



УДК 625.877:630*383.4

Ю.А. Ширнин, В.И. Чернякевич

Марийский государственный технический университет

Ширнин Юрий Александрович родился в 1946 г., окончил в 1973 г. Марийский политехнический институт, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования лесопромышленных производств Марийского государственного технического университета. Имеет более 230 печатных работ в области технологии и оборудования лесопромышленных производств.

E-mail: yushirnin@rambler.ru



Чернякевич Виктор Иосифович родился в 1947 г., окончил в 1971 г. Ленинградскую лесотехническую академию, кандидат технических наук, доцент кафедры сухопутного транспорта леса Марийского государственного технического университета. Имеет более 70 печатных работ в области сухопутного транспорта леса.

E-mail: kirsanov@marstu.mari.ru



НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ЛЕСОВОЗНЫХ ДОРОГ

Рассмотрено распределение напряжений, возникающих в зоне контакта дорожной плиты с подстилающим ее грунтовым основанием. Предложена методика, позволяющая учесть влияние пластических деформаций грунта основания.

Ключевые слова: железобетонная плита, грунтовое основание, напряжения, деформации.

Основным назначением дорожной плиты является многократное снижение вертикальных нагрузок от колес на грунтовое основание и защита его от горизонтальных сил тяги, торможения и т. п. Сложность структуры многофазных дисперсных грунтов, а также ее изменение в процессе нагружения не позволяют отразить в расчетах дорожных одежд, в том числе и со сборным железобетонным покрытием, все физические свойства самих грунтов. Известно, что контактные напряжения под плитой, поперечные силы и изгибающие моменты, действующие на саму дорожную плиту, определяют на основе решений теории расчета конструкций, взаимодействующих с упругим основанием [2]. При этом подстилающее плиту грунтовое основание рассматривают как линейно-деформируемое полупространство, в котором нет пластических деформаций грунта.

Многолетний опыт эксплуатации лесовозных дорог со сборно-разборным покрытием и выполненные исследования показывают, что из-за слабости стыковых соединений плит в сочетании с переувлажненными малопрочными грунтами и многократными повторными нагрузками в подстилающей плите грунтового основании возникают не только упругие, но и пластические деформации грунта. Появление необратимых деформаций в основании существенно изменяет как характер распределения напряжений по длине плиты, так и их значение. Игнорирование этих обстоятельств может привести к неравномерным и необратимым просадкам плиты, ухудшению ее работы в дорожном покрытии, существенным образом сказаться на системе сил, действующих на плиту, и в дальнейшем на ее параметрах, например армировании.

Целью нашей работы является обоснование методики учета влияния пластических деформаций грунтового основания на распределение контактных давлений под плитой, а в дальнейшем и на напряженное состояние самой плиты.

Известно, что пластические деформации в грунтах возникают тогда, когда давления на грунт выше их критических значений. Критические давления на грунт можно, к примеру, определить по решению В.В. Соколовского [5], учитывая неоднородность грунта, многократность и повторность колесных нагрузок [3].

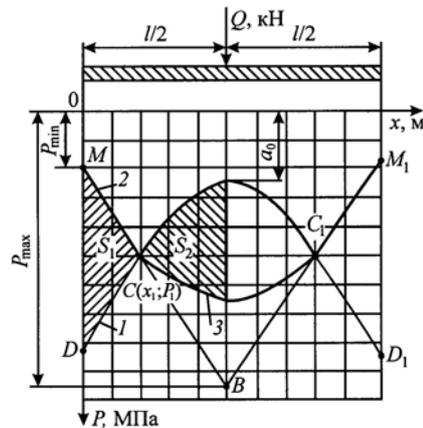
Исследования, выполненные М.И. Горбуновым-Посадовым [1], В.А. Флориным [6] и другими учеными, показывают, что контактные напряжения выше критических возникают под концевыми участками плиты. Невоспринятая часть напряжений перераспределяется в среднюю зону опорной поверхности, увеличивая контактные давления в центральной зоне основания, где образуется так называемое жесткое ядро.

Существуют методы построения эпюры контактных напряжений с учетом критических давлений в грунтовом основании, вызывающих пластические деформации грунта. Так, в методе, предложенном М.И. Горбуновым-Посадовым [1], в конечной эпюре наблюдается резкий, скачкообразный переход контактных напряжений в пограничной области раздела упругих и пластических деформаций грунта. Сам автор указывал на схематичность разработанного им метода, трудности в определении координат пограничной точки.

Согласно В.А. Флорину [6], контактные напряжения краевых зон, превышающие критические, необходимо распределить на внутреннюю часть основания не скачкообразно, а по параболическому закону. По высказыванию автора, такое параболическое очертание конечной эпюры подтверждается экспериментами.

