

2 Рециклинг и утилизация тары и упаковки / А. С. Клинков [и др.]. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010. – 112 с.

3 Ярцев, В. П. Битумные композиты : учеб. пособие для студентов / В. П. Ярцев, А. В. Ерофеев. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2014. – 80 с.

4 Кисина, А. М. Полимербитумные кровельные и гидроизоляционные материалы / А. М. Кисина, В. И. Куценко. – М. : Стройиздат. – 1996. – 134 с.

5 Михайлов, К. В. Полимербетоны и конструкции на их основе / К. В. Михайлов, В. В. Патуроев, Р. Крайс. – М. : Стройиздат, 1989. – 304 с.

УДК 624.13

## **К ВОПРОСУ О СТАТИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ СЕТЧАТЫХ ПЛИТ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ МЕТОДОМ Б. Н. ЖЕМОЧКИНА**

*О. В. КОЗУНОВА*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Актуальность и своевременность предлагаемой работы в том, что вопросы расчета сетчатых плит и системы перекрестных лент на упругом основании до настоящего времени не исследованы в полной мере. Автор предметно и достаточно обстоятельно знаком с научными работами таких известных ученых, как М. И. Горбунов-Посадов [1], И. А. Симвулиди [2], Г. Я. Попов [3], С. Д. Семенов [4], С. Н. Клепиков [5], которые различными подходами проводили исследования по расчету сетчатых плит и пространственных монолитных фундаментов как системы перекрестных фундаментных лент на упругом основании.

**Обзор литературы.** Известно, что в результате научно-технического прогресса совершенствовались и уточнялись методы статического расчета указанных выше конструкций [1, 4–8]. Это можно проследить на различных моделях упругого основания, которыми математически заменялись реальные грунты в естественном залегании или в искусственном основании при постановке геотехнических задач.

Разнообразие практических задач приводит к неоднозначному моделированию упругого основания. Особую трудность представляет собой выбор расчетной модели упругого основания для разных видов грунтов. Довольно полный обзор моделей упругого основания для расчета фундаментных балок, балочных плит и фундаментных плит сплошного сечения приводится в работах [4, 9, 10]. В монографии С. Д. Семенова в ходе статического расчета перекрестных лент фундаментов мелкого заложения систематизируются и классифицируются модели упругого основания [4] с дальнейшими практическими приложениями. Комбинация модели упругого полупространства и модели Винклера весьма успешно подходит для расчета конструкций на неоднородных основаниях, имеющих слоистую структуру. Такие основания встречаются при устройстве фундаментов на искусственной песчаной подушке и моделируются комбинированными моделями [8, 11].

С механической точки зрения расчет конструкций на упругом основании есть решение контактной задачи соприкасающихся тел [12]. Данные задачи сводятся к решению интегральных уравнений, решение которых зависит от ядра интегрального уравнения и формы соприкасающихся тел [13]. При простых формах контактирующих тел основная трудность состоит в определении ядра интегрального уравнения, которое еще называют функцией Грина контактирующих тел [8].

В инженерной практике нецелесообразно решать каждую контактную задачу через интегральные уравнения в связи с трудоемкими математическими вычислениями. Поэтому на практике успешно используют метод Б. Н. Жемочкина [14], который сводит контактную задачу к задаче строительной механики.

Ниже предлагается общий подход для расчета сетчатых плит на статическую нагрузку на линейно-деформируемом основании, основанный на методе Б. Н. Жемочкина и позволяющий с единых позиций рассчитывать сетчатые плиты или систему перекрестных фундаментных лент любой формы и жесткости на различных моделях упругого основания на произвольную вертикальную нагрузку.

Численная реализация предлагаемого подхода выполнена на примере симметрично нагруженной равномерно распределенной нагрузкой прямоугольной фундаментной плиты с отверстиями на упругом полупространстве и упругом слое в сравнении.

**Постановка задачи.** Рассматривается прямоугольная фундаментная плита как сетчатая плита на упругом основании размерами  $L \times B$  постоянной толщины  $h$  с прямоугольными отверстиями (размерами  $a$  и  $b$ ) под действием вертикальной нагрузки.

