



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.3.08

УДК 624.13

ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ АВАРИИ ДОРОЖНЫХ СООРУЖЕНИЙ И ИХ ЛИКВИДАЦИЯ

Д.М. Шапиро^{1,2}, А.П. Тютин²

¹Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Россия

²ООО «Центр-Дорсервис», Воронеж, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 01 июня 2020

Принята: 18 августа 2020

Опубликована: 30 сентября 2020

Ключевые слова:

геотехническая авария, дорожное сооружение, локальный оползень, пластические деформации грунта, потеря устойчивости.

АННОТАЦИЯ

При эксплуатации дорог часто возникают аварии геотехнического характера, вызванные различными причинами. Поэтому для ликвидации их последствий требуется проводить различные мероприятия, учитывающие геологические особенности площадки. Рассмотрены три случая геотехнических аварий дорожных сооружений: повреждение оползнем конуса моста и откоса дорожной насыпи; образование локального оползня с перемещениями покровных слоев на прилегающей части склона пересекаемой долины, пластические деформации и потеря устойчивости земляного полотна, осадка звеньев водопропускной трубы; вынос частиц грунта (суффозия) из борта железнодорожной выемки под конусом мостового сооружения вследствие повреждения противофильтрационного глиняного экрана. Анализ причин, вызвавших эти аварийные ситуации, позволил предложить оптимальные решения по их устранению. В первом случае причинами активизации оползня стали периодические подъемы уровня грунтовых вод, наличие площадок, не защищенных растительностью, участки рыхлого грунта. Авария была ликвидирована путем устройства противооползневой конструкции из буронабивных свай, заделанных нижними концами в скальный грунт. Во втором случае причинами стали переувлажнение грунтов вследствие обильных летних дождей и таяния снега следующей весной. Для ликвидации аварии был устроен дренаж на прилегающей территории; частично заменен грунт, проведено усиление геотекстилем, уположены откосы с устройством бермы, усилено основание земляного полотна. В третьем случае произошел вынос частиц грунта из борта железнодорожной выемки под конусом мостового сооружения вследствие повреждения противофильтрационного глиняного экрана. После восстановления экрана и устройства дренажа суффозия ликвидирована, строительство моста завершено.

Приведенные примеры показывают значимость инженерно-геологического обоснования при проектировании объектов транспортного строительства.

© ПНИПУ

© Шапиро Давид Моисеевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: davshap@mail.ru.

Тютин Алексей Павлович – кандидат технических наук, главный специалист, e-mail: ap.tyutin@cds.vrn.ru.

David M. Shapiro – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: davshap@mail.ru.

Aleksey P. Tyutin – Ph.D. in Technical Sciences, Principal Specialist, e-mail: ap.tyutin@cds.vrn.ru.

GEOTECHNICAL ACCIDENTS OF ROAD STRUCTURES AND THEIR LIQUIDATION

D.M. Shapiro^{1,2}, **A.P. Tyutin**²

¹Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

²“Centre-Dorservis” Ltd, Voronezh, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 01 June 2020
Accepted: 18 August 2020
Published: 30 September 2020

Keywords:

geotechnical accident, road structure, local landslide, soil plastic deformation, stability loss.

ABSTRACT

Geotechnical accidents often occur during road operation. To eliminate their consequences, various measures are required, taking into account the geological features of the site. Three cases of geotechnical accidents of road structures are considered: landslide damage to the bridge cone and the slope of the road embankment; the formation of a local landslide, plastic deformation and loss of stability of the roadbed, settlement of the culvert links; suffusion from the side of the railway cut under the cone of the bridge structure due to damage to the anti-filtration clay screen. In the first case, the reasons for the intensification of the landslide were periodic rises in the level of groundwater, the presence of areas not protected by vegetation, and areas of loose soil. The accident was eliminated by installing an anti-landslide structure made of bored piles, embedded with their lower ends into rocky ground. In the second case, the reasons were waterlogging due to heavy summer rains and melting snow next spring. To eliminate the accident, drainage was arranged in the adjacent territory; the soil was partially replaced, reinforcement with geotextiles was carried out, slopes with a berm were laid, the base of the subgrade was strengthened. In the third case, the removal of soil particles (suffusion) from the side of the railway excavation under the cone of the bridge structure occurred due to damage to the anti-filtration clay screen during the creation of the construction site. After the restoration of the screen and the drainage device, the suffusion was eliminated.

The above examples show the importance of engineering and geological substantiation in the design of transport construction facilities.

© PNRPU

Введение

Аварии геотехнического характера являются наиболее частыми повреждениями транспортных сооружений [1–15]. Анализ и опыт их ликвидации являются важной составляющей знаний исследователей и практических специалистов.

В настоящей статье рассматриваются три случая повреждений дорожных объектов, характеризующие разнообразие причин и условий возникновения аварийных ситуаций геологического происхождения.

1. Локальные повреждения оползнем конуса моста и откоса дорожной насыпи

Автомобильная дорога с двумя параллельными мостами длиной 163 м, состоящими из четырех пролетов по 33 м и крайнего (со стороны произошедшей аварии) длиной 24 м, пересекает широкую долину с водотоком шириной 0,5–1,5 м глубиной до 0,3 м. Высота подходной насыпи у конца моста 7,5 м. Описание геологического строения берегового склона, основания подходной насыпи, конуса и устоя моста представлено на рис. 1.

После пяти лет эксплуатации дороги на прилегающей территории образовался оползень, который захватил боковую часть конуса моста и откосную часть контактирующего с мостом земляного полотна дороги на участке длиной 5–10 м.

