

УДК 625.8

## ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА УПЛОТНЕНИЯ ЩЕБЕНОЧНО-ПЕСЧАНЫХ СМЕСЕЙ

**Шабаев Сергей Николаевич**, к.т.н., доцент, заведующий кафедрой  
автомобильных дорог и городского кадастра

**Харин В. А.**, студент группы СДб-141, IV курса

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

В строительстве автомобильных дорог щебеночно-песчаные смеси (ЩПС) широко применяются для устройства покрытий, оснований и дополнительных слоев оснований. Для достижения запланированного эффекта от использования данных материалов в конструктивных слоях различного назначения необходимым условием является их уплотнение до состояния, при котором под воздействием прикладываемых во время эксплуатации нагрузок не будет происходить дополнительная переупаковка минеральных частиц и доуплотнение материала слоя. Это говорит о том, что должна быть достигнута максимально возможная степень уплотнения материала под воздействием применяемой для этих целей уплотняющей техники [1].

Обзор литературы показывает, что существует несколько методов контроля качества зернистых материалов: метод контрольного прохода катка, геодезический метод, метод замещения объема, метод статического нагружения, метод динамического нагружения.

При методе контрольного прохода катка качество уплотнения щебеночного основания (покрытия), оценивают путем контрольного прохода гладковальцовочного катка массой от 10 до 13 т по всей длине построенного участка. После прохода катка на поверхности слоя не должны оставаться следы и возникать волны перед вальцом, а положенная под валец щебенка должна раздавливаться [2]. При этом никто и никак не учитывает, что щебенка может быть мелкой или крупной, из слабого или прочного камня, а раздавливание щебенки вовсе не свидетельствует о достаточности несущей способности основания и ее соответствии проектному значению [3].

Сущность геодезического метода заключается в том, что после отсыпки и разравнивания некоторого слоя зернистого материала нивелируют его поверхность по металлическим маркам или по отдельным обломкам. После этого смесь укатывают уплотняющим механизмом. Нивелирование поверхности осуществляют после каждого прохода машины. Полученные данные обрабатывают и рассчитывают величину полной осадки поверхности слоя смеси [2]. Геодезический метод в основном используется для крупнообломочных грунтов, при этом общая осадка поверхности, полученная по результатам работы уплотняющей машины, должна составить 8–10 % при требуемом значении коэффициента уплотнения ( $K_y$ ) равном 0,95 и 11–12 % при  $K_y=0,98$  от начальной

толщины отсыпанного слоя или всей насыпи. Следует подчеркнуть для щебеночно-песчаных смесей коэффициент запаса на уплотнение составляет от 1,20 до 1,30 в зависимости от происхождения горной породы, то есть общая осадка слоя не соответствует крупнообломочным грунтам, кроме того данный метод требует привлечение дополнительных людских ресурсов, отвлеченные для контроля на весь промежуток времени устройства слоя. Данные факторы свидетельствуют, что для контроля качества уплотнения ЩПС данный метод либо не рекомендуется, либо не применим. Отметим, что в соответствии с [2] данный метод контроля качества не включен в перечень.

Метод замещения объёма заключается в установлении отношения массы пробы смеси к ее объёму при условии, что из слоя испытуемой смеси отбирают пробу необходимого объёма, которую замещают однородной средой с известной плотностью [4]. Степень уплотнения зернистого материала в конструктивном слое можно оценить по показателю плотности сухого материала или его остаточной пустотности, которые сравниваются с максимальной плотностью материала, полученной при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-2016 или требуемыми значениями плотности или пустотности. Для определения максимальной плотности требуются увеличенные специальные приборы стандартного уплотнения (увеличенного порядка в 4-5 раз) и только баллонные плотномеры [5, 6], что влечет дополнительные издержки. При этом использование баллонного плотномера в зимнее время еще и невозможно [7]. Стоит отметить, что данный метод имеет довольно жесткие ограничения по гранулометрическому составу, а именно данный метод применим только для материалов, максимальный размер частиц которых достигает не более 63 мм. К дополнительным недостаткам можно отнести тот факт, что выполнение испытания требует достаточно большого промежутка времени и последующей обработки результатов. Данный недостаток существенно сокращает привлекательность данного метода, а при операционном контроле и вовсе становится нецелесообразным.

Метод пробного нагружения поверхности дорожной одежды осуществляется грузовым автомобилем со спаренными шинами с нагрузкой на ось не менее 10 т или тяжелым гладковальцовым катком массой не менее 10 т. При этом зернистый материал считается уплотненным до требуемой плотности, если осадка его поверхности не превышает 3 мм при проходе автомобиля и 5 мм при проходе гладковальцового катка [6]. Из недостатков метода пробного нагружения следует особо выделить отвлечение для испытаний единицы построенной техники, что накладывает дополнительные, зачастую очень высокие дополнительные расходы. Так же это метод ограничен по гранулометрическому составу размером зерен 120 мм [6]. Следует отметить, что при данном методе контролируется модуль упругости всей конструкции дорожной одежды, поэтому невозможно сказать о достижении требуемого модуля упругости в отдельном конструктивном слое. Вследствие чего, использование данного метода для контроля качества щебеночно-песчаных смесей, нецелесообразно.

Метод динамического нагружения заключается в определении величин модуля упругости и радиуса кривизны упругой линии на поверхности испытываемого слоя по амплитудам деформации, полученным от действия ударной силы через круглый жесткий штамп [8].

В соответствии с [2] для оценки качества уплотнения щебеночно-песчаных смесей могут применяться следующие методы:

- метод замещения объема;
- метод динамического нагружения;
- метод контрольного прохода катка.

