

ВЛИЯНИЕ СОТЯСЕНИЙ ПРИ ПРОХОДКЕ ТУННЕЛЯ НА УПЛОТНЕНИЕ РЫХЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

Член-корр. АН АрмССР, профессор, доктор техн. наук Г. Н. ТЕР-СТЕПАНЯН¹
 и канд. геол.-минер. наук А. П. АРАКЕЛЯН²

Реферат. При проходке гидротехнического туннеля в лавовом покрове в результате буровзрывных работ произошли деформации нескольких зданий, тогда как большинство соседних однотипных зданий не пострадало. В лавовом покрове встречаются многочисленные линзы рыхлых вулканических шлаков. Установлено, что были повреждены только здания, расположенные в узкой полосе, вытянутой вдоль туннеля, где линза шлаков выходит на поверхность. Рыхлые линзы шлаков, расположенные на глубине, не реагировали на сотрясения, а наоборот, демпфировали колебания от взрывов. Объяснение заключается в том, что для уплотнения материалов с консервативной структурой, какими являются шлаки, необходима возможность временного местного разрыхления. Возможность местного разрыхления имела только в приповерхностном слое, но не на глубине, где разрыхлению препятствовал вес покрывающей лавовой толщи.

При проведении деривационного туннеля гидростанции было отмечено образование трещин в домах и на поверхности земли в непосредственной близости от трассы туннеля. Картина трещинообразования отличалась от обычно встречаемой при проведении туннелей.

Трасса туннеля пересекает окраинную часть обширного вулканического плато, сложенного плиоценовыми базальтами, перемежающимися со шлаковыми зонами, представленными обломками, щебенкой и дресвой ноздреватого базальта со шлаковым песком (рис. 1).

Мощность этих зон и их протяженность непостоянны (рис. 2 и 3). Скважинами, пройденными по трассе деривации пересечены многочисленные шлаковые зоны, мощностью от 0,5 до 10 м.

При составлении геологических разрезов у геологов иногда наблюдается тенденция объединять шлаковые зоны, встречаемые в отдельных скважинах, и создавать представление о сплошном сложении вулканической толщи. Однако при проходке туннеля было установлено, что шлаковые зоны располагаются преимущественно в виде гнезд протяженностью до 750 м. Шлаковые зоны возникли в результате отдельных вулканических выбросов, образовавших произвольно расположенные гнезда в общей лавовой массе.

Наиболее значительные по мощности и протяженности рыхлые шлаковые зоны наблюдались в верхней и нижней частях разреза. Базальты трещиноваты и местами представляют собой древесно-щебеннистую массу с обломками плотного базальта.

При проведении туннеля применялись буровзрывные работы с проходкой сразу на полный профиль. Забой туннеля, площадью около 25 м², разбуривался 40—50 шпурами, глубиной до 1,5 м. Общий вес заряда аммонита № 8 достигал за одну проходку около 25—35 кг, т. е. составлял от 0,9 до 1,3 кг на 1 м³ выемки. В туннеле устанавливалось временное крепление из металлических полигональных арок с деревянными марчеванами. Переборы профиля заполнялись забутов-

¹ Зав. Лабораторией геомеханики ИГИС АН АрмССР.

² Старший научный сотрудник Лаборатории геомеханики ИГИС АН АрмССР.

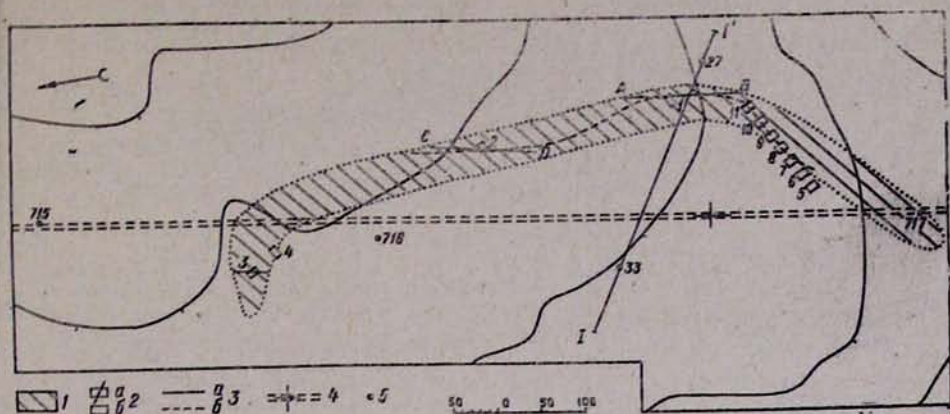


Рис. 1. Схема расположения деформированных зданий. 1—выход на поверхность верхних шлаков; 2—деформированные здания: а—сильная трещиноватость, черта показывает направление основной трещины; б—слабая трещиноватость; 3—направление трещин в грунте: а—видимое, б—предполагаемое; 4—туннель и место сбойки забоев; 5—скважина и ее номер.

