4. *Афиногенов А.О.* Эффективность повышения степени уплотнения грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Вестн. ТГАСУ. 2008. № 1. С. 161-169.

5. *Ефименко В.Н.* Дорожно-климатическое районирование Кемеровской области // Опыт обеспечения эффективности дорожного комплекса Кузбасса: Сб. науч. тр. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1997. – С. 62 – 66.

6. *Семенов В.А.* Качество и однородность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1989. – 125 с.

Автор статьи:
Афиногенов
Алексей Олегович
- соискатель каф. автомобильных дорог КузГТУ,
Email: afinogenov@smtp.ru

УДК 625.7:624.13.001.86

А.О. Афиногенов

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УПЛОТНЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

Одним из наиболее доступных и эффективных способов обеспечения стабильности и требуемых эксплуатационных характеристик земляных сооружений является уплотнение грунтов, из которых они возводятся [1]. Повышенное уплотнение (уплотнение до степени выше требуемой нормами) дает весьма ощутимый технический и экономический эффект [2, 3]. С другой стороны, следует согласиться с мнением многих специалистов (особенно практиков), что в ряде случаев достичь необходимой степени уплотнения глинистых грунтов (наиболее распространенных на территории Кемеровской области) достаточно сложно. Гарантировать требуемые проектом или нормами значения коэффициента уплотнения (плотности скелета) грунта может только тщательное проектирование технологии возведения земляного сооружения.

Анализ подходов к уплотнению грунта земляных сооружений в различных областях строительства позволяет сделать вывод, что наиболее высокие требования к степени уплотнения, его однородности приняты при возведении земляного полотна автомобильных дорог общего пользования. Очевидно, опыт дорожников целесообразно распространить и на смежные сферы деятельности (строительство дамб, земляных плотин и т. д.), но не подлежит сомнению и тот факт, что и он требует совершенствования. С этой целью выполнены исследования возможности повышенного уплотнения глинистых грунтов в различных районах Кемеровской области, рассмотрены пути совершенствования технологии уплотнения.

С учетом разнообразия климатических и грунтовых условий, существенного снижения объемов строительных работ в последние годы, характера задачи использовался статистический анализ достоверных результатов, полученных в компетентной независимой лаборатории Кузбасского центра дорожных исследований, осуществляющего контроль качества на основных дорожных объектах Кемеровской области с 1992 г. В 2007-2008 гг. автором были выполнены дополнительные исследования грунтов и готовых конструктивных слоев земляного полотна в процессе строительства крупнейших дорожных объектов, реализуемых на территории Кемеровской области (автомобильные дороги I категории «Ул. Терешковой - город-спутник «Лесная поляна»», «Новосибирск - Ленинск-Кузнецкий - Кемерово - Юрга», км 295-323,5, автомобильные дороги III категории «Горно-Алтайск - Турочак - Таштагол», «Чугунаш - спортивно-туристический комплекс «Шерегеш»»). Это позволило получить массив данных из результатов испытаний 690 проб грунтов. При этом все испытания проводились с использованием поверенных или калиброванных средств измерений, аттестованного испытательного оборудования. Вспомогательное оборудование подвергалось процедуре оценки пригодности.

Материалы испытаний строительных лабораторий порядных организаций не использовались, поскольку не гарантирована их достоверность (подрядные организации заинтересованы а предоставлении заказчику только положительных результатов контроля).

Кемеровская область отличается большим разнообразием природных условий. Так, значительную часть ее занимают избыточно увлажненные лесные районы Кузнецкого Алатау и Горной Шории, по комплексу природных условий соответствующие II дорожно-климатической зоне (по СНиП 2.05.02-85*). Лесостепные районы западнее линии Тайга-Кемерово-Осинники относятся к III дорожно-климатической зоне. При этом по СНиП 2.05.02-85* вся территория Кемеровской области располагается в III дорожно-климатической зоне. В работе [4] показана целесообразность более

дифференцированного районирования территории Кузбасса для дорожных целей, поскольку возможны существенные ошибки в назначении расчетных характеристик грунтов.

