

ДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 625.731.2:624.131.2

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПОВ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Эффективная и стабильная работа автомобильных дорог невозможна без качественного земляного полотна - основного несущего элемента конструкции. Несмотря на многолетний опыт строительства дорог в условиях Сибири, обеспечение качества их насыпей из глинистых грунтов пока остается одной из наиболее сложных проблем.

На наш взгляд, существенного улучшения можно добиться путем совершенствования методов проектирования дорожной конструкции и технологии работ на основе более полного учета региональных особенностей используемых грунтов. При этом следует принимать во внимание следующее:

1) наиболее эффективным в настоящее время является управление качеством за счет управления на этапах проектирования конструкций и технологии их возведения;

2) глинистые грунты отличаются ярко выраженными региональными особенностями;

3) фактически при строительстве насыпей земляного полотна автомобильных дорог используются техногенные грунты, по своим свойствам существенно отличающиеся от естественных грунтов.

Первое положение вытекает из анализа мировых тенденций управления качеством [1] и подчеркивает актуальность исследований в этом направлении.

Методологической основой современного грунтоведения является генетический принцип, который заключается в том, что свойства грунтов зависят от условий их образования и всей последующей геологической истории преобразований [2]. Проф. В.Т. Трофимовым сформулирован основной закон грунтоведения (закон В.А. Приклонского – Е.М. Сергеева – В.Д. Ломтадзе): «Состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, характером постдиагенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением, а на освоенных территориях – и характером техногенных воздействий» [3]. С учетом этого очевидно, что создание качественных дорожных конструкций невозможно без исследования и учета при проектировании региональных значе-

ний строительных характеристик используемых для их возведения грунтов.

В процессе строительства земляного полотна автомобильных дорог природные грунты подвергаются различным воздействиям (перемещение, увлажнение или высыхание, уплотнение и др.), существенно меняют свои свойства и становятся техногенными грунтами (по ГОСТ 25100-2011). Для целей проектирования автомобильных дорог и технологии их возведения необходимы значения характеристик строительных свойствах грунтов, которые будут иметь место во время эксплуатации и сооружения объекта. Инженерно-геологические изыскания не всегда обеспечивают получение необходимых данных, поскольку они дают характеристики естественных грунтов, а грунты насыпей и рабочего слоя выемок следует относить к категории техногенных. Для наиболее распространенных глинистых грунтов, значительно меняющих свои свойства от увлажнения, при уплотнении и т.д., учесть особенности их реального поведения особенно важно.

К сожалению, современный уровень развития дорожного грунтоведения не позволяет прогнозировать значения характеристик строительных свойств грунтов в конструкции по их показателям в естественном виде с достаточной для практики точностью. Ситуация усложняется тем, что значительное (а иногда и определяющее) влияние оказывают качество работ, погодные условия.

Глинистые грунты, отличающиеся ярко выраженными региональными особенностями генезиса, состава и свойств, соответственно, должны иметь и разные расчетные значения характеристик, используемых для проектирования. Действующие нормативные документы (например, ОДН 218.046-01 [4]) практически не учитывают это обстоятельство, в результате, по данным проф. В.Н. Ефименко, нормированные значения расчетных характеристик завышены на 15-20%.

В связи с этим целесообразно применение значений характеристик грунтов, полученных экспериментально (для конкретных территорий). Соответствующая работа была проделана в КузГТУ и Кузбасском центре дорожных исследова-