Նկ. 1. Անափոխված շենքերի դասավորման սխեման: 1—վերին շլակների կլոր գետնի մակերևույթի վրա: 2—ձևափոխված շենքեր՝ ա—ուժեղ ճեղքավորում, գծիկը ցույց է տալիս հիմնական ճեղքի ուղղությունը, б—թույլ ճեղքավորում: 3—գետնում ճեղքի ուղղությունը՝ ա—տեսանելի, б—ենթադրվող: 4—թունել՝ և հանքախորշերի միացման տեղը: 5—հորատանցք և նրա համարը:

Fig. 1. Layout of deformed buildings. 1—outcrop of upper slags; 2—deformed buildings; а—heavy fissuring, the line shows direction of the main fissure; б—weak fissuring; 3—direction of fissures in the ground: а—visible; б—assumed; 4—tunnel; 5—borehole and its number.

кой. Постоянная обделка туннеля возводилась в две очереди с бетонировкой обратного свода во вторую очередь.

Во время проходки туннеля в некоторых домах возникли трещины. В связи с этим было обследовано одиннадцать домов. Дома сложены из бутового камня на глинистом растворе. Основанием домов служат шлаковые породы или базальты. Схема расположения домов показана на рис. 1, а их взаимоотношение с туннелем—в таблице. Из схемы и таблицы видно, что геометрическая характеристика положения сооружения относительно туннеля не определяет собой разрушение его; поэтому причину разрушения только части домов следует искать в особенностях геологического строения.

Деформации отдельных домов весьма различны по своей величине, начиная от значительных повреждений стен зданий с разветвленными трещинами, раскрытием до 2 см, и кончая домами, имеющими в стенах одну или две трещины незначительного раскрытия.

В грунте наблюдались три трещины, раскрытием до 5 см, длиной 20—30 м; можно было легко восстановить общее направление разрыва грунта по этим трещинам А—В и С—D (рис. 1). Дома, расположенные вдоль этой линии, оказались особенно деформированными, наибольшего внимания заслуживают дома № 1 и 2.

Дом № 1 является угловым. Трещина в грунте сечет угол здания; в обеих стенах, образующих этот угол, наблюдаются косые трещины; секущие стены и частично захватывающие оконный проем.

Основанием дома № 1 служат шлаки. Здесь основной деформацией является разрыв между фасадным углом и остальной частью

