

УДК 625.7:624.13.001.86

А. О. Афиногенов

АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГРУНТА ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В процессе эксплуатации автомобильных дорог земляное полотно воспринимает нагрузку от транспортных средств, вышележащих слоев земляного полотна и дорожной одежды. Обычно исследователи ограничиваются анализом напряженно-деформированного состояния в активной зоне земляного полотна.

Активная зона – это ограниченный по глубине слой грунта, ниже которого уплотнение под действием собственного веса уже настолько велико, что давление от внешней нагрузки не может заметно его увеличить [1].

Для назначения требований к плотности грунта земляного полотна необходимо оценить глубину активной зоны.

При определении глубины активной зоны в земляном полотне автомобильных дорог используют зависимость, принятую в механике грунтов. Активную зону принимают равной такой глубине, на которой сжимающее напряжение от нагрузки составляет 0,2 от давления собственного веса грунта (для слабых грунтов – 0,1) [2].

Глубину активной зоны можно определить по формуле [3]:

$$Z_a = \sqrt[3]{knP / \gamma} , \quad (1)$$

где k – коэффициент, учитывающий напряжения в полотне, принимается равным 0,5 [3]; $n = 5$ (1/0,2) – отношение напряжений от собственного веса грунта и нагрузки от колеса автомобиля; γ –

объемный вес грунта.

Значения Z_a в (1) несколько завышены ввиду того, что не учитывается жесткость слоев одежды, распределяющих нагрузку на большую площадь грунтового основания.

Глубина активной зоны для автомобильных дорог общего пользования составляет 1,6–1,8 м. Слой грунта активной зоны (в котором под действием нагрузки от колес автомобилей возникают существенные напряжения) принято называть «рабочим слоем» или «верхним слоем земляного полотна» [3].

На рис. 1 приведены результаты расчетов по формуле (1) глубины активной зоны Z_a для карьерных дорог при плотности грунта γ , равной 1,5; 1,65; 1,8 г/см³. Видно, что глубина активной зоны земляного полотна может достигать 6,5 м.

Таким образом, в ряде случаев активная зона может распространяться практически на всю насыпь, что необходимо учитывать при нормировании степени уплотнения грунта. В то же время плотность грунта незначительно влияет на глубину активной зоны.

Для определения напряжений в многослойных дорожных конструкциях существует ряд методов. Наибольшее распространение получил метод проф. Б. И. Когана.

В последние годы появились точные решения А. К. Приварникова, Б. С. Радовского и др.

Значительный практический интерес пред-

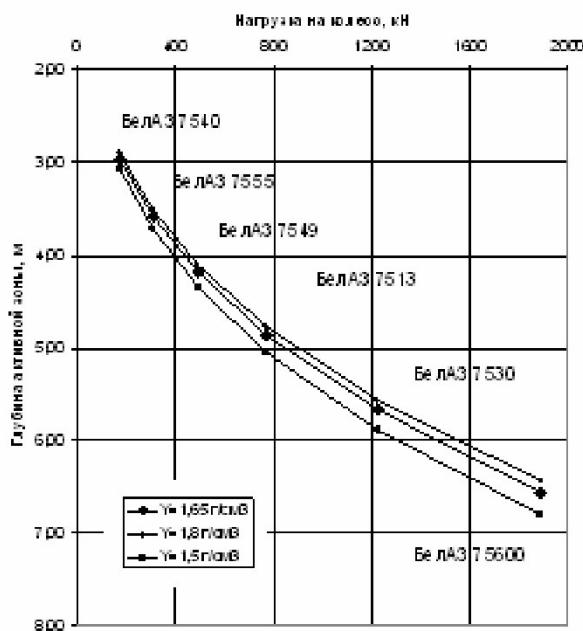


Рис. 1. Зависимость глубины активной зоны от нагрузки на колесо для карьерных автосамосвалов

ставляют решения профессора И. И. Кандаурова.

В практике проектирования автомобильных дорог общего пользования в основном используют эмпирическую формулу М.И. Якунина. Однако она, как и любая такая зависимость, имеет ограничения по диапазону варьирования аргументов, ее применение может привести к неверным результатам.

Поэтому ниже выполнены расчеты по методу проф. М. Б. Корсунского [5].