Принимаются следующие гипотезы и допущения:

- для сетчатой плиты справедливы гипотезы изгиба тонкой плиты;
- связи между плитой и упругим основанием могут работать на сжатие и растяжение;
- в зоне контакта плиты и основания не учитываются касательные напряжения;
- длина  $a$ , ширина  $b$  отверстий в плите и ее толщина  $h$  соответствуют соотношению

$2 < \left( \frac{a}{h}, \frac{b}{h} \right) < 6$ . Такие соотношения обычно встречаются в практике возведения фундаментов мелкого заложения в виде монолитной железобетонной плиты с отверстиями, то есть сетчатой плиты.

В предлагаемой работе ставится задача определения контактных напряжений под подошвой сетчатой плиты, ее осадок и внутренних усилий в плите от вертикальной нагрузки.

**Решение задачи.** Поставленная задача решается методом Б. Н. Жемочкина. Разобьем плиту на одинаковые прямоугольные участки и в центре каждого участка поставим связь, через которую осуществляется контакт плиты с упругим основанием. Надо отметить, что ленту по ширине необходимо разбивать не менее чем на два участка, чтобы учесть влияние крутящих моментов. Будем считать, что усилие в связи вызывает равномерную эпюру контактных напряжений в пределах каждого участка.

Для определения прогибов сетчатой плиты с защемленной в центре плиты нормалью был принят метод Ритца, где за базисные функции принимались первые пять частных решений Клебша [8], удовлетворяющие граничным условиям по перемещениям в защемлении. Поэтому функция прогибов при определении энергии деформаций принималась в следующем виде:

$$W(x, y) = A_0 \left( \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) + A_1 \left( \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} \right) + A_2 \frac{xy}{ab} + A_3 \frac{x}{a} \left( \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right) + A_4 \frac{y}{b} \left( \frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} \right), \quad (1)$$

где  $A_0, A_1, A_2, A_3, A_4$  – неизвестные коэффициенты, определяемые по методу Ритца [8] из условия минимума потенциальной энергии плиты с защемленной нормалью и действующей на нее сосредоточенной силы.

Далее составлялась и решалась система линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), коэффициенты при неизвестных в которой определялись через соотношения Жемочкина в зависимости от модели упругого основания. По найденным усилиям в связях Жемочкина определялись осадки сетчатой плиты, моменты и поперечные силы в ее сечениях, в зоне контакта плиты с упругим основанием – реактивные давления или контактные напряжения.

#### Список литературы

- 1 Горбунов-Посадов, М. И. Расчет конструкций на упругом основании / М. И. Горбунов-Посадов, Т. А. Маликова, В. И. Соломин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1984. – 680 с.
- 2 Симвулиди, И. А. Расчет инженерных конструкций на упругом основании / И. А. Симвулиди. – М. : Высш. шк., 1987. – 576 с.
- 3 Попов, Г. Я. О расчете неограниченной шарнирно-разрезной балочной плиты, лежащей на упругом полупространстве / Г. Я. Попов // Известия вузов : Строительство и архитектура. – № 3. – 1959. – С. 25–33.
- 4 Семенюк, С. Д. Железобетонные пространственные фундаменты жилых и гражданских зданий на неравномерно деформируемом основании / С. Д. Семенюк. – Могилев : БРУ, 2003. – 269 с.
- 5 Клепиков, С. Н. Расчет конструкций на упругом основании / С. Н. Клепиков. – Киев : Будівельник, 1967. – 184 с.
- 6 Развитие теории контактных задач в СССР / Академия наук СССР, Ин-т проблем механики / отв. ред. Л. А. Галин. – М. : Наука, 1976. – 496 с.
- 7 Корнев, Б. Г. Вопросы расчета балок и плит на упругом основании / Б. Г. Корнев. – М. : Госстройиздат, 1954. – 231 с.
- 8 Босаков, С. В. Статические расчеты плит на упругом основании / С. В. Босаков. – Минск : БНТУ, 2002. – 128 с.
- 9 Тарасевич, А. Н. Изгиб самонапряженных плит на упругом основании : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 / А. Н. Тарасевич. – Брест, 2001. – 125 л.
- 10 Козунова, О. В. Статический анализ системы «балочная плита – нелинейно-упругое неоднородное основание» вариационно-разностным методом : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.17 / О. В. Козунова. – Минск, 2017. – 168 с.
- 11 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.

