

с тем, что чем интенсивнее силовое (или кинематическое) возмущение, приложенное к массоинерционному элементу, тем больше реакция на противоположном. Это показано изменением частот динамического гашения в зависимости от b .

Выводы. Динамическое состояние механических колебательных систем может оцениваться не только при действии одиночных возмущений, но и при совместном действии нескольких возмущений. Автором предлагается совместное действие внешних возмущений оценивать при помощи коэффициента связности. Амплитудно-частотные характеристики традиционного вида и реакций связей имеют различия. Физический смысл связан с детализацией представлений о динамических жесткостях системы, представляющими собой структурные образования из нескольких элементов различного типа и могут принимать различные значения (отрицательные, нулевые и положительные). Влияние связности внешних воздействий на динамическое состояние можно рассматривать как решение задач изменения коэффициента связности, что может достигаться через конструктивно-технические решения.

Список литературы

- 1 **Пановко, Я. Г.** Введение в теорию механических колебаний / Я. Г. Пановко. – М. : Наука, 1991. – 255 с.
- 2 **Тимошенко, С. П.** Теория колебаний в инженерном деле / С. П. Тимошенко, Д. Х. Янг, У. Уивер ; пер. с англ. Л. Г. Корнейчука ; под ред. Э. И. Григолюка. – М. : Машиностроение, 1985. – 472 с.
- 3 **Цзе, Ф. С.** Механические колебания / Ф. С. Цзе, И. Е. Морзе, Р. Т. Хинкл ; под ред. чл.-кор. АН СССР И. Ф. Образцова. – М. : Машиностроение, 1966. – 508 с.
- 4 **Кашуба, В. Б.** Динамические реакции в соединениях элементов механических колебательных систем / В. Б. Кашуба, С. В. Елисеев, Р. С. Большаков. – Новосибирск : Наука, 2016. – 331 с.
- 5 **Большаков, Р. С.** Система внешних воздействий. Возможные формы связности колебаний механических систем при действии нескольких внешних факторов / Р. С. Большаков // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – № 8. – С. 5.
- 6 **Большаков, Р. С.** Реакция связи как параметр динамического состояния механической колебательной системы / Р. С. Большаков // Нелинейная динамика машин. School-NDM 2017 : сборник IV Международной Школы-конференции молодых ученых. – 2017. – С. 179–188.

УДК 624.13

ИССЛЕДОВАНИЕ НДС ИЗОЛИРОВАННОЙ ПЛИТЫ НА ТРЕХСЛОЙНОМ ОСНОВАНИИ

С. В. БОСАКОВ

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

О. В. КОЗУНОВА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Введение. Для расчета конструкций на упругом основании созданы различные модели основания [1–4], которые с разной степенью точности применимы к реальным основаниям в зависимости от диапазона изменения их свойств. Например, модель Винклера применяется для расчетов понтонов водных переправ, фундаментов на песчаных грунтах. Модели упругого основания в виде упругого слоя или полупространства рекомендованы существующими нормативными документами [5] для расчета фундаментных балок и плит.

В работе используется модель трехслойного основания, предложенная авторами ранее [6], для расчета дорожных плит и аэродромных покрытий. Верхний слой является основанием Винклера и расположен на двухслойном основании Когана [4]. Расчет изолированной плиты на этой модели упругого основания выполнен способом Жемочкина на центрально приложенную нагрузку с учетом собственного веса плиты. При определении коэффициентов канонических уравнений способа Жемочкина прогибы плиты с заземленной нормалью от действия единичной силы определяются по формуле, ранее полученной одним из авторов [1]. Приводятся графические результаты расчета для осадок прямоугольной плиты и распределения контактных напряжений под плитой.

Постановка задачи и алгоритм расчета. Рассмотрим прямоугольную плиту размерами $2a \times 2b$ и цилиндрической жесткостью D , лежащую на трехслойном основании под действием внешней нагрузки (рисунок 1). Требуется определить осадки плиты и распределение контактных

напряжений под плитой. Принимаем, что в контактной зоне отсутствуют касательные напряжения и для плиты справедливы гипотезы технической теории изгиба [2].

