

ГОДИШНИК НА УНИВЕРСИТЕТА ПО АРХИТЕКТУРА, СТРОИТЕЛСТВО И ГЕОДЕЗИЯ – СОФИЯ

Първа научно-приложна конференция с международно участие
„СТОМАНОБЕТОННИ И ЗИДАНИ КОНСТРУКЦИИ – ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА“

22 – 23 октомври 2015

22 – 23 October 2015

First Scientific-Applied Conference with International Participation

“REINFORCED CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES – THEORY AND PRACTICE”

ANNUAL OF THE UNIVERSITY OF ARCHITECTURE, CIVIL ENGINEERING AND GEODESY – SOFIA

48 ^{ТОМ}
vol.

2015

св. 12 – III
fasc.

ПИЛОТНИ ПРОТИВОСВЛАЧИЩНИ КОНСТРУКЦИИ, РЕАЛИЗИРАНИ ПО НАЦИОНАЛНАТА ПЪТНА МРЕЖА НА БЪЛГАРИЯ

Л. Михова¹, Хр. Заякова²

Ключови думи: пилоти, укрепителна конструкция, свлачище, пътен насип

Научна област: проекти на строителни конструкции

РЕЗЮМЕ

В края на зимния период на 2015 г. в редица участъци от пътната мрежа на България се активират свлачища, вследствие на което възникват аварийни ситуации или се нарушават изискванията за експлоатационното състояние на пътните конструкции. Поради големите натоварвания от свличащата се почвена маса и от пътен трафик, за възстановяване на авариралите участъци често се прибегва към изграждане на силово укрепване с помощта на дълбоко заложени стоманобетонни конструкции. В настоящата статия са представени три реализирани проекта на укрепване на аварирали пътни насипи чрез изграждане на пилотни стени с различна конфигурация. Представени са проведените полеви, експериментални и теоретични изследвания на обектите и проектните решения за укрепителните конструкции.

1. Въведение

На територията на България често се наблюдава активизиране на свлачищни процеси. Причините са комплексни и за всеки индивидуален случай те трябва да бъдат

¹ Лена Михова, доц. д-р инж., кат. „Геотехника”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: l_mihova@yahoo.com

² Христина Заякова, доц. д-р инж., кат. „Ниско строителство”, ВСУ „Л. Каравелов”, e-mail: hsz@abv.bg

внимателно анализирани, с цел да се предприемат адекватни геозащитни мерки. Силовото укрепване на свлачищни терени с помощта на дълбоко заложи пилотни конструкции в редица случаи се явява предпочитано проектно решение, особено при наличие на обекти на високото и ниското строителство, въздействащи със значителни допълнителни натоварвания върху свлачищните терени. В настоящата работа са представени три вида противосвлачищни пилотни конструкции, реализирани през 1915 г. в аварирани участъци от националната пътна мрежа. При инженерните проучвания и анализи са потърсени оптимални варианти на конструкциите по отношение на статическа работа, конструктивни изисквания, технология на изпълнение и икономически показатели.

2. Укрепване на пътен насип на автомагистрала „Струма“ от km 317+550 до km 317+900

При извършване на мониторинг върху експлоатационното състояние на съоръжението са установени разширяващи се надлъжни пукнатини в асфалтовата настилка в близост до разделителната линия между втората и третата пътна лента на лявото платно на магистралата (фиг. 1). Пукнатините обхващат участък с дължина около 30 m и постепенно се изместват в посока към банкета на пътя и затихват, навлизайки в откосната част на пътният насип. Общият засегнат участък е с дължина около 60 m.

