

деления глинистых грунтов на разновидности при обработке результатов экспериментов выполнено сопоставление значений характеристик по суглинкам и по всем грунтам (без разделения на разновидности), результаты для области в целом иллюстрируют рис. 1-4.

В табл. 3 приведены значения математического ожидания рассмотренных характеристик грунтов, которые практически одинаковы при обработке результатов по всем видам глинистых грунтов и отдельно по суглинкам (что видно и из рис. 1-4).

Максимальное расхождение значений зафиксировано для фактической влажности (сознательно не используется термин «естественная

влажность», поскольку здесь рассматривается влажность не в естественных условиях, а в земляном полотне, т.е. после определенных воздействий) - 1,44%. Для максимальной плотности разница 0,12%, оптимальной плотности - 0,03%, коэффициент уплотнения имеет одинаковые значения. С учетом результатов, приведенных выше, рекомендуется для целей проектирования технологии строительных работ не производить деление глинистых грунтов по разновидностям, поскольку это не имеет какого-либо практического смысла. Кроме того, само по себе деление грунтов на разновидности носит в определенном смысле условный характер.

Таблица 3. Значения характеристик грунтов

Характеристики грунтов	Математическое ожидание величины	
	все грунты	суглинки
Максимальная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,711	1,713
Коэффициент уплотнения	0,974	0,974
Фактическая влажность, %	19,994	19,707
Оптимальная влажность, %	19,469	19,463

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афиногенов, О.П. Нормирование и контроль плотности грунтов земляного полотна / О.П. Афиногенов, В.А. Шаламанов, А.О. Афиногенов. - Кемерово: ГУ КузГТУ, 2008. - 96 с.
2. Трофимов, В.Т. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. - М.: Изд-во «КДУ», 2011. - 672 с.
3. Рязченко, Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). - Иркутск: Ин-т земной коры СО РАН, 2010. - 287 с.
4. Ефименко, В.Н. Дорожно-климатическое районирование Кемеровской области // Опыт обеспечения эффективности дорожного комплекса Кузбасса: Сб. науч. тр. - Томск: Изд-во Том.ун-та, 1997. - С. 62-66.

□ Авторы статьи:

Афиногенов  
Олег Петрович,  
канд. техн. наук, доц.  
каф. «Автомобильные  
дороги» КузГТУ  
Email: [afinogenov@smtpt.ru](mailto:afinogenov@smtpt.ru)

Шаламанов  
Виктор Александрович,  
докт. техн. наук, проф.  
каф. «Автомобильные  
дороги» КузГТУ  
Email: [sva@kuzstu.ru](mailto:sva@kuzstu.ru)

Афиногенов  
Алексей Олегович,  
канд. техн. наук,  
инж. Кузбас. центра  
дор. исследований  
Email: [afinogenov@smtpt.ru](mailto:afinogenov@smtpt.ru)

УДК 625.731.2: 624.138.2

О.П. Афиногенов, В.А. Шаламанов, А.О. Афиногенов

## ОБОСНОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Степень уплотнения грунтов в значительной мере определяет устойчивость земляного полотна, потребительские свойства автомобильной дороги в целом [1], поэтому обоснование соответствующих норм - одна из наиболее актуальных задач дорожной геотехнологии. Действующие нормы уплотнения глинистых грунтов автомобильных дорог не пересматривались уже более 60 лет. За это время значительно изменились нагрузки от

транспортных средств, выполнены фундаментальные исследования, позволяющие реализовывать более эффективные способы нормирования (см., например, [2]).

