

7. Барановский, В.М. Теплофизические свойства модифицированных полимеров / В.М. Барановский. – Киев, 1983. – 126 с.

8. Карякина, М.И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М.И. Карякина. – М.: Химия, 1988. – 272 с.

9. Охрименко, И.С. Химия и технология плёнообразующих веществ / И.С. Охрименко, В.В. Верхованцев. – Л.: Химия, 1978. – 392 с.

10. Тур, Э.А. Влияние состава акриловых сополимеров на физико-механические, технологические и эксплуатационные показатели экологических разметочных материалов / Э.А. Тур, Н.М. Голуб // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2014. – № 2: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – С. 125–129.

Материал поступил в редакцию 25.02.17

TUR E.A. The effect of physico-chemical properties of acrylic copolymers on the performance of protective coatings applied to water-management construction

The differential scanning calorimetry were investigated in the glass transition temperature and analyzed the intervals of the glass transition of the copolymers. According to the equation of Fox-Flory calculated the compositions of the copolymers. According to the obtained experimental data it is determined that the copolymers with low contents of methyl methacrylate are beginning to move in the rubbery state at much lower temperatures. Laboratory testing of paint has demonstrated a direct dependence of physical-mechanical, technological and operational characteristics of the composition and physico-chemical properties of acrylic copolymers.

УДК 625.711+624.131

Д.С. Козловский, О.Н. Натарова

ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ВЛАЖНОСТИ И ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ НА ПРОЦЕССЫ УПЛОТНЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА И ОСНОВАНИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД

Введение. Как показывает практика поведение грунтов под нагрузками всегда сопровождается сложными процессами, т. к. нарушается их начальное состояние, и в грунтах возникают специфические процессы, осложняющие эксплуатацию дорожных конструкций. Ошибочная оценка их деформационно-прочностных характеристик часто бывает причиной деформаций и повреждений дорожных конструкций, поэтому необходимо не только правильно оценить свойства грунтов, но и в ряде случаев разработать способы улучшения их строительных свойств.

В современных условиях в связи с повышением требований к прочности и ровности покрытий автомобильных дорог возрастают требования к стабильности земляного полотна. За последние 20–25 лет удельная стоимость земляного полотна в общей стоимости дороги повысилась с 6–12% до 16–26%. Деформации земляного полотна, вызванные его недостаточной стабильностью, протекают длительное время и служат одной из основных причин деформаций покрытия, а в отдельных случаях и его полного разрушения.

Анализ и методика исследований. Анализ имеющихся данных [1] и наши исследования по влиянию степени уплотнения земляного полотна на ровность покрытия, уже после первого года эксплуатации, позволил построить график связи ровности покрытия и степени уплотнения грунтов (рис. 1).



Рисунок 1. Зависимость ровности покрытия от степени уплотнения грунтов земляного полотна

В настоящее время величина требуемого коэффициента уплотнения K_y для разных условий принята равной 0,92–1,0 стандартной плотности.

Следует отметить, что нормами [2] предусмотрен минимальный коэффициент уплотнения K_y^{min} . Вместе с тем только в тех случаях, когда плотность грунта не ниже требуемой, можно ожидать, что земляное полотно будет стабильным и в нем практически будут отсутствовать деформации консолидации.

Козловский Денис Станиславович, старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета.

Натарова Оксана Николаевна, старший преподаватель кафедры геотехники и транспортных коммуникаций Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267

Нормами допускается и отклонение фактического K_u от требуемого в меньшую сторону не более чем в 10% контрольных проб и не более чем на 0,04 от абсолютной величины требуемого коэффициента уплотнения за исключением дорог I–II категорий.

Имеющиеся исследования по возможности и целесообразности повышения требований к плотности грунта [1] показывают, что при уплотнении грунта до $K_y = 1,05 - 1,10$ его расчетный модуль увеличивается почти в 1,5–2 раза по сравнению с грунтом с $K_y = 1,0$ и соответственно общая толщина дорожной одежды может быть уменьшена на 30–40%.

В связи с тем, что стоимость дорожной одежды составляет 50–70% общей стоимости строительства дороги, а затраты на уплотнение — 1,5–2,5%, то очевидна явная экономическая целесообразность уплотнения грунта до повышенной плотности, по сравнению с действующими нормами.

Однако для этого необходимо значительно увеличить объем работ грунтоуплотняющих машин тяжелого типа: примерно в 3–5 раз при уплотнении связных грунтов до $K_y = 1,05$ и в 5–8 раз — при уплотнении грунта до $K_y = 1,10$.