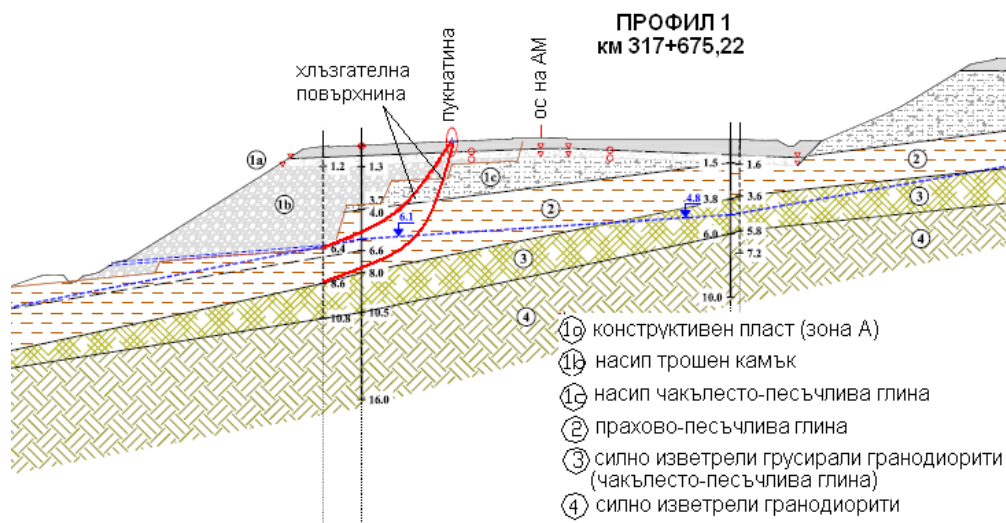
Характерно за съоръжението в този участък е, че поради наличие на наклон на естествения терен около 10° в напречна посока на трасето на пътя, насипното тяло е силно несиметрично. Пътният насип в лявата половина от магистралата е с височина до 8,0 m, докато насипът в дясната половина е с незначителна или конструктивна височина.



Фиг. 1. Състояние на пътното платно на АМ „Струма“ в засегнатия участък [2]

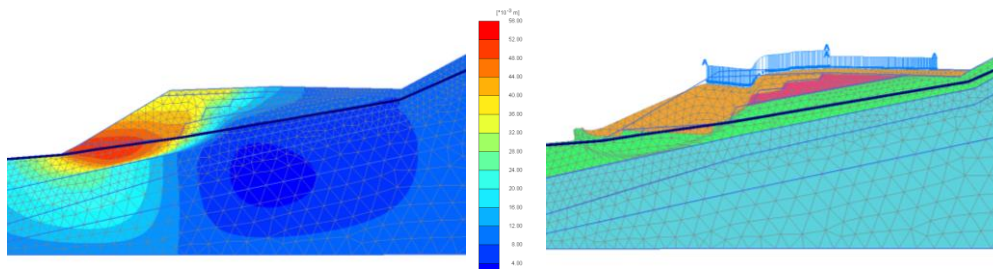
2.1. Анализ на състоянието на насипа

Наличието на пукнатини в пътната настилка е индикация за образуване на локални зони на разрушаване на пътната настилка, предизвикващи пластифициране и разуплътняване на пътното легло. Констатирането на процес на разширяване на пукнатините, а също и наличието на денивелация в повърхността на настилката от двете страни на пукнатините е индикация за формиране на хлъзгателна повърхнина, застрашаваща устойчивостта на насипа.



Фиг. 2. Напречен профил на пътният насип и земната основа в най-неблагоприятната част от засегнатия участък

За установяване на причините, довели до повредите в съоръжението и предприемане на адекватни мерки за отстраняването им, са проведени инженерно-геоложки проучвания и са направени полеви и лабораторни изследвания. Земната основа, върху която е изграден насипът, съдържа силно овлажен пласт прахова глина с дебелина 2,0 – 4,0 m, под който залягат изветрели грусирани гранодиорити (фиг. 2). Инфилтрирането на вода в праховата глина под тялото на насипа вследствие наличието на напорен водоносен хоризонт намалява триенето между почвените частици и съответно якостта на срязване на почвата.



