

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА ВАКУУМНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ГРУНТОВ В ПЛОСКОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО ТЕЛА¹

Канд. техн. наук, старший науч. сотр. Р. Н. АРУТЮНЯН²

Реферат. Изучение оползня показало, что потеря устойчивости связана с образованием на плоскости скольжения оползневого тела линзы разуплотненных грунтов, сопротивление сдвигу которых доходило до ничтожных величин. При помощи буровых скважин в грунтах этих линз были установлены вакуумирующие фильтры, которые имели возможность отсасывать кроме гравитационной воды также и капиллярную и связную воды. При этом через 15—35 дней в грунте повысилось сопротивление сдвигу и стабилизировался оползневой склон. После упрочнения разжиженного грунта вакуумом величина сопротивления сдвигу повысилась до 0,05—0,1 МПа. Вакуумная стабилизация разуплотненных грунтов в плоскости скольжения оползневого тела является нетрудоемким первоочередным мероприятием, позволяющим оперативно приостановить оползневой процесс. В статье приводятся описание оползня, технология вакуумной стабилизации и анализ полученных результатов.

Одной из причин потери устойчивости оползневых склонов является снижение сопротивления сдвигу грунтов, вызванное повышением их влажности в результате чрезмерного увеличения порового давления (Тер-Степанян, 1977). Вместе с тем снижение устойчивости склона, достижение предельного состояния и начало оползневого процесса нередко обуславливаются снижением прочности грунтов не на всей плоскости скольжения, а только на некоторых участках, составляющих определенную долю всей поверхности скольжения, достаточную для ликвидации запаса устойчивости склона. Суммарная величина площадей таких участков, где грунты потеряли свою первоначальную прочность, в нашем примере составляла порядка 10—15% всей поверхности скольжения. Это и привело к мысли о восстановлении или повышении прочности грунтов в первую очередь именно в этих участках.

В борьбе с оползневыми процессами наиболее эффективными являются те мероприятия, которые можно применять немедленно, в процессе оползания, с целью предотвращения дальнейших разрушений и потерь природных и материальных ценностей. С этой точки зрения возможность повышения прочности разуплотненных грунтов в плоскости скольжения способом вакуумирования является эффективным, нетрудоемким первоочередным мероприятием по стабилизации оползневого склона, дающим возможность и время для осуществления окончательных мер по ликвидации причин оползневого явления.

¹ Переработанный вариант доклада, представленного на VIII Европейской конференции по механике грунтов и фундаментостроению в Хельсинки (Финляндия) в 1983 г.

² Заведующий лабораторией оснований и подземных сооружений НИИ строительства и архитектуры Госстроя Армянской ССР, Ереван.



Рис. 1. План оползневого участка: 1—III—оползневые блоки; А, В—строения; 1—границы оползневого участка и между оползневыми блоками; 2—линзы разжиженных грунтов; 3—линия выпора грунта на дневной поверхности; 4—границы обрушения грунта; 5—высачивание воды; 6—оползневые трещины.

Նկ. 1. Օղանքային տեղամասի պլանը. 1—III—ողանքային բլոկներ. А, В—կառույցներ. 1—ողանքային տեղամասի և օղանքային բլոկների միջև եղած սահմանները. 2—զրիկացած զրրոմտների ուղիղակները. 3—զրուտի զուրս պրծած գիծը երկրի մակերևույթին. 4—զրուտի փլուզման սահմանները. 5—երկրի զուրս օծում. 6—ողանքային ձեղրվածքները.

Fig. 1. Plan of the landslide: 1—III—landslide blocks; А, В—structures; 1—boundaries of the landslide and between landslide blocks; 2—lenses of liquefied soils; 3—line of the soil squeezing out on the earth surface; 4—boundaries of the soil failure; 5—water suction; 6—landslide fissures.

Физическая сущность способа вакуумного упрочнения разжиженных грунтов заключается в снижении влажности грунта до такой степени, чтобы между частицами развивалась необходимая величина сцепления. Известно, что сцепление в переувлажненных грунтах появляется после перехода поровой воды сначала в капиллярную, а затем связную. При этом как в капиллярной, так и связной воде давление ниже атмосферного. Поэтому уменьшение влажности грунта, в котором вода содержится в таких формах, возможно только путем приложения к порам грунта источника вакуума, по величине большего, чем в капиллярной и связной водах. Снижение влажности глинистых грунтов вакуумом приводит к уменьшению радиусов менисков воды между частицами, повышению капиллярного давления, увеличению трения между частицами и, следовательно, росту сопротивления грунта сдвигу.

Оползневой склон, где применялся вакуумный способ упрочнения разжиженного грунта, расположен в 100 км к северу от Еревана в курортном городе Дилижане (Армения). Размеры оползневой участка составили 180×400 м со средним уклоном рельефа 12°.

