

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТТА НА ПЪТНИ ОТКОСИ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА ПОЛЕВО И ЛАБОРАТОРНО ОПРЕДЕЛЕНИ ЯКОСТНИ СВОЙСТВА НА ПОЧВИТЕ

Антонио В. Лаков, Стефчо Б. Стойнев

Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София; tony_lakov@abv.bg; stoynev@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Свлячището на пътя град Елин Пелин – Вакарел е възникнало в следствие на интензивно оводняване на пътния насип, като е разрушило откосите на насипа и външната пътна лента. При направените проучвания и анализ на инженерногеоложките, хидрогеоложки и геодинамични условия са конкретизирани геоложкият разрез в района на свлячищното тяло, геометрията му и повърхнината на свличане, както и факторите за неговото възникване. Физикомеханичните свойства на почвите от геоложкия разрез са определени чрез използване на полеви и лабораторни методи. Полевите изследвания включват направа на динамични пенетрационни изследвания тип SPT. Чрез тях е определена недренираната якост на почвите, съответстваща на якостта им след бързото им водонасищане предизвикало свлячищния процес. Якостта на срязване в лабораторни условия е определена в консолидирано-дренирано състояние. Въз основа на тези резултати са извършени стабилитетни изследвания за оценка устойчивостта на свлячището в условия на бързо водонасищане с използване на недренираната якост на срязване и в условия на продължително дрениране с ефективна якост на срязване. Получените резултати за коефициентите на устойчивост показват добра съпоставимост, като позволяват по-достоверна интерпретация на механизма и динамиката на развитие на свлячищните процеси и избор на ефективни мероприятия за укрепването му.

SLOPES STABILITY EVALUATION USING IN-SITU AND LABORATORY DEFINED SOILS SHEAR STRENGTH PARAMETERS

Antonio V. Lakov, Stefcho B. Stoynev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia; tony_lakov@abv.bg; stoynev@mail.bg

ABSTRACT. The landslide on the road Elin Pelin – Vakarel (Bulgaria) was triggered from massive overdamping of the road embankment and has destroyed its slopes and the external road lane. The conducted investigations and analysis of the engineering geological, hydrogeological and slope conditions revealed the geological profile of the landslide and the triggering factors. The mechanical properties of the soils were determined with in-situ and laboratory testing. The in-situ test included SPT's to determine the undrained cohesion of the soils corresponding to the soil conditions after their quick saturation that has triggered the sliding process. The shear strength was tested in laboratory in consolidated-drained conditions. The obtained results were used in the stability calculations at short-term undrained conditions and for long-term drained conditions. The obtained safety factors values show good compatibility and allow more reliable interpretation of the landslide's mechanism and dynamics, and more efficient stabilization concept.

Въведение

Възникването на свлячищни процеси, засягащи пътища и пътни съоръжения, разположени върху естествени или техногенни наклонени терени, най-често е свързано с неблагоприятното въздействие на повърхностни и подземни води в следствие на лошото им отвеждане от пътното платно и пътна конструкция. Трябва да отбележим, че независимо от общия неблагоприятен ефект върху устойчивостта, влиянието на повърхностните и подземните води върху поведението на масива и пътните конструкции посвоята същност е различно. Обикновено повърхностните води причиняват дестабилизация на склонове и откоси в следствие на бързи и значителни по обем и скорост потоци, които предизвикват както разрушителна повърхностна ерозия, така и бързо (при наличие на подходящи геотехнически условия) инфилтрационно водонасищане на масива,

предизвикващо, от своя страна, бързо формиране на висок порен натиск без възможност за неговото разсейване за определен (макар и сравнително къс) период от време. От друга страна, неблагоприятното геодинамично влияние на подземните води се свързва с повишаване на нивата им в склоновете и откосите, което, поради преобладаващо филтрационния характер на процесите, е относително по-бавно и свързано с по-плавено изменение и разпределение на порния натиск във времето. Двата описани процеса на водонасищане на масива на практика водят до различни модели на поведение на почвите, които най-общо се описват чрез на якостта на срязване в недренирано състояние, съответстваща на недренирания общ ъгъл на вътрешно триене ϕ_u (за несвързани разновидности) и на недренираната кохезия c_u (за свързани разновидности), и от якостта на срязване в дренирано състояние, описвана от

ефективните якостни показатели ϕ' и c' , а устойчивостта на склоновете и откосите – съответно от моделите на кратковременната (short-term) и дълговременна (long-term) устойчивост (Duncan, 2005).