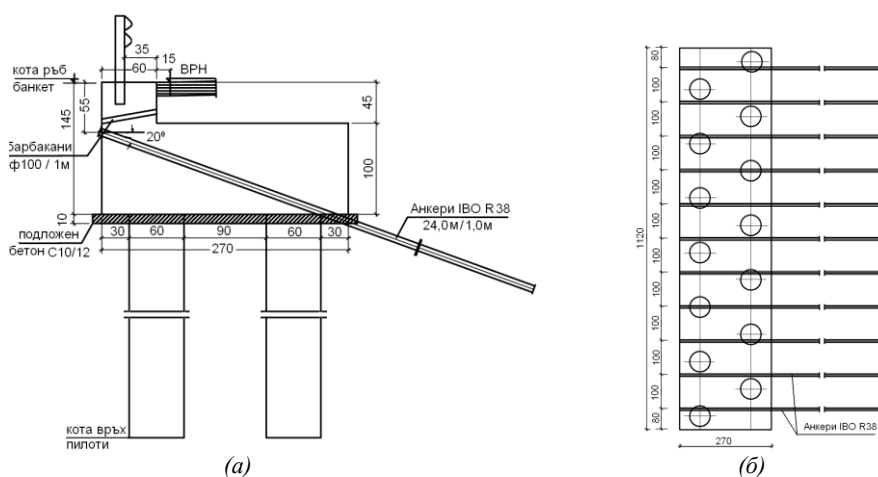
Фиг. 3. Диаграма на хоризонталните премествания и механизъм на разрушение на пътният насип

С помощта на модел по МКЕ са получени преместванията в насипа и в земната основа от действието на собственото тегло на почвата и пътен трафик (фиг. 3). Получава се силно изразен градиент на преместванията в хоризонтално направление при петата на откоса. Механизмът на потенциално разрушение показва, че най-неблагоприятната хлъзгателна повърхнина е криволинейна, започваща от върха на насипа в зоната на реализираните пукнатини, преминава през насипната призма, праховата глина и достига до контакта с гранодиоритите.

2.2. Описание на укрепителната конструкция

Тъй като са налице частични активни процеси на хлъзгане, целесъобразно е да се предприемат мерки за силово укрепване на насипа. Изграждането на укрепителна конструкция по левия банкет на пътя ще спре по-нататъшното отваряне на пукнатините и развитието на активна хлъзгателна повърхнина. Освен това, ще бъде спрян и процесът на разуплътняване на материала на насипа и ще се даде възможност съществуващите зони с разуплътнен материал да бъдат премахнати и отново изградени.

Реализирано е укрепване с помощта на пилотна укрепителна конструкция (стена), развита в оста на банкета на пътя (фиг. 4). Пилотната стена е с обща дължина 56 m, разделена на 5 секции по 11,2 m, с фуга помежду им от 3 cm. Състои се от два реда сондажно-изливни пилоти с диаметър 60 cm и дължина 12,5 m, разположени шахматно през осово разстояние 1,60 m в надлъжна посока и 1,50 m в напречна посока. В една секция се разполагат 16 броя пилоти. Пилотите се обединяват от ростверк с фундаментна част, която е с дебелина 1,0 m. Ростверкът има вертикална стена с височина 0,45 m и ширина 0,60 m, горният ръб на която е част от банкета на пътя. Тъй като ростверкът се развива в по-голямата си част в посока към пътното платно, се предвиждат барбакани през 1,0 m за отводняване на насипа под пътното платно. Пилотната стена е анкерирана с инжекционни анкери тип IBO R38 с дължина 24 m, разположени в надлъжно направление през 1,0 m под ъгъл към хоризонта 20° и закотвени в ростверка на пилотната стена.



Фиг. 4. Пилотна укрепителна конструкция

(а) вертикален напречен разрез; (б) план на секция

Избраната конфигурация на укрепителната конструкция е с редица предимства. Ростверкът е с голяма коравина и освен като обединителен елемент за пилотите, съдейства за оформяне на конструктивните елементи на пътя – банкет, еластична ограда, отводнителни съоръжения. Развитието му в посока към пътното платно и частичното му разположение под аварийната лента на магистралата е благоприятно, защото, от една страна, позволява за оста на укрепителната конструкция да се получи по-малка дебелина на свличащата се почвена маса и да се реализира по-малка свличаща сила и от друга страна, непосредствено заздравява земното легло на пътното платно. Анкерите освен основната носеща роля в статическата работа на конструкцията, като еле-

менти с много по-високи якостно-деформационни показатели от почвата и с геометрични показатели – голяма дължина и гъсто разположение, имат и допълнителна заздравяваща функция върху материала на пътния насип. Шахматното разположение на пилотите осигурява пространствена работа на укрепителната конструкция и оптимално преразпределение на усилията между пилотите. Освен това възпрепятства изтичането на материал и разуплътняването на пътния насип.