Оползневые сдвиги на этом участке начались весной 1977 г. сползанием и разрушением левостороннего оползневой блока I (рис. 1), который имел средний уклон рельефа 20° с размерами в плане порядка 80×100 м. Мощность оползневой тела в его верхней пологой части составила 13—14 м, а в наклонной—6—8 м. Вследствие этого в оползневом теле блока I образовались глубокие продольные и поперечные трещины и разрывы шириной раскрытия до 500 мм, глу-

биной (визуально) до 4—5 м. Расположение трещин на рис. 1 показано пунктирными линиями.

Одновременно с оползанием первого блока начался и резко активизировался оползневой процесс на участке второго блока, размеры которого достигают 150×240 м. Скорость движения грунтов этого блока в районе расположения строения А первоначально в течение месяца составляла 5—6 мм/сутки, а затем носила затухающий характер, и за последующие 10 месяцев упомянутое строение переместилось к северо-западу на 320 м. При этом в нижнем овраге, где подвижное тело блока I соприкасалось с неподвижным (еще в 1977 г.) телом блока III, образовалась промоина с прорывом потока грунтовых вод с разрывом и выносом большого количества грунтовой массы. В результате на этом участке образовался конус выноса размерами в плане 35×50 м. Обрывистые контуры этого конуса на рис. 1 показаны черными треугольниками.

В 1977 г. неподвижный третий блок на своей южной границе оказывал сопротивление второму блоку, в результате чего наблюдался выпор грунта на дневной поверхности по линии, показанной на рис. 1 встречными стрелками.

С лета 1977 г. интенсивность оползневой процесса первого и второго блоков постепенно снизилась. В апреле 1978 г. оползневой процесс этих блоков вновь активизировался, что выразилось в развитии на них прошлогодних трещин и появлении новых. Однако на этот раз, как и предполагалось, началось оползание третьего блока, размеры которого в плане составили 80×150 м и который сопровождался активным перемещением, деформацией и разрушением несущих конструкций находящегося на нем строения В. Начальная скорость развития трещины в несущей стене строения В, через которую проходила оползневая трещина, составляла 1 мм/сутки. Через 2 месяца рост трещин составлял в среднем 0,10—0,15 мм/сутки. Суммарная величина раскрытия трещины за 8 месяцев составила 86 мм.

Изучение показало, что мощность оползневой тела блока III, в его верхней пологой части, составляет 8—9 м, а в нижней части—5—6 м. Уклон нижней части этого блока превышает 23° .

Результатами геологического обследования было установлено, что основной фильтрационный поток подземных вод входит в зону оползневой склона с его юго-восточного угла и направляется к суффозионной воронке оползневой тела блока II. Образовав здесь подземный бассейн, эти воды продолжают свое движение и выходят из блока II по трем направлениям: к первому и третьему блокам и к оврагу. Направления подземных потоков на рис. 1 показаны крупными стрелками. В процессе оползней первого, второго и третьего блоков на языковой части оползня блока III появились рассредоточенные выходы воды, которые на рис. 1 показаны мелкими стрелками. Высачивание и увлажнение грунта наблюдались также на откосах конуса выноса между блоками I и III.

Большую роль при определении содержания и характера первоочередных противооползневых мероприятий сыграло выявление на плоскости скольжения оползневых тел больших линз разуплотненных и разжиженных суглинков. Наиболее ярко выраженной из них оказалась линза из свехтекучих грунтов во втором блоке, в его средней части под суффозионной воронкой размерами в плане 40×65 м, мощность которой составляла 3,5—4 м и которая залегала с глубины 6 м до поверхности разрушенных порфиритов.

Анализ отобранных из этой линзы образцов показал, что она со-

стоит из слоя погребенного растительного чернозема мощностью 1,6—2,0 м и подпочвенных желтых суглинков мощностью 2,0—2,5 м с весовой влажностью (природной) 0,44—0,48 при влажности этих грунтов на границе текучести 0,36—0,38. Ниже линзы над порфиритами был обнаружен водоносный слой мощностью 0,5—0,6 м из песков разрушенных порфиритов с напором 2,0—2,5 м.

Линза разжиженных грунтов оползневого блока I размерами в плане 25×50 м и мощностью 1,0—1,6 м состояла из порфиритового песка в смеси с бентонитовой глиной и залегала с глубины 13,5 м.

Оползневое тело третьего блока имело линзу разжиженных суглинков размерами в плане 35×55 м мощностью 2,0—2,5 м, расположенную с глубины 6 м. Естественная влажность образцов превышала 0,40—0,45 при влажности на пределе текучести 0,24—0,26. Грунтовые воды обнаружены в подстилающем эту линзу водоносном слое песков мощностью 0,5—0,6 м с напором 4—5 м.