На поверхности склона возникли многочисленные трещины шириной 10–20 см со смещениями кромок по вертикали от 10 до 40 см. Зона наблюдаемых локальных повреждений

захватила конус моста, откос насыпи, распространилась в сторону от дороги на ширину порядка 70 м и на 70–80 м вдоль склона в направлении тальвега. Зафиксирована стенка отрыва оползня в виде трещины растяжения длиной более 10 м, шириной 20–50 см с превышением верхнего плеча трещины над нижним около 70–80 см. В зоне оползневых явлений отмечены кусты растений, характерные для местности с высоким уровнем грунтовых вод.

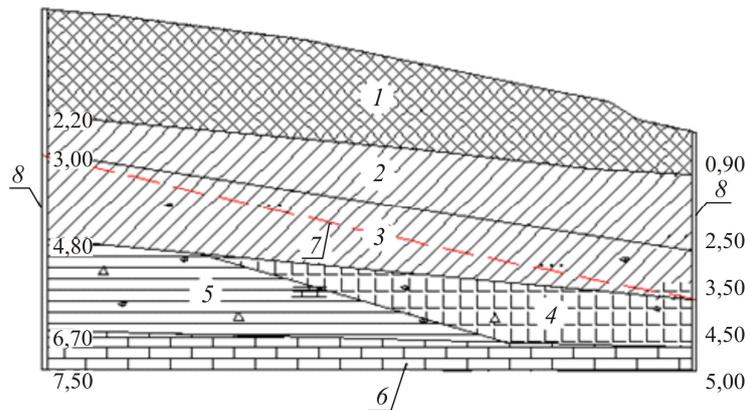


Рис. 1. Фрагмент инженерно-геологического разреза берегового склона: 1 – насыпной грунт, смесь мягкопластичного суглинка, рыхлого песка средней крупности; 2 (3) – суглинки тугопластичные с показателем текучести $I_L = 0,26$ (0,31), плотностью $\rho = 1,95 \text{ г/см}^3$, углом внутреннего трения $\varphi = 17^\circ$ (14°), удельным сцеплением $c = 16$ (15) кПа, модулем деформации $E = 8,5$ (13) МПа; 4 – кора выветривания – суглинок $I_L = 0,28$, $\rho = 1,81 \text{ г/см}^3$, $\varphi = 16^\circ$, $c = 11$ кПа с включением дресвы и щебня известняка; 5 – кора выветривания – глина полутвердая $I_L = 0,12$; 6 – известняк средней прочности, в кровле слабывветрелый; 7 – след предполагаемой поверхности скольжения; 8 – буровые скважины

Fig. 1. Fragment of engineering geological cross-section; 1 – landfill, mixt of soft-plastic loose medium grained sand; 2 (3) – tight-plastic loams with liquidity index $I_L = 0,26$ (0,31), density $\rho = 1,95 \text{ g/cm}^3$, angle of internal friction $\varphi = 17^\circ$ (14°), specific cohesion $c = 16$ (15) kPa, deformation modulus $E = 8,5$ (13) МПа; 4 – weathering crust - loam $I_L = 0,28$, $\rho = 1,81 \text{ g/cm}^3$, $\varphi = 16^\circ$, $c = 11$ kPa with inclusion rock clack and limestone road metal; 5 – weathering crust – semi-hard klay $I_L = 0,12$; 6 – middle strength limestone, feebly weathering in the roof; 7 – sigh of assume slide surface; 8 – bore hole

На устое, конусе и земляном полотне у конца моста со стороны оползневой части склона произошли следующие повреждения:

- трещины со смещением кромок до 20–30 см на откосе земляного полотна;
- смещение вдоль откоса обочины дороги и лестничного схода; с целью сохранения проезда по дороге на обочине у бровки земляного полотна эксплуатирующей организацией были уложены бетонные блоки общей высотой 1 м;
- оседание конуса под мостом с обнажением конструкций устоя;
- разрушения укрепления конуса в пределах его закруглений и уходящие под мост на ширину до 5 м;
- излом дренажной трубы под переходной плитой за устоем моста;
- небольшие горизонтальные деформации (2–4 мм) резинометаллических опорных частей трех крайних балок с уменьшением зазора между торцами балок и шкафной стенкой устоя.

Форма нарушения устойчивости берегового склона – «оползневой сдвиг покровных грунтов по одной или нескольким криволинейным поверхностям скольжения» [16] вследствие подъема уровня грунтовых вод и избыточного увлажнения слабых глинистых слоев.

Предполагаемая нижняя граница поверхностей скольжения пролегает в толще обводненных тугопластичных суглинков (см. рис. 1).

Причинами активизации оползня предполагаются:

– периодические подъемы уровней грунтовых вод в связи обильными летними осадками предыдущего года, которые продолжились осенью в период формирования оползня, и затем таянием снега в весенний период при появлении визуальных признаков оползня;

– наличие на поверхности склона площадок, не защищенных растительностью, в том числе участка, покрытого рыхлым насыпным грунтом, который не был убран после окончания строительства;

– возможное ослабление защитных свойств растительного покрова в связи с использованием склона для выпаса скота.

Характерно, что расширение оползня, зародившегося в стороне от дороги, было односторонним, происходило не под мост, а в противоположную сторону. Это объясняется тем, что фундаменты устоя и двух промежуточных опор моста на нисходящей части склона были построены в виде достаточно мощных, заделанных в основание свайных конструкций, способных воспринять значительные горизонтальные нагрузки. Фундаментные конструкции опор моста сыграли роль противооползневой системы, удержавшей перемещение грунтовых масс в основании под мостом.

