

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-

порта снижается на 15-20%, нередко движение приостанавливается [5]. Связано это с тем, что существующие виды покрытий устраиваемые, как правило, из вскрышных горных пород карьера или однофракционного щебня практически не ремонтопригодны, быстро разрушаются, и, следовательно, не обеспечивают требуемые транспортно-эксплуатационные качества покрытия. Нерешенным также остается вопрос по водоотводу. Во время увлажнения материала покрытия и основания, под действием нагрузок от колес карьерного автотранспорта, грунт основания выдавливается на поверхность покрытия, образуя грунтово-водную супензию, выступающую в роли смазки между покрытием и колесами автотранспорта, значительно снижая сцепление. Наличие грунтово-водной супензии делает практически невозможным движение карьерного автотранспорта,

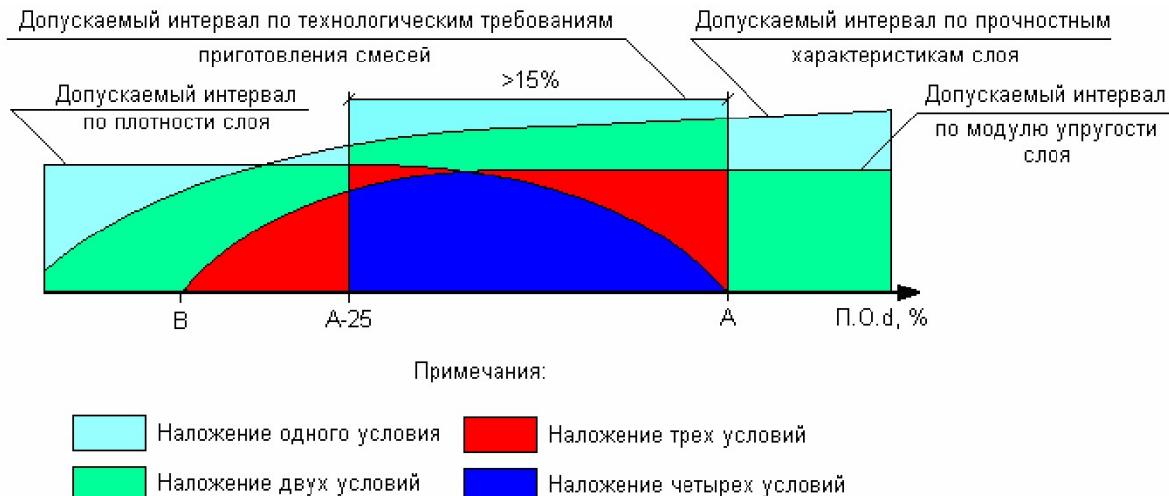
вызывая его простой.

В последние годы существенно повысился интерес к дорожным покрытиям и основаниям из плотных щебеночных смесей. Это объясняется, с одной стороны, новыми технологическими возможностями при их производстве и укладке, чем достигается высокое качество, с другой – ремонтопригодностью и легкостью содержания покрытий. Целесообразность использования в качестве материала покрытия карьерных автомобильных дорог плотных щебено-песчаных смесей можно обосновать на основе следующих их преимуществ [6,7]:

- высокая плотность скелета материала значительно (в зависимости от содержания щебня и его прочности в 3-12 раз по сравнению с одноразмерным щебнем) снижает процесс измельчения каменного материала под механическим воздействи-

Результаты оптимизации зерновых составов различных по крупности щебено-песчаных смесей для устройства покрытий карьерных автомобильных дорог