После лабораторных проверок возможности повышения прочностных свойств образцов разжиженных грунтов путем их вакуумирования и расчетных предположений о том, что при повышении прочности разжиженных грунтов можно ожидать повышения устойчивости склона на 8—10%, были разработаны установка и технология для вакуумной стабилизации и упрочнения грунтов в обнаруженных разжиженных зонах.

Теоретические предпосылки возможности упрочнения разжиженных грунтов вакуумом обоснованы экспериментальными исследованиями, которые ранее в СССР проводились при помощи вакуумирующих скважин в натурных условиях в различных грунтах. Развиваемый в скважине вакуум под защитой капиллярной каймы фильтрационного потока распространяется в окружающем фильтр грунте, отсасывая из него не только гравитационную, но и капиллярную воду, которую при обычных способах дренажа невозможно удалить. Принудительный отбор из грунта капиллярной воды приводит к уплотнению глинистых грунтов, следовательно, и к повышению их прочностных свойств, что хорошо согласуется с теорией плотности-влажности (Маслов, 1977).

Средством для вакуумирования разжиженных грунтов служила специальная установка, состоящая из высоконапорных насосов и водоструйных аппаратов (эжекторов), при помощи которых развивается значительный вакуум с одновременной возможностью отсоса из грунта как воды, так и воздуха (Fedorov, Arutjunjan, 1981).

С целью распространения максимального вакуума на окружающий фильтр разжиженный грунт вакуумирующие аппараты устанавливаются на нижних отметках скважины. Это позволяет иметь высокий вакуум по всей высоте фильтра, полость которого изолируется от атмосферы.

Конструкция установки позволяет при расположении насосного оборудования на дневной поверхности развивать и поддерживать максимальный вакуум (до 8—9 м) в вакуумных фильтрах, установленных практически на глубине 20—30 и более метров.

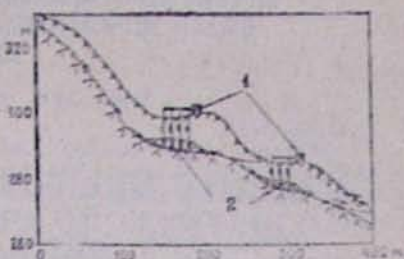
Сплошность зоны вакуумирования в плане достигается расположением вакуумирующих скважин на расстоянии менее диаметра распространения вакуума в данном грунте для того, чтобы эти зоны между собой сомкнулись.

На рис. 2, где показан разрез оползневого склона по второму и третьему блокам, изображены схемы вакуумных установок с вакуумирующими фильтрами, установленными в линзах разжиженных грун-

Рис. 2. Продольный разрез оползневого склона по второму и третьему блокам: 1—вакуумные установки; 2—линзы разуплотненных грунтов II и III блоков.

Նկ. 2. Մարմնաշարի լանդի եզրամասի կտրվածքն ուղիղ երկար և երեսդ բլրների. 1—վակուումային սարքեր. 2—I և III բլրների թափացած դրոճանների լույծնայակներ:

Fig. 2. Longitudinal section of the landslide slope along the second and third blocks: 1—vacuum installations; 2—lenses of detcompacted soils of I and III blocks.



тов этих блоков. Откачка из этих линз продолжалась до момента достижения необходимых прочностных свойств грунтов. Контроль этих свойств осуществлялся испытанием образцов, взятых из скважин, пробуренных в процессе вакуумирования.

Минимальный срок вакуумирования составлял 15 дней (для блока I), а максимальный—35 дней (для блока II).

Необходимо при этом отметить, что вакуумирование в верхних зонах оползневого тела существенное влияние оказало на разжиженные линзы нижних блоков I и III, так как полный перехват фильтрационного потока способствует началу стабилизации грунтов в нижних разжиженных линзах, расположенных ниже, по пути фильтрационного потока.

Степень повышения устойчивости склона контролировалась также показаниями часовых индикаторов, установленных как на оползневых трещинах грунта—на границах оползневого тела, так и на трещинах стен находящихся на них строений А и В.

Полное прекращение деформаций сооружений, т. е. практическое отсутствие приращения раскрытия трещин в стенах зданий, наблюдалось через 2—3 месяца после завершения работ по вакуумированию, а спустя 4—5 месяцев прекратился также рост раскрытия оползневых трещин на дневной поверхности.

Результаты исследований образцов показали, что сопротивление сдвигу в разжиженных грунтах, составлявшее первоначально 0,0008—0,0012 МПа, после стабилизации вакуумом достигло 0,05—0,1 МПа (при вертикальной нагрузке, соответствующей бытовой на глубине залегания этих линз). В пересчете на весь оползневой склон это составляет приращение удерживающих сил на 8—10%.

