

## АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

**УДК 622.012.3 : 625.86.001.2**

**В.А. Шаламанов, С.Н. Шабаев, Н.В. Крупина, А.П. Сычев**

### **ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ УКЛАДКИ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ**

В соответствии со СНиП 3.06.03-85 [1] и Руководством [2] щебеночно-песчаные смеси в момент укладки должны иметь влажность близкую к оптимальной с отклонением не более 10%. Однако проведенные нами исследования показывают, что при испытании лабораторными методами смеси не всегда имеют оптимальную влажность (наблюдается рост плотности скелета с увеличением влажности материала). Объясняется это тем, что при определении оптимальной влажности стандартными методами испытание крупных и мелких частиц производится отдельно, а оптимальная влажность смеси назначается по результатам определения этой влажности для мелких частиц с ее корректировкой по эмпирической формуле с учетом содержания крупных зерен. При этом наличие оптимальной влажности у мелкодисперсного материала легко объясняется с позиции механики грунтов.

В процессе уплотнения грунта уменьшается его пористость и влажность в связи с более плотной упаковкой частиц и отжатием воды. При этом вода должна пройти некоторый путь в толще грунта, т.е. профильтироваться через него. Скорость напорного движения воды в грунте зависит от количества и размеров пор грунта, сопротивлений по пути фильтрации и величины действующих напоров. Чем меньше размер частиц, входящих в состав грунта, тем более мелкие по размеру поры образуются между ними, в ре-

зультате чего вода в них в основном связана электромолекулярными силами с минеральными зернами грунта и скорость фильтрации достаточно мала, что обуславливает продолжительный во времени процесс оттока воды из грунта при его уплотнении. При увеличении размеров частиц увеличиваются и размеры пор, образуемых между ними, что ведет к значительному увеличению скорости фильтрации воды и уменьшению времени ее оттока из грунта (рис. 1, 2).

При искусственном уплотнении грунта, в отличие от естественного его самоуплотнения во времени или действия прочих внешних постоянных давлений, время действия уплотняющей нагрузки ограничено, что приводит к оттоку не всей воды, которая могла фильтроваться в течение длительного периода времени, а лишь ее части (рис. 2). При равных изначальных объемах воды в грунтах различной крупности, после приложения внешнего давления в ограниченном по времени ин-



*Рис. 1. Изменение скорости фильтрации воды из-за ее оттока из грунта под действием постоянного внешнего давления во времени*



*Рис. 2. Изменение объема воды, оставшейся в грунте, из-за ее оттока из грунта под действием постоянного внешнего давления во времени*

тервале, количество воды в мелкодисперсном грунте будет значительно превосходить ее количество в крупнодисперсном материале.

При сжатии грунтовой массы возникают два вида давлений в ней: давление в скелете грунта  $p_z$  и давление в поровой воде  $p_w$ . Первые называются эффективными давлениями, так как они эффективно действуют на грунтовые частицы, уплотняя и упрочняя грунт; вторые – нейтральными давлениями, так как они не уплотняют и не упрочняют грунт, а создают лишь напор в воде, вызывающий ее фильтрацию. При этом полное (внешнее) давление в полностью водонасыщенной грунтовой массе равно сумме эффективного и нейтрального давлений [3-7]:

$$p = p_z + p_w. \quad (1)$$

Эти рассуждения справедливы только для грунта, полностью насыщенного водой. Если же поровая вода в грунте содержит воздух, давление передается частично на воду, заключенную в порах, и частично на скелет грунта [8]. Предположим, что давление, возникающее в поровой воде под действием внешней нагрузки, возрастает до максимального значения по следующему закону (рис. 3):

$$p_{w,\phi} = \left(2 \left(\frac{V_{n.b.}}{V_{\text{пор}}} \right)^2 - 1\right) \cdot p_w, \quad (2)$$

где  $p_{w,\phi}$  – фактическое поровое давление;  $V_{n.b.}$  – объем поровой воды, содержащейся в грунте;  $V_{\text{пор}}$  – общий объем пор в грунте.