2.3. Метод на проектиране на укрепителната конструкция

Укрепителната конструкция се проектира в съответствие с документите на Еурокод. Тъй като има проявен процес на свлачищни премествания, пилотната конструкция се оразмерява за свлачищен натиск, като се разчита на пасивно съпротивление на почвата само в частта под свлачищната повърхнина.

Натоварването от пътен трафик е в съответствие с товарен модел LM1 по Еурокод 1 [4]. Натоварването от товарния модел LM1 се привежда към равномерно разпределен товар за един линеен метър по дължина на пътя със стойност $q = 35$ kPa.

За определяне на свлачищната сила за пилотната стена е приложен изчислителен модел по ламелен метод на Morgenstern-Price. При предпоставката за коефициент на сигурност за устойчивост на откоса $F_s = 1$ са уточнени остатъчните якостни параметри на почвата по хлъзгателната повърхнина. За праховата глина (пласт 2 на фиг. 2) те са $\varphi_r = 17,5^\circ$ и кохезия $c_r = 7,0$ kPa. Свлачищната сила е определена като сума от хоризонталните компоненти на мобилизираните сили на срязване в основата на всички вертикални ламели от горния край на хлъзгателната повърхнина до оста на укрепителната конструкция.

Сеизмичното въздействие е прието съгласно Еурокод 8 [6] като квазистатично хоризонтално натоварване по формулата $F_h = 0,5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$, където: α е отношението на изчислителното сеизмично ускорение a_g на земна основа тип А към земното ускорение g ; S – почвен коефициент; W – теглото на хлъзгащата се почва. Обектът попада в район със сеизмично ускорение $a_g = 0,15 g$.

Статическата схема на пилотната система е вертикална греда с инерционни характеристики, приведени за един линеен метър от дължината на укрепителната конструкция, подпряна еластично в земната основа под повърхнината на хлъзгане с помощта на пружинни опори с нарастваща коравина в дълбочина и частично запъната в ростверка. Хоризонталното преместване на ростверка се ограничава от коравината на анкерната опора и триенето в основната плоскост.

Извършени са решения за следните комбинации на натоварване:

- Основна комбинация на натоварване за крайно гранично състояние тип GEO [5], включваща изчислителна стойност на свлачищния натиск над хлъзгателната повърхнина, активен земен натиск под хлъзгателната повърхнина, умножен с частен коефициент 1,35 и земен натиск от пътен трафик, умножен с частен коефициент 1,5.
- Земетръсна комбинация на натоварване за крайно гранично състояние тип GEO, включваща изчислителна стойност на свлачищния натиск над хлъзгателната повърхнина, квазистатично инерционно натоварване на свлачищната се почвена маса, активен земен натиск под хлъзгателната повърхнина и земен натиск от редуциран пътен трафик с коефициент $\psi_2 = 0,6$ [3]. Съгласно Еурокод 8 се работи с изчислителните стойности на върховата якост на срязване за материала на насипа и основата, с частни коефициенти на сигурност за ъгъла на вътрешно триене $\gamma_\varphi = 1,25$ и за кохезията $\gamma_c = 1,6$.

- Основна комбинация на натоварване за експлоатационно гранично състояние (SLS) с характеристични стойности на натоварването и параметрите на почвата за определяне на деформациите на пилотната стена.

Пилотите се армират с армировъчни скелети от надлъжна армировка и спираловидна напречна армировка за поемане на усилията в меродавни сечения. Извършени са проверки за носимоспособност на анкерите за изтръгване и скъсване. Направена е проверка за достатъчна дълбочина на забиване на пилотите под свлачищната повърхнина от условието за ненадвишаване на граничното пасивно съпротивление на земната основа.

3. Укрепване на пътен насип при km 63+700 на път II-19 гр. Банско – гр. Гоце Делчев – Участък 1 (от п.т. 1016 до п.т. 1024)

3.1. Състояние на терена и пътното трасе

Пътят, който се укрепва, пресича стръмен планински склон, спускащ се към долината на р. Места. Разглежданият участък попада в разломна зона. Геодинамичните процеси го характеризират като пълзящ склон. Характерните признаци за пълзенето са наклонената дървесна растителност върху склона (фиг. 5а) и периодичната поява на неравности на пътя.