Наиболее полный учет природных условий Кемеровской области возможен на основе районирования, предложенного проф. В.Н. Ефименко [5], которое делит ее территорию на четыре дорожных района (1-4); три подзоны (Р - равнинная, Х - холмистая, Г - горная) и две зоны (II и III дорожно-климатические зоны по СНиП 2.05.02-85*).

В процессе анализа данных испытаний грунтов была выполнена статистическая обработка всего массива данных (без разделения по дорожно-климатическим районам) и по отдельным районам. Обработка проводилась средствами Microsoft Excel. Установлено, что плотность распределения рассматриваемых параметров грунтов подчиняется нормальному закону. На рис. 1 приведены данные по плотности распределения коэффициента уплотнения. Здесь мы под термином «коэффициент уплотнения грунта» понимаем отношение плотности скелета грунта в конструкции к максимальной плотности скелета того же грунта при стандартном уплотнении по ГОСТ 22733-2002.

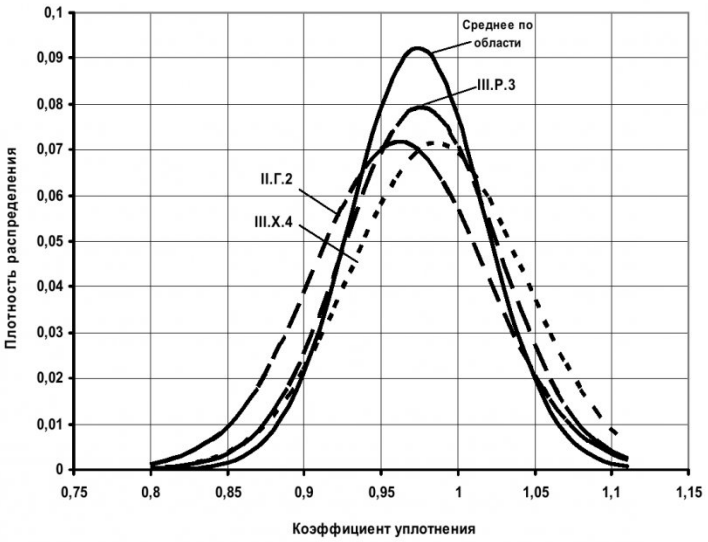

Рис. 1. Плотность распределения значений коэффициента уплотнения

Несмотря на то, что часто в разных районах области земляное полотно сооружали одни и те же подрядные организации, или организации, имеющие примерно одинаковые технические средства и другие условия, влияющие на качество работ, средние значения коэффициента уплотнения грунта по отдельным дорожно-климатическим районам существенно различаются. Это может быть результатом