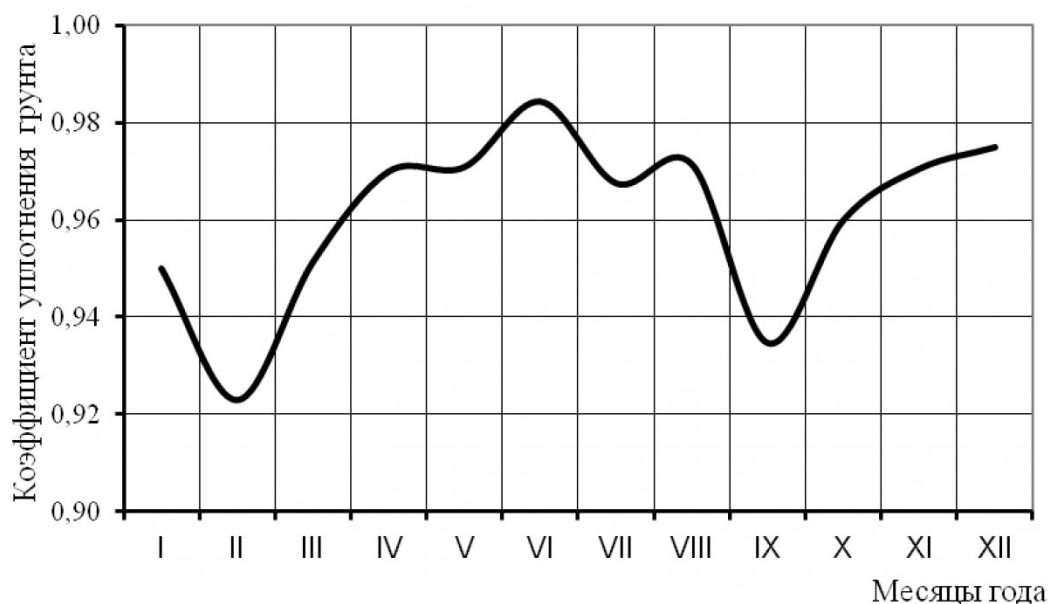


Рис. 1. Изменение фактических (достигаемых) значений степени уплотнения глинистых грунтов в годовом цикле водно-теплового режима земляного полотна

ний (КузЦДИ), некоторые результаты рассмотрены ниже.

Для получения данных о строительных свойствах техногенных грунтов кузбасского региона выполнили статистический анализ результатов независимого производственного контроля аккредитованной испытательной лабораторией КузЦДИ, осуществляемого в последние годы на основных дорожных объектах Кемеровской области.

Для практических целей особый интерес представляют сведения об изменении достигаемого при сооружении земляного полотна коэффициента уплотнения грунта и его фактической влажности в годовом цикле. На рис. 1 показаны средние значения фактического коэффициента

уплотнения глинистых грунтов в насыпях по отдельным месяцам года, на рис. 2 — изменение фактической влажности грунта. В анализ включены только пробы, отобранные в незамерзших грунтах. Отметим, что достоверность сведений по зимним месяцам несколько ниже, чем по летним, поскольку в первом случае проб было значительно меньше (в зимний период ведутся в основном сосредоточенные работы). Также следует иметь в виду, что в условиях Сибири с сентября подрядчики переходят на разработку грунтов из сосредоточенных резервов или расположенных в непосредственной близости глубоких выемок, поэтому их влажность близка к оптимальной и в осенне-зимний период.

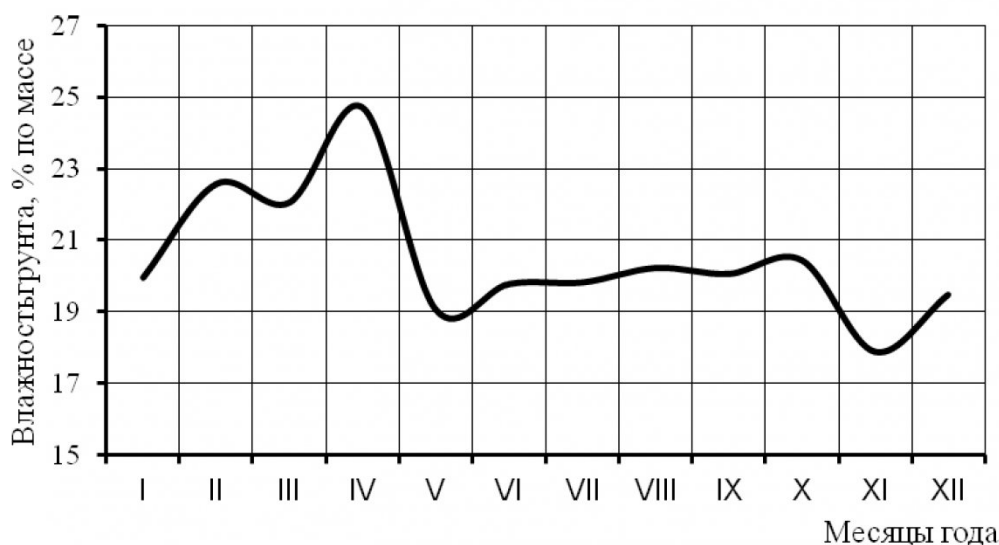


Рис. 2. Изменение фактической влажности глинистых грунтов в годовом цикле водно-теплового режима земляного полотна

В течение строительного сезона (май-октябрь) влажность грунта существенно не изменяется. Относительно высоким является и качество уплотнения (кроме периода январь-март и сентября). Низкое качество уплотнения в сентябре можно объяснить желанием подрядчиков освоить максимально возможные объемы перед распоряжением заказчика о прекращении работ. Анализ многолетних результатов независимого контроля показывает, что снижение качества в конце строительного сезона характерно практически для всех технологических процессов.