Основываясь на современных представлениях регионального грунтоведения [3, 4], дорожно-климатического районирования [5], предложена методика нормирования степени уплотнения глинистых грунтов земляного полотна автомобиль-

Таблица 1. Сопоставление нормированной и предлагаемой схем нормирования коэффициента уплотнения грунта земляного полотна автомобильных дорог

Параметр (критерий) выбора коэффициента уплотнения грунта	По СНиП 2.05.02-85*	Предложение авторов
1. Элемент земляного полотна	+	+
2. Глубина расположения слоя от поверхности покрытия	+	+
3. Тип дорожной одежды	+	+
4. Дорожно-климатическая зона	+	+
5. Дорожно-климатический район	-	+
6. Вид и строительные свойства грунта	-	+
7. Расчетная схема увлажнения дорожной конструкции	-	+
8. Проектный коэффициент надежности	-	+

ных дорог, учитывающая особенности конкретного региона строительства. При этом в целом сохранена нормативная схема назначения требований по уплотнению [6]: в зависимости от элемента земляного полотна и характера его увлажнения, типа дорожной одежды, дорожно-климатических условий. Предлагаемый подход в максимальной степени учитывает региональные особенности грунтов (вид, строительные свойства), характер увлажнения земляного полотна и дорожной одежды, экономическую ответственность сооружения. В табл. 1 приведено сопоставление схем нормирования коэффициента уплотнения по СНиП 2.05.02-85\* и по предлагаемому методу.

В основу выбора рациональных решений по назначению требуемой величины коэффициента уплотнения грунта при сооружении земляного полотна приняты следующие положения: 1) технически и экономически целесообразно увеличение плотности грунта рабочего слоя земляного полотна; 2) значения плотности в процессе эксплуатации дороги не должны быть меньше «бытовой» плотности; 3) установленные нормы уплотнения должны достигаться с использованием имеющихся уплотняющих средств, без существенного изменения традиционной (нормированной) технологии работ; 4) следует учитывать неоднородность показателей грунтов, климатических воздействий, процессов уплотнения, контроля уплотнения; 5) проектные значения коэффициентов уплотнения не могут быть ниже наименьших значений по СНиП 2.05.02-85\*; 6) следует учитывать заданную надежность сооружения.

В качестве базового рекомендуется принимать минимальное значение  $K_{у(стр)}$ , при котором не происходит разуплотнение грунта в процессе эксплуатации дороги (с учетом положений 1 и 4, см. выше), обозначим его  $K'_{у(стр. тр)}$ .  $K_{у(стр. тр)}$  - это коэффициент уплотнения грунта, который требуется достичь при строительстве (реконструкции) дороги. Такой подход по существу является реализацией идеи, принятой при нормировании по «бытовой» плотности, но с учетом современных требований к проектным решениям, факта снижения плотности грунта в про-

цессе эксплуатации дороги и региональных грунтовых и природно-климатических условий.

Несмотря на то, что в ряде работ российских и зарубежных ученых подчеркивается высокая эффективность повышения степени уплотнения грунтов земляного полотна, соответствующих технико-экономических обоснований практически нет. Наши исследования [7] показали, что в пределах технически возможной степени уплотнения грунтов земляного полотна, её увеличение экономически целесообразно. С другой стороны, существует физический (технический) предел уплотнения, также возможно значительное разуплотнение в процессе эксплуатации дороги [1].

В результате исследований степени уплотнения грунтов верхнего (рабочего) слоя на реальных объектах установлено, что значения  $K_{у(стр)}$  могут достигать 1,098-1,11. При этом каких-либо специальных мероприятий по повышенному уплотнению в проектах не предусматривалось. Т.е. в природно-климатических условиях территории исследования (Западная Сибирь) современные уплотняющие средства и технологии могут обеспечить достаточную высокую степень уплотнения.