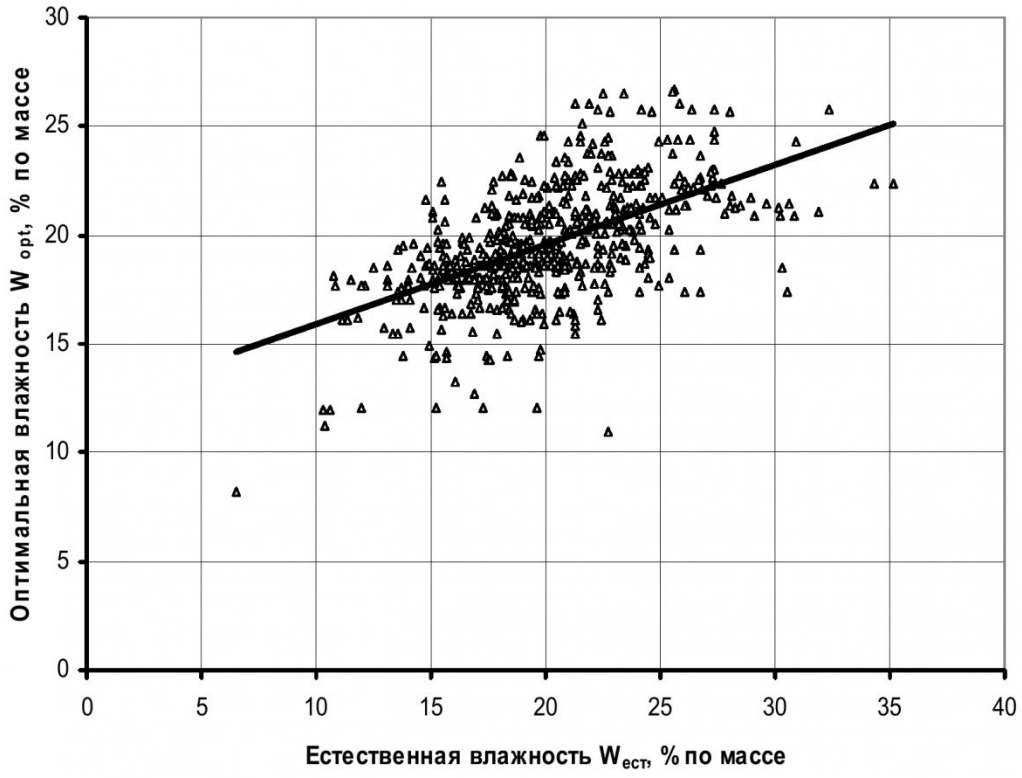

Рис. 2. Взаимосвязь значений естественной и оптимальной влажности грунтов

различия природных условий и, как следствие, разной степенью увлажнения грунтов, других показателей. Для совершенствования методов проектирования технологии уплотнения это имеет весьма важное значение и ниже предлагается соответствующий анализ.

Для обеспечения долговечности и высоких транспортно-эксплуатационных показателей дорожной конструкции в процессе строительства необходимо обеспечить требуемую степень уплотнения грунта. Данные, представленные на рис. 1, показывают, что в целом на практике обеспечивается довольно высокая степень уплотнения.

Для решения вопросов, связанных с оптимизацией процессов строительства земляного полотна, важное значение имеет связь естественной и оптимальной (при которой с минимальными затратами на уплотнение достигается максимальная плотность) влажностью грунта. Эту связь иллюстрирует рис. 2. Очевидно, что грунтам с повышенной естественной влажностью соответствуют более высокие значения оптимальной влажности. На практике это означает, что разработке мероприятий по увлажнению или просушке грунта должны предшествоать тщательные исследования его свойств. В отличие от общепринятого мнения, грунты с повышенной естественной влажностью далеко не всегда требуют просушки в весенний период, при выпадении осадков.

Зависимость между оптимальной и естественной влажностью глинистых грунтов (суглинки, глины) имеет следующий вид (при R^2 = 0,381, $K_в$ = 0,56):

$$W_{opt} = 12{,}216 + 0{,}3662 W_{ест}. \qquad (1)$$

Для зависимости коэффициент уплотнения - коэффициент увлажнения (отношение естественной влажности к оптимальной влажности грунта) получена следующая формула (при R^2 = 0,0268, $K_в$ = - 0,35):

$$K_у = 1{,}0573 - 0{,}0872 K_{увл}. \qquad (2)$$

Зависимости (1) и (2) можно использовать для назначения мероприятий по увлажнению или просушке грунтов, прогноза ожидаемых показателей уплотнения.

Нормы (СНиП 2.05.02-85*, СНиП 3.06.03-85) регламентируют границы допустимого отклонения значений естественной влажности от оптимальной. Эти границы зависят от требуемой степени плотности и вида грунта. Из рис. 2 следует, что необходимо учитывать и абсолютные значения естественной влажности грунта.

На практике наблюдается зависимость: чем меньше степень увлажнения грунта, тем проще обеспечить повышенное значение коэффициента уплотнения (рис. 3): коэффициент уплотнения уменьшается с ростом коэффициента увлажнения (отношения естественной влажности грунта к оптимальной). Это подтверждается и данными, представленными на рис. 4. Для случаев, когда естественная влажность грунта имеет высокие значения, необходимо предусматривать более жесткие нормы операционного контроля и подтверждения соответствия.

От максимальной плотности грунта и оптимальной влажности коэффициент уплотнения практически не зависит (рис. 5, 6).