Фиг. 5 Състояние на терена [1]

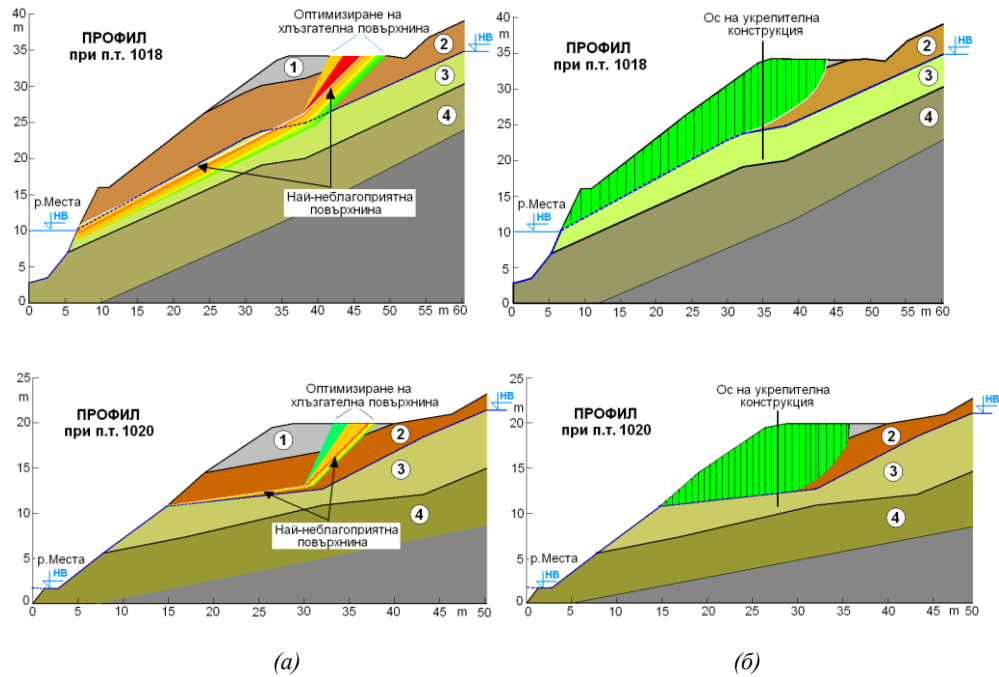
(а) наклонена дървесна растителност по склона към р. Места;
(б) пропадане на пътната настилка

В края на зимния сезон на 2015 г. се проявяват активни свлачищни процеси в посочения терен, в резултат на което се формират пукнатини около осовата линия на пътя и във вътрешното платно, налице е пропадане и свличане по склона към р. Места на пътната насипна призма на цялото външно платно. Регистрирано е 18 cm пропадане на пътната настилка (фиг. 5б). Намиращият се в този участък тръбен водосток първоначално е деформиран, а впоследствие – скъсан. Пътят е застрашен изцяло от разрушаване поради незатихваща активност на свлачищните процеси, които се разширяват както в надлъжно, така и в напречно направление на пътя.

3.2. Трасиране на свлачищната повърхнина

От инженерногеоложките проучвания е установено, че земната основа се състои от следните литоложки видове (фиг. 6): 1 – пътен насип 2,0 – 4,0 m, 2 – делувиална

глина 4,0 – 6,0 m, 3 – глинизирани гнайси и гнайсошисти 2,0 – 5,0 m, 4 – изветрели и напукани гнайси и гнайсошисти с мощност над 5,0 m. Пластовете залягат с наклон към хоризонта по-голям от 35°. Свлачищната повърхнина е транслационен тип и се реализира по границата на делувиалната глина с глинизирани гнайси и гнайсошисти, където е констатирано наличие на почвени води. Свлачищата се почвена маса е с дебелина до 10 m.