Противооползневая защита в пределах полосы отвода дороги и ремонт поврежденных конструкций состояли из следующих действий:

1. Частичная разборка (на период ремонтных работ) конструкций конуса, засыпки за устоем, сопряжения моста с насыпью, земляного полотна, дорожной одежды и барьерных ограждений, лестничных сходов на подходе у конца правого моста. Размеры разбираемого участка подхода: в продольном направлении 11 м, в поперечном направлении 5,25 м. Заложение откосов разобранных частей конуса и земляного полотна 1,5.

Сохранение проезда на подходе у поврежденного конца моста по одной полосе общей шириной 5,75 м с организацией движения по временной схеме.

2. Устройство на площадке, образованной после временной разборки части конуса и засыпки за устоем, противооползневой конструкции по схеме на рис. 2, состоящей из 16 буронабивных свай диаметром 1,2 м с армированием 21Ø28A400, попарно объединенных железобетонными ригелями. Ригели, соединяющие по две сваи, попарно объединялись между собой в поперечном направлении короткими железобетонными диафрагмами (рис. 3).

Принятый способ объединения в свайные кусты направлен на придание сваям формы изгиба, обеспечивающей наибольшую несущую способность по горизонтальной нагрузке. По расчетам [12, 13, 17, 18] при принятых схемах свайных ростверков, условиях их пересечения расчетной линии скольжения и заделки в основание одна буронабивная свая способна принять на себя часть оползневого давления в размере 500 кН.

Противооползневая удерживающая конструкция защитила от оползня береговое сооружение моста и подходную насыпь. Ее расчет основан на предположении о том, что до инженерного вмешательства оползневое тело склона находилось в предельном равновесии, т.е. равенстве сдвигающих и удерживающих горизонтальных сил. Величины этих сил в пределах прилегающей к мосту и подходу части оползня определены по расчету в размере 23,9 МН (2390 т). Расчетная несущая способность противооползневой конструкции, состоящей из 16 буронабивных свай с несущей способностью одной сваи по ори-

зонтальной силе 500 кН (0,5 МН), составляет 8,0 МН. Сумма удерживающих сил составляет $23,9 + 8,0 = 31,9$ МН. Коэффициент запаса несущей способности, определяемый как отношение удерживающих и сдвигающих сил ($31,9/23,9$), составил 1,34, что обеспечило ликвидацию произошедшей аварии.

3. Восстановление и приведение в соответствие с первоначальным проектом всех временно разобранных и поврежденных конструкций конуса, дренажирующей засыпки, подхода к мосту, лестничного схода. Усиление откосного укрепления восстанавливаемой части конуса путем замены железобетонных плит на габионы и удерживающие георешетки.

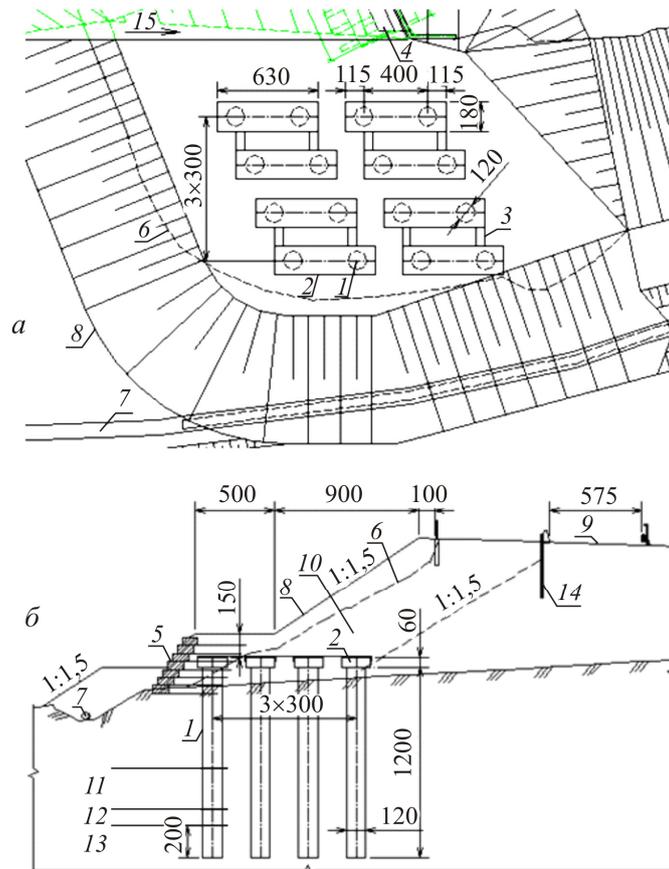


Рис. 2. Схема противооползневой конструкции (размеры в см); *a* – расположение буронабивных свай в плане, план строительной площадки; *b* – поперечный разрез; 1 – буронабивные сваи диаметром 1,2 м с армированием 21Ø28A400; 2 – железобетонные ригели; 3 – оголовок устоя моста; 4 – габионы; 5 – направление автомобильной дороги; 6 – контур конуса и насыпи до ремонта; 7 – быстроток; 8 – контур насыпи после ремонта; 9 – зона проезда во время ремонтных работ; 10 – временно разбираемая часть земляного полотна; 11 – суглинки тугопластичные; 12 – кора выветривания – суглинок с включением дресвы и щебня известняка; 13 – известняк средней прочности, в кровле слабовыветрелый; 14 – шпунтовый ряд

