, яка вище за надзаплавну терасу Дніпра на 90,0...100,0 м, в межах Володимирської гірки. Фунікулер розташований на зсувному правобережному схилі р. Дніпро, який через неодноразові планування Володимирської гірки має вигляд широких терас. На плато з відмітками 183,0...185,0 м прокладені доріжки, влаштовані газони, висаджені дерева та побудовані два видових майданчика. Верхня тера-



са з відмітками 162,0...165,0 м проходить по всьому схилу до Фунікулера, середня тераса з відмітками 110,0...160,0 м – по вул. Володимирський узвіз [1]. Нижня тераса – це надзаплавна тераса р. Дніпро з відмітками в районі Поштової площі 109,0...110,0 м. Схили засаджені деревами і кущами, покриті густою трав'яною рослинністю. На схилі вздовж траси Фунікулера розташовані дві підпірні стіни.

ХАРАКТЕРИСТИКА ФУНІКУЛЕРУ

Фунікулер введено в експлуатацію у 1905 році з метою швидкого з'єднання Подолу з Верхнім Києвом. У 1928 році лінія Фунікулера була продовжена на 40 м до Поштової площі. Збудована нова нижня станція, а попередня – з'єднана з новою критою галереєю. При реконструкції Фунікулера у 50-х роках ХХ століття встановлено похилу монолітну залізобетонну плиту зі спеціальними уступами через 9...10 м для попередження сповзання верхньої будови. У 1980-х роках реставровано механічний підйомник. У 2004÷2005 роках проведено ремонт нижньої частини фундаментів і колії у зв'язку зі зсувом, який активізувався від будівництва глибокого котловану під будівлю готелю з підземним паркінгом [2-5]. До складу Фунікулера входять верхня станція, нижня станція та залізнична колія між ними (рисунок 1). Загальна довжина Фунікулера становить 222 м. Різниця висот між верхньою та нижньою станціями становить 75 м, ухил – 20°.

Верхня станція. Станція має складну форму в плані. Вона складається з надземного і підземного поверхів. Надземний поверх складається з критого павільйону, в якому знаходяться дві посадочні платформи у формі залізобетонних сходів, приміщення вестибюлю з турнікетами, касами та кабінетом чергового станції. У підземному поверсі розміщені приміщення для експлуатаційно-обслуговуючих служб Фунікулера.

Конструкція станції – комбінована, складається з безкаркасної та каркасної частин [2]. Фундаменти верхньої станції: під колони в машинному залі – монолітні, стовпчастого типу; під зовнішні стіни підвалу – збірно-монолітні; під несучі цегляні стіни – цегляні стрічкові товщиною 510 мм, глибиною залягання 1,94 м; залізобетонні стовпчасті – під колони 650×650 мм.

Зовнішні стіни – кладка з керамічної цегли товщиною 510 мм. Внутрішні стіни і перегородки – кладка з керамічної цегли різної товщини. Колони: зі збірного та монолітного залізобетону.

У червні 2017 року було виконане візуальне та інструментальне обстеження будівельних конструкцій верхньої станції Фунікулера. За результатами обстежень технічний стан будівельних конструкцій верхньої станції характеризується як непридатний до нормальної експлуатації

(ІІІ категорія технічного стану) [2].

Загальний вигляд верхньої станції наведено на рисунку 1 а).

Нижня станція. Станція включає в себе: критий павільйон, в якому знаходяться дві ступінчасті платформи для висадки та посадки пасажирів; вестибюль з турнікетами та касами; оглядову яму для ремонту вагонів фунікулера; приміщення для зберігання баласту; в поперечному напрямку павільйон сполучається з одноповерховою прибудовою. У прибудові розташовані приміщення експлуатаційно-обслуговуючих служб фунікулера [3]. Фундаменти нижньої станції – збірні залізобетонні, стрічкові. Зовнішні стіни – цегляні. Внутрішні стіни – цегляні, монолітні та залізобетонні.

У червні 2017 року було виконане візуальне та інструментальне обстеження будівельних конструкцій нижньої станції Фунікулера. За результатами обстежень технічний стан будівельних конструкцій нижньої станції характеризується як непридатний до нормальної експлуатації (ІІІ категорія технічного стану) [3].

Загальний вигляд нижньої станції наведено на рисунку 1 б).

Залізнична колія. Загальний вигляд на залізничну колію Фунікулера наведено на рисунку 1 в). Залізнична колія умовно розділена на чотири ділянки [4, 5]:

- ділянка 1 розташована в межах верхньої станції Фунікулера від ПК 0+00 до ПК 0+09,26. Кріплення рейок забезпечене за рахунок болтових з'єднань. Навантаження від вагонів передається через систему балок на плиту та несучі балки;
- ділянка 2 розташована на естакаді від ПК 0+09,26 до ПК 0+61,19. Шпали кріпляться на поздовжні залізобетонні бруси шириною 0,3 м із змінною висотою. Естакада виконана із монолітного залізобетону. Основні несучі елементи – дві нерозрізні балки, розташовані на відстані 2,15 м, кожна з яких має шість прогонів різної довжини. Висота балок на цих ділянках становить 0,40 м, товщина – 0,3 м. Ближче до опор низ балки плавно розширюється і об'єднується зі стійками опор [4]. Зверху балки об'єднані монолітною залізобетонною плитою товщиною 0,1 м і шириною 3,67 м. Опори складаються із двох стійок, розташованих на масивних фундаментах, що спираються на ґрунт основи. Опори ОП3, ОП4 розташовані на пальових фундаментах. За період експлуатації найбільший перебудові підлягали саме опори ОП3 та ОП4 [4]. За час дії Фунікулера осідання ґрунту основи у районі естакади складало 0,10÷0,80м, при цьому найбільше осідання спостерігалось між опорами ОП3 та ОП4. В 1905 році через зсув ґрунту утворили-



ся деформації естакади. Особливо сильні деформації були зафіксовані в опорі ОП-4а. При ремонті в 1939 році ця опора була видалена і замінена новою. Тоді ж була збудована мережа дренажних поглинаючих колодязів з відводом ґрунтових вод в полтавські піски [1]. В 1984 році опори ОП3 та ОП4 були підсилені чотирма буровими палями довжиною 11 м та Ø350 мм. В довоєнні роки було виконано підсилення опор естакади додатковими залізобетонними ригелями товщиною 0,4 м на глибині 1,2 м між опорами ОП1, ОП2, ОП3 та ОП4 [4];

- ділянка 3 проходить по земляному полотну на схилі від ПК 0+61,19 до ПК 2+02,19. Шпали кріпляться на залізобетонні балки різної кількості, ширини та довжини, які об'єднані монолітною залізобетонною плитою. Плита лежить на цегляних фундаментах і ґрунтах підсіпки;
- ділянка 4 в межах нижньої станції Фунікулеру від ПК 2+02,19 до ПК 2+21,32. Рейки кріпляться до суцільного монолітного залізобетонного фундаменту, який облицьований плиткою.

У червні 2017 року [4, 5] було виконане візуальне та інструментальне обстеження будівельних конструкцій залізничної колії Фунікулеру. За результатами обстежень технічний стан будівельних конструкцій залізничної колії характеризується як задовільний (II категорія технічного стану) [5], а технічний стан естакади характеризується як обмежено працездатний [4]. Фунікулер експлуатується в обмеженому режимі і вимагає спеціального контролю за його станом.

ХАРАКТЕРИСТИКА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ДІЛЯНКИ РЕКОНСТРУКЦІЇ

Геологічна будова ділянки представлена відкладами лесового плато. Поверхня ділянки прикрита досить потужною товщею насипно-

го ґрунту, літологічно складеного перешаруванням супіску і піску та перешаруванням глини, суглинку, супіску, з вмістом будівельного сміття, з поверхні насипні ґрунти перекриті ґрунтово-рослинним шаром та частково – шаром асфальту чи тротуарною плиткою. Потужність насипної товщі досягає 6,5 м [1].

На схилах долини р. Дніпро в результаті дії підземних та поверхневих вод та наявності глибокого ерозійного урізу р. Дніпро, що сягає 80...90 м, утворені сприятливі умови розвитку делювіально-зсувних процесів. В межах дослідженої ділянки схилу, зсувними є лесові ґрунти, бурі і строкаті глини, прісноводні суглинки, місцями полтавські відклади. Розрахункова сейсмічність для ділянки, що обстежується, складає 5 балів, а категорія ґрунтів за сейсмічними властивостями – III [5, 8].

Гідрогеологічні умови плато і схилу на розвідану глибину характеризуються наявністю водоносного горизонту в неогенових відкладах – «прісноводних» суглинках та бурій глині. Живлення відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, розвантаження в долину р. Дніпро. Даний горизонт, розвантажуючись в межах схилу, насичує делювіально-зсувні відклади і обумовлює активізацію зсувних процесів на схилі. Відмітки рівня ґрунтових вод в межах схилу становлять 168,10...164,52 м, в його підніжжі – 107,30 м. Прогнозний підйом рівня підземних вод у верхній частині схилу становить 1,0 м.

Для відводу ґрунтових вод на схилах влаштована система відводу води від Фунікулера, що включає сітку дренажних штолень та поверхневих бетонних лотків. Перша дренажна галерея була споруджена у 1907 році від пам'ятника князю Володимиру до Андріївської церкви в бурих глинах, а ще пізніше були побудовані дренажні системи штолень (далі – ДСШ) № 9 та № 7 (рисунок 2).