Фиг. 6. Изчислителни модели за определяне на свлачищните сили
 (а) двублоков модел; (б) ламелен метод на Morgenstern-Price

С цел доуточняване на геометрията на свлачищната хлъзгателна повърхнина, за всеки един от профилите е проведено оптимизационно решение по метода на граничното равновесие, което съдържа следните стъпки: 1) При предпоставката за двублоково хлъзгане е намерена най-неблагоприятната хлъзгателна повърхнина по метода на граничното равновесие (фиг. 6а); 2) Извършено е заглаждане на най-неблагоприятната хлъзгателна повърхнина, определена по точка (1), като тя е заместена с полигонална, формираща един криволинеен участък, с който се пресичат пластовете 1 и 2, и втори праволинеен участък по границата на пластовете 2 и 3 (фиг. 6б); 3) С получената по точка (2) свлачищна повърхнина се извършват решения за определяне на свлачищните сили, необходими за оразмеряване на укрепителната конструкция.

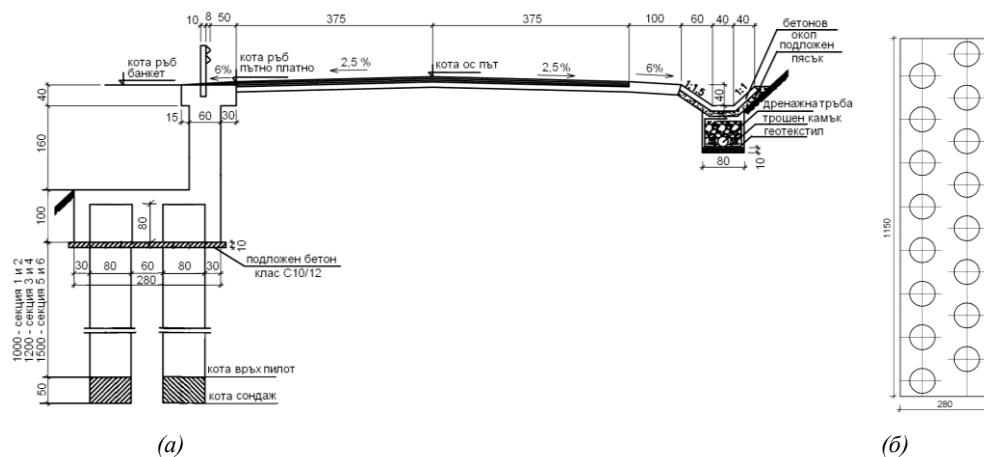
3.3. Описание на укрепителната конструкция

Укрепителната конструкция се състои от ъглова подпорна стена с височина 3,0 m, разположена в оста на външния банкет на пътя. Стената служи за ростерк на двуредова пилотна стена. Изграждането на ъгловата стена цели намаляване на дължината на пилотите и предотвратяване на изтичането на материала на пътя

насип в посока към склона към р. Места. Поради големия фронт на укрепителната конструкция, последната се разделя в план на 6 секции. Разработени са два варианта на укрепителната конструкция – неанкерирани и анкерирани.

3.3.1. Вариант 1 – неанкерирани укрепителна конструкция (фиг. 7)

Секциите са с дължина 11,5 m. В една секция се разполагат 16 бр. пилоти. Пилотите са с диаметър 80 cm, с осово разстояние 1,4 m по дължина на секцията и между двата реда (редовете се разминават шахматно). Дължината на пилотите от основната плоскост на ростверка до върха на пилотите е както следва: 2 секции с пилоти по 15,0 m; 2 секции с пилоти по 12,0 m; 2 секции с пилоти по 10,0 m. Дължината на пилотите се обуславя от необходимостта да бъде преминато свлачищното тяло и пилотите да се закотвят в здрава земна основа, при което трябва да бъдат удовлетворени проверките за носимоспособност на сечението на пилота, наличие на достатъчно хоризонтално пасивно съпротивление на земната основа и реализирани хоризонтални премествания при главата на пилота, по-малки от допустимите. Различната дължина на пилотите се дължи на наличната различна дебелина на свличащата се маса в отделните участъци по дължина на пътя. При този начин на укрепване пилотите работят като елементи, еластично подпрени в земната основа на дълбочината на забиване под свличащата се земна основа и еластично запънати в ростверка.