В соответствии с формулами (1) и (2) эффективное давление с увеличением объема поровой воды будет изменяться по закону (рис. 4):

$$p_z = p - \left(2 \left(\frac{V_{n.b.}}{V_{\text{пор}}} \right)^2 - 1\right) \cdot p_w, \quad (3)$$

Процесс уплотнения, обуславливаемый сдвигом зерен и

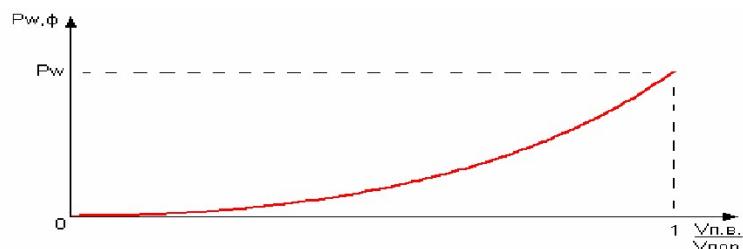


Рис. 3. Изменение давления в поровой воде в зависимости от ее содержания в грунте

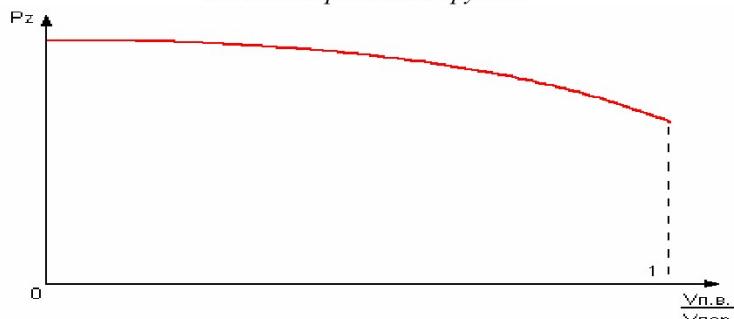


Рис. 4. Изменение эффективного давления в грунте при действии внешней нагрузки в зависимости от содержания поровой воды

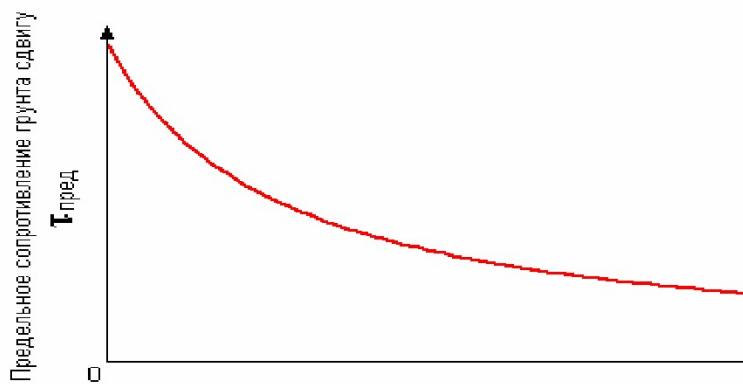


Рис. 5. Зависимость предельного сопротивления грунта сдвигу в зависимости от содержания поровой воды

более плотной упаковкой их, зависит от прочностных характеристик грунта (угла внутреннего трения и сцепления), которые в свою очередь зависят от влажности материала. С увеличением влажности уменьшается предельное сопротивление грунта сдвигу и, соответственно, повышается его способность к уплотнению (рис. 5) [3-12].

Уплотнение грунта будет происходить только в том случае, когда эффективное давление будет превышать предельное сопротивление грунта сдвигу, причем степень уплотнения будет тем выше, чем больше будет разность между эффективным давлением  $p_z$  и предельным сопротивлением грунта сдвигу  $\tau_{\text{пред}}$  (активное давление  $p_a$ ):

$$\begin{aligned} p_a &= p_z - \tau_{\text{пред}} = \\ &= p - \left(2 \left(\frac{V_{n.b.}}{V_{\text{пор}}} \right)^2 - 1\right) \cdot p_w - \tau_{\text{пред}} \end{aligned} \quad (4)$$

Наибольшая плотность скелета мелкодисперсного грунта может быть достигнута только в том случае, когда активное давление  $p_a$  максимально. Это возможно только при определенном содержании поровой

