

УДК 624.073.2

О. В. КОЗУНОВА

*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь***СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДОРОЖНОЙ ПЛИТЫ  
НА СЛОИСТОМ ОСНОВАНИИ**

Рассматривается изолированная дорожная плита на трехслойном линейно-упругом слоистом основании. Верхний слой является основанием Винклера и расположен на двухслойном основании Когана. Выполнен расчет плиты под действием нагрузки от колеса машины при различных его положениях с учетом собственного веса плиты. Для определения коэффициентов канонических уравнений и свободных членов использован смешанный метод строительной механики, реализованный способом Жемочкина. При расчете использованы соотношения прогибов для защемленной в центре плиты нормали. Приводятся графические результаты расчета осадок прямоугольной плиты и распределения контактных напряжений под ней.

**Ключевые слова:** дорожная плита, слоистое основание, смешанный метод строительной механики, способ Жемочкина, контактные напряжения под плитой.

**Введение.** Для расчета конструкций на упругом основании созданы различные модели [1–3], которые применимы в определенных диапазонах изменения свойств реальных оснований. Например, первая модель такого основания – модель Винклера, применяется для анализа понтонов водных переправ, фундаментов на песчаных и слабых грунтах. Для расчета фундаментных балок и дорожных плит действующими нормативными документами рекомендованы модели упругого основания в виде упругих слоев или полупространства. Ниже на конкретных примерах, связанных с анализом прочности дорожного покрытия, раскрывается использование модели трехслойного упругого основания, предложенной в работе [4], и применимой для широкого класса инженерных задач.

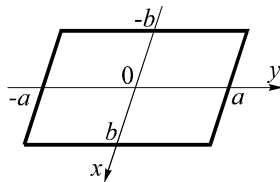


Рисунок 1 – Модель дорожной плиты

**Постановка задачи.** Рассмотрим прямоугольную плиту размерами  $2a \times 2b$  и цилиндрической жесткостью  $D$  (рисунок 1), опирающуюся на трехслойное слоистое основание, под действием внешней нагрузки. Требуется определить осадки плиты и распределение контактных напряжений под ней. Принимаем, что в контактной зоне отсутствуют касательные напряжения и для плиты справедливы гипотезы технической теории изгиба [5].

Конструкцию грунтового неоднородного (слоистого) основания принимаем в виде поверхностного слоя щебня, расположенного на слое песка, который, в свою очередь, находится на естественном грунтовом полупространстве.

стве (рисунок 2). Модель слоистого основания представим в виде основания Винклера (слой щебня), расположенного на двухслойном основании Когана (песок + естественный грунт) [6].

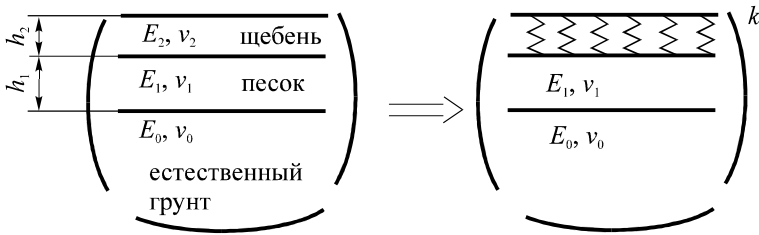


Рисунок 2 – Модель слоистого основания

**Алгоритм расчета.** Расчет железобетонной дорожной плиты будем выполнять способом Жемочкина [7]. Разобьем плиту на одинаковые прямоугольные участки размерами  $\Delta x \times \Delta y$  и в центре каждого участка разместим связь, через которую осуществляется контакт плиты с упругим основанием. Считается, что сила в связи вызывает равномерное распределение контактных напряжений при определении перемещений центра участка.

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

Канонические уравнения смешанного метода для решения поставленной задачи имеют следующий вид:

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

где  $m$  – число участков Жемочкина на плите;  $u_1$ ,  $\varphi_{x_1}$ ,  $\varphi_{y_1}$  – неизвестные линейное и угловые перемещения введенного защемления на плите;  $R$ ,  $M_x$ ,

$M_y$  – равнодействующая внешних сил и моменты равнодействующей относительно координатных осей, расположенных в плоскости плиты;  $X_k$  – сила в связи Жемочкина с номером  $k$ .

Коэффициенты при неизвестных зависят от перемещений основания и прогибов плиты с защемленной нормалью под действием единичной силы. Перемещения поверхности трехслойного основания определяются по формулам [4], прогибы плиты с защемленной нормалью в полярных координатах – по формуле [3] (рисунок 3).

$$W(r, \theta) = \frac{Pb^2}{16\pi D} \left( \frac{d^2 - 2dr \cos \theta + r^2}{b^2} \ln \frac{d^2 - 2dr \cos \theta + r^2}{b^2} + \frac{2dr \cos \theta}{b^2} \left( \ln \frac{d^2 r^2}{b^4} - 1 \right) - \frac{d^2}{b^2} \ln \frac{d^2}{b^2} - \frac{r^2}{b^2} \ln \frac{r^2}{b^2} \right), \quad (2)$$

где  $d$  – расстояние, определяющее положение точки приложения силы.

