

ками и пневмопробойниками TERRA-RAMMEN TR. Тросовая лебедка устанавливается на опорах специальной рамы непосредственно над стартовым колодцем. Секции труб соединяются с расширителем для протяжки в приемном колодце. Для этого используются специальные направляющие штанги, равные длине каждой секции, и упорная пластина для фиксации труб. Чтобы распределить натяжение троса лебедки под нагрузкой и без нагрузки, в передней части втулки имеется пружинный механизм, имеющий несколько пружин. При нагрузке (рабочий ход) пружины сжаты, при отсутствии нагрузки пружины обеспечивают необходимое натяжение троса лебедки. Тросовая лебедка установлена над стартовой ямой.

### **Реконструкция трубопроводных систем с нанесением покрытий на внутреннюю полость трубопровода.**

Бестраншейные технологии реконструкции трубопроводов предусматривают нанесение на внутренние стенки старого трубопровода различных покрытий:

1) нанесение цементно-песчаных покрытий (ЦПП) на внутреннюю поверхность восстанавливаемого трубопровода методом напыления (методы ZM (Германия), Taite (Австралия, Великобритания), Preload (США));

2) распыление специальных составов, быстро твердеющих на воздухе и устойчивых к агрессивным веществам (метод «Трайтон» (США) и др.);

3) нанесение обмотки (бесконечной профильной ленты) на внутреннюю поверхность старого трубопровода (метод Panel Lok (Австралия) и др.);

4) нанесение точечных (локальных) покрытий. При этом используются жидкие и полужидкие растворы, которые затвердевают после нанесения на поврежденные поверхности; волокнистые материалы, пропитанные смолой; профилированные резиновые уплотнители; гибкие рукава в трубчатых вкладышах.

Независимо от выбора метода бестраншейной реконструкции трубопроводов выделяют ряд преимуществ: экономия материалов и трудовых ресурсов, снижение экономических затрат за счет сокращения рабочего времени и уменьшения объемов земляных работ. Бестраншейные технологии реконструкции трубопроводов реализуются с минимальным оборудованием и экологически безопасны.

### **Список литературы**

- 1 Линертег [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://linertec.com/technologies/sanivar>. – Дата доступа : 18.09.2022.
- 2 DIRINGER & SCHEIDEL ROHRSANIERUNG [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.dusrohr.de/berstlining>. – Дата доступа : 18.09.2022.
- 3 **Белякова, Е. В.** Современные бестраншейные технологии / Е. В. Белякова, К. А. Головин [Электронный ресурс] // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2009. – № 3. – Режим доступа : [cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-bestransheynye-tehnologii](http://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-bestransheynye-tehnologii). – Дата доступа : 04.12.2016.
- 4 **Орлов, В. А.** Технологии местного бестраншейного ремонта водоотводящих трубопроводов / В. А. Орлов, Е. В. Орлов, П. В. Зверев // Вестник МГСУ. – 2013. – № 7. – С. 86–95.

УДК 624.072

## **РАСЧЕТ ОРТОТРОПНЫХ ПЛИТ В РЕГУЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ**

*К. А. СИРОШ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Объектом работы является ортотропная плита регулярной системы плит, опирающейся на упругое основание. Регулярная система в силу симметрии разбита на соединенные между собой базовые фрагменты – плиты. Плита прямоугольная, с линейными размерами  $l_x \times l_y$  и толщиной  $h$ . Внешняя нагрузка  $F$  прикладывается в центре плиты и действует перпендикулярно плоскости осей системы плиты. Основание представляет собой ограниченный по толщине упругий слой, жестко соединенный с несжимаемым основанием (рисунок 1).

Расчет плиты регулярной системы, лежащей на упругом основании, реализуется итерационным алгоритмом вариационно-разностного метода (ВРМ). Этот метод является численно-аналитическим методом расчета изолированных строительных конструкций, а также методом расчета бесконечных регулярных систем конструкций. Суть метода заключается в замене дифференциальных уравнений конечно-разностными аппроксимациями по правилам метода конечных разностей.

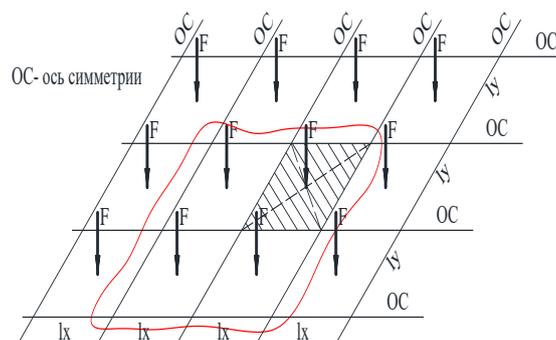


Рисунок 1 – Ортотропная плита в регулярной системе под действием нагрузки

В ходе расчета определяются осадки, распределение контактных напряжений под плитой, изгибающие моменты. Считаем, что в контактной зоне отсутствуют касательные напряжения.

Согласно вариационному принципу Лагранжа [1] при нагружении конструкции статической нагрузкой ее полная потенциальная энергия принимает минимальное значение в состоянии равновесия (справедливо при условии, что плита опирается на упругое основание).

