

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. – 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.

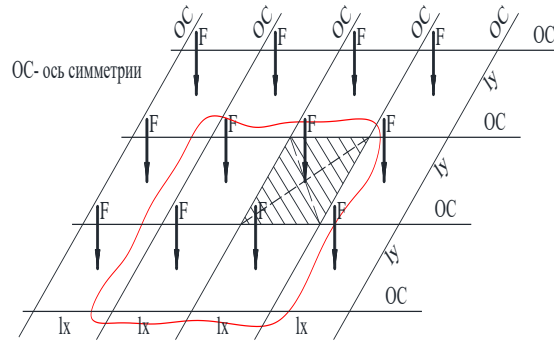


Рисунок 1 – Ортотропная плита в регулярной системе под действием нагрузки

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 Ω представляет собой сумму энергии деформации конструкции Ω , энергии деформации упругого основания U и работы внешней нагрузки Π .

Энергия деформации конструкции приравнивается к энергии изгиба конструкции (при условии, что сдвиговые деформации σ_z , τ_{yz} и τ_{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 , ν_x , ν_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.