Проф. В.А. Семенов, канд. техн. наук Л.И. Самойлова и Э.Ф. Семехин установили, что однородность грунта земляного полотна по влажности и плотности при строительстве дорог недостаточно высокая, поэтому пренебречь ею нельзя. На практике фактическая влажность уплотняемого глинистого грунта может изменяться в довольно широком диапазоне. Так, при строительстве автомобильной дороги I категории «Новосибирск - Ленинск-Кузнецкий - Кемерово - Юрга» на участке земляного полотна длиной около 100 м (практически одна сменная захватка) нами был зафиксирован разброс влажности уплотняемого грунта от 16,4 до 23,3%, что неизбежно приведет к соответствующей неоднородности по плотности. Возможна и неоднородность определения фактической и максимальной плотности, оптимальной влажности при контроле. Кроме того, должна учитываться и заданная надежность конструкций. Исходя из изложенных выше соображений, требуемый коэффициент уплотнения рекомендуем назначать по

Таблица 2. Рекомендуемые значения требуемых коэффициентов уплотнения при капитальном и облегченном типах дорожных одежд

Расчетная схема увлажнения	Значения требуемого коэффициента уплотнения при проектном коэффициенте надежности $K_n$ , равном					
	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98
Дорожно-климатический район - III X.4						
1	0,99	0,99	1,0	1,0	1,01	1,01
2	1,0	1,0	1,01	1,01	1,02	1,02
3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Дорожно-климатический район - III P.3						
1	0,99	0,99	1,0	1,0	1,01	1,01
2	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Дорожно-климатический район - III Г.2						
1	1,0	1,0	1,01	1,01	1,02	1,02
2	1,01	1,01	1,02	1,02	1,03	1,03
3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,00
Дорожно-климатический район - II X.1						
1	1,0	1,0	1,01	1,01	1,02	1,02
2	1,0	1,0	1,01	1,01	1,02	1,02
3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,03	1,03

Таблица 3. Рекомендуемые значения требуемых коэффициентов уплотнения при переходном типе дорожных одежд

Расчетная схема увлажнения	Значения требуемого коэффициента уплотнения при проектном коэффициенте надежности $K_n$ , равном					
	0,7	0,8	0,85	0,9	0,95	0,98
Дорожно-климатический район - III X.4						
1	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	-
2	0,98	0,98	0,99	0,99	1,0	-
3	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	-
Дорожно-климатический район - III P.3						
1	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	-
2	0,99	0,99	1,0	1,0	1,01	-
3	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	-
Дорожно-климатический район - III Г.2						
1	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	-
2	0,98	0,98	0,99	0,99	1,0	-
3	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-
Дорожно-климатический район - II X.1						
1	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	-
2	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	-
3	1,01	1,01	1,01	1,02	1,02	-

формуле

$$K_{y(норм)} = K_{y(стр.тр.)} \frac{(1 - t C_v)}{(1 + t C_{v(стр.)})}$$

где  $C_v$  - коэффициент вариации плотности скелета грунта в земляном полотне;  $C_{v(стр.)}$  - коэффициент вариации плотности скелета грунта, полученной на приборе стандартного уплотнения;  $t$  - коэффициент нормированного отклонения.

Порядок определения требуемого значения коэффициента уплотнения при сооружении земляного полотна:

1. Моделирование водно-теплового режима земляного полотна и дорожной одежды с учетом природно-климатических параметров дорожно-климатического района, конструкции дорожной одежды, расчетной схемы увлажнения, влажности

и коэффициента уплотнения грунта, характеристик прочности, деформируемости и пучинистости грунта, типичных значений строительных характеристик грунта.

2. Определение расчетного значения коэффициента уплотнения грунта, устанавливающегося в процессе эксплуатации дороги,  $K_{y(расч)}$  и  $K_{y(стр. тр)}$ , с учетом выполнения соотношения  $K_{y(расч)} \geq K_6$ .

3. Обоснование рациональных значений требуемого коэффициента уплотнения грунта при сооружении земляного полотна,  $K_{y(норм)}$  с учетом неоднородности свойств грунта, его увлажненности, процессов уплотнения, контроля уплотнения, проектного значения коэффициента надежности и ограничений: а)  $K_{y(стр)} \leq K_{y(тех)}$ ; б)  $K_{y(стр)} \geq K_{y(СНиП)}$ ; в) значение  $K_{y(стр)}$  должно быть при данных влажности и др. условиях.