№ смеси	Наибольший размер зерен, мм	Полный остаток (%) на ситах размером, мм:									
		150	80	40	20	10	5	2.5	0.63	0.16	0.05
СП1	10	-	-	-	-	0-10	30-55	40-62	55-75	65-82	73-88
СП2	20	-	-	-	0-10	30-55	40-62	50-70	60-80	70-85	77-92
СП3	40	-	-	0-10	30-55	40-62	50-70	55-75	65-82	72-90	78-93
СП4	80	-	0-10	30-55	40-62	50-70	55-75	60-80	68-85	72-90	80-95
СП5	160	0-10	30-55	40-62	50-70	55-75	60-80	65-82	70-88	75-93	80-95
СП2*	20	-	-	-	0-20	20-55	30-65	45-75	55-80	70-85	77-92
СП3*	40	-	-	0-20	20-55	30-65	40-75	50-80	60-85	72-90	77-93
СП4*	80	-	0-20	20-55	30-65	40-75	45-80	55-85	65-85	72-90	80-95
СП5*	160	0-20	20-55	30-65	40-75	45-80	50-85	60-85	65-90	75-93	80-95



Графическое представление решения системы неравенств

ем автомобилей, что уменьшает скорость процесса образования волн и выбоин и, как следствие, повышает ровность покрытия;

- легкость ремонта и содержания покрытий позволяет постоянно поддерживать высокие их транспортно-эксплуатационные качества, что в целом увеличивает скорость движения автосамосвалов и, соответственно, их производительность, срок службы покрытия, а также снижает себестоимость транспортировки материалов и величину простоев автосамосвалов;

- применение плотных щебеночно-песчаных смесей позволяет на 15-25% уменьшить сопротивление качению, что в целом ведет к уменьшению расхода топлива и, соответственно, себестоимости перевозок.

Однако отсутствие научных исследований направленных на поиск путей повышения транспортно-эксплуатационных качеств покрытий карьерных автомобильных дорог и повышения эффективности эксплуатации карьерного автотранспорта за счет дорожной составляющей системы, не позволило широко применять плотные смеси в качестве материала покрытий карьерных автомобильных дорог.

С одной стороны оптимальный зерновой состав смесей покрытий должен иметь максимальную плотность скелета материала, что способствует снижению степени фильтрации через покрытие воды и переувлажнению основания, с другой – высокие деформационные и прочностные характеристики для восприятия нагрузки от автосамосвалов большой грузоподъемности. Для выбора действительно оптимального гранулометрического состава рассмотрим влияние содержания отдельных частиц в составе смеси на свойства слоя, полученного из нее.

В результате проведенных лабораторных испытаний было установлено [8,9]:

- зависимость плотности скелета материала от содержания в составе смеси частиц определенного размера имеет вид несимметричной параболы; при постепенном увеличении полного остатка на сите с диаметром отверстий  $d$  плотность скелета материала сначала медленно растет до максимума, а затем резко падает даже при незначительном увеличении полного остатка.

- зависимость модуля упругости слоя от содержания в составе смеси частиц определенного размера имеет вид гиперболы; при постепенном увеличении полного остатка на сите с диаметром отверстий  $d$  модуль упругости слоя интенсивно растет, затем стабилизируется и при достижении определенного предела процесс интенсивного роста возобновляется.

- чем выше значение полного остатка на сите с диаметром отверстий  $d$ , тем выше прочностные характеристики слоя.

На основе полученных нами зависимостей можно выполнить оптимизацию зернового состава

щебеночно-песчаных смесей с учетом физических, прочностных и деформационных характеристик.

1. Чтобы слой, полученный из щебеночно-песчаной смеси, имел высокую плотность скелета материала, содержание зерен определенного размера не должно превышать некоторой величины  $A$ . Таким образом, мы получаем первое неравенство системы:  $\Pi.O_d \leq A$ , где  $\Pi.O_d$  - полный остаток на сите с размерами ячеек  $d$ .

2. Интенсивное падение модуля упругости наблюдается при полном остатке на сите с диаметром отверстий  $d$  менее некоторой величины  $B$ , исходя из чего, можно получить второе неравенство системы:  $\Pi.O_d \geq B$ .

3. Чем больше в составе щебеночно-песчаной смеси содержится крупных частиц, тем выше прочностные характеристики слоя, полученного из данной смеси. На основании этого можно получить третье неравенство системы:  $\Pi.O_d \rightarrow \max$ .