Fig. 2. Landslide preventing construction scheme; *a* – boring piles plan disposition, building platform plan; *b* – cross-section; 1 – boring piles 1,2 m diameter with 21Ø28A400 reinforcing; 2 – reinforced concrete beams; 3 – upper part of bridge abutment; 4 – gabions; 5 – road direction; 6 – bridge cone and embankment contour before the repair; 7 – water passing pipe; 8 – embankment contour after repair; 9 – passage sone on repair works time; 10 – temporary disjoined part of embankment; 11 – tight-plastic loams; 12 – weathering crust - loam with inclusion rock clack and limestone road metal; 13 – middle strength limestone, feebly weathering in the roof; 14 – sheet pile wall



Рис. 3. Береговое сооружение моста на стадии завершения ремонтных работ
Fig. 3. Bridge shore structure on the repair store works completion stage

4. Устройство надежно организованного водоотвода с проезжей части моста, обеспечивающего защиту от замачивания конуса и сопряжения моста с подходом.

5. Ликвидация в подмостовой зоне повреждений, связанных со склоновым процессом и образованием поверхностных трещин, возникших вследствие проникновения сточной воды.

2. Авария и восстановление участка автомобильной дороги на пересечении склона долины

Автомобильная дорога второй технической категории (ширина земляного полотна 15 м, проезжей части 7,5 м, расчетная скорость 120 км/ч), существующая около 40 лет, пересекает широкую долину. Водоток на пересечении склонов долины пропускает водопропускная труба из двух прямоугольных отверстий с размерами 4,0×2,5 м длиной 67,4 м, состоящая из звеньев длиной 0,75 и 1 м. Наблюдаемые аварийные явления зафиксированы впервые.

На аварийном участке протяженностью 200 м автомобильная дорога проходит в насыпи высотой от 6 до 16,30 м.

Земляное полотно состояло из насыпных тугопластичных и мягкопластичных суглинков. Переувлажнение грунтов насыпи произошло под воздействием большого количества атмосферных осадков (обильного снеготаяния и дождей), с которым не справилась система водоотвода.

Местное понижение уровня проезда образовалось в связи с расползанием в стороны откосов грунта земляного полотна вследствие потери прочности и пластических деформаций, динамического воздействия автотранспорта, увеличения нагрузки от веса дополнительных слоев асфальтобетона, укладываемых с целью поддержания уровня проезда на аварийном участке.

Геолого-литологические колонки, пробуренные через тело насыпи и верхние слои основания, показали, что осадки основания были обычными (в пределах 0,5 м), произошли давно и не повлияли на понижение уровня проезда.

Основание земляного полотна и примыкающей оползневой части склона долины на глубину от 3 до 11 м сложено мягко- и тугопластичными суглинками с прослоями дресвы карбонатов и водонасыщенного песка. Подстилающие грунты – полутвердые суглинки и глины.

Аварийные явления включали следующие деформации:

– локальный оползень (или оживление древнего оползня) с перемещениями покровных слоев на прилегающей к дороге части склона пересекаемой долины;

– пластические деформации земляного полотна на участке протяженностью 200 м, на части которого (длиной 100 м) произошла потеря устойчивости по криволинейной поверхности скольжения, захватывающей проезжую часть и насыпь на полную высоту;

– осадку звеньев трубы с образованием застоя воды на участке 20 м вследствие переувлажнения и деформаций грунтов основания.

Указанные явления связаны с разными проявлениями переувлажнения грунтов вследствие обильных летних дождей и таяния снега следующей весной. Уровень подземных вод практически достиг поверхности склона. На увлажнение покровных грунтов территории, прилегающей к дороге, могло повлиять создание водоема с плотиной в 1 км ниже по течению водотока.

Направления движения грунтовых масс на склоне (покровный оползень) параллельны оси дороги, пластические деформации земляного направлены под углом, близким к нормали по отношению к оси дороги. Покровный оползень и пластические деформации земляного полотна первоначально протекали отдельно и независимо. Со временем территории этих явлений соединились, что способствовало их прогрессированию.

В начале ремонтных работ (до выхода из строя аварийного участка вследствие потери устойчивости насыпи) был построен временный объезд, на который перенесено движение по дороге, и ликвидирован водоем ниже по течению.

Ремонт земляного полотна. Границы ремонтных работ расширены (по отношению к двухсотметровому участку повреждений) до 300 м, где были реализованы следующие проектные решения (рис. 4):

1. Замена грунта верхней части существующей насыпи привозным мелким песком с армированием слоями из полиэфирного двухосного геополотна с разрывной нагрузкой 400/400 кН/м с шагом по высоте 0,5 м. Внутренняя часть земляного полотна высотой 5–10 м, сохраняющая структурную прочность, оставлена без инженерного вмешательства.

2. Придание внешнему контуру земляного полотна формы в соответствии с рис. 4:

– заложение откосов новой верхней части земляного полотна 1:1,75;

– устройство с внешних сторон сохраняемой части насыпи присыпных берм из привозного грунта шириной 5 м с заложением откосов 1:2 и армированием обоймами из геополотна с разрывной нагрузкой 100/100 [19];

– укрепление откосов засевом трав по слою растительного грунта.

3. Устройство организованного водоотвода с поверхности дорожной одежды и земляного полотна.

Слабый грунт верхнего слоя основания насыпи (мягкопластичный суглинок) частично заменен привозным грунтом и призмой из щебеночно-песчаной смеси.