Расчет плиты будем выполнять способом Жемочкина [7]. Разобьем плиту на одинаковые прямоугольные участки размерами Δx и Δy и в центре каждого участка поставим связь, через которую осуществляется контакт плиты с упругим основанием. Предположим, что усилие в связи вызывает равномерное распределение контактных напряжений при определении перемещений центра участка изолированной плиты.

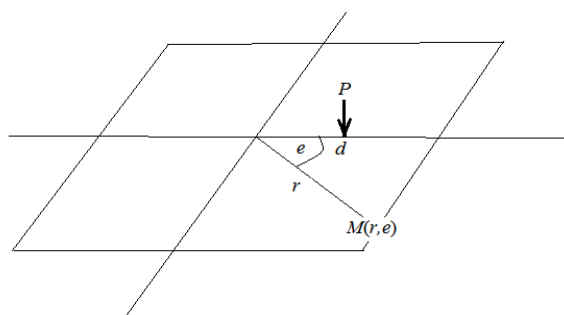


Рисунок 1 – Расчетная схема плиты

Полученную многократно статически неопределимую систему будем решать смешанным методом строительной механики [8], приняв за неизвестные усилия в контактных связях и два угловых и линейное перемещения введенного защемления в центре плиты.

Канонические уравнения смешанного метода для решения поставленной задачи имеют вид

$$\begin{cases} \delta_{1,1} X_1 + \dots + \delta_{1,m} X_m - \varphi x_1 y_1 - \varphi y_1 x_1 + u_1 + \Delta_{1,p} = 0; \\ \dots \\ \delta_{m,1} X_1 + \dots + \delta_{m,m} X_m - \varphi x_1 y_m - \varphi y_1 x_m + u_1 + \Delta_{m,p} = 0; \\ \sum_{k=1}^m X_k y_k - M_x = 0; \\ \sum_{k=1}^m X_k x_k - M_y = 0; \\ -\sum_{k=1}^m X_k - R = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где m – число участков Жемочкина на плите; $u_1, \varphi x_1, \varphi y_1$ – неизвестные линейное и угловые перемещения введенного защемления в центре плиты; R, M_x, M_y – равнодействующая внешних сил и моменты равнодействующей относительно координатных осей на плите; X_k – усилие в связи Жемочкина с номером k .

Коэффициенты при неизвестных зависят от перемещений основания и прогибов плиты с защемленной нормалью от действия единичной силы. Перемещения упругого основания и прогибы плиты с защемленной нормалью в полярных координатах определяются по формулам [1].

Расчеты выполнялись для дорожной железобетонной плиты 4 Ч 3 Ч 0,18 м из тяжелого бетона $C^{20/25}$ на трехслойном основании со следующими характеристиками:

$$E_2 = 25 \text{ МПа}; \nu_2 = 0,2; h_2 = 0,25 \text{ м}; E_1 = 15 \text{ МПа}; \nu_1 = 0,25; h_1 = 0,5 \text{ м}; E_0 = 12 \text{ МПа}; \nu_0 = 0,35.$$

Внешняя нагрузка от колеса $Q = 65 \text{ кН}$ распределена по площади $0,4 \times 0,4 \text{ м}$ и приложена в центре плиты. Получено распределение контактных напряжений и осадок плиты.

Выводы. Предложена модель трехслойного упругого основания, пригодная для использования при расчете аэродромных и дорожных плит, плит и шпал строительных кранов и железнодорожных путей. Изложена последовательность расчета прямоугольной плиты на трехслойном основании на статическую нагрузку, основанная на способе Жемочкина. Приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) изолированной плиты при ее статическом расчете для перемещений и контактных напряжений.

Список литературы

- 1 Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
- 2 Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 639 с.

3 **Ворович, И. И.** Неклассические смешанные задачи теории упругости / И. И. Ворович, В. М. Александров, В. А. Бабешко. – М. : Наука, 1974. – 456 с.