Учитывая изложенное, рассмотрим методику построения конечной эпюры контактных напряжений для дорожной плиты, в грунтовом основании которой возникают критические давления, обуславливающие появление пластических деформаций грунта. Для этого необходимо:

Рис. 1. Эпюры контактных напряжений, построенные с учетом пластических деформаций грунта основания: 1 – по теории расчета конструкций, взаимодействующих с упругим основанием; 2 – предельная; 3 – в форме параболы по В.А. Флорину



1) построить эпюру контактных напряжений, рассматривая грунтовое основание как линейно-деформируемую среду, в которой нет пластических деформаций;

2) построить предельную эпюру контактных напряжений, определяемую прямыми линиями критических напряжений (прямыми среза) по решению В.В. Соколовского; прямые среза наложить на эпюру, полученную по теории расчета конструкций, взаимодействующих с упругим основанием;

3) соблюдая условие равновесия сил, что соответствует равенству площадей эпюры $S_1 = S_2$, определить параметры конечной эпюры, состоящей из прямых среза (участки MC и M_1C_1) и параболы (участок CC_1), построенной по рекомендациям В.А. Флорина (рис. 1).

Схема эпюры контактных напряжений, полученной при наличии пластических деформаций основания, показана на рис. 1.

Рассмотрим одиночную колесную нагрузку (Q), расположенную в центре плиты. Такое положение нагрузки рекомендуется методикой [2] в качестве основного при расчете железобетонной плиты лесовозных дорог на положительный изгибающий момент. Согласно И.А. Симвулиди [4] уравнение эпюры контактных напряжений (рис. 1, кривая 1) записываем в следующем виде:

$$P_x = a_0 + \frac{4 a_2}{l^2} \left(x - \frac{l}{2} \right)^2, \quad (1)$$

где a_0, a_2 – коэффициенты уравнения;

l – длина плиты.

Согласно [6] уравнения прямых среза имеют вид

$$P_x = 2C_1 x + C_2, \quad (2)$$

где C_1, C_2 – параметры прямой среза;

x – текущая координата, $0 \leq x \leq \frac{l}{2}$.

Значения C_1 и C_2 определялись В.А. Флориным по решению С.И. Белзецкого, являющемуся, как отмечал М.И. Горбунов-Посадов, менее

точным по сравнению с решением В.В. Соколовского. Поэтому в разрабатываемом методе значения параметров C_1 и C_2 находим по решению В.В. Соколовского. Так, под концом плиты при $x=0$ краевые критические напряжения минимальны и равны C_2 , т. е.

$$P_{x=0} = C_2 = P_{\min}. \quad (3)$$

При $x = \frac{l}{2}$ (середина плиты) предельные контактные напряжения максимальны:

$$P_{x=\frac{l}{2}} = 2C_1 \frac{l}{2} + C_2 = C_1 l + C_2 = P_{\max}. \quad (4)$$

Параметр C_1 , определяющий тангенс угла наклона предельной прямой к оси x , определяем из решения В.В. Соколовского по формуле

$$C_1 = \overline{P}_1 \gamma, \quad (5)$$

где \overline{P}_1 – приведенное значение тангенса угла наклона прямой линии среза, зависящего от угла внутреннего трения грунта;
 γ – объемная масса грунта.

Согласно рис. 1 предельная прямая BM проходит через точки $M(0; P_{\min})$ и $B(\frac{l}{2}; P_{\max})$, тогда имеем

$$\frac{x-0}{\frac{l}{2}-0} = \frac{P_x - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}. \quad (6)$$

Определим координаты точки пересечения предельной прямой 2 и эпюры контактных напряжений по упругому решению 1. Так как точка пересечения $C(x_1; P_1)$ является общей для уравнений (1) и (6), то

$$P_1 = a_0 + \frac{4a_2}{l^2} \left(x_1 - \frac{l}{2}\right)^2; \quad (7)$$

$$P_1 = (P_{\max} - P_{\min}) \frac{2x_1}{l} + P_{\min}. \quad (8)$$

Преобразуем уравнение (7):

$$P_1 = a_0 + \frac{4a_2}{l^2} \left(x_1 - \frac{l}{2}\right)^2 = a_0 + a_2 z^2, \quad (9)$$

где $z = \frac{2x_1}{l} - 1$,

и уравнение (8):

$$P_1 = (P_{\max} - P_{\min}) \frac{2x_1}{l} + P_{\min} = (P_{\max} - P_{\min})z + P_{\max}. \quad (10)$$

Приравнивая уравнения (9) и (10), получаем

$$a_2 z^2 - (P_{\max} - P_{\min})z + (a_0 - P_{\max}) = 0. \quad (11)$$

Отсюда

$$z_{1,2} = \frac{(P_{\max} - P_{\min}) \pm \sqrt{(P_{\max} - P_{\min})^2 + 4a_2(a_0 - P_{\max})}}{2a_2} \quad (12)$$

или

$$\frac{2x_{1(1,2)}}{l} = 1 + \frac{P_{\max} - P_{\min} \pm \sqrt{D}}{2a_2}; \quad (13)$$

$$x_{1(1,2)} = \frac{l}{2} \left[1 + \frac{(P_{\max} - P_{\min}) \pm \sqrt{D}}{2a_2} \right]; \quad (14)$$

где
$$D = (P_{\max} - P_{\min})^2 + 4a_2(a_0 - P_{\max}). \quad (15)$$

Исследование корней уравнения (11) показывает, что при $D > 0$ их значения являются действительными числами и предельная прямая 2 пересекает эпюру контактных напряжений l в двух точках. Если $D = 0$, то предельная прямая 2 имеет общую точку с кривой l – точку касания, а значения корней равны между собой. Если $D < 0$, то корни уравнения (11) являются комплексными числами, и в этом случае возможны два варианта взаимного расположения предельных прямых 2 и 2' с кривой l , как показано на рис. 2. Такое расположение представляет теоретический и практический интерес.