На участке протяженностью 100 м, где произошла потеря устойчивости земляного полотна, основание под откосной частью бермы усилено дискретными грунтоцементными армирующими элементами толщиной 150 см с шагом 4,5 м путем нагнетания цементного раствора струйным способом [3, 20]. Армирующие элементы расположены перпендикулярно к оси насыпи и защищают от сдвига земляное полотно совместно с основанием в поперечном направлении к оси дороги.

Расчеты устойчивости земляного полотна выполнены для нескольких сечений, нормальных к оси дороги, и одного косоугольного сечения под углами 36–60° к оси дороги, на котором до ремонта произошла потеря устойчивости. Расчеты выполнены в программ-

ном комплексе PLAXIS 2D [21] методом «понижения $\text{tg } \varphi$ и c » с использованием положений справочного пособия [19]. Устойчивость земляного полотна исследовалась в условиях до ремонта и с реализацией мероприятий по проекту. В расчетах принималась длительная прочность геополотна путем снижения разрывной нагрузки с 400/400 до 185/185 кН/м.

Результаты расчетов удовлетворительно совпали с фактами и подтвердили надежность проектных решений. Устойчивость земляного полотна совместно с основанием по сечениям, нормальным к оси дороги, получена обеспеченной с коэффициентами запаса 1,32–1,55 до ремонта и 1,58–1,70 после ремонта по проекту. Расчет сечения, проведенного под углами $36\text{--}60^\circ$ к оси дороги, показал недостаточную устойчивость (коэффициент запаса 1,01–1,14) до ремонта, что соответствует факту обрушения земляного полотна, и обеспеченность стабильного состояния (коэффициент запаса 1,43–1,54) после ремонта в соответствии с проектом.

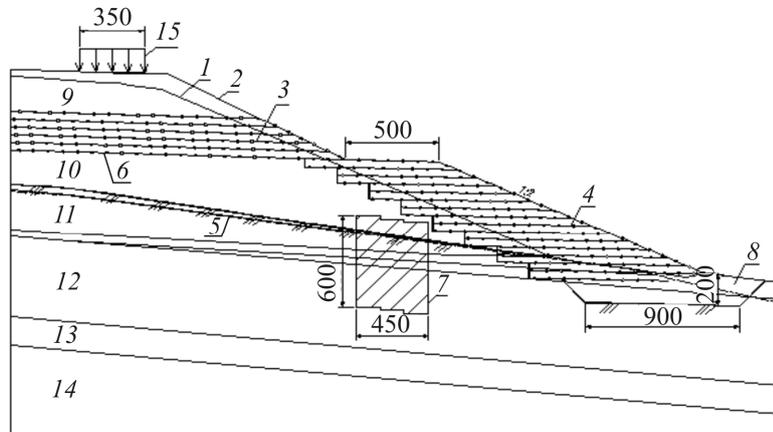


Рис. 4. Расчетное сечение земляного полотна (размеры в см); 1 – контур насыпи до ремонта; 2 – контур насыпи после ремонта; 3 – обоймы из геополотна с разрывной нагрузкой 400 кН/м; 4 – обоймы из геополотна с разрывной нагрузкой 100 кН/м; 5 – уровень грунтовых вод; 6 – граница замены грунта; 7 – грунтоцементный элемент; 8 – замена грунта; 9 – насыпь $\varphi = 32^\circ$, $E = 15$ МПа; 10 – насыпь глина тугопластичная $\varphi = 14^\circ$, $c = 29$ кПа, $E = 3$ МПа; 11 – глина тугопластичная $\varphi = 13^\circ$, $c = 25$ кПа, $E = 11$ МПа; 12 – суглинок тугопластичный $\varphi = 19^\circ$, $c = 19$ кПа, $E = 12$ МПа; 13 – суглинок полутвердый $\varphi = 20^\circ$, $c = 25$ кПа, $E = 20$ МПа; 14 – глина полутвердая $\varphi = 18^\circ$, $c = 35$ кПа, $E = 22$ МПа; 15 – временная вертикальная нагрузка 83,2 кПа

Fig. 4. Embankment calculation cross-section; 1 – embankment contour before the repair; 2 – embankment contour after repair; 3 – geo-linen band with gaping force 400 kN/m; 4 – geo-linen band with gaping force 100 kN/m; 5 – ground water level; 6 – substitute soil frontier; 7 – soil-cement element; 8 – soil substitute; 9 – embankment $\varphi = 32^\circ$, $E = 15$ МПа; 10 – embankment tight-plastic clay $\varphi = 14^\circ$, $c = 29$ кПа, $E = 3$ МПа; 11 – tight-plastic clay $\varphi = 13^\circ$, $c = 25$ кПа, $E = 11$ МПа; 12 – tight-plastic loam $\varphi = 19^\circ$, $c = 19$ кПа, $E = 12$ МПа; 13 – semi-hard loam $\varphi = 20^\circ$, $c = 25$ кПа, $E = 20$ МПа; 14 – semi-hard clay $\varphi = 18^\circ$, $c = 35$ кПа, $E = 22$ МПа; 15 – temporary vertical load 83,2 кПа

Стабилизация покровного оползня осуществляется следующими способами:

- устройство поперечного перехватывающего (на верхней части склона) и трех продольных водопонижающих дренажей глубиной до 4,5 м;
- восстановление уничтоженного растительного покрова на верхней части склона путем укладки дерновой ленты.

Кроме того, удержанию оползня способствуют грунтоцементные армирующие элементы в основании, которые пересекают расчетную (предупреждаемую расчетом) поверхность скольжения под откосной частью земляного полотна.

