

Расчет шарнирно-соединенных прямоугольных плит дорожного покрытия

Босаков С.В., Козунова О.В.

¹Белорусский национальный технический университет

В работе рассматривается задача статического расчета шарнирно – соединенных в отдельных точках прямоугольных серийных плит дорожного покрытия типа ПАГ на комбинированном (трех-слойном) основании на произвольную внешнюю вертикальную нагрузку. Комбинированное основание моделируется следующим образом: верхний слой является основанием Винклера и расположен на двухслойном основании Когана. Расчет шарнирно-соединенных плит на этой модели упругого основания выполнен смешанным методом строительной механики с использованием способа Жемочкина на нагрузку от центрально приложенного колеса машины. При этом учитывается собственный вес каждой плиты. Смежные плиты соединяются цилиндрическими шарнирами в двух точках.

Статический расчет численно реализуется при помощи компьютерной программы «Mathematica» и в результате приводятся: поперечные силы в соединительных шарнирах, усилия в связях Жемочкина и осадки центров плит.

Актуальность проблемы. Преимущества и недостатки цементно-бетонных дорожных покрытий. Вопросы расчета шарнирно-соединенных конструкций (балок и плит) на упругом основании до настоящего времени не исследован в полной мере. Авторам известны работы Б.Г. Коренева [1], Р.В. Серебряного [2], И.А. Симвулиди [3], Г.Я. Попова[4], А.Г. Юрьева [5], в которых различными методами проведены теоретические исследования по расчету шарнирно-соединенных балок и плит на упругом основании.

В настоящее время в дорожном строительстве используются две технологии: 1) с использованием традиционных асфальтобетонных покрытий, в которых связующее вещество – битум; 2) использующие цементно-бетонные покрытия, в которых применяется так называемый дорожный бетон. Эти технологии предполагают устройство дорог сплошным образом в монолитном исполнении

(магистральные дороги – автобаны, распределительные дороги общего значения).

Если говорить *об очевидных преимуществах*, то у дорог из цементобетона колея значительно меньше, так как бетон по своей структуре тверже (прочнее) асфальта. Именно поэтому он не подвержен деформациям при воздействии нагрузок и повышенных температур, что препятствует образованию колеи. В темное время суток на такой дороге лучше видимость, ведь сам материал обладает лучшим светоотражающим эффектом.

Если говорить *о недостатках*, то цементобетонные дороги несколько более шумные, так как более пористый и пластичный асфальтобетон лучше поглощает шумы. Исследования показывают, что уровень шума при движении по бетонной дороге составляет от 2 до 4 децибелов. Для сравнения: разговор между людьми проходит со звуком в 60–70 децибелов.

Большая доля дорожного строительства (до 18 %) в Республике Беларусь приходится на проектирование и строительство *автодорог местного значения, лесных временных дорог*. Такие дороги проектируют, как правило, как *дороги со сборно-разборным дорожным покрытием* (СРДП), состоящие из гибких элементов (ж/б плит, деревянных щитов, металлических элементов), шарнирно-соединенных между собой.

В дорожном строительстве в качестве сборно-разборных элементов дорожных покрытий *через водные преграды* широко используются плавучие опоры (понтонеры), которые могут моделироваться как шарнирно-соединенные жесткие плиты. Статический расчет таких плит (понтонеров) на упругом основании Винклера был рассмотрен ранее авторами в работе [6]. В работе [7] приводится модель трехслойного упругого основания для расчета изолированной дорожной или аэродромной плиты.

В работе [8] одним из авторов был предложен общий подход для расчета шарнирно соединенных прямоугольных гибких плит на слоистом основании, который использован в данной работе для расчета шарнирно соединенных прямоугольных серийных плит типа ПАГ на искусственном основании. Эта методика базируется на смешанном методе строительной механики [9] и способе Жемочкина [10], которые позволяют с единых позиций рассчитывать шарнирно – соединенные плиты любой формы и жесткости на различ-

ных моделях упругого основания на произвольную вертикальную нагрузку.

Численная реализация предлагаемого подхода выполнена на семи шарнирно-соединенных прямоугольных гибких плитах на трехслойном основании.

Теория расчета, постановка задачи и алгоритм расчета. В статическом расчете рассматривается система из N_p шарнирно-соединенных в двух точках прямоугольных плит конечной жесткости на комбинированном (трехслойном) упругом основании под действием внешней нагрузки (рисунок 1). Крайние плиты считаются шарнирно опертыми с одной стороны на неподвижное основание.