При сооружении земляного полотна на реальных транспортных объектах региона исследований коэффициент вариации степени уплотнения грунта изменяется в пределах 0,0013-0,0057. Проф. А.Я. Тулаевым, В.А. Семеновым и др. показано, что требуемое качество земляного полотна может быть обеспечено только при  $C_v > 0,015$ . Поэтому для расчетов приняли  $C_v(стр) = 0,001$ ,  $C_v = 0,015$ . Коэффициент нормированного отклонения  $t$  следует принимать по [8], в зависимости от заданной надежности. Он учитывает категорию дороги, капитальность дорожной одежды. Заданную надежность устанавливают в техническом задании на проектирование.

Следует отметить, что кроме обеспечения требуемой плотности грунта в процессе строительства,

необходимо сохранить ее на этапе эксплуатации дороги. Специальные исследования подтверждают возможность решения этой задачи (в т.ч. и для участков 3-го типа местности по характеру увлажнения).

Если обеспечить сохранение близкой к оптимальной влажности грунтов невозможно (экономически не целесообразно), либо для строительства применяются переувлажненные грунты, следует пользоваться нормами СНиП 2.05.02-85\*.

Таким образом, в результате выполненных исследований получены дифференцированные нормы степени уплотнения глинистых грунтов верхнего (рабочего) слоя земляного полотна автомобильных дорог. Рекомендации, представленные выше, могут быть распространены на дорожно-климатические районы ранее установленные на территории Западной Сибири В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко[5], М.В. Бадиной. Полученные величины  $K_{y(норм)}$  в целом несколько выше, регламентированных СНиП 2.05.02-85\* (при капитальном и облегченном типах дорожных одежд - на 0,01-0,03, при одеждах переходного типа - на 0,01-0,07). Они не только более полно учитывают конкретные природно-климатические условия района строительства, но и являются научно обоснованными с точки зрения современных требований к надежности и экономической ответственности сооружений. Предлагаемые нормы исходят из внедряемой в России в последние годы концепции максимального учета требований всех этапов «жизненного» цикла продукции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афиногенов, О.П. Нормирование и контроль плотности грунтов земляного полотна / О.П. Афиногенов, В.А. Шаламанов, А.О. Афиногенов. - Кемерово: ГУ КузГТУ, 2008. - 96 с.
2. Осипов, В.И. Природа прочностных и деформационных свойств глинистых пород. - М.: Изд-во МГУ, 1979. - 235 с.
3. Трофимов, В.Т. Инженерная геология России. Т. 1. Грунты России/ Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. - М.: Изд-во «КДУ», 2011. - 672 с.
4. Рязченко, Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). - Иркутск: Ин-т земной коры СО РАН, 2010. - 287 с.
5. Ефименко, В.Н. Теоретическое обоснование дорожно-климатического районирования территории Юго-Востока Западной Сибири/ В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко// Вестник ТГАСУ. - Томск. - 2001. - № 2 - С. 5-9.
6. СНиП 2.05.02-85\*. Автомобильные дороги/Госстрой России. - М.: ГУП ЦПП, 2005. - 54 с.
7. Афиногенов, А.О. Эффективность повышения степени уплотнения грунтов земляного полотна автомобильных дорог // Вестник ТГАСУ. - 2008. - № 1. - С. 161-169.
8. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд/ Минтранс России. - М.: Информавтодор, 2001. - 145 с.

□ Авторы статьи:

Афиногенов  
Олег Петрович  
- канд. техн. наук, доц.  
каф. «Автомобильные  
дороги» КузГТУ  
Email: [afinogenov@smtpr.ru](mailto:afinogenov@smtpr.ru)

Шаламанов  
Виктор Александрович  
- докт. техн. наук, проф.  
каф. «Автомобильные  
дороги» КузГТУ  
Email: [sva@kuzstu.ru](mailto:sva@kuzstu.ru)

Афиногенов  
Алексей Олегович  
- канд. техн. наук,  
инж. Кузбас. центра  
дор. исследований  
Email: [afinogenov@smtpr.ru](mailto:afinogenov@smtpr.ru)