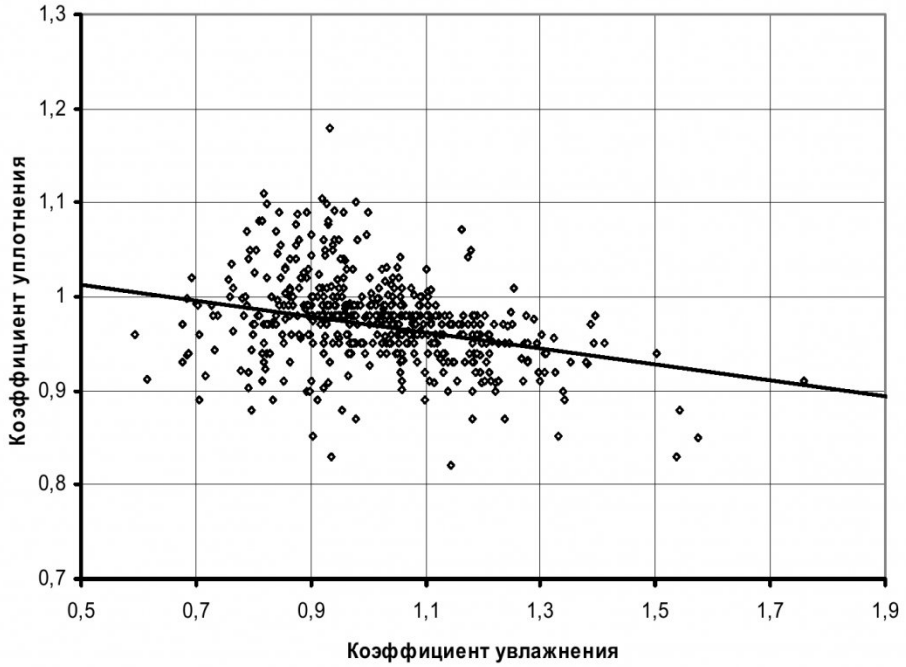

Рис. 3. Зависимость коэффициента уплотнения от коэффициента увлажнения грунта

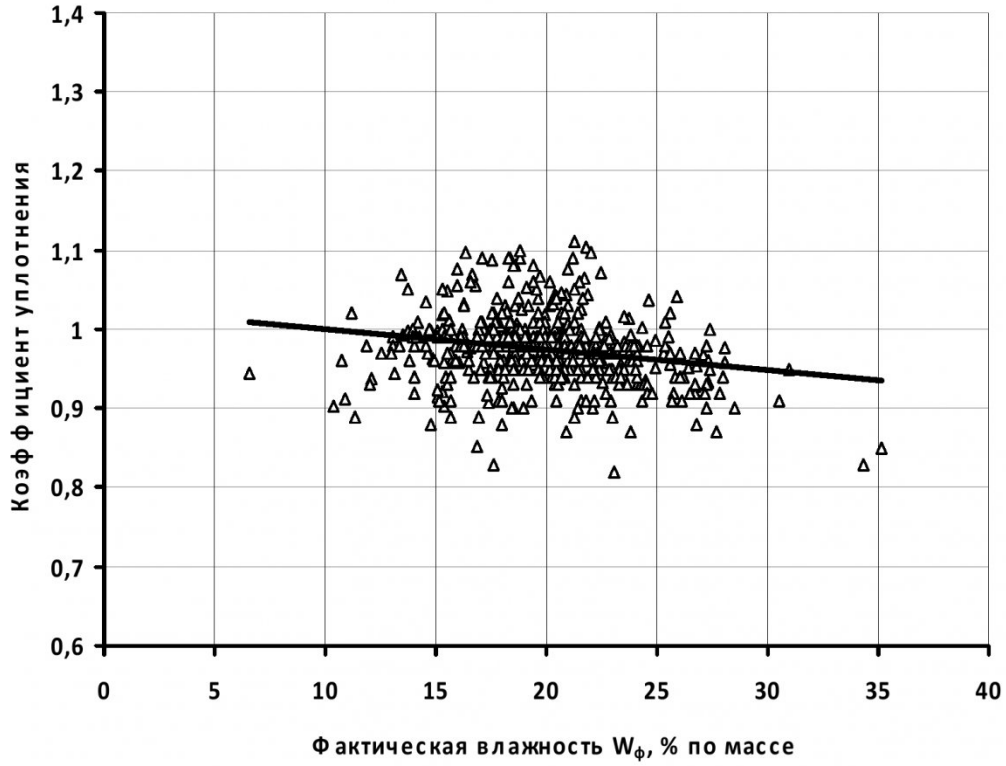

Рис. 4. Зависимость коэффициента уплотнения от фактической (естественной) влажности грунта