В основу практических методов расчета многослойных дорожных конструкций положен метод эквивалентного слоя проф. Г. И. Покровского, который дает возможность при определении напряжений привести любую многослойную систему к однослоиной. Метод исходит из положения, что давление, передающееся от силы на подстилающий грунт через две плиты или балки разной толщины и из разных материалов, будет одинаково в том случае, если равны их жесткости.

При передаче давления на грунт через уложенный поверх него слой более жесткого материала для определения давления в грунте, этот слой может быть заменен фиктивным эквивалентным слоем грунта такой толщины, чтобы напряжения на поверхности грунтового основания оставались одинаковыми.

Для дорожных одежд, работающих в стадии медленного накопления пластических деформаций (соответствует характеру работы карьерных дорог), профессор Н. Н. Иванов предложил на основании опытных данных использовать уравнение эквивалентного слоя с измененной степенью радиала [7]. Расчетная схема приведена на рис. 2.

С целью автоматизации расчетов составлена программа в среде Excel. Расчеты выполнены для следующих значений: нагрузка от 57,5 кН (нормативная нагрузка для дорог общего пользования I-II категорий) до 1887 кН (нагрузка от автомобиля БелАЗ-75600); диаметр отпечатка колеса от 0,4

до 2,29 м; глубина слоя грунта в котором рассчитывались напряжения – до 4 м; отношение модулей упругости дорожной одежды и земляного полотна – 0,36.

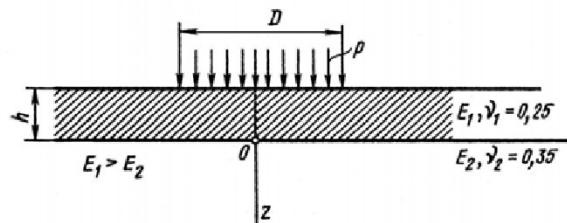


Рис. 2. Расчетная схема к определению напряжений в двухслойной системе

Конструкция дорожной одежды принята следующей: верхний слой покрытия из плотной щебеночной смеси C_2 толщиной 0,16 м, нижний – из щебня фракции 40–70 мм толщиной 0,48 м. Приведение многослойной конструкции к двухслойной выполнено по формуле профессора Н. Н. Иванова:

$$h_{\text{экв}} = H_1 \cdot \sqrt[2.5]{E_1/E_2}, \quad (2)$$

где $h_{\text{экв}}$ – эквивалентная толщина верхнего слоя; H_1 – толщина верхнего слоя; E_1 – модуль упругости верхнего слоя; E_2 – модуль упругости нижнего слоя.

Результаты расчетов представлены на рис. 3, 4 и в табл. 1. Нетрудно заметить, что для нагрузки, принимаемой в качестве расчетной для дорог общего пользования I-II категорий, и автомобиля БелАЗ-75540 на глубине более 1–1,5 м затухание нормальных напряжений практически прекращается, величина напряжений становится незначительной. Для автомобилей особо большой грузоподъемности (120 т и более) картина совершенно иная (см. рис. 3): напряжения затухают медленно и даже на глубине 3 м они имеют весьма высокие значения.

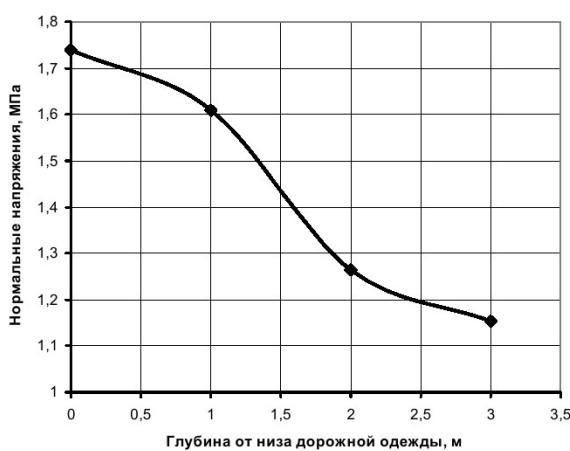


Рис. 3. Нормальные напряжения в земляном полотне при воздействии автомобиля БелАЗ-75600