ДСШ № 9 побудована в районі естакади, об'єднаної з відводом, що спрямовує воду вздовж Фунікулеру до ДСШ №7 біля нижньої станції [4]. ДСШ складаються зі штолень, вертикальних

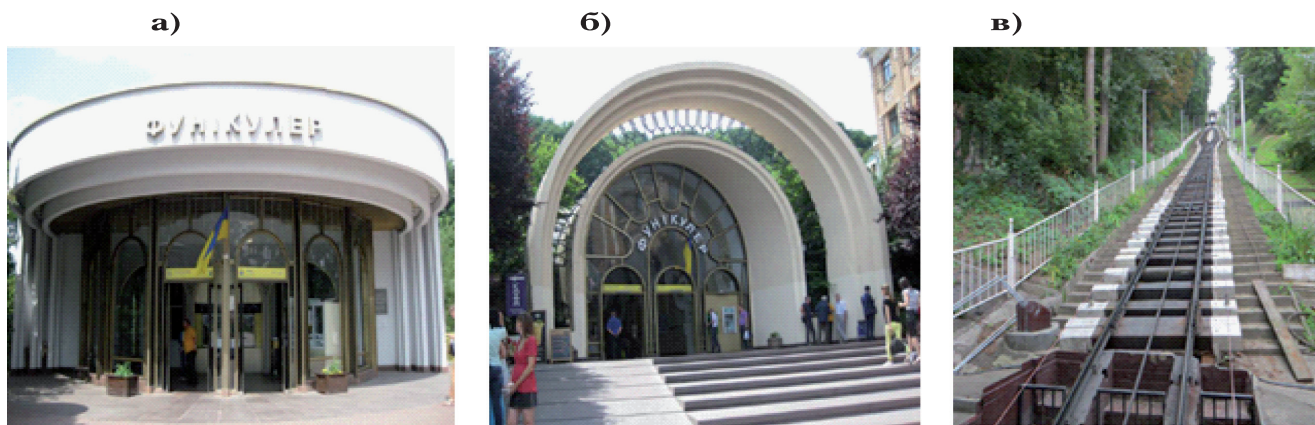


Рисунок 1 – Загальний вигляд верхньої (а) та нижньої (б) станцій і залізничної колії (в) Фунікулеру

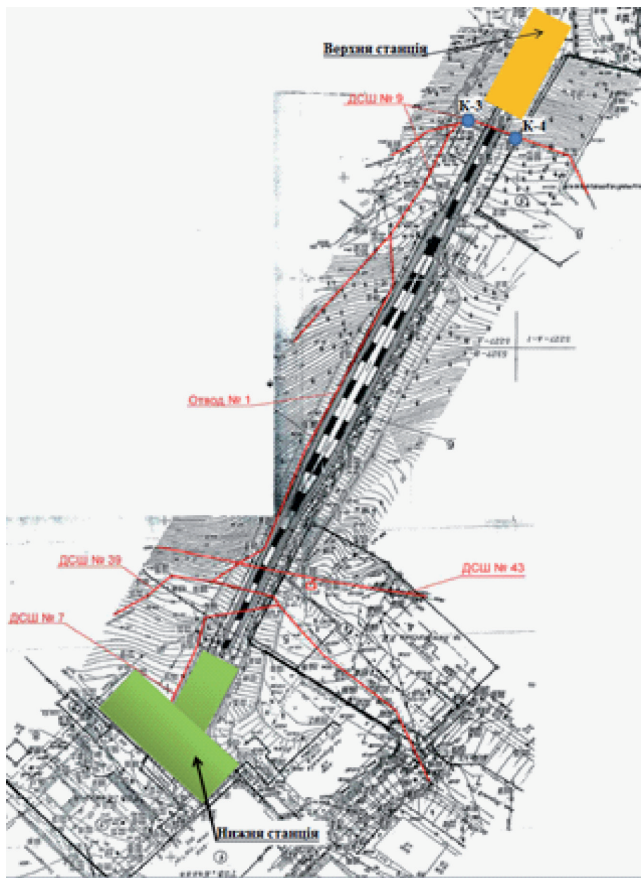


Рисунок 2 – Схема дренажно-штовельної системи схилу

фільтрів та колодязів. Впоперек естакади проходить штовель між колодязями, глибина яких сягає 9...10 м, діаметр – 1,0 м. ДСШ виготовлялися з дерева, тому кожні п'ять років експлуатаційним службам доводилося міняти гнилі дерев'яні елементи на штовель із залізобетонних тюбінгів еліптичного перерізу. При виконанні таких робіт спостерігалось просідання ґрунту, а з ним і опор естакади. Згідно результатів обстеження системи відводу води знаходяться у задовільному стані. Існуючі водовідвідні лотки, особливо на ділянці між естакадою та нижньою станцією, заросли травою та кущами, забруднені, частково зруйновані, не мають сміттєутримуючих ґраток та не справляються із залповим об'ємом зливових вод. Укоси схилу вздовж Фунікулера розмиваються. Для запобігання цьому поперек руху потоку води службою експлуатації покладені шпали для зменшення швидкостей течії. Завдяки організованому відводу ґрунтових вод глибинні зсувні процеси на схилі припинились.

РЕЗУЛЬТАТИ ВІЗУАЛЬНОГО ОБСТЕЖЕННЯ СХИЛУ ТА ПІДПІРНИХ СТІН

В січні 2018 року представниками ДП НДІБК було виконано візуальне обстеження підпірних

стін на Володимирській гірці та території реконструкції Фунікулеру [6]. Візуальному обстеженню підлягали підпірні стіни ПС-7, ПС-11-1 і ПС-11-2.