Усиление основания водопропускной трубы. Земляное полотно над трубой было временно разобрано (для возможности выполнения ремонта тела трубы без демонтажа блоков) и восстановлено после выполнения ремонтных работ.

Восстановление несущей способности основания трубы осуществлено путем закрепления грунтов нагнетанием цементного раствора по струйной технологии [20]. Мощность слоя, закрепленного цементацией текучепластичного суглинка в основании трубы, 5 м. Ниже залегает мелкий водонасыщенный песок с достаточной несущей способностью.

После усиления основания был выполнен ремонт конструкций с сохранением звеньев и восстановлено эксплуатационное состояние трубы.

3. Вынос частиц грунта (суффозия) из борта выемки

Автомобильный путепровод по схеме на рис. 5 построен на пересечении с длительно существующей однопутной железной дорогой, проходящей в выемке. При приемке мостового сооружения в эксплуатацию в конусе под первым пролетом (слева на рис. 5) была замечена просадка железобетонных плит откосного укрепления. Приемка объекта в эксплуатацию была отложена до выяснения причин и устранения неисправности.

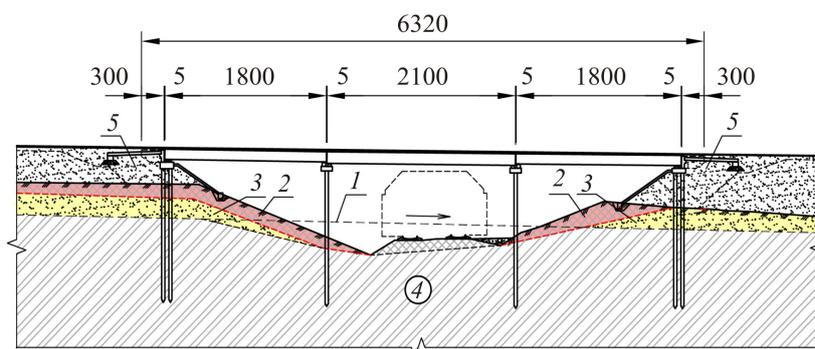


Рис. 5. Продольный разрез мостового сооружения и поперечное сечение железной дороги, проложенной в выемке; 1 – природный уровень и направление грунтовых вод; 2 – противодиффузионные экраны; 3 – песок мелкий водонасыщенный; 4 – глина полутвердая и твердая; 5 – дренирующие засыпки за устоями

Fig. 5. Longitudinal section of the bridge and cross-section of railway, constructed in hollow; 1 – natural level and ground water direction; 2 – watertight diaphragm; 3 – fine water-saturated sand; 4 – semi-hard and hard clay; 5 – behind abutments draining prisms

Причина повреждения заключалась в следующем. Строители железной дороги, построенной задолго до строительства путепровода, учли природное течение грунтовых вод, пересекавшее область выемки (до ее раскрытия) слева направо согласно схеме 1 на рис. 5. На бортах выемки были устроены противодиффузионные экраны из глины, предназначенные для отвода воды в сторону, параллельно железной дороге, которая до строительства путепровода находилась в нормальной эксплуатации.

Возможно, под противодиффузионными экранами существовал дренаж, но это не было установлено, так как при устройстве площадки для строительства путепровода вы-

емка была расширена (рис. 6). Противофильтрационные конструкции были разобраны. При восстановлении откосов и размеров выемки на место глиняных экранов были уложены обычные водопроницаемые грунты. Следствием этого стал вынос частиц (суффозия) природного песчаного грунта под конусом, что стало причиной просадок железобетонных плит.

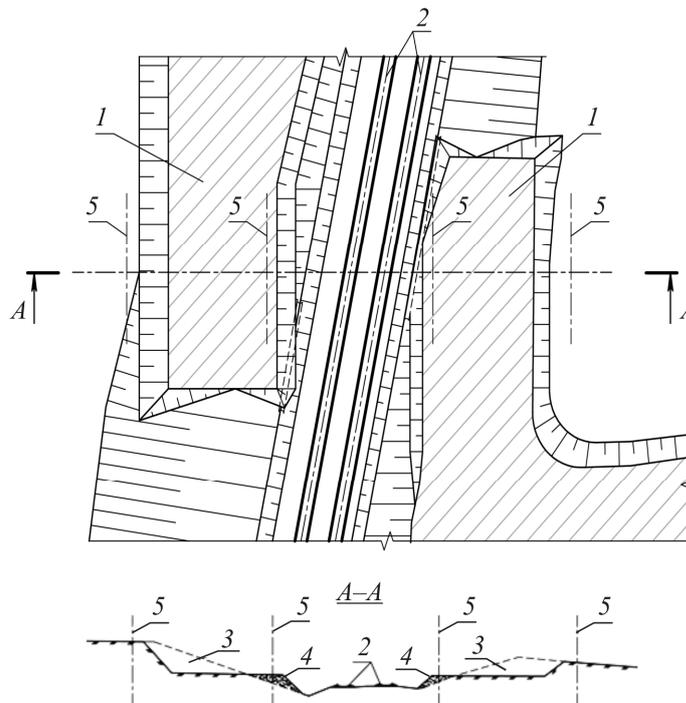


Рис. 6. План и разрез строительной площадки: 1 – строительная площадка; 2 – железнодорожные пути; 3 – срезка; 4 – подсыпка; 5 – оси опор путепровода
 Fig. 6. Plan and section of building platform: 1 – building platform; 2 – railways; 3, 4 – building platform leveling; 5 – bridge abutments axes