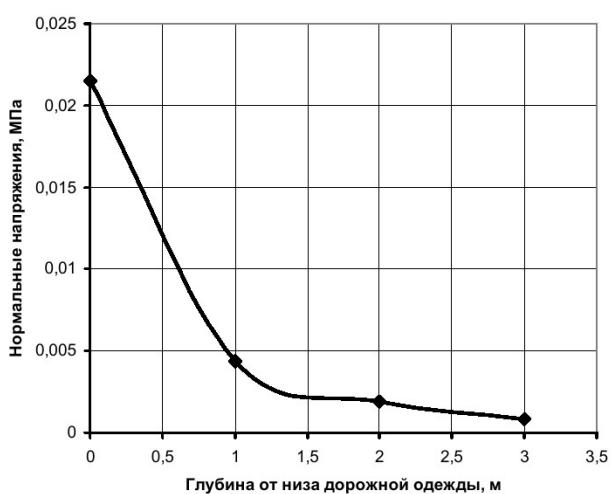


Рис. 4. Нормальные напряжения в земляном полотне при воздействии нагрузки 57,5 кН

Таблица 1. Значения нормальных напряжений в земляном полотне под действием различных нагрузок

Глубина от низа дорожной одежды, м	Нормальные напряжения σ_z , МПа для различных нагрузок, кН			
	57,5	173,4 (БелАЗ-75540)	703,5 (БелАЗ-75140)	1887 (БелАЗ-75600)
0	0,0215	0,1199	0,7435	1,7400
0,5	0,0125	0,0725	0,6235	1,6873
1,0	0,0044	0,0317	0,4975	1,6099
1,5	0,0024	0,0195	0,3754	1,4458
2,0	0,0019	0,0161	0,2633	1,2641
2,5	0,0140	0,0115	0,2153	1,1954
3,0	0,0008	0,0090	0,1554	1,1526

Таблица 2. Предел прочности грунтов при уплотнении

Грунт	Пределы прочности грунтов, МПа, при уплотнении			
	катки с гладкими вальцами	катки на пневматических шинах	решетчатые катки	трамбующие машины
Суглинки	0,6 – 1,0	0,4 – 0,6	0,6 – 0,8	0,7 – 1,2
Тяжелые суглинки	1,0 – 1,5	0,6 – 0,8	0,8 – 1,5	1,2 – 2,0
Глины	1,5 – 1,8	0,8 – 1,0	1,5 – 2,5	2,0 – 2,3

Обратим внимание, что характер изменения нормальных напряжений для нагрузки 57,5 кН (см. рис. 4) дает хорошее совпадение с общепринятыми представлениями о глубине активной зоны земляного полотна дорог общего пользования. Это подтверждает правильность принятой методики расчета напряжений.

Сопоставление результатов расчетов, выполненное в табл. 1, указывает на огромную разницу в величинах напряжений для дорог общего пользования и карьерных дорог. Для последних глубина активной зоны превышает 3 м, это позволяет рекомендовать считать рабочим слоем (по аналогии с дорогами общего пользования) все земляное

полотно и, для насыпей высотой менее 3 м, плюс основание насыпи на глубину уплотнения катками.

Из табл. 1 также видно, что значения нормальных напряжений не превышают (за исключением случаев воздействия автомобилей грузоподъемностью более 120 т) предела прочности грунтов (табл. 2) [6]. Для сверхтяжелых автомобилей глинистые грунты также могут служить материалом земляного полотна, но требуется увеличить толщину дорожной одежды или использовать в её слоях более прочные материалы (цементобетон и др.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бабков В. Ф. Устойчивость земляного полотна автомобильных дорог. – М.: Высшая школа, 1966. – 108 с.
2. Бибуля А. К. Дороги из местных материалов. – М.: Автотрансиздат, 1955. – 138 с.
3. Бибуля А. К. Проектирование автомобильных дорог. Ч. 1. – М.: Автотрансиздат, 1961. – 500 с.
4. Бабков В. Ф. Основы грунтоведения и механики грунтов / В.Ф. Бабков, В. М. Безрук. – М.: Высшая школа, 1976. – 266 с.
5. Конструирование и расчет нежестких дорожных одежд / Под. ред. Н. Н. Иванова. – М.: Транспорт, 1973. – 328 с.
6. Хархута Н. Я. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог / Н. Я. Хархута, Ю. М. Васильев. – М.: Транспорт, 1975. – 288 с.
7. Бабков В. Ф. Вопросы дорожного строительства на V Международном конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению / В. Ф. Бабков, Н. В. Орнатский, Н. Н. Маслов, Н. Н. Иванов. – М.: Автотрансиздат, 1963. – 198 с.

□ Автор статьи:

Афиногенов
Алексей Олегович
– соискатель каф. автомобиль
ных дорог КузГТУ
email: afinogenov@smtp.ru