Підпірна стіна ПС-7 розташована в верхній частині парку біля Фунікулеру. Вздовж підпірної стіни проходить пішохідна доріжка, що з'єднує верхню та середню тераси. Підпірна стіна має змінну висоту – від найбільшої у верхній частині і практично нульової в нижній частині доріжки. ПС-7 має довжину ~ 40 м і виконана з бутової кладки. По верху стіни було виконане її бетонування, яке на більшій частині стіни зруйноване. Висота підпірної стіни з боку схилу – 0,75...1,30 м. Основою підпірної стіни слугують насипні ґрунти. Заглиблення цієї ділянки підпірної стіни менше за глибину промерзання ґрунту, яка для м. Києва складає 1,0 м, і є не достатнім. Підпірна стіна на окремих ділянках зазнала значних пошкоджень. Стіна виконує декоративну функцію і слугує лише огороженням доріжки. Вона не розрахована на сприйняття зсувних тисків ґрунту. При обстеженні ділянки схилу, що розташована нижче та вище підпірної стіни ПС-7, зафіксована наявність нахилених дерев, локальні виїмки на схилі, що були створені штучно. Сучасні геологічні процеси на даний час не спостерігаються, на схилі відбувається скидання поверхневих вод безпосередньо на його поверхню (водна ерозія), відсутні лотки для відведення поверхневих вод [6].

Підпірні стіни ПС-11-1 і ПС-11-2 розташовані недалеко від фунікулера вздовж середньої тераси парку. З обох боків підпірних стін розташовані сплановані схили, на яких висаджені трав'янисті рослини.

Підпірна стіна ПС-11-1 прямолінійна в плані, зведена з монолітного залізобетону і має змінну висоту. Основою підпірної стіни є насипні ґрунти. Під стіною виконані залізобетонні короткі стовпи довжиною 0,10 м. Загальна довжина стіни ~ 23,6 м. Висота стіни складає від 0,2 до 1,80 м від поверхні пішохідної доріжки. Товщина підпірної стіни ~ 0,40 м в верхній частині та ~ 0,53 м – в нижній. Заглиблення підпірної стіни складає ~ 0,30...0,40 м від поверхні землі з боку пішохідної доріжки. За час експлуатації в стіні утворилися наскрізні тріщини.

При обстеженні ділянки схилу, яка розташована вище підпірної стіни ПС-11-1 зафіксовані тріщини в покритті між підпірними стінами ПС-11-1 та ПС-11-2. На схилі відбувається скидання поверхневих вод безпосередньо на його поверхню (водна ерозія), сучасні геологічні процеси на даний час не спостерігаються.

Підпірна стіна ПС-11-2 прямокутного перерізу, зведена з монолітного залізобетону, криволінійної форми у плані. Стіна складається з двох частин. Внутрішня частина розташована вздовж доріжки та має ширину 0,50...0,55 м. Цю частину можна



спостерігати лише на ділянці довжиною 2,8 м, далі вона розташована під ґрунтом і вимощенням доріжки. Перед цією стінкою впритул виконана стіна з монолітного залізобетону шириною до 0,45 м. Ця стіна має довжину $\sim 20,0$ м. Її висота з боку доріжки складає $0,11 \dots 0,15$ м, а з протилежного боку – $0,90 \dots 1,18$ м. В якості фундаментів стін використані короткі палі круглого перетину довжиною 1,00 м та діаметром 0,30 м. За час експлуатації стіна зазнала значних деформацій, що призвели до крену та наскрізних тріщин. Пошкодження викликані несприятливими умовами експлуатації, значним строком експлуатації стіни без виконання її ремонту (підсилення), нерівномірністю деформування ґрунтової основи внаслідок її замочування.

Існуючі бетонні лотки для відводу поверхневих вод знаходяться в непридатному до експлуатації стані. Дощові та талі води відводяться самовільно по найнижчих відмітках рельєфу, що призводить до водної ерозії та утворення локальних ділянок розмиву.

Сукупність пошкоджень в підпірних стінах, зафіксованих при візуальному обстеженні викликана несприятливими умовами експлуатації, значним строком експлуатації стін без виконання їх ремонту, нерівномірністю деформування ґрунтової основи внаслідок її замочування.

РОЗРАХУНКИ СТІЙКОСТІ СХИЛУ

Конструкція Фунікулера належить до класу наслідків (відповідальності) ССЗ згідно з [9, 10] оскільки пов'язана із забезпеченням безпеки при перевезенні пасажирів.

Для оцінки стійкості схилу визначається коефіцієнт запасу стійкості, який повинен бути більшим або рівний нормативному коефіцієнту запасу стійкості k_{sn} , що відповідає настанню граничного стану рівноваги [11,12]

$$k_{st} = \frac{R}{F} \geq \frac{\gamma_n \cdot \gamma_{fc}}{\gamma_c} = k_{sn}, \quad (1)$$

де

R – розрахункове значення узагальненого опору ґрунтового масиву зсувній дії на призму обвалення, визначене з урахуванням коефіцієнта надійності по ґрунту, кН;

F – розрахункове значення узагальненої зсувної дії на призму обвалення, що визначається з урахуванням коефіцієнтів надійності за навантаженням γ_f , кН;

γ_c – коефіцієнт умов роботи;

γ_n – коефіцієнт надійності за відповідальністю (коефіцієнт відповідальності) споруди;

γ_{fc} – коефіцієнт поєднання навантажень.