Следует отметить, что фактический диапазон изменения естественной влажности грунтов несколько больше, чем регламентировано СНиП 3.06.03-85, но это практически не отражается на достигаемой степени уплотнения.

Результаты данного исследования позволяют более обоснованно назначать меры по обеспечению требуемой степени уплотнения глинистых

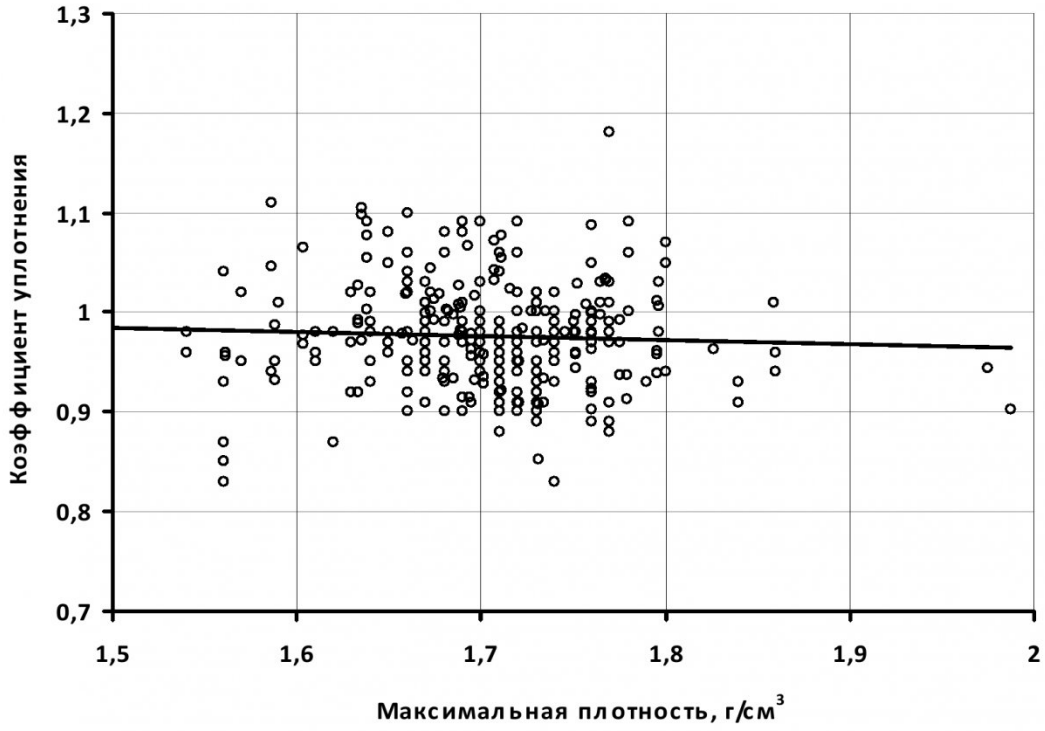

Рис. 5. Зависимость коэффициента уплотнения от максимальной плотности скелета грунта