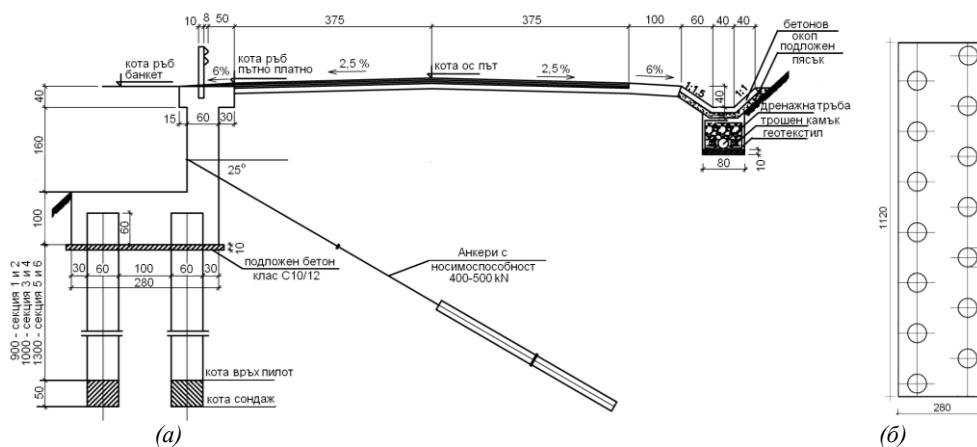


Фиг. 7. Неанкерирани укрепителна конструкция

(а) напречен разрез; (б) план на пилотите в една секция

3.3.2. Вариант 2 – анкерирани укрепителна конструкция (фиг. 8)

При този вариант укрепителната конструкция е анкерирани. Анкерите се закотвят в основата на тялото на ъгловата стена и се изпълняват с наклон 25° , осово разстояние 1,2 – 1,5 m и с носимоспособност 400 – 500 kN. Пилотите са диаметър 60 cm, с осово разстояние 1,6 m в надлъжно и в напречно направление на секцията. Дължината на пилотите от основната плоскост на ростверка до върха на пилотите е както следва: 2 секции с пилоти по 13,0 m; 2 секции с пилоти по 10,0 m; 2 секции с пилоти по 9,0 m. Дължината на една секция е 11,2 m и в нея се разполагат 14 броя пилоти.



Фиг. 8. Анкерирана укрепителна конструкция
(а) напречен разрез; (б) план на пилотите в една секция

3.3.3. Анализ на вариантите на укрепителната конструкция

За укрепителните конструкции са извършени статико-динамични изследвания и са направени всички необходими проверки по крайни гранични състояния и експлоатационни гранични състояния в съответствие с Еврокод. Натоварването от пътен трафик е според модела LM1 [4]. За по-прецизно отчитане на натоварването от модела LM1 съсредоточените товари (тандем система TS) са приведени към ивични товари с ширина на ивицата 0,4 m. Обектът попада в район със сеизмично ускорение 0,15 g.

При сравнителния анализ на двата варианта на укрепителната конструкция се установява, че изграждането на анкери води до три пъти по-малки стойности на огъващите моменти в пилотите. Но от друга страна, изграждането на анкери изисква сложна технология и значителни допълнителни средства. След направената технико-икономическа оценка на двата варианта е избран и реализиран Вариант 1 – неанкерирани укрепителна конструкция.

4. Укрепване на пътен насип при км 63+700 на път П-19 гр. Банско – гр. Гоце Делчев – Участък 2 (от п.т. 1008 до п.т. 1012)

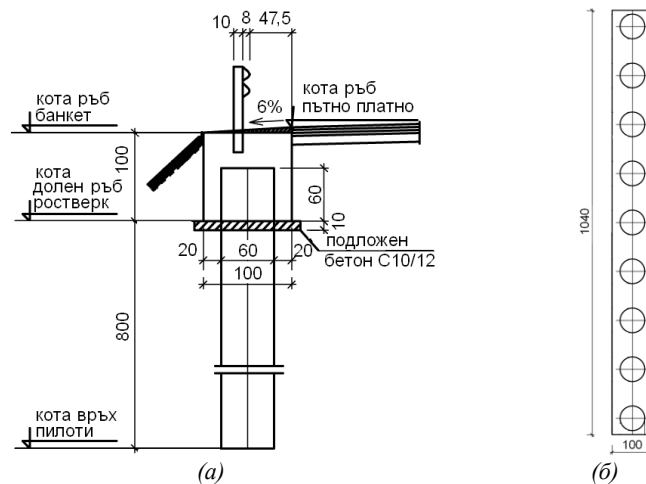
В посочения участък от пътя с дължина около 30 m се получава пропадане на част от външното пътно платно и свличане по склона към р. Места на почвена маса, включваща материал на баластровата призма на пътя и на естествената земна основа (фиг. 9). Свличането е реализирано много бързо във вид на свлачище – поток и е резултат от кумулативния ефект на факторите: стръмен терен (с ъгъл на наклона 38°); склонов материал с ниски якостни показатели; липса на дървесна растителност в склона под пътя; интензивен повърхностен отток, предизвикан от паднали за кратък период значителни валежи и бързо снеготопене.

