

и в рассмотренном примере в момент начала качения в 2 раза превышает соответствующее значение, вычисленное без учета указанной асимметрии. Кроме того, увеличение действующего момента приводит к уменьшению ширины зоны сцепления.

Список литературы

- 1 Вильке, В. Г. Стационарный режим качения колеса с вязкоупругой периферией / В. Г. Вильке, В. А. Сеницын // Механика твердого тела. – 1997. – № 3. – С. 39–46.
- 2 Взаимодействие в системе «пневматическое колесо – рельс» транспортного средства на комбинированном ходу / В. А. Довгяло [и др.] // Трение и износ. – 2008. – Т. 29, № 6. – С. 604–612.
- 3 Попов, В. Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения / В. Л. Попов. – М. : Физматлит, 2012. – 348 с.

УДК 624.072

НЕЛИНЕЙНЫЙ РАСЧЕТ СОСТАВНЫХ ПЛИТ ДОРОЖНОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВАНИИ ВИНКЛЕРА

О. В. КОЗУНОВА, В. А. ДУДОРГА

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

Строительство дорог с применением цементобетона используется уже более 50 лет и актуально для стран с различными климатическими условиями. Очевидным преимуществом цементобетонных покрытий является меньшее образование колеи, так как структура бетона значительно тверже (прочнее) асфальта. Именно поэтому он в меньшей мере подвержен деформациям от нагрузок, что препятствует образованию колеи. Из недостатков можно выделить повышенный уровень шума, так как асфальтобетон более пористый и пластичный, а следовательно, лучше поглощает шумы.

Расчет составных плит дорожного покрытия на основании Винклера не раскрыт в полной мере. Работы Б. Г. Коренева [1], Г. Я. Попова [2], Р. В. Серебряного [3] знакомят нас с возможными подходами по расчету шарнирно-соединенных плит на упругом основании.

Данная работа предлагает общий подход для расчета шарнирно соединенных плит на основании Винклера, который основан на смешанном методе строительной механики [4] и способе Б. Н. Жемочкина [5], позволяющий рассчитывать составные плиты или балки любой формы на разных моделях упругого основания.

Рассмотрим систему шарнирно-соединенных плит на основании Винклера под действием внешней статической нагрузки, представленной в работе [4] (рисунок 1). Крайние плиты будем считать шарнирно-опертыми с одной стороны на неподвижное основание.

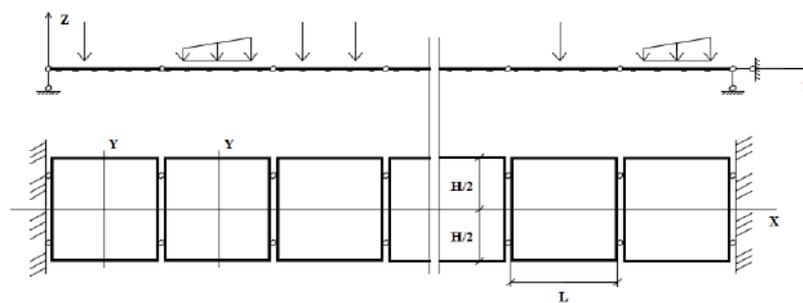


Рисунок 1 – Система шарнирно-соединенных плит

Плиту дорожного покрытия разобьем на равные прямоугольные части с размерами $\Delta x \times \Delta y$, далее в центре каждого участка поставим вертикальную связь, через которую будет осуществляться контакт плиты с основанием. Будем считать, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру давлений в пределах участка. Полученную статически неопределимую систему решаем смешанным методом строительной механики [4].

Канонические уравнения смешанного метода при решении поставленной задачи для средней плиты с номером i запишем в виде формулы (1), представленной в работе [5].