Значення коефіцієнтів γ_c , γ_n , γ_{fc} приймаються для різних категорій відповідальності конструкцій

та їх елементів і двох груп граничних станів. Для основного поєднання навантажень у відповідності з [9]. При $k_{st} < k_{sn}$ можлива втрата стійкості схилу (укосу) і необхідне улаштування утримуючих споруд.

Для основного (граничного) поєднання навантажень для класу наслідків (відповідальності) Фунікулера ССЗ нормований коефіцієнт стійкості k_{sn} приймається рівним $k_{sn} = 1,25$.

Розрахунки стійкості схилу виконувались методом скінченних елементів, в якому розглядається напружено-деформований стан ґрунтового масиву з урахуванням пружної або пружно-пластичної моделі поведінки ґрунту по моделі Мора-Кулона. Ця модель приймалася для першої групи граничних станів ґрунту. Розрахунок з оцінки напружено-деформованого стану ґрунтового масиву виконувався ітераційним способом по моделі твердіючого тіла, яка формується в рамках пластичності з твердінням при зсуві. Модель враховує також твердіння при стиску, щоб змоделювати незворотне ущільнення ґрунту при першому навантаженні стиском. Дана модель дозволяє моделювати поведінку піщаних та глинистих ґрунтів при складних траєкторіях навантаження. Параметри міцності контролюються загальним множником ΣM_{φ} . Цей параметр збільшується при поетапному методі до тих пір, поки не виникне руйнування ґрунту.

Оскільки організований відвід поверхневих вод на прилеглої території відсутній або знаходиться в непридатному до нормальної експлуатації стані, то в розрахунках розглядався варіант повного водонасичення ґрунтів до відмітки залягання дренажно-штовельної системи № 9. Розрахунки виконувались з урахуванням фізико-механічних характеристик ґрунтів для першої групи граничних станів в природньому стані та для ґрунтів при повному водонасиченні.

Для оцінки стійкості схилу ділянки реконструкції Фунікулера на основі аналізу інженерно-геологічних та гідрогеологічних умов ділянки будівництва і візуального обстеження схилу розглядалися наступні розрахункові ситуації:

- 1) існуючий стан схилу (основне поєднання навантажень (без Фунікулера)) для ґрунтів у природному стані;
- 2) існуючий стан схилу для основного поєднання навантажень (з Фунікулером до реконструкції) для ґрунтів у природному стані та при їх водонасиченні, які залягають вище дренажно-штовельної системи № 9;
- 3) існуючий стан схилу для основного поєднання навантажень (з Фунікулером, обладнанням та пустими вагонами) для ґрунтів у природному стані та при їх водонасиченні, які залягають вище дренажно-штовельної системи №9;
- 4) існуючий стан схилу для основного поєднання



Таблиця 1 - Результати розрахунків стійкості схилу

Ч/ч	Фаза	Результати розрахунку стійкості схилу за формулою (1)	
		для ґрунтів в природньому стані	для ґрунтів у водонасиченому стані
1	Схил в природному стані (без Фунікулера)	$k_{st} = 1,33 > k_{sn} = 1,25$	-
2	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера	$k_{st} = 1,30 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,27 > k_{sn} = 1,25$
3	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, обладнання та пустих вагонів, розташованих на станціях	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,26 > k_{sn} = 1,25$
4	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, обладнання та пустих вагонів, розташованих на роз'їзді	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,26 > k_{sn} = 1,25$
5	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, обладнання та вагонів з пасажирями, розташованих на станціях	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,26 > k_{sn} = 1,25$
6	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, обладнання та вагонів з пасажирями, розташованих на роз'їзді	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,26 > k_{sn} = 1,25$
7	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, нового обладнання та нових пустих вагонів, розташованих на станціях	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,27 > k_{sn} = 1,25$
8	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, нового обладнання та нових пустих вагонів, розташованих на роз'їзді	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,27 > k_{sn} = 1,25$
9	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, нового обладнання та нових вагонів з пасажирями, розташованих на станціях	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,27 > k_{sn} = 1,25$
10	Схил із врахуванням ваги від Фунікулера, нового обладнання та нових вагонів з пасажирями, розташованих на роз'їзді	$k_{st} = 1,29 > k_{sn} = 1,25$	$k_{st} = 1,27 > k_{sn} = 1,25$

навантажень (з Фунікулером, обладнанням та вагонами з пасажирями) для ґрунтів у природному стані та при їх водонасиченні, які залягають вище дренажно-штовльової системи №9.

Розрахунки стійкості схилу виконані за наступними фазами, наведеними в таблиці 1.