Для оценки адекватности и точности данных методов применительно к щебеночно-песчаным смесям, был проведен эксперимент, суть которого заключалась в уплотнении щебеночно-песчаных смесей заданного гранулометрического состава при оптимальной влажности и разном методе уплотняющего воздействия с последующим определением ее остаточной пустотности и модуля упругости, а также оценкой дробимости щебенки, уложенной на поверхность уплотненной смеси. Результаты приведенного эксперимента представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Результаты эксперимента при вибрационном методе уплотняющего воздействия

№ смеси	1	2	3	4
Оптимальная влажность, $W$ , %	7,14	5,02	5,46	4,70
Средняя плотность скелета, $\text{г}/\text{см}^3$	2,26	2,28	2,33	2,06
Остаточная пустотность, %	13,7	13,0	11,1	16,4
Статический модуль упругости, МПа	277	265	290	268
Динамический модуль упругости, МПа	360	345	377	349
Количество раздавленных щебенок / общее количество щебенок, шт.	0/3	2/3	3/3	3/3

Таблица 2 – Результаты эксперимента при статическом методе уплотняющего воздействия

№ смеси	1	2	3	4
Оптимальная влажность, $W$ , %	9,69	6,42	7,10	5,92
Средняя плотность скелета, $\text{г}/\text{см}^3$	2,21	2,17	2,17	2,06
Остаточная пустотность, %	15,6	17,2	17,2	21,4
Статический модуль упругости, МПа	124	165	156	138
Динамический модуль упругости, МПа	161	214	203	180
Количество раздавленных щебенок / общее количество щебенок, шт.	0/3	0/3	3/3	3/3

Соответствие или несоответствие качества уплотнения щебеночно-песчаных смесей, определенное различными методами, представлено в таблице 3 (для смесей составов № 1 и № 2 расчетное значение динамического модуля упругости, МПа)

ля упругости составляет 240 МПа, а для смесей составов № 3 и № 4 – 290 МПа).

Таблица 3 – Соответствие / несоответствие степени уплотнения щебено-песчаных смесей, определенных различными методами

№ состава смеси	Соответствие (+) / несоответствие (-) степени уплотнения щебено-песчаных смесей, определенное методом:					
	замещения объёма, при методе уплотняющего воздействия:		контрольного прохода катка, при методе уплотняющего воздействия:		динамического нагружения, при методе уплотняющего воздействия:	
	статиче- ском	вибраци- онном	статиче- ском	вибраци- онном	статиче- ском	вибрацион- ном
1	-	-	-	-	-	+
2	-	+	-	-	-	+
3	-	+	+	+	-	+
4	-	-	+	+	-	+

Анализ полученных результатов показывает:

1. При статическом методе уплотняющего воздействия метод замещения объема показал, что степень уплотнения смесей всех составов не достаточна, что подтверждается также методом динамического нагружения. Метод контрольного прохода катка, при этом, показал, что степень уплотнения смесей составов № 1 и № 2 не достаточная, а составов № 3 и № 4 – достаточная.

2. При вибрационном методе уплотняющего воздействия по методу замещения объема можно сделать вывод, что степень уплотнения смесей составов № 1 и № 4 не достаточная, а составов № 2 и № 3 – соответствует нормам. Метод контрольного прохода катка показал, что степень уплотнения смесей составов № 1 и № 2 не достаточна, а составов № 3 и № 4 – достаточна. И лишь метод динамического нагружения показал, степень уплотнения смесей всех составов обеспечила достижение расчетного значения динамического модуля упругости, то есть является достаточной.

Таким образом, можно сделать вывод, что метод замещения объема и метод контрольного прохода катка не во всех случаях подтверждают достижение требуемой степени уплотнения щебено-песчаных смесей, а метод контрольного прохода катка, кроме того, может дать абсолютно не верные результаты. Следовательно, наиболее достоверным методом контроля качества степени уплотнения щебено-песчаных смесей является метод динамического нагружения.

### Список литературы

1. Контроль степени уплотнения конструктивных слоев из гравийных и щебеночных материалов [электронный ресурс] // <https://www.bsc.by>. Режим доступа: <https://www.bsc.by/story/kontrol-stepeni-uplotneniya-konstruktivnyh-sloev-iz-graviynyh-i-shchebenochnyh-materialov>. – Загл. с экрана.

2. Руководство по строительству оснований и покрытий автомобильных дорог из щебеночных и гравийных материалов. – М.: Союздорнии, 1999. – 88 с.
3. Костельов М. П. Пахаренко Д. В. Опыт фирмы «ВАД» по устройству плотных, прочных и жестких щебеночных дорожных оснований [Электронный ресурс] // <http://stroit.ru>. Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/vad/index.html>. – Загл. с экрана.
4. ГОСТ 28514-90. Строительная геотехника. Определение плотности грунта методом замещения объёма. – М.: Изд-во стандартов, 2008. – 7с.
5. Методические рекомендации по сооружению насыпей земляного полотна автомобильных дорог из крупнообломочных грунтов. – М.: Союздорнии, 1977. – 34 с.
6. Руководство по сооружению земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 129 с.
7. Инновационные технологии проектирования и строительства автомобильных дорог : монография / Д. Г. Неволин, В.Н. Дмитриев, Е.В. Кошков и др. ; под ред. Д. Г. Неволина, В.Н. Дмитриева.- Екатеринбург : УрГУПС, 2015. – 291 с.
8. СТ СЭВ 5497-86 «Дороги автомобильные международные. Определение несущей способности дорожных конструкций и их конструктивных слоев установкой динамического нагружения (УДН)». – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 10 с.
9. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85. – М.: Союздорнии, 2012 – 118 с.
10. ГОСТ 25607-2009. Смеси щебено-гравийно-песчаные для покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 13 с.
11. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд. – М.: Информавтодор, 2001. – 143 с.