Дальнейшие численные расчеты сопоставимые для данной работы, которые были получены ранее С. В. Босаковым, С. И. Зиневичем, О. В. Козуновой [6] позволяют получить несложную методику расчета составных плит дорожного покрытия на основании Винклера. Методика расчета основана на методе Б. Н. Жемочкина и может быть использована для любого количества плит и для различных моделей упругого основания.

После определения усилий в связях Б. Н. Жемочкина, определяются величины изгибающих моментов методами строительной механики [4]. По вычисленным значениям моментов определяется касательная жесткость для каждого участка Жемочкина на плитах по формуле «момент – кривизна», предложенной ранее в работе [7].

Исходя из расчетов автора [8] следует, что физическая нелинейность материала плиты учитывается путем аппроксимации зависимости «момент – кривизна» в железобетонной плите функцией гиперболический тангенс и дальнейшим использованием переменной жесткости в итерационном алгоритме нелинейного расчета с последующим анализом его сходимости. Поэтому

$$B_i^{(1)} = \frac{B_0}{\text{Cosh}^2\left(\frac{B_0}{M \lim} \chi_i^{(0)}\right)}, \quad (2)$$

где B_0 – начальная изгибная жесткость участка Жемочкина с номером i по упругому расчету (нулевая интерация); $M \lim$ – предельный момент, воспринимаемый сечением плиты; в работе определялся по программе Бета; $\chi_i^{(0)}$ – кривизна на участке Жемочкина с номером i , определяемая после упругого расчета по формуле конечных разностей,

$$\chi_i^{(0)} = \frac{y_{i+1}^{(0)} - 2y_i^{(0)} + y_{i-1}^{(0)}}{c^2}, \quad (3)$$

где $y_i^{(0)}$ – вертикальное перемещение в центре участка Жемочкина с номером i по упругому расчету; определяется по известным усилиям в связях Жемочкина:

$$y_i^{(0)} = \frac{X_i^{(0)}}{k} \text{ – для упругого основания Винклера.} \quad (4)$$

Численные результаты расчетов, полученные в работе [9], подтверждают факт о том, что при расчете железобетонных плит с учетом физической нелинейности прогибы плиты растут, а усилия в ней уменьшаются.

Предложенная в работе универсальная методика расчета составных плит дорожного покрытия на основании Винклера с учетом физической нелинейности материала плит основана на смешанном методе строительной механики с использованием метода Жемочкина, где функции влияния позволяют принимать различные модели упругого основания при его моделировании.

Список литературы

- 1 **Корнев, Б. Г.** Вопросы расчета балок и плит на упругом основании / Б. Г. Корнев. – М. : Госстройиздат, 1954. – 231 с.
- 2 **Попов, Г. Я.** О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве / Г. Я. Попов // Известия вузов. Строительство и архитектура, 1959. – № 3. – С. 25–33.
- 3 **Серебряный, Р. В.** Расчет тонких шарнирно-соединенных плит на упругом основании / Р. В. Серебряный. – М., Стройиздат, 1962. – 64 с.
- 4 **Ржаницын, А. Р.** Строительная механика / А. Р. Ржаницын. – М. : Высш. шк., 1991. – 439 с.
- 5 **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.
- 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, 2018. – № 3 (278). – С. 8–10.
- 7 **Козунова, О. В.** Применение МКР в нелинейных расчетах балок на однородном упругом слое / О. В. Козунова ; Ресурсоэкономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди : междунар. сб. науч. статей. – Ровно, 2008. – Вып. 17. – С. 373–381.
- 8 **Козунова, О. В.** Учет физической нелинейности шарнирно-соединенных железобетонных балок на упругом основании Винклера / О. В. Козунова // Механика. Исследования и инновации. – 2019. – № 12 (315). – С. 134–139.
- 9 **Босаков, С. В.** Развитие теории расчета шарнирно-соединенных балок на упругом основании с учетом их физической нелинейности / С. В. Босаков, О. В. Козунова // Проблемы современного бетона и железобетона : сб. науч. тр. ; редкол.: О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 11–24.