Каждая плита разбивается на одинаковые прямоугольные участки и в центре каждого участка ставится вертикальная связь, через которую осуществляется контакт плиты с упругим основанием. Считается, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка. Полученную статически неопределимую систему решаем смешанным методом строительной механики [9], приняв за неизвестные усилия в введенных связях, линейные и угловые перемещения защемлений в центре каждой плиты и поперечные силы в соединительных шарнирах. На рис.2 приводится фрагмент основной системы для трех слева крайних плит.

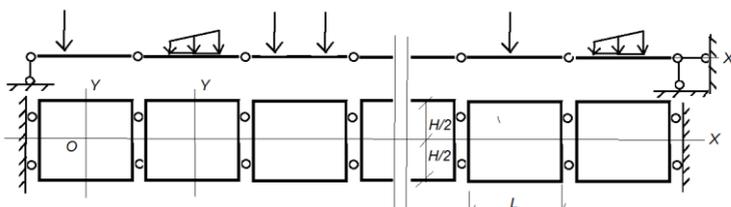


Рис. 1. Заданная система шарнирно-соединенных прямоугольных плит дорожного покрытия

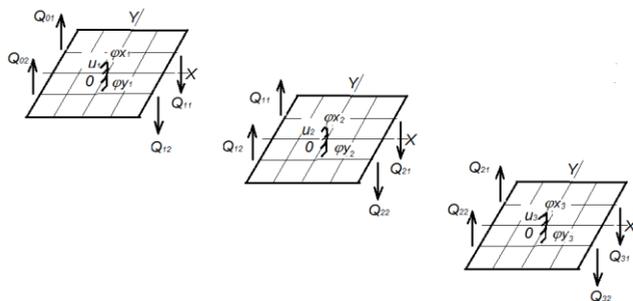


Рис.2. Левый фрагмент основной системы

Если обозначить число плит через Np , то общее число неизвестных усилий в связях Жемочкина, линейных и угловых перемещений введенных защемлений на плитах и поперечных сил в шарнирах для расчета этой системы плит выразится формулой

$$Np(m + 3) + 2Np + 2. \quad (1)$$

Результаты расчета. Расчеты выполнялись для системы из 7 шарнирно-соединенных дорожных железобетонных плит типа ПАГ размерами 4м x 3м x 0,18м из тяжелого бетона $C^{20/25}$ на комбинированном (трехслойном) основании со следующими характеристиками основания (рисунок 3):

$$E_2 = 25 \text{ МПа}; \nu_2 = 0.2; h_2 = 0.25 \text{ м};$$

$$E_1 = 15 \text{ МПа}; \nu_1 = 0.25; h_1 = 0.5 \text{ м};$$

$$E_0 = 12 \text{ МПа}; \nu_0 = 0.35.$$

Вторая, четвертая и шестая плита нагружены симметричной нагрузкой $R = 67,5 \text{ кН}$. Собственный вес каждой плиты - 54 кН. Принята разбивка каждой плиты на 6x5 равных прямоугольных участков.

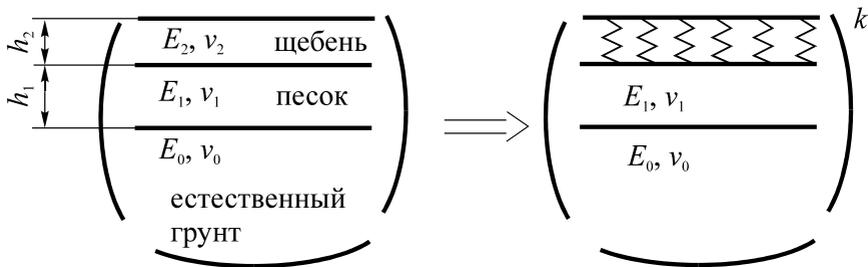


Рис.3. Модель трехслойного основания

На рисунках 4, 5 приведены результаты расчета шарнирно-соединенных гибких плит дорожного покрытия: распределение поперечных сил в соединительных шарнирах, осадки центров плиты, усилия в связях Жемочкина

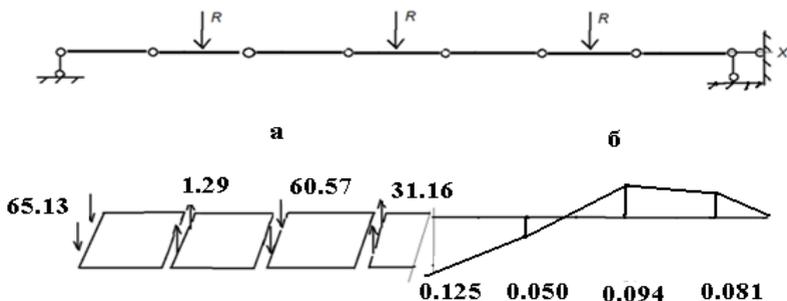


Рис.4. Результаты статического расчета шарнирно-соединенных гибких плит дорожного покрытия:

- а - распределение поперечных сил в соединительных шарнирах (кН);
- б - осадки центров плиты (мм).