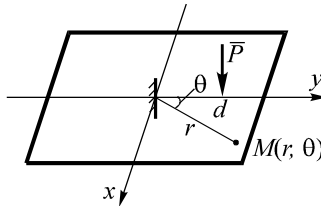


Рисунок 3 – Плита с защемленной нормалью в полярных координатах

Свободные члены системы канонических уравнений (1) также определялись по выражению (2). Коэффициент постели основания Винклера [1] рассчитывается по формуле

$$k = \frac{E_2(1-\nu_2)}{(1+\nu_2)(1-2\nu_2)h_2}, \quad (3)$$

которая справедлива при  $h_2 < \frac{b}{2}$ .

**Результаты расчета.** Расчеты выполнялись для дорожной железобетонной плиты  $4 \times 3 \times 0,18$  м из тяжелого бетона  $C^{20/25}$  на трехслойном основании с характеристиками:  $E_2 = 25$  МПа,  $\nu_2 = 0,2$ ,  $h_2 = 0,25$  м;  $E_1 = 15$  МПа,  $\nu_1 = 0,25$ ,  $h_1 = 0,5$  м;  $E_0 = 12$  МПа,  $\nu_0 = 0,35$ . Внешняя нагрузка от колеса  $Q = 65$  кН распределена по площади  $0,4 \times 0,4$  м. Коэффициент постели, вычисленный по формуле (3), равен  $k = 111$  МПа/м.

На рисунках 4–7 приведены изолинии равных контактных напряжений, усилий в связях Жемочкина и осадок слоистого основания для случаев, при которых нагрузка от колеса приложена в разных точках плиты.

При расположении колеса в центре плиты наибольшие контактные напряжения и осадки также наблюдаются в центре плиты, как это показано на рисунках 4 и 5, б. Наибольшие силы в связях Жемочкина имеют место не только в центре, но и у краев плиты (см. рисунок 5, а).

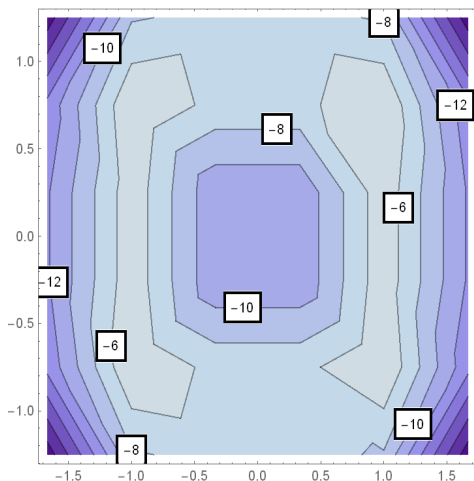


Рисунок 4 – Контактные напряжения, кПа при размещении колеса в центре плиты

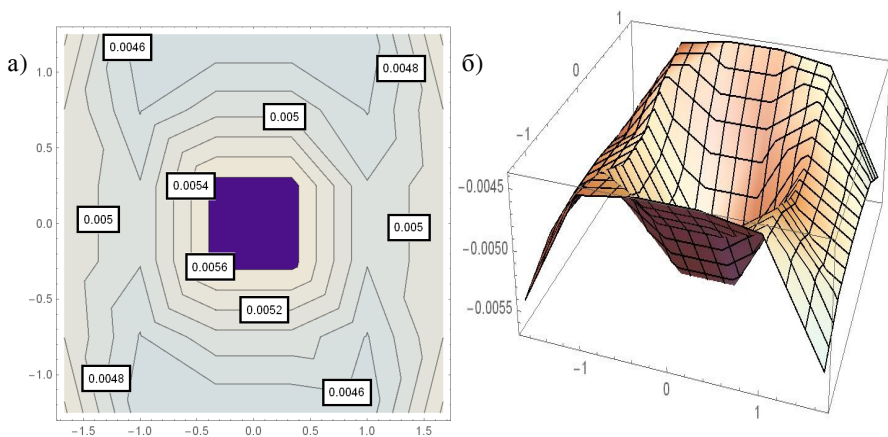


Рисунок 5 – Осадки слоистого основания в м (а) и силы в связях Жемочкина в кН (б) при размещении колеса в центре плиты

На рисунках 6 и 7 приведены силы в связях Жемочкина и изолинии равных осадок для двух вариантов размещения колеса на краю плиты. Используя формулы численного дифференцирования [5], по осадкам можно определить усилия в плите.