Тези процеси са познати отдавна в теорията и практиката на проектиране на земнонаситни язовирни стени в условията на стабилизирана филтрация през стената и при бързо понижаване на водното ниво във водохранилището (Ширърд, 1970). Като цяло, в Еврокод 7 при изследване на устойчивостта на земната основа и откосите се препоръчват самостоятелни оценки както при възможност за развитие на висок порен натиск, така и след неговото разсейване. Някои съвременни изследвания (вкл. и моделни – Wang, 2003) показват, че при инфилтрационно подхранване на склонове, изградени от преобладаващо дребнозърнести и/или финнозърнести материали, високият порен натиск се запазва дори и по време на тяхното свличане.

За съжаление, в съществуващата нормативна база у нас, свързана с проектиране на пътни обекти (Наредба № 1 за проектиране на пътища от 2000 г.) и на геозащитни съоръжения (Наредба № 12 за проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони от 2001 г.), въпросите за оценката на устойчивостта в недрениране условия не са разглеждани. Още повече, у нас няма действащи стандарти за лабораторно изследване на недренираните якостни показатели на почвите в условията на плоско срязване.

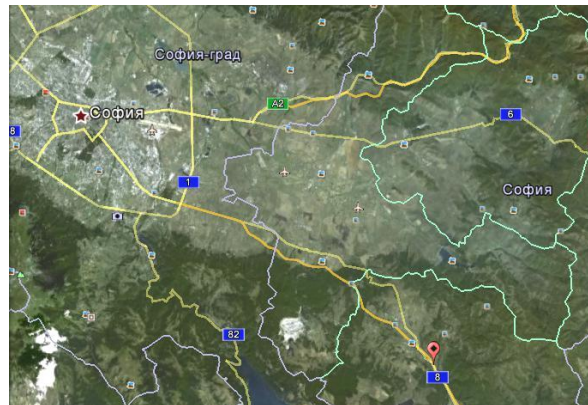
Предмет на настоящата статия ще бъде изследването връзката между устойчивостта на пътния насип и свойствата и поведението на изграждащите го материали при различни състояния и модели на водонасищане, на примера на възникналото свлачище на главен път I - 8 - София – Пловдив при km 102+700 (*Инженерногеоложки доклад...*, 2012), при използване на ефективната и недренираната якост на срязване.

Геоморфоложка характеристика и геоложки строеж

Проучваният пътен участък е разположен върху северните планински склонове на Средна гора, в долната част на Вакарелския рид, по границата със Софийската котловина (фиг. 1). Релефът е силно разчленен, с дълбоко всечени речни долини и долове, стръмни долинни откоси, ерозионен тип. В зоната на свлачището пътното платно преминава по насип, който е изграден между двата бряга на река Габра, чиято долина е стръмно всечена на дълбочина до 40 m в скалната подложка. Северният склон на долината, върху който попада свлачището е изграден от Червениградската свита, която е представена от кафеникавочервени до тъмночервени на цвят незакономерно редуващи се конгломерати и пясъчници и по-рядко алевритови прослойки.

Насипът е изграден във връзка с преминаването на пътя и ж.п. линията през долината на река Габра, като височината му над речното легло достига също до 40 m, а в основата му е изграден голям водосток осигуряващ

преминаването на водния отток. Насипът е изграден от нееднородни по състав и свойства материали, вероятно взети от кватернерната покривка и изветрителните зони на скалните разновидности разпространени в района.



Фиг. 1. Местоположение на обекта

По устни сведения на хора от района, насипът е изграден при удвояването на ж.п. линията София – Пловдив. Преди това, на речната долина е имало изградени стоманен мост, а по-късно железобетонен, които в последствие са затрупани. Липсва каквато и да е техническа документация за конструкцията и геометрията на насипа, технологията на неговото изграждане.