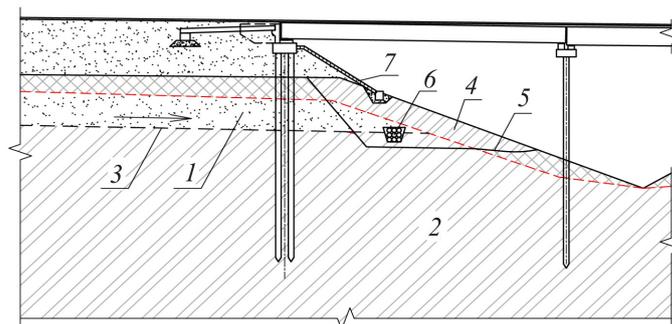


Рис. 7. Схема восстановления противофильтрационного экрана и отвода грунтовых вод: 1 – песок мелкий водонасыщенный; 2 – глина полутвердая и твердая; 3 – уровень грунтовых вод; 4, 5 – противофильтрационный экран из глины и граница его восстановления; 6 – асбоцементные трубы диаметром 150 мм длиной 20 м; 7 – укрепление конуса бетонными плитами
 Fig. 7. Scheme of watertight diaphragm restoring and ground water drawing aside: 1 – fine water-saturated sand; 2 – semi-hard and hard clay; 3 – ground water level; 4, 5 – clay watertight diaphragm and the frontier of its restoring; 6 – asbestos-cement pipes with diameter 150 mm, length 20 m; 7 – concrete slabs protection of cone surface

Эксплуатационное состояние путепровода было восстановлено после разборки конуса, части подходной насыпи, устройства нового противофильтрационного экрана с трубчатым дренажом и последующего восстановления всех конструкций по проекту (рис. 7).

Заключение

Отличием первых двух аварий является их возникновение после продолжительного срока эксплуатации объектов. Большинство подобных аварий в сложных инженерно-геологических условиях происходит в процессе строительства по причинам, связанным с изменением свойств грунтов в результате инженерного вмешательства в природную обстановку.

Третий случай из инженерной практики является примером невнимания проектировщиков и строителей к гидрогеологическим условиям пересекаемого объекта. Вместе с тем заслуживает быть отмеченным технически корректное строительное решение обводненной железнодорожной выемки.

Содержание статьи показывает значимость инженерно-геологического обоснования при проектировании объектов транспортного строительства. Из этого следует необходимость внимания и совершенствования подготовки инженеров-строителей по дисциплинам, связанным с геотехникой и инженерной геологией.

Библиографический список

1. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия. – К.: Наукова думка, 2009. – 330 с.
2. Еремеев В.П., Еремеев П.В. Обеспечение устойчивости опор мостов // Дороги России. – 2019. – № 5 (113). – С. 106–109.
3. Ибрагимов М.Н., Семкин В.В. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 256 с.
4. Защита транспортных объектов от активизации оползневых процессов / Т.З. Кудакаев, Г.С. Переселенков, А.И. Штейн, Г.Г. Орлов // Транспортное строительство. – 2015. – № 8. – С. 5–9.
5. Лейер Д.В., Маций С.И. Исследование взаимодействия оползневого грунта с защитными сооружениями опор эстакад // Строительство и архитектура. – 2013. – Т. 1, вып. 1. – С. 49–53.
6. Луга А.А. Глубокие локальные сдвиги устоев мостов // В кн.: Исследования несущей способности фундаментов из свай и оболочек (Тр. ВНИИ трансп. стр-ва. Вып. 66). – М.: Транспорт, 1969. – С. 124–140.
7. Луга А.А., Рыженко А.П. Анализ причин сдвига устоя виадука // Тр. ВНИИ трансп. стр-ва. Вып. 57. – М., 1972. – С. 39–47.
8. Луга А.А., Шелкович И.С. Локальные оползни, возникающие на береговых склонах при отсыпке подходных насыпей к мостам // В кн.: Свайные фундаменты (Тр. ВНИИ трансп. стр-ва). – М.: Транспорт, 1981. – С. 28–35.
9. Маций С.И. Противоползневая защита: монография. – Краснодар: АлВи-дизайн, 2010. – 288 с.
10. Маций С.И., Деревенец Ф.Н. Взаимодействие оползневого грунта со сваями с учетом конфигурации удерживающего сооружения // Основания фундаменты и механика грунтов. – 2007. – С. 8–12.

11. Методические рекомендации по выполнению инженерно-геологических изысканий на оползневых склонах и откосах автомобильных дорог // ОДМ 218.2.0330-2013. – ФДА Росавтодор. – М., 2013. – 81 с.
12. Свайные фундаменты / Н.М. Глотов, А.А. Луга, К.С. Силин, К.С. Завриев. – М.: Транспорт, 1981. – 432 с.
13. Шапиро Д.М. Теория и расчетные модели оснований и объектов геотехники. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 180 с.
14. Шапиро Д.М., Мельничук Н.Н. Ликвидация оползневого сдвига берегового склона в зоне строительства большого моста // Світ геотехніки. – 2006. – № 1. – С. 13–17.
15. Adriano P. Influence of ground surface shape and Poisson's ratio on three-dimensional factors of safety / P. Adriano, J. Fernanges, G. Gitirana, M. Fredlund // GeoEdmonton. – 2008. – P. 244–251.
16. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства. – М.: Стройиздат, 1977. – 320 с.
17. Завриев К.С., Шпиро Г.С. Расчеты фундаментов мостовых опор глубокого заложения. – М.: Транспорт, 1970. – 215 с.
18. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1969. – 536 с.
19. Геотехника и геосинтетика в вопросах и ответах: справ. пособие / под ред. Е.В. Федоренко. – СПб.: WWW DARIRNIGI, 2016. – 198 с.
20. Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Мозгачёва О.А. Новые способы геотехнического проектирования и строительства. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 224 с.
21. PLAXIS 2D AE. Руководство пользователя. – 2014.