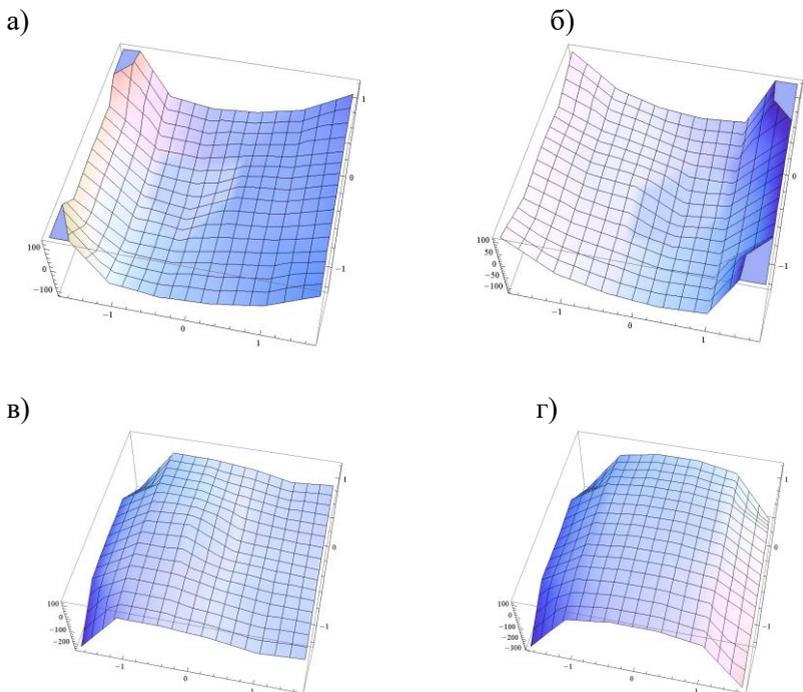


Рисунок 5 – Результаты статического расчета шарнирно-соединенных гибких плит дорожного покрытия: усилия в связях Жемочкина (кН)
 а) в первой слева плите; б) во второй слева плите; в) в третьей слева плите; г) в центральной плите.

Выводы. В работе получила развитие несложная универсальная методика статического расчета системы шарнирно соединенных прямоугольных плит дорожного покрытия типа ПАГ на комбинированном (трехслойном) упругом основании. Методика основана на методе Жемочкина и может быть обобщена на любое число сборных железобетонных плит дорожных покрытий и различные модели упругого основания.

Литература

1. Корнев Б.Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании. М., Стройиздат, 1954.

2. Попов Г.Я. О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве. Изв. Вузov, Строительство и архитектура, 3,1959. С.25-33.
3. Симвулиди И.А. Составные балки на упругом основании. М., Высшая школа, 1961. 204с.
4. Серебряный Р.В. Расчет тонких шарнирно-соединенных плит на упругом основании. М., Стройиздат, 1962.64с.
5. Юрьев А.Г. Балки и плиты с конструктивными и пластическими шарнирами на податливом основании.
6. Босаков С.В. Расчет шарнирно-соединенных прямоугольных жестких плит на основании Винклера / С.В. Босаков, С.И. Зиневич, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №3 (278) – 2018. – с. 8-10
7. Босаков С.В. Об одной модели упругого основания и ее использовании для расчета прямоугольной плиты на упругом основании/ С.В. Босаков, С.И. Зиневич, О.В. Козунова/ НТЖ: Строительная механика и расчет сооружений. М. – №4 (279) – 2018. – с. 2-5.
8. Козунова, О. В. Использование модели трехслойного основания в расчетах шарнирно-соединенных дорожных плит / О. В. Козунова // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – № 1. – С. 49–52: ил. – Библ.: с. 52
9. Ржаницын А.Р. Строительная механика. М, Высшая школа, 1991.439с.
10. Жемочкин Б.Н., Сеницын А.П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М., Стройиздат, 1962. 239с.