Для обеспечения нормированной степени уплотнения грунтов в условиях Кемеровской области целесообразно не выполнять работы по сооружению насыпей в период (с ноября по апрель), либо кардинально пересмотреть систему организационно-технологической подготовки и контроля строительства.

Также был выполнен анализ взаимосвязи на статистическом уровне достигаемой степени уплотнения и влажности грунта, анализ основных строительных свойств грунтов по отдельным дорожно-климатическим районам [5, 6]. Установлено, что средние значения характеристик различаются по районам, подчиняясь нормальному закону распределения (выполнялась проверка по десяти наиболее распространенным законам стандартными средствами Microsoft Excel). Это соответствует результатам ранее выполненных исследований для естественных грунтов (например, еще проф. Л.В. Ивановым было показано, что физико-механические характеристики глинистых грунтов подчиняются нормальному закону распределения [7]). Полученные данные подтверждают необходимость детального (дифференцированного) дорожно-климатического районирования территории Кемеровской области, хотя ее площадь относительно мала - 95,5 тыс. км² (с другой стороны, это больше, чем площадь таких стран, как Венгрия, Португалия).

Применение при проектировании автомобильных дорог на территории области усредненных значений характеристик грунтов может привести к существенным ошибкам. Например, разница значений оптимальной влажности грунта по району П.Г.2 со средним значением по области составляет 14,2%, примерно такое же отклонение наблюдается и для фактической влажности грунта. Существенное различие значений имеется по всем рассмотренным показателям.

Для решения вопросов, связанных с оптимизацией процессов строительства земляного полотна, существенное значение имеет связь естественной и оптимальной влажности грунта. Специальных исследований естественной влажности не выполнялось, однако с небольшой погрешностью ее можно принять равной фактической влажности грунта, поскольку отбор проб в основном произ-

водился непосредственно после окончания уплотнения или через небольшой промежуток времени. При отборе проб не менее 8 см грунта удаляли, что также позволило получить значения влажности, более близкие к естественной.

В результате исследований установлено, что грунтам с повышенной фактической (естественной) влажностью соответствуют более высокие значения оптимальной влажности. Из этого следует, что грунты с высокой влажностью (по СНиП 3.06.03-85) не всегда требуют просушки. Зависимость между оптимальной и фактической влажностью глинистых грунтов (суглинки, глины) имеет следующий вид:

$$W_o = 12,216 + 0,3662W_{ф}. \quad (1)$$

Для проектирования земляного полотна автомобильных дорог и технологии его строительства, а также для расчета дорожных одежд целесообразно применять значения строительно-технологических показателей глинистых грунтов, дифференцированные по дорожно-климатическим районам [8]. При этом следует обратить внимание на то обстоятельство, что в горных и частично в холмистых районах проявляются азональные и другие факторы, влияющие на свойства грунтов. Поэтому подчеркнем, что здесь представлены результаты исследования свойств грунтов по объектам строительства. Так, состав и свойства глинистых грунтов для долинного и водораздельного ходов трассы могут существенно отличаться.

В результате выполненных натурных исследований получены типовые (осредненные) значения характеристик грунтов региона (дорожно-климатические районы Ш.Р.3, Ш.Х.4, П.Х.1 П.Г.2), необходимые для организации лабораторных испытаний и моделирования процессов водно-теплового режима дорожных конструкций [5].

Важным с практической точки зрения является оценка технической возможности повышенного уплотнения грунта и влияния природных факторов на фактическую степень его уплотнения. Эти данные необходимы, например, для установления возможного ограничения верхнего предела значений коэффициента уплотнения грунта при его нормировании.