Результати розрахунків стійкості схилу з

Фунікулером для ґрунтів в природньому стані та при повному водонасиченні наведені на рисунках 3 та 4, а результати розрахунку стійкості схилу з Фунікулером, обладнанням та вагонів з пасажирями для ґрунтів в природному стані та при їх повному водонасиченні – на рисунках 5 та 6. Розрахунковий ітераційний процес виконувався з врахуванням всіх розрахункових ситуацій,

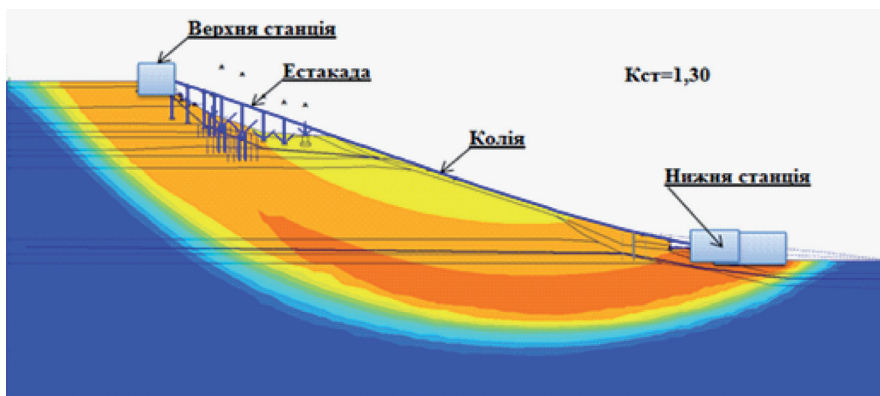


Рисунок 3 – Результати розрахунків стійкості схилу з Фунікулером для ґрунтів в природньому стані

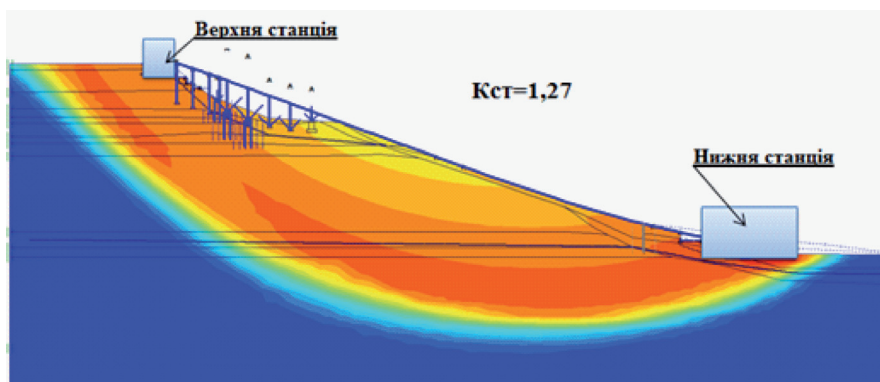


Рисунок 4 – Результати розрахунків стійкості схилу з Фунікулером для ґрунтів при повному водонасиченні

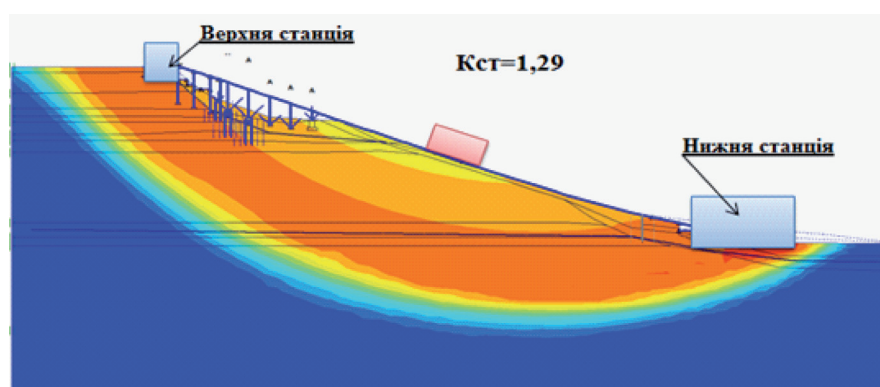


Рисунок 5 – Результати розрахунку стійкості схилу з Фунікулером, обладнанням та вагонів з пасажирями для ґрунтів в природньому стані

що відповідають послідовності реконструкції Фунікулера за наступними фазами, що наведені в таблиці 1. Розрахунки свідчать про те, що нормативна стійкість схилу при реконструкції Фунікулера буде забезпечена при різних розрахункових ситуаціях для ґрунтів у природньому стані та

при їх повному водонасиченні (зниженні фізико-механічних характеристик ґрунтів).

Коефіцієнт стійкості схилу в існуючому стані без врахування Фунікулера становить $k_{st}=1,33 > k_{sn}=1,25$. Коефіцієнт стійкості схилу в існуючому стані із врахуванням Фунікулера при самих несприятливих умовах експлуатації становить $k_{st}=1,29 > k_{sn}=1,25$ – для ґрунтів в природньому стані та $k_{st}=1,26 > k_{sn}=1,25$ – для ґрунтів при повному водонасиченні. Результати свідчать про те, що нормативна стійкість схилу забезпечена.

Коефіцієнт стійкості схилу після реконструкції Фунікулера при найбільш несприятливих умовах експлуатації буде становить $k_{st}=1,29 > k_{sn}=1,25$ – для ґрунтів в природньому стані та $k_{st}=1,27 > k_{sn}=1,25$ – для ґрунтів при повному водонасиченні. Результати свідчать про те, що нормативна стійкість схилу забезпечена.