4. Исходя из технологических требований приготовления смесей оптимального зернового состава необходимо, чтобы интервал изменения полного остатка на каждом сите имел значение не менее 15-25%. Учитывая данное условие можно получить четвертое неравенство системы:  $\Pi.O_d \max - \Pi.O_d \min \geq 15...25$ , где  $\Pi.O_d \max, \Pi.O_d \min$  - соответственно максимально и минимально допустимые полные остатки на сите с диаметром отверстий  $d$ .

В результате объединения полученных неравенств получаем систему:

$$\begin{cases} \Pi.O_d \leq A; \\ \Pi.O_d \geq B; \\ \Pi.O_d \rightarrow \max; \\ \Pi.O_d \max - \Pi.O_d \min \geq 15...25. \end{cases}$$

Однозначного решения система не имеет (рис.), однако наиболее оптимальным для нее решением является интервал  $\Pi.O_d \in [A-15...25; A]$ , так как в этом случае слой, полученный из смеси с заданным содержанием частиц данного размера, имеет значение плотности скелета, близкое к максимальному, достаточно стабильный интервал модуля упругости и максимальные прочностные характеристики.

Таким образом, оптимальным зерновым составом щебеночно-песчаной смеси является тот, который попадает в интервал ограниченный «сверху» максимально возможным полным остатком на i-ом сите из условия обеспечения наибольшей плотности скелета материала, а «снизу» - максимально возможным полным остатком по условиям технологии их приготовления, т.е. разница между «верхней» границей оптимальной области и «нижней» не должна быть ниже пределов 15-25%. На основе сделанного вывода проек-

тируем зерновые составы смесей с различным максимальным размером зерен входящих в состав смеси (таблица).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оптимальным зерновым составом щебеноочно-

песчаной смеси является тот, который попадает в интервал ограниченный сверху максимально возможным полным остатком на каждом из сит по условию обеспечения высокой плотности скелета материала, а снизу – максимально возможным полным остатком на каждом из сит по условиям технологии их приготовления.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбак А.В. Оценка уровня повышения эксплуатационных характеристик карьерного автотранспорта за счет сокращения расходов на шины / А.В. Рыбак // ГИАБ. – 2003. - №11. – С. 129-130.
2. Петров В.Ф. Особенности эксплуатации большегрузных автосамосвалов в условиях работы разреза «Нерюнгринский» ГУП «Якутуголь» / В.Ф. Петров, В.М. Медведев, В.В. Кошевой ; под общ. ред. В.Ф. Петрова // Уголь. – 2000. - №10. – С. 77-80.
3. Ингл Д.Х. Пути увеличения срока службы шин в процессе их эксплуатации / Д.Х. Ингл // Горный журнал. – 1994. - №4. – С. 23-26.
4. Зырянов И.В. Перспективы использования карьерных автосамосвалов / И.В. Зырянов // Горный журнал. – 1997. - №3. – С. 43-47.
5. Афиногенов О.П. Теоретические основы обеспечения долговечности жестких одежд автомобильных дорог горнодобывающих предприятий / О.П. Афиногенов, В.В. Иванов. – Кемерово : Кузбассвузиздат, 2001. – 174 с.
6. Юмашев В.М. Применение малопрочных каменных материалов / В.М. Юмашев, К. Туренк // Автомобильные дороги. – 1990. - №7. – С. 17-18.
7. Бабков В.Ф. Автомобильные дороги : учебник для вузов / В.Ф. Бабков. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1983. – 280 с.
8. Шаламанов В.А. Оптимизация зерновых составов щебеноочно-песчаных смесей для устройства покрытий карьерных дорог / В.А. Шаламанов, С.Н. Шабаев // Служение делу / редкол. В.И. Нестеров [и др.]; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – С. 108-113.
9. Шабаев С.Н. Оптимизация составов щебеноочно-песчаных смесей для устройства покрытий и оснований автомобильных дорог / С.Н. Шабаев, В.С. Богомазов // Сборник лучших докладов студентов и аспирантов Кузбас. гос. техн. ун-та. Доклады 51-й науч.-практ. конференции, 17-21 апр. 2006 г. / редкол.: Ю.А. Антонов [и др.] ; ГУ КузГТУ. – Кемерово, 2006. – С. 128-131.

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