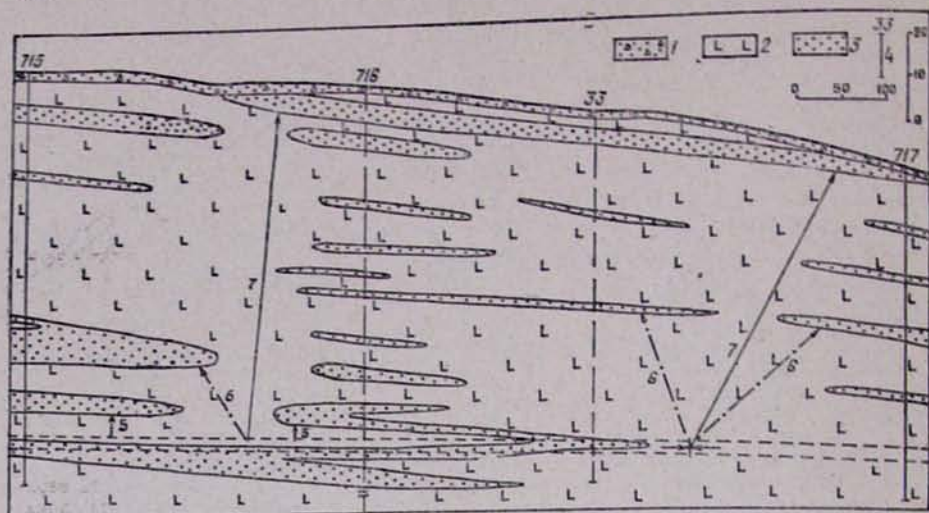


Рис. 2. Геолого-литологический профиль по оси туннеля. 1—современные отложения; 2—базальты; 3—вулканические шлаки и выбросы; 4—скважина и ее номер; 5—взрывная волна, погашенная горизонтом нижних амортизирующих шлаков; 6—взрывная волна, погашенная горизонтом средних амортизирующих шлаков; 7—взрывная волна, достигшая верхних шлаков и вызвавшая их уплотнение.

Նկ. 2. Երկրաբանական և ֆառաբանական կտրվածք թունելի առանցքով: 1— ժամանակակից նստվածքներ. 2— բազալտներ. 3—հրաբխային շլակներ և արտանետվածքներ. 4. Հորատանցք և նրա համարը. 5—ներքին ամորտիզացվող շլակների կողմից մարած պայթյունի ալիք. 6—միջին ամորտիզացնող շլակների կողմից մարած պայթյունի ալիք. 7— վերին շլակներին հասած և նրանց խտացումն առաջացնող պայթյունի ալիք:

Fig. 2. Geological and lithological cross-section along the tunnel axis. 1—recent deposits; 2—basalts; 3—volcanic slags and outbursts; 4—borehole and its number; 5—blast wave damped by horizon of the lower damping slags; 6—blast wave damped by horizon of middle damping slags; 7—blast wave which has reached the upper slags and caused their compaction.

здания, приведший к образованию трещины в стенах, раскрытием в 10 мм. Имеется сдвиг этих двух частей здания относительно друг друга по плоскости трещины. В земляном полу подвала здания отмечается трещина, служащая продолжением трещины в грунте, прослеживаемой по длине 20—30 м вдоль улицы, на которой расположен дом. Общее направление трещины в грунте (рис. 1) приблизительно параллельно трассе туннеля.

Основанием дома № 2 служат базальты, а угловая часть дома, имеющая подвал, расположена на шлаках. Угловая часть отделена от остальной части дома системой трещин с раскрытием порядка 20 мм. Трещины эти проходят через стены, подвал дома и находящуюся над ним комнату, пересекая окна комнаты в фасадной и дворовой стенках. Направление основной трещины в здании, т. е. линии, по которой прошел отрыв угловой части здания, также приблизительно параллельно направлению туннеля.

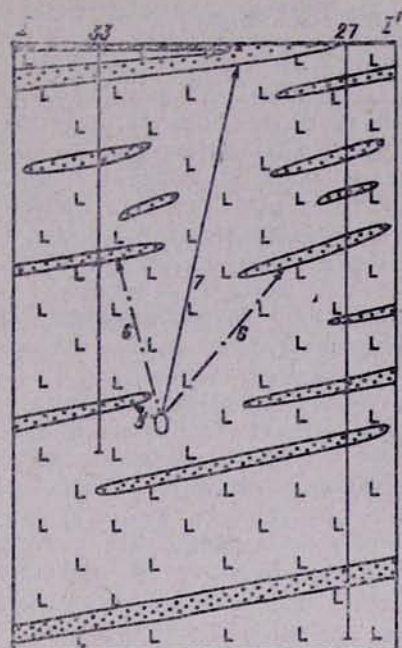
В остальных осмотренных домах деформации менее значительны.

Возникает вопрос: почему среди большого количества однотипных по конструкции, типу примененных стройматериалов и методу возведения домов разрушенными оказались только несколько домов, расположенных в узкой полосе, вытянутой вдоль трассы туннеля. Обсле-

Рис. 3. Геолого-литологический профиль по линии I—I', обозначения см. рис. 2.

նկ. 3. Երկաթաքանդակի և քարաքանդակի կտրվածք I—I' գծով, բացատրությունները տես նկ. 2:

Fig. 3. Geological and lithological cross section along the line I—I'; for designations see Fig. 2.