References

1. Bileush A.I. Opolzny i protivoopolznevyje meroprijatiya [Landslides and landslide prevention works]. Kiev, Naukova dumka, 2009, 330 p.
2. Eremeev V.P., Eremeev P.V. Obespechenyje ustoychivosty opor mostov [Stability bridge abutments securing]. *Dorogy Rossi.*, 2019, no. 5 (113), pp. 106–109.
3. Ibragimov M.N., Semkin V.V. Zakreplenie gruntov injekciey cementnyh rastvorov [Soil fastening by cement solution grouting]. Moscow, ASV, 2012, 256 p.
4. Kudakaev T.Z., Pereselenkov G.S., Shtein A.I., Orlov G.G. Zashchita transportnyh obyektov ot aktivizatsii opolznevyyh protsessov [Transport objects defence from landslide processes animation]. *Transportnoe stroitelstvo*, 2015, no. 8, pp. 5–9.
5. Leyer D.V., Matciy S.I. Issledovanye vzaimodeicviya opolzneвого grunta s zachshitnyymi sooruzheniyami opor estacad [Interaction of landslide soil with defending structures of bridge abutments investigation]. *Stroitelstvo I arkhitektura*. 2013, vol. 1 iss. 1, pp. 49–53.
6. Луга А.А. Глубокие локальные сдвиги устоев мостов [Deep local displacements of bridge abutment]. In: Issledovaniya nesuchshey sposobnosti fundamentov iz svay i obolochek (Trudy VNII transportnogo stroitelstva. Vypusk 66). Moscow, Transport, 1969, pp. 124–140.
7. Луга А.А., Рызhenko А.Р. Analiz prichin sdviga ustoya viaduka (Analysis of reason of viaduct abutment dislocation). *Trudy VNII transportnogo stroitelstva*. Moscow, 1972, iss. 57, pp. 39–47.
8. Луга А.А., Shelkovich I.S. Lokalnye opolzny, vznikayuchshie na beregobyyh sklonah pri otsypke podhodnyh nasypey k mostam [Local landslides, appearing on shore slopes by creat-

ing approach embankments to bridges]. In: Svainye fundamenty (Trudy VNII transportnogo stroitelstva). Moscow, Transport, 1981, pp. 28–35.

9. Matciy S.I. Protivoopolznevaya zaschita [Landslide prevention defence]. Krasnodar, AIVi-dizain, 2010, 288 p.

10. Matciy S.I., Derevenets F.N. Vzaimodeistviye opolznevogo grunta so cvaiamy s uchytom konfiguratsiy udergivayucshimy soorugenyamy [Landslide soil interaction with piles in consideration of form of holding structures]. *Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov*, 2007, pp. 8–12.

11. Metodicheskiye rekomendatsiy po bypolneniyu ingenerno-geologicheskikh izyskaniy na opolznykh sklonah i otkosah avtomobilnykh dorog [Methodical recommendations of fulfillment engineering geological investigations on landslide slopes and automobile roads slopes] // ODM 218.2.0330-2013. – FDA Rosavtodor. – M., 2013. – 81 p.

12. Glotov N.M., Luga A.A., Silin K.S., Zavriev K.S. Svainue fundamenty [Pile foundations]. Moscow, Transport, 1981, 432 p.

13. Shapiro D.M. Teoriya i raschetnye modeli osnovaniy i objektov geotekhniki [Theory and calculation modes of beds and geotechnics structures]. Moscow, ASV, 2016, 180 p.

14. Shapiro D.M., Melnichuk N.N. likvidatsiya opolznevogo sdviga beregovogo sklona v zone stroitelstva bolshogo mosta [Elimination of shore slope landslide displacement in zone of building large bridge]. *Svit geotekhniki*, 2006, no. 1, pp. 13–17.

15. Adriano P. Fernanges J., Gitirana G., Fredlund M. Influence of ground surface shape and Poisson's ratio on three-dimensional factors of safety. *GeoEdmonton*, 2008, pp. 244–251.

16. Maslov N.N. Mehanika gruntov v praktike stroitelstva [Soil mechanics in building practice]. Moscow, Sroyizdat, 1977, 320 p.

17. Zavriev K.S., Shpiro G.S. Raschetu fundamentov mostovykh opor [Calculations of bridge abutments deep position foundations]. Moscow, Transport, 1970, 215 p.

18. Shakhunjantc G.M. Zheleznodorozhnyi put [Railway]. 2nd ed. Moscow, Transport, 1969, 536 p.

19. Geotekhnika i geosintetika v voprosah i otvetah. Spravochnoe posobije [Geotechnic and geosintetic in questions and answers. Reference book] / Pod redaktsiey E.V. Fedorenko. – CPb.: WWW DARIRNIGI, 2016. – 198 p.

20. Petrukhin V.P., Shuljatyev O.A., Mozgachova O.A. Novye sposoby geotekhnicheskogo proektirovaniya i stroitelstva [New ways of geotechnical projecting and building]. Moscow, ASV, 2015, 224 p.

21. PLAXIS 2D AE. Rukovodstvo polzovatela [Users direction]. 2014.