Величина полной потенциальной энергии плиты  $\Omega$  представляет собой сумму энергии деформации конструкции  $\Omega$ , энергии деформации упругого основания  $U$  и работы внешней нагрузки  $\Pi$ .

Энергия деформации конструкции приравнивается к энергии изгиба конструкции (при условии, что сдвиговые деформации  $\sigma_z$ ,  $\tau_{yz}$  и  $\tau_{xz}$  не учитываются). Лехницкий учитывает кручение ортотропной плиты через потенциальную энергию деформаций плиты [2]:

$$\Omega = V = \frac{1}{2} \iint \left[ D_x \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 + 2D_x \nu_y \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D_y \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right)^2 + 4D_k \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] dx dy, \quad (1)$$

где  $D_x$ ,  $D_y$  – цилиндрические жесткости изгиба ортотропной плиты относительно осей  $Y$  и  $X$  соответственно, которые совпадают с главными осями инерции;  $D_k$  – жесткость кручения пластинки.

Цилиндрические жесткости изгиба ортотропной плиты определяются для главных направлений упругости плит и имеют вид [2]:

$$D_x = \frac{E_x h^3}{12(1 - \nu_x \nu_y)}, \quad D_y = \frac{E_y h^3}{12(1 - \nu_x \nu_y)}, \quad (2)$$

где  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $\nu_x$ ,  $\nu_y$  – главные модули упругости и коэффициенты Пуассона материала плиты.

В расчетах учитывается жесткость кручения ортотропной плиты из монографии С. П. Тимошенко [3]

$$D_k = \frac{\nu_x + \nu_y}{2} \sqrt{D_x D_y}, \quad (3)$$

где  $D_x$ ,  $D_y$  определяются по формуле (2).

В расчетах ортотропных плит регулярной системы применимы гипотезы условия:

– для расчетной области упругого основания справедливы гипотезы и допущения теории упругости [1];

– в контактной зоне плиты и основания образуются сжимающие и растягивающие напряжения, отсутствуют силы трения;

– распределение нормальных реактивных давлений по ширине плиты постоянно [4];

– для ортотропной плиты действуют гипотезы и допущения плоского изгиба плиты [5].

Изгибающие и крутящий моменты ортотропной плиты определяются из следующих соотношений [6]

$$\begin{aligned}
 M_x &= -D_x \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right), \\
 M_y &= -D_y \left( \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \nu_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right), \\
 M_k &= -2D_k \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y}.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

При определении энергии деформации упругого основания на основании закона сохранения энергии ее заменяют работой реактивных давлений в контактной зоне конструкции [2]. Если пренебрегать реактивными касательными усилиями в контактной зоне, то энергия деформации упругого основания для плиты определяется [7]:

$$U = \frac{1}{2} \iint_S p(x, y) w(x, y) dx dy,
 \tag{5}$$

где  $p(x, y)$  – реактивные давления в контактной зоне конструкции.

Работа внешней нагрузки  $q(x, y)$  для прямоугольной плиты [7]

$$\Pi = -\iint_S q(x, y) w(x, y) dx dy.
 \tag{6}$$

Построен и реализован алгоритм упругого расчета, составлена программа с использованием компьютерного пакета МАТНЕМАТИСА, проведена апробация.

#### Список литературы

- 1 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.
- 2 Лехницкий, С. Г. Анизотропные пластинки / С. Г. Лехницкий. – М. : Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1957. – 387 с.
- 3 Тимошенко, С. П. Пластины и оболочки / С. П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М. : Фитматгиз, 1963. – 536 с.
- 4 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.
- 5 Кончковский, З. Плиты. Статические расчеты / З. Кончковский ; пер. с пол. М. В. Предтеченского ; под. ред. А. И. Цейтлина. – М. : Стройиздат, 1984. – 480 с.
- 6 Козунова, О. В. Совершенствование методики расчета гибких ортотропных плит на упругом основании. Ч. 1. Теория расчета / О. В. Козунова // Наука и техника. – 2022. – № 21(3). – С. 211–221.
- 7 Босаков, С. В. Метод Ритца в контактных задачах теории упругости : [монография] / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. – 107 с.

УДК 624.012.45

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ РАСКРЫТИЯ ТРЕЩИН ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*В. В. ТАЛЕЦКИЙ, А. В. ЧЕРНЯК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Цель работы – сравнить результаты расчета на раскрытие трещин изгибаемого железобетонного элемента по СНБ 5.03.01–2002 [1] и СП 5.03.01–2020 [2].

К расчету принят первый пролет трехпролётной неразрезной балки, как наиболее нагруженный. Величина расчетного пролета 9 м, размеры поперечного сечения балки  $b \times h = 0,4 \times 0,9$  м. Балка выполнена из бетона класса С16/20, принятая арматура класса S400. По результатам расчета на прочность балка в середине пролета в растянутой зоне армирована 4 стержнями Ø36 мм в два ряда: расстояние от крайних растянутых волокон бетона до центра тяжести арматуры  $c = 98,5$  мм, рабочая высота сечения  $d = 0,8015$  м.