дование этой полосы показало, что она является местом выхода рыхлых вулканических шлаков. Но вулканические шлаки залегают повсеместно, и надлежало установить, в каких случаях шлаки вызывают деформацию поверхности грунта. В базальтах вмещены разнообразные линзы и прослойки рыхлых шлаковых пород и поэтому массив породы особенно чувствителен к воздействиям, связанным с проходкой туннеля. Понятно, что деформации поверхности не происходят вследствие смещений пород в сторону выработанного подземного пространства; гораздо более вероятно дополнительное уплотнение рыхлых шлаковых зон в связи с более компактной переукладкой частиц шлаковой породы. Стимулом для такой переукладки могли послужить взрывные работы в туннеле, эффект воздействия которых должен

Расположение деформированных домов относительно туннеля

Ձևախիսված տների դիրքը բունեի նկատմամբ

Location of deformed houses with respect to tunnel

№ дома Տան № House №	Расстояние от туннеля, м Տարածությունը թունելից, մ Distance from tunnel, m		Наклон кратчайшей линии к го- ризонту Կարճագույն գծի թեքու- թյունը հորի- զոնին Inclination of shortest li- ne to horizon	Время по- стройки дома Տան կառույց- ման ժամա- նակը Time of house const- ruction	Время образова- ния трещин Ճեղքվածքի գոյաց- ման ժամանակը Time of fissure formation
	по вертикали ուղղահայեց vertically	по горизонтали հորիզոն. գծով horizontally			
1	84	130	33°	1939	Лето 1960
2	80	80	45°	1938	Лето 1960
3	83	60	54°	1938	Весна 1960
4	87	50	60°	—	—
5	87	70	52°	—	—
6	75	45	60°	1940	—
7	75	50	53°	1940	—
8	76	60	51°	1947	—
9	77	70	48°	1940	—
10	69	110	32°	—	—
11	69	120	30°	1947	—

быть особенно значителен в местных условиях. Действительно, упругие колебания, вызванные взрывами, с высокой скоростью и интенсивностью распространяются в базальтах на большие расстояния, так как базальты являются хорошими проводниками упругих волн. Таким образом, слои базальтов играют здесь роль вибрирующих плит, а прослойки шлаков исполняют роль сыпучего материала, как бы подлежащего уплотнению вибрированием.

Как известно, для протекания процесса уплотнения сыпучего материала последний должен иметь возможность временного местного разрыхления. Разрыхление нижних горизонтов шлаков может возникнуть в слоях, перерезанных туннелем или попавших в пределы параболы обрушения, а верхних горизонтов шлаков—в случае, если они расположены вблизи от поверхности земли. Именно это и имело место. Судя по геологическому разрезу (рис. 1), деформации домов происходили только в тех случаях, когда туннель прорезает базальты, а шлаки находятся вблизи от поверхности земли. Гнезда шлаков, расположенные на глубине, вероятно, деформировали колебания от взрывов, что способствовало предохранению зданий от повреждений. Отсюда следует, что если туннель проходит через базальты, а основания зданий расположены на шлаках, то взрывы должны вызывать более значительные деформации, чем в случае однородных пород. Действительно, в случае только базальтов после взрывов не могли бы возникнуть значительные остаточные деформации (осадки) местности, ввиду высокой прочности породы. В случае только шлаков взрывная волна быстро затухла бы в разрыхленной породе и влияние сотрясений ограничивалось бы зоной небольшой протяженностью, в непосредственной близости туннеля.

Неоднородность массива породы над туннелем, сложенного из перемежающихся слоев базальтов и шлаков, имеет и другое неблагоприятное следствие. Деформации массива происходят в прослойках шлаков. Наличие же слоев базальта, являющихся сравнительно жесткими плитами, способствует тому, что деформации породы в целом концентрируются в отдельных участках, соответствующих разрывам этих жестких плит. Если бы не имела места концентрация деформаций, то сдвигение горной породы было бы значительно меньше, и возможно, что при сравнительно равномерной осадке дома вообще не получили бы повреждений. Таким образом, местные геологические условия необходимо рассматривать как особенно неблагоприятные.

В таблице подсчитаны углы наклона к горизонту кратчайшей линии, соединяющей деформированные дома с туннелем; эти углы равны или больше углов сдвигения горных пород, ограничивающих модуль сдвигения. Кроме того, момент образования трещин по времени хорошо увязывается с проходческими работами в туннеле. В ряде случаев поврежденные части домов оторваны по линиям, параллельным трассе туннеля. Наиболее интенсивные деформации приурочены к месту сбойки двух забоев туннеля (рис. 1 и 2). Очевидно, что причиной деформации домов являются именно взрывные работы в туннеле.