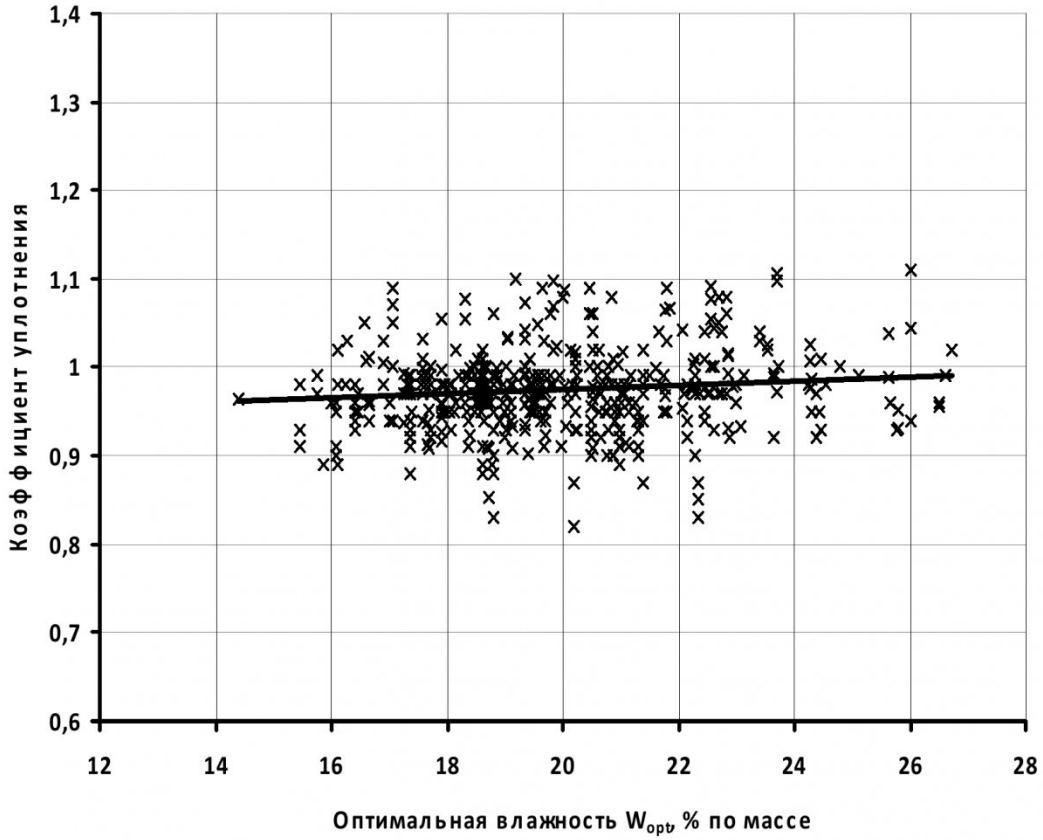

Рис. 6. Зависимость коэффициента уплотнения от оптимальной влажности грунта

грунтов земляного полотна автомобильных дорог и аналогичных сооружений, проектировать соответствующую технологию работ на основе региональных зависимостей. Совершенно очевидно, что современные технические средства позволяют в массовом порядке достигать значений коэффициента уплотнения 1,0 - 1,1, без специальных мер (в т. ч. просушки или увлажнения грунта).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Казарновский В. Д.* Без соблюдения норм плотности не будет качества / В. Д. Казарновский, А. К. Мирошкин // Автомобильные дороги. – 1993. – № 5. – С. 6-7.

2. *Жустарев Е. В.* Некоторые результаты экспериментальных исследований влияния плотности грунта земляного полотна автомобильных дорог в процессе накопления остаточных деформаций // Проблемы строительства и эксплуатации автомобильных дорог: Сб. науч. тр./ МАДИ-ТУ. – М., 1998. – С. 48-49.

3. *Афиногенов А.О.* Эффективность повышения степени уплотнения грунтов земляного полотна карьерных автомобильных дорог / Вестн. КузГТУ. – 2008. – № 1. – С. 55-60.

4. *Афиногенов А. О.* Уточнение параметров грунтов и дорожно-климатического районирования территории Кемеровской области / Вестн. КузГТУ. – 2008. – № 1. – С. 53-55.

5. *Ефименко В.Н.* Дорожно-климатическое районирование Кемеровской области // Опыт обеспечения эффективности дорожного комплекса Кузбасса: Сб. науч. тр. – Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1997. – С. 62 – 66.

Автор статьи:

Афиногенов
Алексей Олегович
- соискатель каф. автомобильных дорог КузГТУ,
Email: afinogenov@smtp.ru