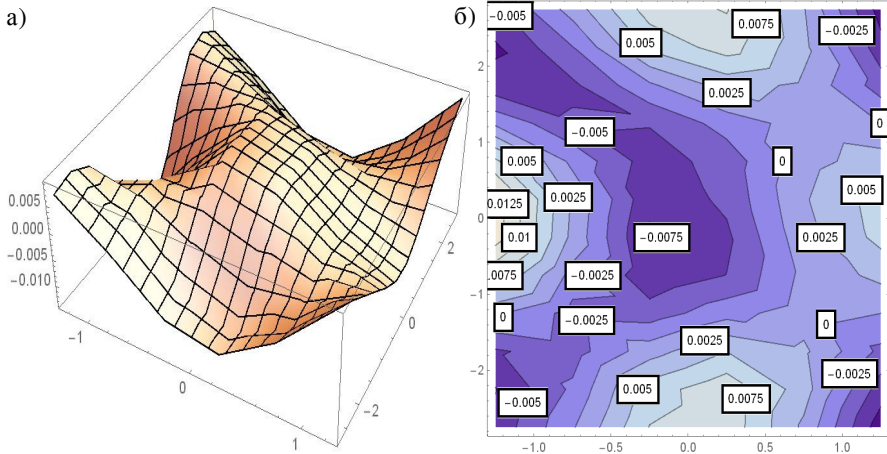


Рисунок 6 – Силы в связях Жемочкина в кН (а) и осадки слоистого основания в м (б) при размещении колеса на левом краю плиты (на оси  $y$ )

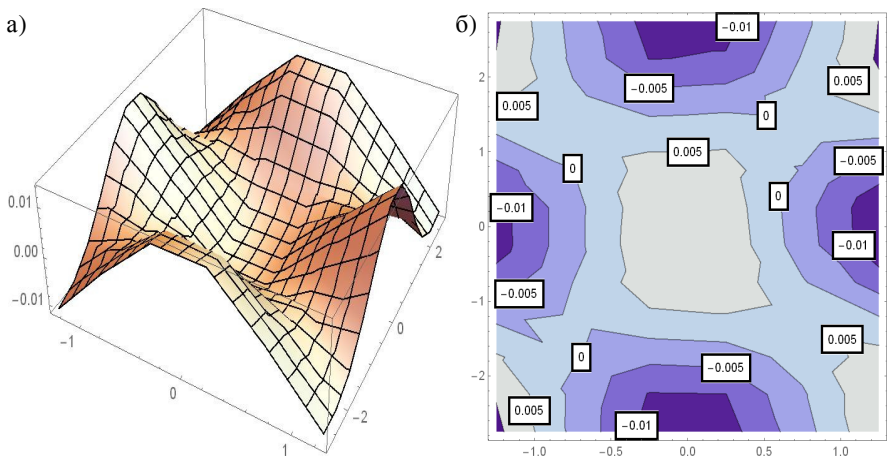


Рисунок 7 – Силы в связях Жемочкина в кН (а) и осадки слоистого основания в м (б) для расположения колеса в левом нижнем углу плиты

**Заключение.** В работе изложены постановка задачи, алгоритм и результаты статического расчета дорожной плиты на упругом неоднородном (слоистом) основании с использованием смешанного метода строительной механики, основанного на способе Жемочкина. Приведены результаты расчета дорожной плиты: сил в связях Жемочкина, осадок слоистого основания и контактных напряжений, – при различных положениях автомобильного колеса.

При моделировании слоистое основание было рассмотрено как трехслойное упругое основание, модель которого предложена ранее автором [4] и может быть пригодна для использования при расчете аэродромных и дорожных плит, плит и шпал строительных кранов и железнодорожных путей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Горбунов-Посадов, М. И.** Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – М. : Стройиздат, 1984. – 639 с.
- 2 **Ворович, И. И.** Неклассические смешанные задачи теории упругости / И. И. Ворович, В. М. Александров, В. А. Бабешко. – М. : Наука, 1974.– 456 с.
- 3 **Босаков, С. В.** Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
- 4 **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 / Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 4 (279). – С. 2–5.
- 5 **Александров, А. В.** Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 400 с.
- 6 **Коган, Б. И.** Напряжения и деформации многослойных покрытий / Б. И. Коган // Тр. ХАДИ. – 1953. – Вып. 14. – С. 33–46.
- 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.

*O. V. KOZUNOVA*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

#### STATIC CALCULATION OF ROAD PLATE ON A LAYERED BASE

The single road plate on linear-elastic layered base is considered. The upper layer is the Winkler base and it is located on a two-layer Kogan base. There was carried out the calculation of the plate under the action of the load from the car wheel at its different positions with regard to plate's own weight. To determine the coefficients of the canonical equations and the free terms there was applied the mixed method of structural mechanics realized by the Zhemochkin method. The deflection ratios for the normal plate clamped in the center are used in the calculation. The graphical calculation results for the rectangular plate sediment and the contact stresses distribution under the plate are presented.

Получено 21.10.2018