Повышенная работа по уплотнению (уплотнение до степени выше требуемой нормами) дает весьма ощутимый технический и экономический эффект. С другой стороны, следует прислушаться к мнению ряда специалистов (особенно практиков), что в отдельных случаях достичь необходимой степени уплотнения глинистых грунтов (наиболее распространенных на территории Западной Сибири) достаточно сложно или невозможно.

На результаты уплотнения влияют погодные условия, свойства грунтов, наличие необходимых технических средств, соблюдение технологии работ и т. д. Основываясь на классической теории управления качеством, можно выделить следую-

щие основные факторы: технические средства, технологии, менеджмент, природно-климатические условия, материалы (грунты), персонал. Одни факторы практически не поддаются управлению или очень консервативны в этом отношении, другие – наоборот. Наиболее простой и достоверный способ оценки возможности достижения определенной степени уплотнения грунтов в этих условиях – статистический анализ результатов уплотнения грунтов в насыпях реальных объектов на определенной территории.

Установлено, что средние значения коэффициента уплотнения грунта по отдельным дорожно-климатическим районам отличаются: П.Г.2 – 0,978; П.Х.1 – 0,940; П.Х.4 – 0,986; П.Р.3 – 0,973. Это может быть следствием различия природных и климатических условий, разной степени увлажнения грунтов, а также ряда других показателей. В то же время, нет существенной разницы между результатами уплотнения в верхних, средних и нижних слоях насыпи, поэтому в процессе анализа соответствующее разделение информационного массива не производилось. Для всех районов отмечен значительный разброс значений коэффициента уплотнения – от 0,82 до 1,11. Все это свидетельствует и о недостаточном уровне организации и нарушениях технологии работ.

Прослеживается зависимость – чем выше коэффициент переувлажнения (отношение фактической и оптимальной влажности грунта), тем меньшее значение коэффициента уплотнения достигается в процессе строительства, что, впрочем, вполне согласуется с общепринятыми представлениями.

Полученные сведения показывают, что в целом на практике обеспечивается довольно высокая степень уплотнения и имеются предпосылки для введения повышенных норм плотности грунта. Установлено, что от 18 до 42% значений коэффициента уплотнения не менее 1,0; 8-27% - не менее 1,02 и 6-22% - не менее 1,03. Это подтверждает, что имеется техническая возможность без специальных мероприятий добиваться уплотнения глинистого грунта до $K_y = 1,02-1,03$.

С другой стороны, на степень уплотнения в реальном технологическом процессе могут влиять такие факторы, как тип местности по характеру увлажнения (естественная влажность грунта), величина оптимальной влажности и коэффициент переувлажнения грунта и т.д.

Зависимость «коэффициент уплотнения - коэффициент увлажнения» имеет следующий вид (при $R^2 = 0,983$, $K_{y_{вл}} = 0,95-1,22$):

$$K_y = 1,15 - 0,168 K_{y_{вл}} \quad (2)$$

Зависимости (1) и (2) можно применять для назначения мероприятий по увлажнению или просушке грунтов, прогноза ожидаемых показателей уплотнения, при обосновании требуемых значений коэффициента уплотнения грунта.

Нормы (СП 34.13330.2012, СП 78.13330.2012) регламентируют допустимое отклонение значений естественной влажности грунта от оптимальной. Эти границы зависят от требуемой степени уплотнения и вида грунта. Из полученных материалов следует, что имеется некоторая зависимость достигнутой степени уплотнения от абсолютных значений естественной влажности грунта. При $W_\phi = 10-35\%$ она имеет следующий вид:

$$K_y = 1,026 - 0,0026 W_\phi$$

Более явной выглядит зависимость коэффициента уплотнения от коэффициента увлажнения грунта. Чем меньше степень увлажнения грунта, тем проще обеспечить повышенное значение коэффициента уплотнения, коэффициент уплотнения уменьшается с ростом коэффициента увлажнения (отношения естественной влажности грунта к оптимальной). Для случаев, когда естественная влажность грунта имеет высокие значения, необходимо предусматривать более жесткие нормы операционного контроля и подтверждения соответствия.

От максимальной плотности грунта и его оптимальной влажности коэффициент уплотнения, достигаемый в процессе сооружения насыпей автомобильных дорог, практически не зависит.