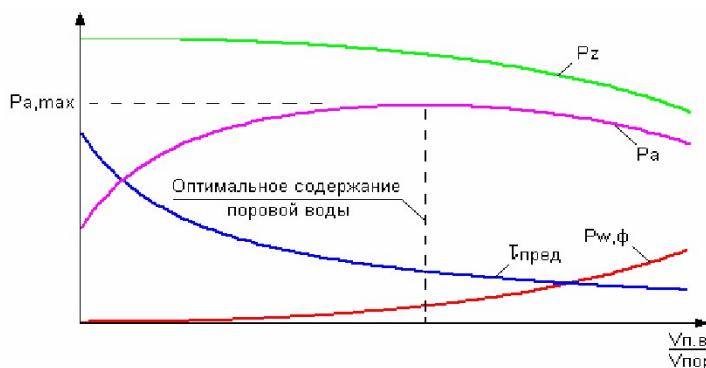


Рис. 6. Зависимость различных давлений, возникающих в мелкодисперсном грунте под действием внешней нагрузки, от содержания поровой воды

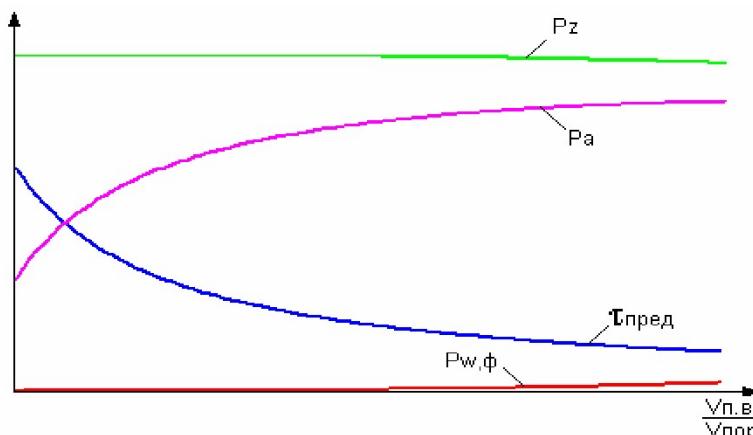


Рис. 7. Зависимость различных давлений, возникающих в крупнодисперсном грунте под действием внешней нагрузки, от содержания поровой воды

воды в составе грунта, что обычно выражают через показатель оптимальной влажности (рис. 6).

В крупнодисперсном грунте во время уплотнения будет наблюдаться значительный отток воды, что приведет к существенно меньшему объему оставшейся в порах грунта воды после уплотнения (рис. 2). Меньшее количество воды будет создавать и меньшее нейтральное давление (по сравнению с мелкодисперсным грунтом), что приведет к росту эффективного, а соответственно и активного давлений. В этом случае активное давление может не иметь максимума, постоянно возрастаю с увеличением содержания поровой воды и, соответственно, влажности материала, чем и объясняется возможность отсутствия оптимальной влажности у крупнодисперсных грун-

тов (рис. 7).

Таким образом, крупнодисперсные грунты могут не иметь оптимальной влажности, что справедливо ставит вопрос о том, при какой влажности необходимо укладывать щебено-песчаные смеси для достижения наибольшей плотности скелета материала во время его уплотнения.

Однако при уплотнении крупнодисперсных грунтов, с постепенным увеличением их влажности, в определенный момент из слоя начинает отжиматься вода, которая под действием внешней нагрузки фильтруется из грунта. Поэтому влажность, соответствующую той, при которой по визуальной оценке через соединения формы во время приложения внешней нагрузки начинает отжиматься вода, мы будем называть влажностью на границе перенасыще-

ния слоя (аналогия с точкой отжатия воды при стандартном методе испытаний). Следует отметить, что влажность на границе перенасыщения слоя есть величина не постоянная, а переменная, зависящая от значения уплотняющей нагрузки.

Если укладывать щебено-песчаную смесь при малой влажности, то плотность скелета материала будет явно занижена, при большой — повышенная пластичность смеси может способствовать выдавливанию материала из-под рабочего органа уплотняющей техники, что приведет не к уплотнению, а разуплотнению слоя, а также чрезмерный отток воды способен вызвать переувлажнение нижележащих конструктивных слоев дорожной одежды и земляного полотна. Поэтому назначение оптимальных условий укладки щебено-песчаных смесей требует дополнительных исследований, однако в качестве характерной влажности, относительно которой можно назначать допустимый интервал, является не оптимальная влажность, а влажность на границе перенасыщения слоя.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Плотность скелета материала из щебено-песчаных смесей может постоянно увеличиваться с увеличением влажности материала, что опровергает предположение о том, что щебено-песчаные смеси также как и пылевато-глинистые грунты всегда имеют оптимальную влажность.