Для забезпечення довготривалої стійкості схилу в зоні Фунікулера слід відновити систему відводу поверхневих вод та влаштувати її у місцях інфільтрації вод на схилі, що сприяє водонасиченню ґрунтів. Для зменшення обводнення ґрунтів підземними водами слід проводити регулярне обстеження галерей та штолень для підтримки їх нормального функціонування.

При врахуванні навантажень від Фунікулера до реконструкції максимальні осідання основи Фунікулера в залежності від навантажень становлять від 2 мм до 3 мм. При врахуванні навантажень від Фунікулера після реконструкції в залежності від навантажень на основу від комбінацій різних дій (двох пустих вагонів, двох пустих вагонів з пасажирями, власної ваги верхньої станції

Фунікулера, власної ваги верхньої станції та вагону з пасажирями) максимальні осідання основи Фунікулера становлять від 5 мм до 7 мм.

Зони впливу Фунікулера на схил становлять від 4 м до 10 м.

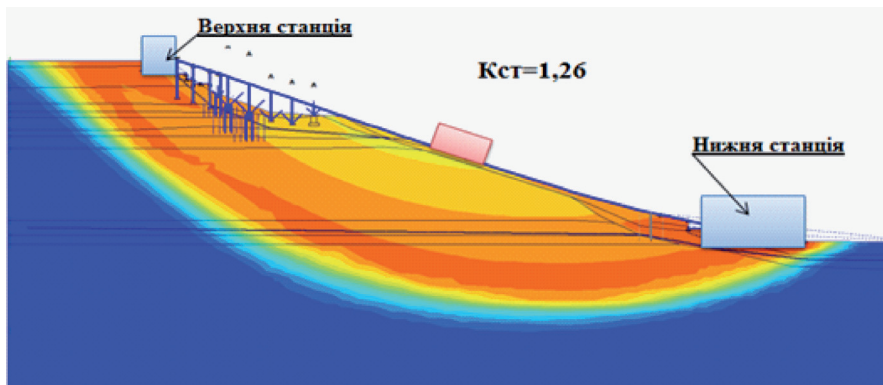


Рисунок 6 – Результати розрахунку стійкості схилу з Фунікулером, обладнанням та вагонів з пасажирами для ґрунтів при повному їх водонасичненні

8. Для забезпечення стійкості схилу в зоні Фунікулеру необхідно відновити пошкоджені підпірні стіни та систему відводу поверхневих вод та влаштувати відвідні лотки у місцях, де поверхневі води стихійно стікають по схилу, сприяючи водонасичненню ґрунтів.
9. Для контролю за обводненням ґрунтів підземними водами слід виконувати регулярне обстеження галерей та штолень та підтримувати їх нормальне функціонування.

ВИСНОВКИ

1. Схил, на якому розташований Фунікулер, є зсувонебезпечним. Основними зсувними факторами, крім діяльності людини, є особливості його інженерно-геологічних умов, обумовлені наявністю слабких лесових ґрунтів, бурих і строкатих глин.
2. Під час реконструкції Фунікулеру на схилі необхідно дотримуватись всіх технологічних вимог виконання робіт, щоб не допустити активізації зсувних процесів.
3. Для відводу підземних та поверхневих вод на схилі використовується мережа дренажних штолень та поверхневих бетонних лотків. Завдяки організованому відводу ґрунтових вод глибинні зсувні процеси на схилі припинились.
4. Існуючі бетонні лотки для відводу поверхневих вод знаходяться частково в непридатному до експлуатації стані, що призводить до водної ерозії основи і утворення локальних руйнувань лотків та необхідності їх відновлення.
5. Пошкодження в підпірних стінах, зафіксовані при візуальному обстеженні, викликані неналежними умовами експлуатації, значним строком експлуатації стін без проведення ремонту, нерівномірністю деформування ґрунтової основи внаслідок її замочування.
6. Результати розрахунків стійкості схилу в природному стані та при експлуатації Фунікулеру після реконструкції свідчать про те, що нормативна стійкість схилу буде забезпечена.
7. Максимальні осідання основи Фунікулеру в залежності від навантажень до реконструкції становлять від 2 мм до 3 мм, після реконструкції – від 5 мм до 7 мм. Зони впливу Фунікулеру на схил становлять від 4 м до 10 м.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Проектна документація по об'єкту: «Реконструкція Фунікулеру» («Архітектурні, інженерні та геодезичні послуги» код 71250000-5 за ДК 021:2015). Технічний звіт. Книга 2. Інженерно-геологічні вишукування. Пояснювальна записка. Текстові додатки. Графічні додатки. Шифр 36259541-ГЛ-29-06/2017-00.02. – Київ: ТОВ «Інженербудпроект», 2017.
2. Реконструкція Фунікулеру. Звіт про технічний стан несучих конструкцій верхньої станції фунікулера літера «А» по вул. Сагайдачного, 3 в м. Київ. Том 1. Шифр 54.17-42-ТО. АБ.01 – Київ: Архітектурно-реставраційне підприємство «СОФІЯ», 2017.
3. Реконструкція Фунікулеру. Звіт про технічне обстеження нижньої станції. Том 2. Шифр 54.17-42-ТО. АБ.02 – Київ: Архітектурно-реставраційне підприємство «СОФІЯ», 2017.
4. Реконструкція Фунікулеру. Звіт про технічне обстеження та випробовування естакади. Том 5. Шифр 54.17-42-ТО. КБ – Київ: Архітектурно-реставраційне підприємство «СОФІЯ», 2017.
5. Реконструкція Фунікулеру. Звіт про залізничну колію та фундамент під колію. Том 9. Шифр 54.17-42-ТО. ЗК – Київ: Архітектурно-реставраційне підприємство «СОФІЯ», 2017.
6. Звіт про науково-технічну роботу «Обстеження та оцінка технічного стану підпірних стін, які розташовані на Володимирській гірці в м. Києві на ділянці реконструкції і благоустрою парку. Оцінка стійкості схилу на ділянках розташування підпірних стін. Етап 2. Обстеження та оцінка технічного стану підпірних стін ПС-7, ПС-11-1 і ПС-11-2, які розташовані на ділянці реконструкції і бла-