Хидрогеоложка характеристика

Височината на насипа, стръмните откоси и преобладаващо пясъчливия характер на материалите, от които е изграден, създават условия за добра дренираност и не благоприятстват формирането на водоносни зони в него. При водообилни сезони обаче, в насипа се инфилтрират повърхностни води, които формират инфилтрационен поток с временен характер. Особено благоприятни условия за това създават множеството пукнатини по пътното платно и лошото му отводняване, което при водообилни сезони води до формиране на значителен повърхностен отток насочен към водосток в зоната на деформирания участък. Това създава условия за преовлажняване на земните маси от насипа, влошава якостно-деформационните им свойства и обуславя възникването и развитието на свлачищни процеси в приоткосната зона, деформации по пътното платно, придаващи му вълнообразен характер и развитие на пукнатини в асфалтовото покритие. Преовлажняването на насипа е един от основните фактори за развитие на свлачищните процеси в него.

Геодинамична характеристика

Пътният насип е бил засяган от свлачищни процеси и преди, макар и в други негови участъци. В резултат на възникнали през 1996 г. деформации по трасето на ж.п. линията, южно от настоящото свличане, е изготвен и реализиран проект за укрепване на подпорната стена между пътя и ж.п. линията, който включва направата на разположени перпендикулярно на пътя контрафорсни ребра от разположени един до друг пилоти. През 1998 г. в същия участък са възникнали свлачищни деформации по

Съвременната свлачищна деформация, възникнала през м. февруари 2012 г., е развита в зоната на аварирал водосток и е засегнала откоса на насипа в участък от 37,0 m в северната му част (фиг. 2). Свлачищните процеси са разрушили външната пътна лента в зона с дължина 12,0 m в централната част на формирания свлачищен циркус. От двете страни на тази зона свлачищните деформации са деформирали банкета на пътя в участъци от 11,0 m в северната част и 14,0 m в южната част (посока Пловдив) на свлачищния циркус. Дължината на свлачищния циркус достига 32 m. Свлачището е с добре изразени граници, циркусообразна форма и характерната свлачищна морфология – свлачищен отстъп, свлачищен вал в основата на циркуса, пукнатини и наклонени дървета. Свлачищният отстъп е с височина около 3,0 m в централната част на циркуса и е резултат, както на свлачищните процеси, така и от ерозионната дейност на дренаиращите се през водостока повърхностни води от пътя. В страничните зони той е с височина до 0,20-0,50 m. Част от свлечените земни маси в централната част на циркуса са ерозирани от повърхностните води преминаващи през авариралия водосток и са оформили в централната част на циркуса негативна форма (ерозионно дере) по което продължават да се оттичат повърхностните води от пътното платно при валежни периоди.

на насипа е слабо изразена.

Друг, допълнителен фактор за развитие на свлачищните процеси са натоварванията от превозни средства, както и интензивния трафик, който те генерират.

Съгласно Наредба № 12 свлачищата в зоната на пътното платно се определя от клас III, Група 5-6, категория А.

Свойства на инженерногеоложките разновидности

Инженерногеоложките разновидности и техните свойства са определени на базата на резултатите от проведените при проучване на обекта сондажни работи, динамичните пенетрационни изследвания тип SPT, електропрофилиране и лабораторни изследвания.

Установени са следните инженерногеоложките разновидности:

- Насип (пласт 1), със следните под-разновидности:
 - Пласт 1.1 – насип от чакъл с глинесто-песъчлив запълнител в зони до чакълеста глина пласт
 - Пласт 1.2 – насип от глинест пясък в зони до песъчлива глина и заглинени в различна степен пясъци
 - Пласт 1.3 – насип от песъчлива глина, червеникава
 - Пласт 1.4 – насип от песъчлива глина, кафява с разнорънест чакъл
- Глина, прахова, делувиялна – пласт 2
- Пясък, дребно до среднорънест, заглинен в различна степен в зони до глинест пясък (той няма отношение към склоновата устойчивост и не е изследван) – пласт 3
- Пясъчник, дребнорънест, с варовита спойка – пласт 4.