4 **Коган, Б. И.** Напряжения и деформации многослойных покрытий / Б. И. Коган // Тр. ХАДИ, 1953. – Вып. 14. – С. 33–46.

5 СНиП 2.02.01–83. – М. : Госстройиздат, 1985. – 40 с.

6 **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». – № 4. – М., 2018.

7 **Жемочкин, Б. Н.** Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Синицын. – М. : Стройиздат, 1962. – 239 с.

8 **Ржаницын, А. Р.** Строительная механика / А. Р. Ржаницын. – М. : Высш. шк., 1991. – 439 с.

9 **Абрамовиц, М.** Справочник по специальным функциям / М. Абрамовиц, И. Стиган. – М. : Наука, 1979. – 832 с.

10 **Александров, А. В.** Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 400 с.

УДК 539.3

РАСЧЕТ СБОРНОЙ ДОРОЖНОЙ ПЛИТЫ ТРЕУГОЛЬНОГО ОЧЕРТАНИЯ

С. В. БОСАКОВ, П. Д. СКАЧЁК

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

При проектировании дорожного полотна применяются в основном плиты прямоугольного в плане очертания, расчет которых, а в частности определение напряженно-деформированного состояния изучен достаточно полно. В участках сопряжения или разветвления нескольких дорожных полотен возникают треугольные в плане конструкции дорожных плит, и расчет их ведется с учетом принятой модели основания. Существует множество моделей оснований. В данной статье рассматривается линейно-упругое основание в форме бесконечного упругого изотропного полупространства. Данная модель характеризуется принципом суперпозиции действия сил и пропорциональностью нагрузки и возникающих в основании перемещений. Задача расчета плит на упругом основании состоит в определении не только контактных напряжений, но и НДС самой плиты. По этой причине на конечный результат влияет также и принятая функция прогибов данной плиты, удовлетворяющая граничным условиям.

В данной статье рассматривается расчет треугольной дорожной плиты способом профессора Б. Н. Жемочкина [1, 2]. Суть его заключается в следующем. Треугольная плита (рисунки 1) разбивается на прямоугольные и треугольные участки (участки Жемочкина).

В центре тяжести каждого участка ставятся вертикальные жесткие связи, посредством которых осуществляется контакт плиты с основанием. Предполагается, что усилие x_1, x_2, \dots, x_n в каждой связи вызывает равномерное распределение реактивных давлений в пределах каждого участка. К тому же, в центре тяжести самой плиты вводится условное защемление, препятствующее вертикальному перемещению u_0 и поворотам относительно координатных осей $\varphi_{0x}, \varphi_{0y}$.

В результате получаем статически неопределимую систему, решаемую смешанным методом строительной механики. Поэтому составляется система канонических уравнений:

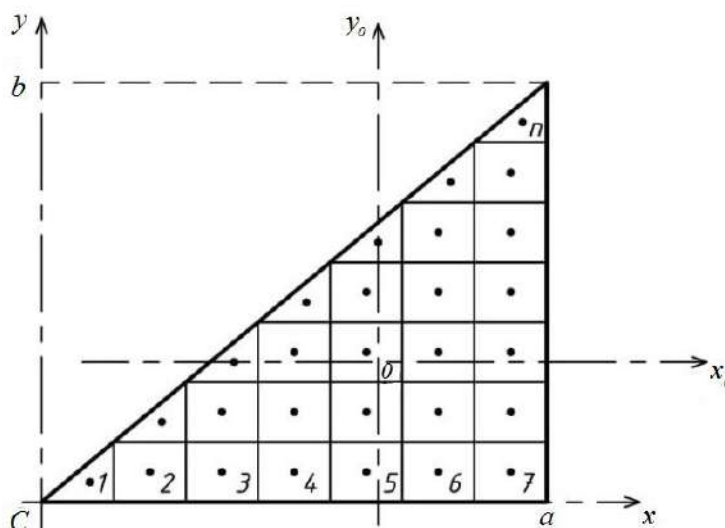


Рисунок 1 – Треугольная плита с участками Б. Н. Жемочкина