- 12 Александров, А. В. Основы теории упругости и пластичности : учеб. для строит. спец. вузов / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – 2-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 2002. – 400 с.
- 13 Дифференциальные и интегральные уравнения, вариационное исчисление в примерах и задачах / А. Б. Васильева [и др.]. – М. : Физматлит, 2003. – 432 с.
- 14 Жемочкин, Б. Н. Практические методы расчетов фундаментных балок и плит на упругом основании / Б. Н. Жемочкин, А. П. Сеницын. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Госстройиздат, 1962. – 240 с.
- 15 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. / Ин-т БелНИИС; редкол. : О. Н. Лешкевич [и др.]. – Минск, 2019. – Вып. 11. – С. 11–24.

УДК 685.731.2

## **ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ДОРОГ, СОПУТСТВУЮЩИХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

*В. Н. КРАВЦОВ*

*Научно-исследовательское республиканское унитарное предприятие по строительству, г. Минск,  
Республика Беларусь*

*С. М. ЭГБАЛНИК*

*Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.», г. Минск,  
Республика Беларусь*

**Актуальность.** Согласно существующей схеме дорожного районирования Республики Беларусь она относится ко II дорожно-климатической зоне с тремя климатическими районами и наличием мест (территорий) со сложными грунтовыми условиями, характерной особенностью которых являются повышенные влажность, деформативность и пониженная прочность грунтов в верхней зоне ( $E \leq 7$  МПа), используемых в качестве основания дорог (далее – «вмещающая среда» и объектов их инфраструктуры (сопутствующих зданий и сооружений). Доля неблагоприятных в строительном отношении земель составляет до 20 % от всей территории Республики Беларусь. В таких районах подземные воды залегают, как правило, на глубине 1–3 м от поверхности, а амплитуда их сезонных колебаний составляет 0,5–1 м, что значительно увеличивает трудоёмкость, сроки и стоимость возведения дорог и сопутствующих сооружений (далее – «объект») в рассматриваемых условиях. Оттаивание промёрзших обводнённых грунтов оснований и конструктивных элементов объекта в осенне-весенние периоды приводит к их разупрочнению и, как следствие, к снижению их надёжности и безопасности. Практика показывает, что конструкции объектов на грунтах пониженной прочности требуют дополнительной подготовки (усиления) как вмещающей среды, так и полотна дороги для повышения их устойчивости, стабильности и прочности. По действующим нормам эти конструкции относятся к объектам индивидуального проектирования, для которых необходимо проведение значительно большего объёма инженерно-геологических изысканий, лабораторных испытаний грунтов и последующих затрат на их предварительную подготовку (упрочнение) по сравнению с объёмами аналогичных работ и средств, при возведении дорог, сопутствующих зданий и сооружений на участках вне этих зон. Сроки строительства таких объектов, в связи с большей продолжительностью стабилизации земляного полотна на основании из грунтов с пониженной прочностью, также превышают нормативные для типовых (обычных) условий.

**Результаты работы.** Отмеченные усложняющие факторы строительства на неблагоприятных территориях особенно остро проявляются в последнее время, когда динамические нагрузки от транспорта и их интенсивность существенно возросли в связи с увеличением объёмов перевозок. Это обусловлено тем, что Республика Беларусь занимает выгодное геополитическое положение, являясь связующим звеном между Европой и Азией. Через её территорию проходят два трансъевропейских коридора (Север – Юг, Восток – Запад с ответвлением IXB). От состояния уровня экологической, транспортной безопасности и надёжности (долговечности) дорожной сети, её инфраструктуры и сроков эксплуатации между ремонтами дороги, напрямую зависят валовый национальный продукт, размер цен, доходы государственного бюджета, степень занятости населения, приток инвестиций и другие экономические показатели страны.

Данные вопросы постоянно находятся на контроле правительства, местных органов власти и лично Главы государства. Значительное удорожание работ, низкие темпы строительства, ремонта дорог, межремонтные сроки их эксплуатации в сложных инженерно-геологических и климатиче-