Определените изчислителни стойности за обемната плътност и якостните показатели на разновидностите, имащи отношение към свлачищния процес, са представени в следващата таблица:

Таблица 1. Изчислителни стойности за обемната плътност и якостните показатели на инженерногеоложките разновидности

Пласт №	Об. плътност ρ_n , kN/m ³	Изчислителна якост на срязване					
		Ефективна				Недренирана	
		Върхова		Остатъчна			
		ϕ' , °	C' , kPa	ϕ' , °	C' , kPa	ϕ_u , °	C_u , kPa
1.1	1.97	-	-	-	-	36	-
1.2	1.95	27	13.7	26	10.3	23	-
1.3	1.97	17	19.6	16	16.0	-	30.6
1.4	1.99	22	29.0	22	24.0	-	37.8
2	1.99	14	31.8	13	26.6	-	-
4	2.40	35	70	-	-	-	-

Показателите на ефективната върхова и остатъчна якост на срязване са определени в лабораторни условия при консолидирано-дренирано състояние. Тъй като насипите от пластове 1.1 и 1.2 зърнометрично са с преобладаващи песъчлива и та чакълеси фракции, то недренираната им якост е определена чрез общия ъгъл на вътрешно триене. Материалите от пластове 1.3 и 1.4 са с преобладаващ прахово-глинест състав и по тази причина недренираната им якост е определена чрез недренираната кохезия.

Устойчивост на откосите

Изчисленията за устойчивостта са извършени с програмата GeoStru по три инженерногеоложки профила (IV-IV, V-V и VI-VI – фиг. 2 и 3), разположени в границата на свлачищния процес.

В изчислителните схеми са приети следните общи предпоставки за моделиране на инженерногеоложките условия:

- устойчивостта е определена по хлъзгателна повърхнина от кръгово-цилиндричен по метода на Бишоп, като е използвана генерираща процедура за търсене на най-неблагоприятната повърхнина на хлъзгане.
- границите на хлъзгателните повърхнини са привързани към зоните на деформиране на пътното платно откосити под него, установени при инженерногеоложката картировка;

Изчисленията в условията на основно съчетание на товарите са използвани стойностите на:

- изчислителната ефективна върхова и остатъчна якост на срязване на строителните почви, определена в лабораторни условия, и
- изчислителната пълна якост на срязване на строителните почви, определена по данни от SPT;
- изчислителните водни нива в зоната на пътното платно са приети на около 3 m от терена, което съответства на дълбочината на оттичане от отводнителната тръба. Надолу по склона са приети на дълбочини средно от 1,0-1,5 m от терена. При използване на ефективната якост на срязване, влиянието на водното ниво е отчетено като порен натиск, а при използване на пълната якост на срязване – само като тегло в свлачищното тяло.

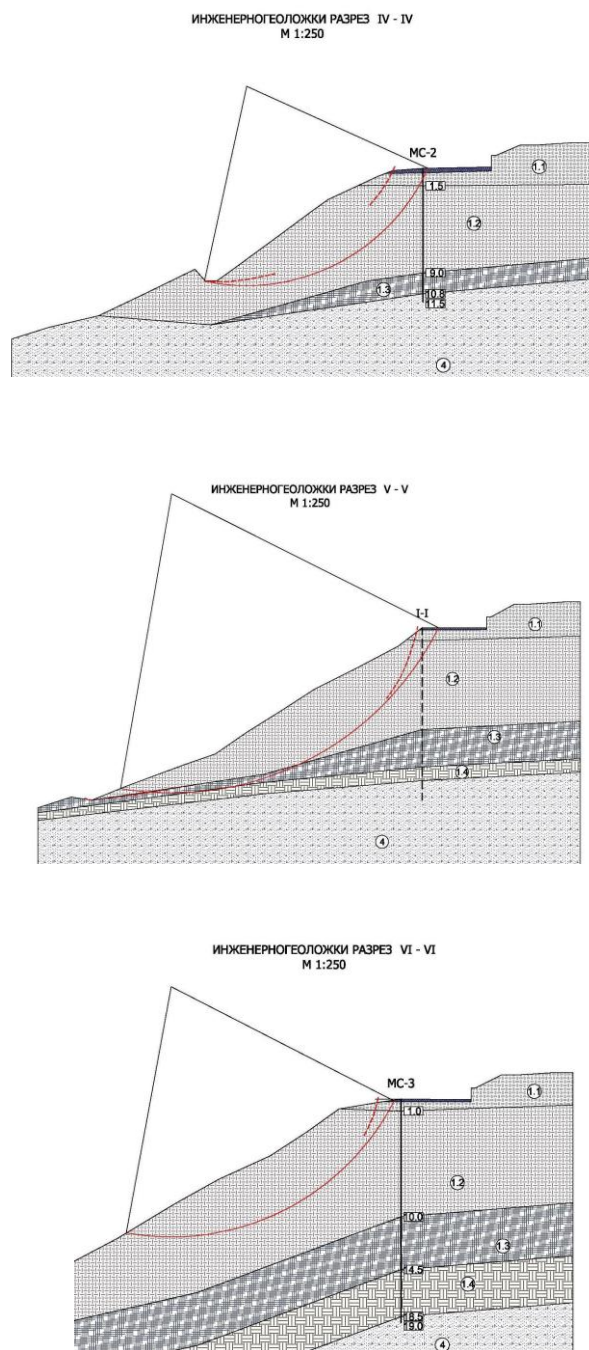
Влиянието от товарите на пътни превозни средства е отчетено като равномерно разпределен товар с интензивност от 20 kN/m, разпределени върху пътното платно. Получените резултати от изчисленията са дадени в таблица 2.