Вывод. Важным условием для выбора противооползневых мероприятий является обнаружение очагов и причин снижения устойчивости оползневого склона и определение их параметров. Одним из эффективных первоочередных мероприятий в этих случаях может оказаться повышение прочностных свойств участков и линз разжиженных грунтов путем принудительного вакуумного отсоса из них не только гравитационных, но и капиллярных вод. В ряде случаев эти мероприятия могут явиться окончательными, в других для сохранения достигнутой устойчивости и исключения возобновления процесса разуплотнения грунтов могут потребоваться также дополнительные работы по исключению источников разуплотнения.

ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ՊՐՈՑԵՍԻ ԿԱՆՈՒՄԸ ՍՈՂԱՆՔԱՅԻՆ ՄԱՐՄՆԻ ՍԱՀՔԻ ՀԱՐԹՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ ԳՐՈՒՄՆԵՐԻ ՎԱԿՈՒՄՍՈՒՆ ԱՄՐԱՑՄԱՆ ՄԻՋՈՑՈՎ

Տեխն. գիտ. քննաժող. ԹՈՒՐԵՆ ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ՝

Ինժեներաց: Տվյալ սողանքի ուսումնասիրությունները ցույց են տվել, որ լանջի կայունության կորուստը կապված է սողանքային մարմնի սահքի հարթության վրա թուլացած գրունտներից ուսպեյակների գոյացման հետ, որոնց սահքի դիմադրությունը հասնում է շեղի մեծության:

Հորատվող անցքերի օգնությամբ այդ գրունտների ուսպեյակների մեջ տեղադրվել են վակուումացիոն ձվերներ, որոնք հեռավորություն ունեն ներքին և հեռացնել ոչ միայն դրամիտացիոն, այլև կապիլյար և կապիլյար ջրերը: 15—35 օր հետո այդ գրունտներում սահքի դիմադրությունը աճում է և լանջը կայունանում: Թուլացած գրունտը վակուումով ամրացնելուց հետո սահքի դիմադրությունը 0,0008 ՄՊա-ից աճում, հասնում է մինչև 0,05—0,1:

Սողանքային մարմնի սահքի հարթության վրա թուլացած գրունտների վակուումով ամրացումը ոչ աշխատատար և առանհանրի միջոց է, որը թույլ է տալիս օպերատիվ կերպով կանխել սողանքային երևույթը:

Հողվածում բերված են տվյալ սողանքի նկարագրությունը, վակուումային կայունացման ախտաբանական ու ստացված տվյալների վերլուծումը:

PREVENTION OF LANDSLIDE PROCESS BY MEANS OF VACUUM STRENGTHENING OF SOILS IN THE SLIDING PLANE OF LANDSLIDE BODY³

RUBEN HARUTJUNIAN⁴, Cand. Sc. (Eng.)

Synopsis. Investigation of the landslide has shown that the loss of stability is related to the formation of a lens of decompacted soils on the sliding plane of the landslide body with the shear strength of soils being negligible. By means of bore holes vacuuming fillers were set in soils of these lenses which could exhaust, along with gravitation water, also capillary and bound waters. In 15—35 days the shear strength in soil has grown, and the landslide slope became stable. After strengthening the liquefied soil by vacuum the shear strength grew from 0.0008 to 0.05—0.1 MPa. The vacuum stabilization of decompacted soils in the sliding plane of the landslide body is a labour-saving primary measure allowing to operatively stop the landslide process. The description of the landslide, the technology of vacuum stabilization and analysis of the results obtained are presented in the paper.

ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ—ЛИТЕРАТУРА—REFERENCES

- Маслов Н. Н. 1977. Механика грунтов в практике строительства. М., Стройиздат.
Тер-Степанян Г. И. 1977. Пьезометрический метод определения фильтрационной силы в оползневом теле. — Проблемы геомеханики, Ереван, № 7, с. 133—142.
Arutjunian R. N. 1983. Vacuum-accelerated stabilization of liquefied soils in landslide body. — VIII European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki.
Fedorov B. S., Arutjunian R. N. 1981. Soil drainage and stability of slopes. — Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, vol. 1, p. 415—416.

¹ 1983 թ. Հնդկական (Ֆինլանդիա) կայացած գրունտների մեխանիկային և հիմքաշինությանը նվիրված VIII եվրոպական կոնֆերանսին ներկայացրած զեկուումային վերամշակված տարբերակ:

² 2002 Պետական շինարարության և ճարտարապետության գիտահետազոտական ինստիտուտի հիմքերի ու ստորոգետային շինությունների լաբորատորիայի վարիչ, Երևան:

³ Revised version of the report presented to the VIII European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering held in Helsinki, Finland, 1983.

⁴ Head, Laboratory of foundations and underground structures of the research institute of construction and architecture, Gosstroy of the Armen. SSR, Yerevan.