

Л. М. ТИМОФЕЕВА, Е. С. КРАСНОВ (Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Россия)

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ СЛАБЫХ ОСНОВАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Рассмотрен метод усиления слабых оснований автомобильных дорог на Урале с применением грунтоцементных свай, изготавливаемых по струйной технологии. Показано, что получаемые армогрунтовые свайные основания позволяют значительно повысить несущую способность оснований, однако эффективность используемого метода в значительной степени зависит от мощности и литологического состава грунтов основания.

*Ключевые слова:* сваи, струйная технология, слабые основания, автомобильные дороги

Методы оценки устойчивости земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах сведены в «Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах» [1]. В последнее время появляются дополнения к вышеуказанному нормативному документу. Так в своей работе Андреева Е. В. [2] в отличие от предыдущих исследований рассматривает область наступления предельного состояния устойчивости дорожных конструкций на слабом грунтовом основании при динамических воздействиях – границу «земляное полотно – слабое грунтовое основание». Предложенная автором методика позволяет определить ускорения колебания на поверхности слабой толщи ( $a_c$ ) при заданной высоте насыпи, конструкции дорожной одежды и возможной скорости движения автомобиля (в интервале от 10 до 90 км/ч). Предложенная методика дает возможность экономить до 35 % грунта насыпи по сравнению с методикой «Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах» [1] за счет уменьшения проектной высоты насыпи.

В настоящее время существуют несколько методов усиления слоистых слабых оснований [1], а выбор способа усиления, его экономическая и технологическая эффективность зависят от мощности и особенностей литологического состава слабой грунтовой толщи, физико-механических свойств слабых грунтов и высоты земляного полотна.

Опыт реализации методов усиления слабых оснований рассмотрен на примере участка реконструкции автомобильной дороги «Пермь – Екатеринбург» км 13+815 – км 33+415 (первый пусковой комплекс). Инженерно-геологические изыскания показали, что на большом его протяжении в верхней зоне грунтовой толщи залегают аллювиально-делювиальные отложения,

сложенные водонасыщенными глинистыми грунтами от мягкопластичной до текучей консистенции практически с нулевой несущей способностью.

Глубина залегания несущих пород – аргиллитов и песчаников составляет 6,0...9,0 м на пойменных участках с поднятием на отдельных участках до 1,5...2,5 м. Практически по всей трассе мощность слабых отложений  $H_a$  находится в пределах активной сжимаемой толщи и не превышает половины  $B$  – ширины подошвы земляного полотна ( $H_a < 0,5B$ ). Очевидно, что наиболее опасными являются деформации основания, связанные с нарушением прочности слабых грунтов, поскольку расчетное сопротивление этих грунтов составляет  $R = 0$  [3]. Основными литологическими разновидностями этих грунтов являются мягко- и текучепластичные суглинки с включениями органических веществ мощностью от 1,5 до 4,0 м с показателем консистенции  $I_L = 0,66...0,78$ . Модули деформации этих грунтов составляют  $E = 2,5...5,0$  МПа, угол внутреннего трения  $\varphi = 13^\circ$ , сцепление  $c = 10$  кПа. Особенностью литологического строения является наличие плавунных грунтов – текучих супесей по кровле аргиллитов, залегающие на глубинах 3,0...4,0 м под суглинками с показателем текучести  $I_L > 1,0$ . В рамках расчета деформативные и прочностные параметры приняты в [1], соответствующие консолидированному состоянию ( $E = 2,0$  МПа,  $\varphi = 6...8^\circ$ , сцепление  $c = 10$  кПа). Подстилающими породами являются аргиллиты – полускальные малосжимаемые породы с модулем деформации  $E > 5,0$  МПа. Для выбора способа усиления слабого основания проведены расчеты конечной осадки и прочности основания от эксплуа-

тационных нагрузок в соответствии с рекомендациями [1] расчеты осадок выполнены по методу линейно-деформируемого слоя [3], по приближенной формуле (28) [1], по «методу Лобанова» [4]. Расчетная схема слабого основания насыпи для расчета осадки и консолидации представлена на рис. 1.

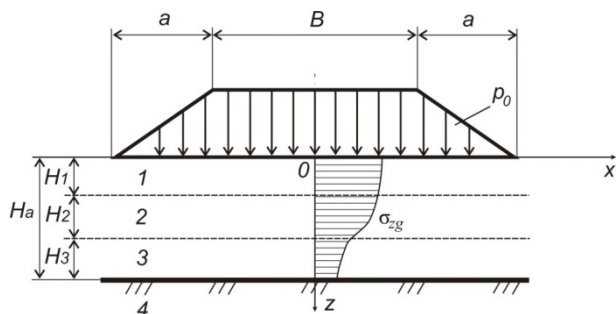


Рис. 1. Расчетная схема слабого основания насыпи для расчета осадки и консолидации

Нагрузки от движущегося транспорта распределяются в теле земляного полотна и уменьшаются от поверхности полотна до определенной глубины (в пределах активной зоны), после которой они могут не учитываться при расчетах.