гоустрою парку на Володимирській гірці в м. Києві. – Київ: ДП НДІБК, 2018.

7. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1-1-2008. [Чинні від 2009-07-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2009. – 78 с. – (Державні будівельні норми).
8. Будівництво у сейсмічних районах України. ДБН В.1.1-12-2014. [Чинний від 2014-10-01]. [Київ: Мінрегіонбуд України, 2014. 110 с. (Державні будівельні норми України)].
9. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд: ДБН В.1.2-14:2018 [Чинні від 2019-01-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2018. – 30 с. – (Державні будівельні норми).
10. Будівлі та споруди. Визначення класу наслідків (відповідальності): ДСТУ 8855:2019: [Чинні від 2019-12-01]. – К.: Мінрегіон, ДП «УкрНДНЦ», 2019. – 13 с. – (Державний стандарт України)
11. Захист від небезпечних геологічних процесів. Основні положення: ДБН В.1.1-24:2009 [Чинні від 2011-01-01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 108 с. – (Державні будівельні норми).
12. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення: ДБН В.1.1-46:2017 – [Чинні від 2017-11-01]. – К.: Мінрегіон України, ДП «Укрархбудінформ», 2017. – 43 с. – (Державні будівельні норми України).

REFERENCES

1. Project documentation for the object: "Reconstruction of the Cable railway " ("Architectural, engineering and geodetic services" code 71250000-5 according to DK 021:2015). Technical report. Book 2. Engineering and geological investigations. Explanatory note. Text applications. Graphic applications. Code 36259541-HL-29-06/2017-00.02. (2017). Kyiv: Inzhinerbudproekt LLC.
2. Reconstruction of the Cable railway . Report on the technical condition of the load-bearing structures of the upper station of the cable railway letter "A" on the street. Sahaidachnoho, 3 in Kyiv. Volume 1. Code 54.17-42-TO.AB.01. (2017). Kyiv: Architectural and Restoration Enterprise SOFIYA.
3. Reconstruction of the Cable railway . Report on the technical inspection of the lower station. Volume 2. Code 54.17-42-TO.AB.02. (2017). Kyiv: Architectural and Restoration Enterprise SOFIYA.
4. Reconstruction of the Cable railway . Report on the technical survey and testing of the overpass. Volume 5. Code 54.17-42-TO.KB (2017). Kyiv: Architectural and Restoration Enterprise SOFIYA.
5. Reconstruction of the Cable railway . Report on the railway track and track foundation. Volume 9. Code 54.17-42-TO.ZK. (2017). Kyiv: Architectural and Restoration Enterprise SOFIYA.
6. Report on the scientific and technical work "Inspection and assessment of the technical condition of the retaining walls located on the Volodymyrska hill in the city of Kyiv in the area of reconstruction and beautification of the park. Assessment of slope stability in the areas where retaining walls are located. Stage 2. Inspection and assessment of the technical condition of the retaining walls of PS-7, PS-11-1 and PS-11-2, which are located on the site of reconstruction and improvement of the park on Volodymyrska hill in Kyiv. (2018). Kyiv: DP NDIBK.
7. DBN A.2.1-1-2008.Engineering searches for construction. (2009). Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine.
8. DBN V.1.1-12-2014. Construction in seismic regions of Ukraine. (2014). Kyiv: Minregionbud of Ukraine.
9. DBN V.1.2-14:2018. General principles of ensuring the reliability and structural safety of buildings and structures. (2019). Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine.
10. DSTU 8855:2019. Buildings and structures. Definition of the class of consequences (responsibility). (2019). Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine.
11. DBN V.1.1-24:2009. Protection from dangerous geological processes. Main provisions. (2011). Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine.
12. DBN V.1.1-46:2017. Engineering protection of territories, buildings and structures against landslides and collapses. Main provisions. (2017). Kyiv: Ministry of Regions of Ukraine.

Стаття надійшла до редакції 05.09.2022 року