Зависимость коэффициента уплотнения грунта от его максимальной плотности d_{max} имеет вид:

$$K_y = 1,041 - 0,0382 d_{max}$$

от оптимальной влажности W_o :

$$K_y = 0,928 - 0,002 W_o$$

Приведенные выше данные позволят более обоснованно назначать значения строительных свойств глинистых грунтов при проектировании земляного полотна, дорожных одежд и их строительства в условиях Кемеровской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidус, В.А. Всеобщее качество (TQM) в российских компаниях. – М.: ОАО «Типография «Новости», 2000. – 432 с.
2. Ряценок, Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). – Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. – 287 с.
3. Трофимов, В.Т. Теоретические аспекты грунтоведения. – М.: Изд-во МГУ, 2003. – 114 с.

4. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд / Минтранс России. – М.: Информавтодор, 2001. – 145 с.

5. Афиногенов, А.О. К вопросу назначения строительно-технологических свойств глинистых грунтов // Вестник КузГТУ. – 2009. – № 4. – С. 82–86.

6. Афиногенов, О.П. Строительные свойства грунтов верхней части земляного полотна на транспортных объектах Кузбасса / О.П. Афиногенов, В.А. Шаламанов, А.О. Афиногенов // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 4. – С. 45–48.

7. Иванов, Л.В. О неоднородности и методах изучения и оценки строительных свойств грунтов ледникового комплекса // Сб. науч. тр. /ЛИСИ. – Л., 1954. – Вып.18. – С. 159-189.

8. Ефименко, С.В. К уточнению дорожно-климатического районирования территорий на примере районов Западной Сибири / С.В. Ефименко, В.Н. Ефименко, А.О. Афиногенов // Вестник ТГАСУ. – 2014. – № 1. – С. 125-134.

Авторы статьи:

Афиногенов
Олег Петрович
канд. техн. наук, доц.
директор Кузбас. центра
дор. исследований
Email: afinogenov@smtp.ru

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

Серякова
Анастасия Анатольевна
ассистент каф. «Автомобильные
дороги» КузГТУ
Email: s.nastya_42@mail.ru

УДК 625.731.2:624.131.2

О.П. Афиногенов, А.О. Афиногенов, А.А. Серякова

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ НА ВЕЛИЧИНУ ИХ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ

По предложению проф. Н.Н. Иванова, сопротивляемость грунта при проектировании автомобильных дорог принято оценивать величиной модуля упругости. Эта характеристика является основным показателем надежности земляного полотна. Причем, значительная изменчивость величины модуля упругости земляного полотна не позволяет рекомендовать его единые осредненные значения для дорожно-климатических зон в целом [1]. В связи с этим ряд авторов, например, проф. И.А. Золотарь считают оправданными попытки обосновать регио-

нальные значения этой величины (В.Н. Ефименко, В.А. Лукина, Е.И. Шелопаев, Н.Г. Шкулова, Р.З. Порицкий, В.П. Корюков и др.).

Установлено, что модуль упругости глинистого грунта существенно зависит не только от влажности, но и от степени уплотнения (В.М. Сиденко, О.Т. Батраков и др.). Поскольку эта зависимость также имеет ярко выраженный региональный характер, использование при проектировании дорог на территории Кемеровской области региональных норм степени (коэффициента) уплотнения грунтов [2]

Таблица 1. Значения показателей глинистых грунтов, использованных в эксперименте

Физико-механические показатели грунта	Дорожно-климатические районы			
	Ш.Р.3	Ш.Х.4	П.Х.1	П.Г.2
1. Содержание зерен 2-0,5 мм, % по массе	3,55	0,12	3,60	6,00
2. Число пластичности	13	13	11	14
3. Оптимальная влажность грунта, W_{opt} , % по массе	19,03	18,77	16,03	23,38
4. Максимальная плотность скелета грунта, г/см ³	1,73	1,76	1,79	1,63

Таблица 2. Изменение влажности глинистых грунтов в эксперименте

Уровни варьирования	Влажность грунта W , % по массе, для дорожно-климатических районов			
	Ш.Р.3	Ш.Х.4	П.Х.1	П.Г.2
Верхний, x_{iv}	20,93	20,65	17,63	25,72
Нижний, x_{in}	17,13	16,89	14,43	21,04
Средний, x_{io}	19,03	18,77	16,03	23,38
Шаг варьирования, Δx_i	1,9	1,88	1,6	2,34