Вместе с тем следует отметить, что не все грунтоуплотняющие машины по своим техническим возможностям, прежде всего по величине давления на контакте «уплотняющий рабочий орган машины–грунт», могут обеспечить уплотнение грунта до плотности выше стандартной.

Отсюда основным требованием к грунтам, которые можно назвать грунтами повышенной плотности, является условие сохранения достигнутой плотности в процессе эксплуатации дороги. В противном случае в результате процессов увлажнения-высыхания, набухания-усадки, замерзания-оттаивания и др. грунты разуплотняются и дорожная одежда деформируется, что и приводит к её повреждению. Отсюда, основным критерием стабильности земляного полотна должна быть плотность грунтов.

Степень возможного уплотнения грунта, прежде всего, зависит от грансостава и формы частиц: если в нем имеются как крупные, так и мелкие зерна, помещающиеся внутри пор между крупными, возможная плотность увеличивается. Чем больше механическая работа, затраченная на уплотнение, тем выше достигаемая плотность грунта. При одной и той же затраченной работе плотность грунта зависит от динамики его влажностного состояния в процессе уплотнения. При этом по мере уплотнения грунта в зависимости от влажности возрастает его модуль деформации, уменьшается пористость, и, как следствие, повышается прочность и уменьшаются деформации грунта дорожного полотна.

Для оценки степени уплотнения грунтов Проктор [3] предложил использовать не плотность (влажного) грунта $\rho = M / V$ (массу единицы объема грунта), а так называемую плотность скелета грунта — массу твердых частиц, находя-

щихся в единице объема, так как цель уплотнения — соединить между собой частицы грунта, чтобы они образовали систему, хорошо воспринимающую внешнюю нагрузку. При этом чем больше масса частиц в объеме грунта, тем теснее они расположены и тем лучше этот грунт уплотнен.

Масса частиц, находящихся в единице объема грунта, также зависит и от плотности материала частиц. Очевидно, что объем грунта (V) состоит из объема твердых частиц (V_s), воды (V_w) и воздушных пор (V_a), то $V = V_s + V_w + V_a$. Так как объемная доля частиц в грунте равна $V_s / V = \rho_s / \rho_d$, а объемная доля воды равна $V_w / V = \rho_w / \rho_w$, то расчетная зависимость плотности скелета грунта от средней плотности материала его частиц, влажности w , а также объемной доли воздушных пор ($c_a = V_a / V$) имеет вид:

$$\rho_d = ((1 - c_a) \cdot \rho_s) / (1 + \rho_s / \rho_w \cdot w), \quad (1)$$

где ρ_w — плотность воды (около 1 г/см³).

В странах СНГ наибольшее распространена для определения плотности скелета грунта зависимость вида [4]:

$$\rho_d = \rho / (1 + w), \quad (2)$$

где ρ — плотность грунта, г/см³; w — влажность грунта, д. е.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Для выявления особенностей определения оптимальной влажности и, соответственно, максимальной плотности, обеспечивающей требуемую степень уплотнения и прочность земляного полотна, нами были проведены соответствующие экспериментальные исследования с использованием прибора стандартного уплотнения СоюзДорНИИ [4, 5].

В первой серии экспериментов использовался песок средней крупности, неоднородный, содержащий большое количество органического вещества (гумусированного грунта) (плотность частиц $\rho_s = 2,405$ г/см³), что достаточно характерно для строительных площадок при отсутствии должного контроля.

Испытания проводились для образцов грунта с влажностями 4,4%, 7,4%, 10,4% и 12,4%. После каждого испытания проводился отбор проб грунта из нижней и верхней части разъемной формы (рис. 2).

Пробы взвешивались и опускались в ёмкость с водой для водонасыщения в течение 10 часов (рис. 3), после чего образцы снова взвешивались, что давало возможность определить объём пор (V_a).

Данные первой серии экспериментов позволили определить связь влажности и плотности скелета грунта по формуле Р. Проктора и по методу СоюзДорНИИ для проб, взятых из нижней части разъемного цилиндра (таблица 1).

Результаты испытаний сведены в таблицу 2.

По данным таблицы 1 построены графики зависимости плотности скелета грунта от влажности (рис. 4).