Земната основа по вертикалата на външния банкет на пътя се състои от следните литоложки видове: пътен насип 1,4 m, делувиална глина 2,6 m, глинизирани гнайси и гнайсошисти 6,0 m, изветрели и напукани гнайси и гнайсошисти > 5 m, при п.т. 1011 в гнайсите и гнайсошистите се появява клин от изветрели и напукани риодаци. Свлачищната повърхнина е равнинна и е установена по границата на делувиалната

глина и глинизираните гнайси и гнайсошисти, която е с наклон към хоризонта $> 35^\circ$. Дебелината на свличащата се почвена маса е максимум до 4,0 m.



Фиг. 9. Свличане на пътния насип [1]



Фиг. 10. Едноредова пилотна укрепителна стена

(а) напречен разрез; (б) план на пилотите в една секция

Изпълнено е силово укрепване, разположено по ръба на външния банкет на пътя. Укрепителната конструкция представлява едноредова пилотна стена, разделена на 3 броя секции, всяка с дължина 10,4 m. Пилотите са сондажно-изливни, с диаметър 60 cm и дължина 8,0 m, с осово разстояние 1,20 m. Обединяват се с помощта на греда (ростверк) с размери на напречно сечение 1,0/1,0 m (фиг. 10).

5. Заключение

Реализираните противосвлачищни укрепителни конструкции са наложителни за възстановяване на проектното експлоатационно състояние на важни обекти на пътно строителство у нас. Те са съществена част от цялостната геозащита на обектите. Конфигурацията и геометричните размери на всяка една от конструкциите допринася както за изпълнение на основната им функция като силови елементи за поемане на действащите натоварвания, така и за изпълнение на специфични изисквания към конструкцията на пътно трасе – устойчивост и неразуплътняване на пътния насип, функциониране на отводнителните съоръжения на пътя, оформяне на банкета, постигане на проектен наклон на пътя, монтаж на предпазна еластична ограда и други.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ангелов, Л. Инженерногеолошко проучване на пропаднал пътен насип на Лот 22А на път II-19, км 63+700, 2015.
2. Ангелов, Л., В. Методиев, К. Калев. Инженерногеоложки и хидрогеоложки проучвания на пътен насип на АМ „Струма”, Лот 1, от км 317+660 до 317+820, 2015.
3. Еврокод, БДС EN 1990: Основни положения за проектиране на строителните конструкции.
4. Еврокод 1, БДС EN 1991: Въздействия върху строителните конструкции.
5. Еврокод 7, БДС EN 1997: Геотехническо проектиране.
6. Еврокод 8, БДС EN 1998: Проектиране на конструкции за сеизмично въздействие.

STABILIZATION OF LANDSLIDES ALONG THE BULGARIAN ROAD NETWORK BY USING PILE STRUCTURES

L. Mihova¹, H. Zayakova²

Keywords: pile, reinforcing structure, landslide, road embankment

Research area: structural design projects

ABSTRACT

At the end of the winter of 2015 landslides occurred in some sections of the Bulgarian roads. As a result, failure states were caused or the serviceable requirements of the road structures were violated. Due to the high values of the landslide pressure and traffic loads the rehabilitation of the roads requires the construction of deep embedded reinforcing structures. Here three design projects of different pile reinforcing structures are presented. The experimental and theoretical investigations and the design conceptions are discussed.

¹ Lena Mihova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Geotechnics”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: l_mihova@yahoo.com

² Hristina Zayakova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Low-rise Construction”, University of Structural Engineering and Architecture, 175 Suhodolska St., Sofia 1373, e-mail: hsz@abv.bg