Нижняя граница активной зоны принимается на глубине, где напряжения от подвижной нагрузки составляет 1/10 напряжений от собственного веса грунта.

На участках дороги, где высота земляного полотна  $H_3 \leq 1,0$  м, основное давление на основание  $P_0$  создается эксплуатационной транспортной нагрузкой, которая принята равной 115

кН. Распределение давления от колеса на поверхность земляного полотна через дорожную одежду принято под углом  $45^\circ$ . Динамическая составляющая нагрузки учитывается введением динамического коэффициента, который для земляного полотна высотой  $H_3 = 0 \dots 1,0$  м составляет  $K_d = 1,5$  [3]. При высоте насыпи  $H_3 = 1,0 \dots 2,0$  м –  $K_d = 1,3$ , для  $H_3 = 2,0 \dots 3,0$  м –  $K_d = 1,1$ . Значения динамического коэффициента  $K_d$  приняты по данным БелДорНИИ для расчета осадок земляного полотна автомобильных дорог. Исследования Липидуса Л. С. [5] по вопросам консолидации переувлажненных глинистых грунтов при многократных воздействиях с учетом интенсивности движения, длительности и скорости нагружения показали, что при таких нагрузках происходит усталостное разрушение грунта земляного полотна. А для учета динамического характера подвижной нагрузки на дорожную одежду, земляное полотно и основание им предложено вводить соответствующие эмпирические коэффициенты надежности, установленные при натурных и лабораторных экспериментах. Для расчетов на прочность по рекомендациям ДИИТа динамический коэффициент  $K_d$  учитывается при определении прочностных параметров, поскольку разрушение грунта происходит при нагрузках, превышающих усталостную прочность грунта. Результаты расчетов для характерных поперечников приведены в табл. 1.

Таблица 1

Высота насыпи, $H_3$ , м	Толщина сжимаемой толщи $H_a$ , м	Давление по кровле слабого грунта		Предельная несущая способность слабого грунта $P_u$ , т/м <sup>2</sup>	Расчетная осадка $s_p$ , см		
		От веса насыпи (включая дор. одежду) $P_o$ , т/м <sup>2</sup>	От веса насыпи и транспортной нагрузки $P_o$ , т/м <sup>2</sup>		По методу Лобанова	По «Пособию» [1]	ЛДС [3]
0,3	6,6	2,8	21,8	6,46	61,8	42,6	42,0
1,09	6,6	4,4	21,1	8,4	46,0	34,0	26,4
2,71	6,6	8,2	17,5	7,8	38,0	29,0	23,0
3,59	6,6	10,0	17,9	8,4	30,0	22,0	17,1
6,09	6,6	15,0	21,4	9,6	51,5	33,0	25,3
9,09	6,6	21,0	25,8	12,0	1,07	54,0	41,8

Как видно, величины осадок, рассчитанные различными методами отличаются незначи-

тельно и при подсчетах объемов работ можно принять максимальное из этих значений.

Анализ напряженно-деформированного состояния и расчетов несущей способности слабого основания показал, что мощность слабого основания на участке значительно меньше ширины подошвы земляного полотна (42,0 м и более), поэтому расчет конечной осадки необходимо производить как для линейно-деформируемого слоя на малосжимаемом основании (аргиллите). В случае естественного уплотнения пригрузкой даже при двухстороннем дренировании время стабилизации осадки по приближенной формуле Н. Н. Маслова может составить 2-3 года.

Резюмируя вышеизложенное с учетом осадки земляного полотна при эксплуатационных нагрузках с учетом динамики, которые могут достигать от 30 до 100 см и более, было принято решение об усилении основания грунтоцементными сваями, изготавливаемыми по струйной технологии. Общая схема расположения свай в плане приведена на рис. 2.

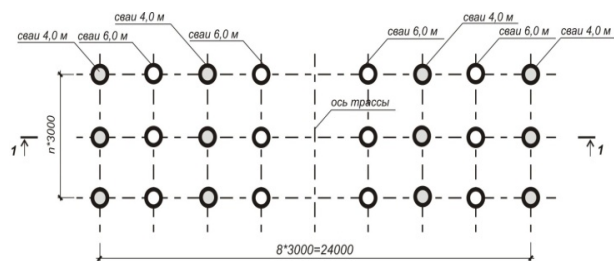


Рис. 2. Общая схема расположения свай в плане

Поперечный разрез дороги на участке с опытными сваями и литологический состав грунтов основания земляного полотна приведены на рис. 3. В связи с недостаточной глубиной скважин, устроенных при изысканиях, установить глубины залегания кровли малосжимаемых пород (щебеночной прослойки и аргиллита) было невозможно. Поэтому положение их кровли предварительно определялось по данным изысканий рядом расположенного мостового перехода через р. Ветлан и в последующем уточнялось при изготовлении свай. Приведенный на рис. 3 инженерно-геологический разрез составлен по данным бурения скважин при изготовлении свай.