Таблица 1. Плотность скелета уплотненного грунта

Плотность скелета грунта, г/см ³	Влажность грунта, %				
	4,4	7,4	10,4	12,4	16
по формуле Р. Проктора (1)	1,72	1,65	1,63	1,69	1,686
по формуле СоюзДорНИИ (2)	1,57	1,54	1,53	1,59	1,54



Рисунок 2. Отбор проб уплотненного грунта из вспомогательного металлического цилиндра

- 1 – ёмкость с водой;
- 2 – бюкса с пробой грунта;
- 3 – перфорированная пластина

Рисунок 3. Водонасыщение образцов

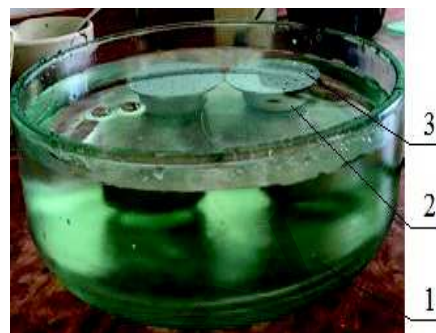
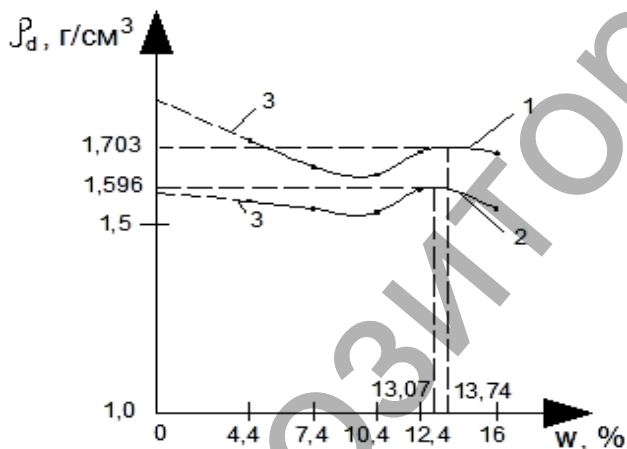


Таблица 2. Результаты эксперимента

Влажность (w), %	Место отбора пробы	Объём пор (V _a), см ³	Объём пробы (V), см ³	Объёмная доля воздушных пор (c _a)	Плотность пробы (ρ), г/см ³
4,4	верхняя часть	13,71	61,5	0,223	1,67
	нижняя часть	14,67	70,2	0,209	1,64
7,4	верхняя часть	12,50	69,81	0,179	1,65
	нижняя часть	13,31	69,07	0,193	1,67
10,4	верхняя часть	8,9	67,75	0,131	1,71
	нижняя часть	10,68	70,61	0,151	1,69
12,4	верхняя часть	4,69	67,78	0,069	1,83
	нижняя часть	6,19	71,11	0,087	1,79
16	верхняя часть	6,82	67,76	0,101	1,81
	нижняя часть	1,97	68,51	0,029	1,90



1 – по формуле Р. Проктора; 2 – по формуле СоюзДорНИИ; 3 – по методу экстраполяции

Рисунок 4. Графики зависимости плотности скелета уплотненного грунта от влажности

Таблица 3. Результаты второго эксперимента

Влажность (w), %	Место отбора пробы	Объём пор (V _a), см ³	Объём пробы (V), см ³	Объёмная доля воздушных пор (c _a)	Плотность пробы (ρ), г/см ³
6	верхняя часть	13,75	69,43	0,198	1,64
	нижняя часть	15,74	69,78	0,226	1,64
9	верхняя часть	11,97	69,24	0,173	1,66
	нижняя часть	9,47	62,12	0,152	1,72
12	верхняя часть	7,94	68,98	0,115	1,43
	нижняя часть	7,81	70,22	0,111	1,73
14	верхняя часть	4,74	65,64	0,072	1,81
	нижняя часть	7,97	67,93	0,117	1,75

Анализ графика позволяет отметить, что по формуле Р. Проктора получаем два экстремума: первый достигается при w_{opt} близкой к 0%; а второй при w_{opt} = 13,74% — ρ_{dmax} = 1,703 г/см³.

По формуле СоюзДорНИИ максимальная плотность ρ_{dmax} = 1,596 г/см³ достигается при w_{opt} = 13,07%, т. е. имеется один экстремум.

Для второй серии экспериментов использовали песок средней крупности, средней однородности, с плотностью частиц ρ_s = 2,54 г/см³, т. е. практически без содержания органического вещества.

Были сформированы образцы с влажностью 6%, 9%, 12% и 14%. Отбор проб и водонасыщение проводились аналогично первой серии экспериментов.

Результаты эксперимента сведены в таблицу 3.