- Отсутствие оптимальной влажности у щебено-песчаных смесей объясняется тем, что у них при воздействии внешней нагрузки по сравнению с пылевато-глинистыми грунтами, значительно ниже по значению величина порового давления, приводящая к постоянному росту активного давления, и, соответственно, росту плотности скелета с увеличением влажности материала.

3. При уплотнении щебеночно-песчаных смесей с постепенным увеличением влажности материала, в определенный момент из слоя начинает отжиматься вода, поэтому влажность, соответствующую

той, при которой по визуальной оценке через соединения формы во время приложения внешней нагрузки начинает отжиматься вода, мы предлагаем называть влажностью на границе перенасыщения слоя.

4. В качестве оптимальных условий укладки щебеночно-песчаных смесей может приниматься влажность на границе перенасыщения слоя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СНиП 3.06.03-85. Автомобильные дороги / Госстрой СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 112 с.
2. Руководство по строительству оснований и покрытий автомобильных дорог из щебеночных и гравийных материалов. – М. : Союздорнин, 1999. – 88 с.
3. Цытович Н.А. Механика грунтов : краткий курс / Н.А. Цытович. – М. : Высш. школа, 1979. – 272 с.
4. Бартоломей А.А. Механика грунтов : учеб. пособие / А.А. Бартоломей. – М. : Изд-во АВС, 2004. – 304 с.
5. Ухов С.Б. Механика грунтов, основания и фундаменты : учебник для вузов / С.Б. Ухов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во АВС, 2002. – 565 с.
6. Швецов Г.И. Инженерная геология, механика грунтов, основания и фундаменты: учебник для вузов / Г.И. Швецов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1997. – 319 с.
7. Шаламанов В.А. Механика грунтов : текст лекций / В.А. Шаламанов [и др.] ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2004. – 112 с.
8. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты (включая специальный курс инженерной геологии) / Б.И. Далматов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988. – 415 с.
9. Бабков В.Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов : учеб. пособие для автомоб.-дор. спец. вузов / В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. школа, 1986. – 239 с.
10. Малышев М.В. Механика грунтов (в вопросах и ответах) : учеб. пособие / М.В. Малышев, Г.Г. Болдырев. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. – 328 с.
11. Горюховский В.М. Механика грунтов / В.М. Горюховский. – Ростов-на-Дону : Изд-во Ростовского университета, 1988. – 160 с.
12. Черкасов И.И. Механические свойства грунтов в дорожном строительстве / И.И. Черкасов. – М. : Транспорт, 1976. – 247 с.

□ Авторы статьи:

Шаламанов Виктор Александрович - докт.техн.наук, проф., зав. каф. автомобиль- ных дорог	Шабаев Сергей Николаевич - ст. преп. каф. автомо- бильных дорог	Крупина Наталья Васильевна - доц. каф. автомо- бильных дорог	Сычев Алексей Петрович - ст. преп. каф. автомо- бильных дорог
---	--	---	--

УДК 622.012.3 : 625.86.001.2

**В.А. Шаламанов, С.Н. Шабаев, Н.В. Крупина, А.П. Сычев**

#### ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ УСТРОЙСТВА ПОКРЫТИЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Высокая доля в структуре затрат на транспортировку горной массы при открытом способе разработки полезных ископаемых, достигающая 15-35% в зависимости от грузоподъемности автосамосвалов [1], приходится на ремонт и приобретение шин. При этом общие затраты на шины за срок службы автомобиля достигают 60-80% стоимости самого автосамосвала, что ставит остро вопрос повышения их ресурса [2]. Практически 55-90% шин не достигают оптимального срока службы [3]. Основные причины низкой ходимости шин

– механические повреждения (35-60%) и отслоение протектора (17-30%), что свидетельствует, главным образом, о низком качестве покрытий карьерных автодорог [4].

В весенний и осенний периоды года, когда физико-механические свойства горных пород основания и покрытия приобретают самые невыгодные значения, а ограничений движения автосамосвалов ввести не возможно, из-за значительного ухудшения состояния покрытий карьерных автомобильных дорог производительность автотранс-