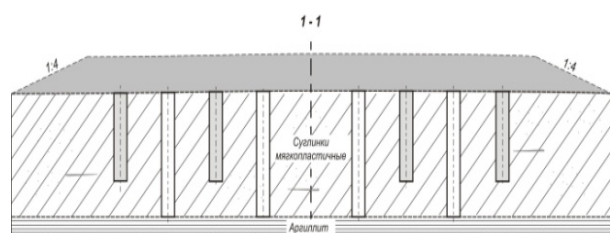


Рис. 3. Поперечный разрез дороги на участке с опытными сваями

На опытном участке дорожная одежда расположена непосредственно на кровле грунтового основания, верхний слой которого представляет собой мягкопластичный суглинок с модулем деформации  $E = 5,0$  МПа.

Для изготовления свай над кровлей суглинка дополнительно устраивалась прослойка из ПГС толщиной 0,7...0,8 м, обеспечивающая гашение давления цементного раствора. При этом уровень голов свай должен был располагаться в уровне кровли верхнего слоя основания. В связи с большим габаритом дороги было решено часть свай выполнить уменьшенной длины (4,0 м).

Подошва основных несущих свай располагалась на кровле аргиллита, т.е. они должны работать как сваи-стойки. Ориентировочная длина этих свай составляла 6,0 м. Сваи уменьшенной длины (4,0 м) заглублены в водонасыщенную супесь текучей консистенции, они работают как висячие сваи, в основном, за счёт бокового трения в верхних несущих слоях. При расчетном определении их несущей способности необходимо было учитывать отрицательное трение, вызванное значительными осадками слабого сильносжимаемого основания (в соответствии с п.7.2.12 СП 24.13330.2011). Расстояние между сваями-стойками составляет 6,0 м, между ними и смежными сваями длиной 4,0 м – 3,0 м.

Диаметр ствола грунтоцементных свай в плотном теле, определенный по данным измерений откопанных свай, составлял около 1,2 м. В оголовках свай в результате цементации части упомянутого выше слоя ПГС, игравшего при изготовлении свай роль форшахты, диаметр укрепленного участка достигал 1,4 м.

Поскольку материал этого слоя существенно слабее материала ствола (причем уширение не сформировано с достаточной определенностью как по высоте, так и в плане), а также в связи с необходимостью расположения над головами свай в рабочем слое дорожной одежды армирующих элементов в виде гибкого ростверка, было принято решение о разборке верхней уширенной части оголовков свай. Таким образом, диаметр свай принят равным 1,2 м.

В настоящее время ведется мониторинг величины осадки на участке усиления основания грунтоцементными сваями. Наблюдается равномерная в пределах поперечного профиля осадка земляного полотна в пределах 2...10 мм в месяц. При этом максимальные значения осадок характерны для весеннего и осеннего периода времени года, что объясняется дополни-

тельным влагонакоплением в грунте основания земляного полотна.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах [Текст] / Минтранс РФ. Федеральное дорожное агентство. – М.: 2004. – 252 с.
2. Андреева, Е. В. Устойчивость дорожных конструкций на слабом грунтовом основании при динамических воздействиях [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Андреева Е. В. – Омск, 2007. – 147 с.

3. СНиП 2.02.01–83\*. Основания зданий и сооружений [Текст]. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2005. – 48 с.
4. Проектирование и строительство автомобильных дорог [Текст]. Справочник / под ред. В. Й. Заворицкого. – К.: Техника, 1996. – 383 с.
5. Лapidус, Л. С. Несущая способность основной площадки железнодорожного земляного полотна [Текст] / Л. С. Лapidус. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.

Поступила в редколлегию 03.07.2012.

Принята к печати 16.07.2012.

Л. М. ТИМОФІЄВА, Є. С. КРАСНОВ (Пермський національний дослідницький політехнічний університет, Росія)

### СУЧАСНІ МЕТОДИ ПОСИЛЕННЯ СЛАБКИХ ОСНОВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

Розглянуто метод посилення слабких основ автомобільних доріг на Уралі із застосуванням ґрунтоцементних паль, що виготовляються за струменевою технологією. Показано, що одержувані армоґрунтові пальові підстави дозволяють значно підвищити несучу здатність поверхні, однак ефективність використовуваного методу в значній мірі залежить від потужності і літологічного складу ґрунтів основи.

*Ключові слова:* палі, струменева технологія, слабкі підстави, автомобільні дороги

L. M. TIMOFEEVA, E. S. KRASNOV (Perm National Research Polytechnics University, Russia)

### MODERN METHODS OF REINFORCEMENT OF WEAK FOUNDATIONS OF ROADS

The article discusses the method of reinforcing weak foundations of automobile roads in the Urals that uses soil-cement piles produced through jet grouting. The article demonstrates that armed ground pile foundations lead to substantial increase of the bearing capacity of the foundation, however the effectiveness of the method largely depends on the thickness and the lithologic composition of the foundation soils.

*Keywords:* piles, jet grouting, weak foundations, roads