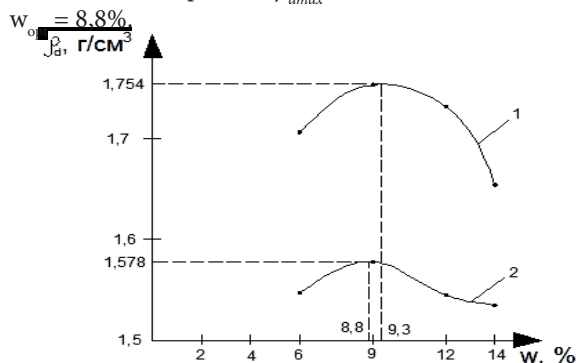
Плотность скелета грунтов также определялась для проб из нижней части вспомогательного цилиндра и результаты сведены в таблицу 4.

Таблица 4. Плотность скелета уплотненного грунта

Плотность скелета грунта, г/см ³	Влажность грунта, %			
	6	9	12	14
по формуле Р. Проктора (1)	1,706	1,753	1,731	1,654
по формуле СоюзДорНИИ (2)	1,547	1,578	1,545	1,535

По данным таблицы 4 построены графики зависимости плотности скелета уплотненного грунта от влажности (рис. 5).

Анализ графиков зависимости показывает, что максимальная плотность уплотненного грунта полученная по формуле Р. Проктора $\rho_{dmax} = 1,754$ г/см³ характерна для $w_{opt} = 9,3\%$, а по формуле СоюзДорНИИ максимальная плотность равная $\rho_{dmax} = 1,578$ г/см³ соответствует $w_{opt} = 8,8\%$.



1 – по формуле Р. Проктора; 2 – по формуле СоюзДорНИИ

Рисунок 5. Графики зависимости плотности скелета уплотненного грунта от влажности

Заключение. Анализ результатов экспериментов позволяет сделать следующие выводы:

Для грунтов с незначительным содержанием органического вещества характерно несущественное отличие в значениях оптимальной влажности, определенной как при помощи формулы Р. Проктора, так и по методу СоюзДорНИИ, но при этом разница между плотностями скелета достаточно велика. Это может объясняться тем, что в формуле Р. Проктора учитывается не только плотность частиц грунта, но и объемная доля воздушных пор.

Наличие органического вещества в грунтах не позволяет однозначно определить оптимальную влаж-

ность (w_{opt}) по формуле Р. Проктора, так как характерно наличие двух значений w_{opt} , при этом максимальное значение ρ_d характерно для малых влажностей, при которых грунт будет уплотняться незначительно, а в некоторых случаях вообще может разуплотняться.

Что касается влияния содержания органического вещества составляющей на характер уплотнения грунтов, то следует отметить, что и в этом случае максимальной плотности скелета грунта можно достичь, но необходимо обеспечить повышенную влажность уплотняемых грунтов, т. е. 13% вместо 9%.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Труды СоюзДорНИИ. Уплотнение земляного полотна и конструктивных слоев дорожных одежд: Министерство транспортного строительства. СоюзДорНИИ, – М.: 1980. – 130с.
2. Автомобильные дороги. Нормы проектирования: ТКП 45-3.03-19-2006 (02250). Введ. 01.07.2006. – Минск.: Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2006. – 68 с. Технический кодекс установившейся практики.
3. Обзор по материалам, размещенным на сайте Федеральной дорожной администрации США «Методы и приборы контроля качества строительства дорожных покрытий в США». – Режим доступа: <http://library.stroit.ru/articles/control2>.
4. Межгосударственный стандарт. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности: ГОСТ 22733-2002. – Введ. 01.01.2006. – Минск: Минстройархитектуры РБ. – 2002. – 12 с.
5. Межгосударственный стандарт. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик: ГОСТ 5180-84. – Введ. 01.07.1985. – Минск.: Минстройархитектуры РБ. – 1984. – 28 с.

Материал поступил в редакцию 30.03.17

KOZLOVSKY D.S., NATAROVA O.N. Peculiarities of methods for determining the optimum moisture content and the effect of the content of organic substances on the sealing processes of the road bed and the bases of road clothes

Features of determining the maximum density of soil containing organic substances.

УДК 541.162

В.С. Северянин

ВИХРЕВЫЕ ПОТОКИ В УСТРОЙСТВАХ ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ГОРЕНИЯ

Введение. Известно интенсифицирующее влияние вихревых потоков на различные технологические процессы. Так, горение топлива в циклонных топочных устройствах позволяет повысить коэффициент полезности Северянин Виталий Степанович, д.т.н., профессор, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

го действия топки, сократить габариты топочного объёма, удерживать высокий температурный уровень, расширить диапазон сжигаемого топлива по размерам горящих частиц, выходу летучих, зольности [1]. В сепарационных