Таблица 2. Коефициенти на устойчивост при различни състояния и почвени показатели

Профил	Минимален коефициент на устойчивост F_{min} при съчетание на товарите		
	Върхова якост	Недренирана якост	Остатъчна якост
IV-IV	1,14	0,96	1,05
V-V	1,23	0,96	0,98
VI-VI	1,10	1,02	1,07

Резултатите от изчисленията показват, че дълбочинният обхват на генерираните най-неблагоприятните изчислителни повърхнини в зоната на нарушения пътен банкет е до 3-4 m от терена, което съответства на реализирания свлачищен обрив (фиг. 3).

Според тях, се установява, че при използване в стабилитетните изчисления на определената ефективна върхова якост, получените за отделните профили в свлачищното тяло минимални коефициенти на устойчивост са в границите $F=1,10 \div 1,23$. Тези стойности са по-високи от граничната ($F=1,00$) и не съответстват на действителното геодинамично неустойчиво състояние на откосите.



Фиг. 3. Изчислителни разреза по профилни линии IV-IV, V-V и VI-VI (с прекъсната линия са показани елементите на свлачищните повърхнини, установени при инженерно-геоложката картировка, а с пълтна линия са показани повърхнини на хлъзгане, установени от вариантите изчисления)

Същевременно, минималните коефициенти на устойчивост, получени чрез използване на показателите на недренираната якост на срязване (основно за материалите от насипа), са много близки до граничната стойност и описват състояние на гранично равновесие на склона в условията на бързо водонасищане и забавено дрениране на подземните води.

Изчисленията за коефициента на устойчивост с остатъчна якост на материалите от насипа съответстват на състоянието на масива след неговото отслабване в следствие на свлачищните процеси и при условно запазване на водните нива в насипа, но след възстановяване на филтрационното им дрениране. Те показват, че устойчивостта на нарушения свлачищен масив за следващ по-дълготраен период от време също е близка или малко по-висока от граничната. Това налага прилагането на стабилизиращи силови и/или дрениращи съоръжения, като тяхното оразмеряване може да се извърши на базата на изготвените стабилитетни модели.

Заклучение

Получените резултати от направените анализи на устойчивостта на свлачището показват, че неговото възникване и развитие може да се обясни с формирането на висок порен натиск с инфилтрационен произход.

Това налага инженерногеоложките и хидрогеоложките проучвания, в подобни условия, да изследват самостоятелно и равнопоставено устойчивостта на склоновете и откосите както в недренирано, така и в дренирано състояние.

Литература

- Инженерногеоложки доклад за обект: "Укрепване свлачище и възстановяване пътно платно на път I-8, София – Пловдив при км 102+700", 2012 г. Фонд "Геотехника АБС" ООД.
- Наредба № 1 от 26 май 2000 г. за проектиране на пътища. МРРБ.
- Наредба № 12 за проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони от 2001 г. МРРБ.
- Ширърд, Дж. и др. 1970. Земнонаситни и каменнонаситни язовирни стени. Инженерни проблеми на проектирането и строителството. С., Техника.
- Duncan, J. M., S. G. Wright. 2005. *Soil Strength*. John Wiley & Sons, New York.
- Gonghui, W., K. Sassa. 2003. Pore-pressure generation and movement of rainfall-induced landslides: effects of grain size and fine-particle content. – *Engineering Geology*, 69, 1-2, 109-125.