Производство туннельных работ и проект туннеля удовлетворяют обычно предъявляемым требованиям. Описанные выше сложные геологические условия вряд ли могли быть учтены предварительно; в технической литературе не имеется описаний случаев сдвигения массивов породы аналогичного сложения при проходке подземных выработок. Рекомендуются при проходке подземных выработок в горных массивах, представленных прослоями прочных, скальных пород и сыпучих,

рыхлых пород, уделять особое внимание буровзрывным работам с тем, чтобы не причинять ущерба сооружениям, находящимся на поверхности земли.

ՑՆՑՈՄԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ՓԵՐՈՒՆ ԼՐԱՐԽԱՅԻՆ ՇՆԱԿՆԵՐԻ ԽՏԱՑՄԱՆ ՎՐԱ ԹՈՒՆԵԼՆԵՐԻ ՀՈՐԱՏՄԱՆ ԺԱՄԱՆԱԿ

ՀՍՍՀ ԳԱ ԲՈՐ.-ԱՆԳ., պրոֆ., տեխն. գիտ. դոկտոր ԳԵՐՏԵՍԻՍ ՏԵՐ-ՍՏԵՓԱՆԻԱՆ Լ
ԵՐԿ. միմ. գիտ. բեկմ. ԱՆԱՀԻՏ ԱՌԱՔԵԼԻԱՆ

Ի Ե Ֆ Ե ր ա տ. Լավային ծածկույթում հիդրոտեխնիկական թունելի հորատման ժամանակ պայ-
թեցման հետեանքով մի քանի տներ վնասվեցին, այնինչ նույն տիպի հարևան տների մեծա-
մասնությունը մնաց անվնաս: Լավային ծածկույթում բաղմիջս հանդիպում են փխրուն հրա-
բլթային շլակների ոսպնյակներ: Հաստատված է, որ վնասված էին միայն տները, որոնք
տեղադրված էին թունելի երկայնքով ձգված նեղ շերտում, որտեղ փխրուն շլակի ոսպնյակը
էինում է դեանի վրա: Խորքում գտնվող փխրուն շլակների ոսպնյակները չէին հակադրում
ցնցումների վրա, հակառակը, նրանք մարում էին պայթյուններից առաջացած տատանումները:
Բացատրությունը այն է, որ կոնսերվացիվ ստրուկտուրա ունեցող նյութերի խտացման համար,
ինչպիսին են շլակները, անհրաժեշտ է ժամանակավոր տեղական փխրունացման հնարավորու-
թյուն: Տեղական փխրունացման հնարավորությունը կա միայն մերձակերեսային շերտում,
բայց ոչ խորքում, որտեղ փխրունացմանը խոչընդոտում է ծածկող լավային շերտի կշիռը:

EFFECT OF VIBRATIONS BY TUNNEL DRIVING ON COMPACTION OF LOOSE VOLCANIC SLAGS

GEORGE TER-STEPANIAN, Prof., Dr.Sc.(Eng.), Corr. Mem. Armen. Ac.Sc.³
and ANAHIT ARAKELIAN, Cand.Sc.(Geol.)⁴

Synopsis. Deformation of several buildings during the driving of a hydrauc tunnel occurred as a result of blasting operations, although majority of neighbouring buildings of the same type remained intact. Numerous lenses of the loose volcanic slags were met with in the lava sheet. It was found that those buildings were damaged only, which were located in a narrow strip stretched along the tunnel where a loose slag lens outcrops. The deep seated loose slag lenses did not respond to the vibrations; in contrast, the blasting vibrations were damped by these slag lenses. It was explained by conservative structure of slags; a temporary local expansion is necessary in this case in order for compaction of a material with such a structure to happen. The possibility of this local expansion existed in the subsurface layer only but not in the depth where the loosening was hindered by weight of the lava overburden.

¹ ՀՍՍՀ ԳԱ ԳԻՍԻ գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

² ՀՍՍՀ ԳԱ ԳԻՍԻ գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի աշխ. գիտաշխատող:

³ Head, Laboratory of Geomechanics, IGES Armen. Ac.Sc.

⁴ Senior Scientific Worker, Laboratory of Geomechanics, IGES Armen.Ac.Sc.