Вариант 1. Предельные прямые 2 располагаются выше кривой l . В таком случае должно выполняться условие $P'_{\max} < a_0$, что соответствует взаимодействию дорожной плиты с основанием, имеющим очень низкие прочностные свойства, практически полностью охваченным пластическими деформациями грунта. В результате развития последних по всей опорной поверхности плиты она будет ускоренно погружаться в грунт основания, что может вызвать нарушение целостности колесопроводов, разрушение самих плит и прекращение эксплуатации лесовозной дороги в целом.

В соответствии с теорией В.В. Соколовского просадка плиты в грунтовое основание вызовет увеличение боковой пригрузки от окружающего плиту грунта, что приведет к росту значения P'_{\max} . Плита будет погружаться в грунт до тех пор, пока площадь эпюры контактных напряжений, ограниченная предельными прямыми и осью (x) не сравняется с площадью эпюры, полученной по упругому решению.

Рассмотренная ситуация является одной из самых неблагоприятных и вполне возможна на

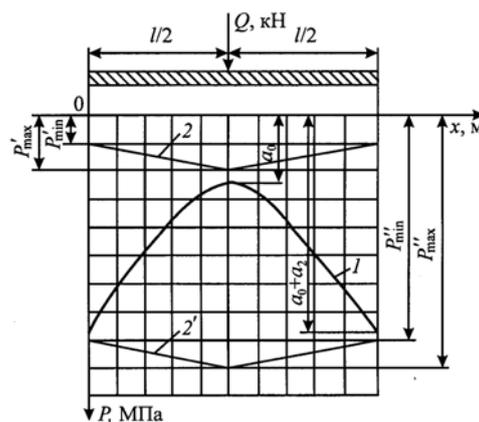


Рис. 2. Взаимное расположение кривой l и прямых среза 2 и 2' при $D < 0$

лесовозных дорогах со сборным покрытием из железобетонных плит, взаимодействующих со слабым, переувлажненным грунтовым основанием.

Во избежание рассмотренного негативного явления необходимо либо уменьшить массу лесовозных автопоездов за счет снижения полезной нагрузки, либо повысить прочность грунтового основания, либо усовершенствовать конструкцию как стыкового соединения плит, так и покрытия в целом.

Вариант 2. Предельные прямые $2'$ располагаются ниже эпюры контактных напряжений 1 . Для такого взаимного расположения должно выполняться условие ($P''_{\min} \geq a_0 + a_2$). Этот вариант наиболее благоприятен для сборного покрытия, поскольку в подстилающем плиту грунтовым основании не возникнут пластические деформации, приводящие к снижению эксплуатационных качеств покрытия.

Научная и практическая значимость методики учета пластических деформаций грунтового основания заключается в том, что она дополняет и уточняет теоретические вопросы расчета плит и оснований сборного покрытия, позволяет наметить пути их совершенствования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбунов-Посадов, М.И. Расчет конструкций на упругом основании [Текст] / М.И. Горбунов-Посадов. – М.: Гос. изд-во лит. по строительству и архитектуре, 1953. – 516 с.
2. Коновалов, С.В. Практическая методика расчета жестких дорожных покрытий с учетом повторности воздействия нагрузок [Текст] / С.В. Коновалов, М.С. Коганзон. – М.: Высш. шк., 1970. – 219 с.
3. Сборные покрытия автомобильных дорог [Текст]: уч. пособие для вузов / В.М. Могилевич [и др.]. – М., 1972. – 384 с.
4. Симвулиди, И.А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании [Текст] / И.А. Симвулиди. – М.: Высш. шк., 1973. – 432 с.
5. Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды [Текст] / В.В. Соколовский. – М.: ГОНТИ, 1954. – 276 с.
6. Флорин, В.А. Основы механики грунтов. Т.1 [Текст] / В.А. Флорин. – М.; Л.: Госстройиздат, 1959. – 372 с.

Поступила 14.06.07

Yu.A. Shirnin, V.I. Chernyakevich
Mari El State Technical University

Soil Foundation Stress and Deformation of Reinforced Concrete Slabs in Forest Roads

Stress distribution of road slab in the contact zone with subsoil foundation is viewed. The technique is offered allowing to take into account the influence of plastic deformation in soil foundation.

Keywords: reinforced concrete slab, soil foundation, stress, deformation.
