

возможность для размещения новых предприятий и создания новых рабочих мест (например, торговые павильоны). Это способствует развитию экономики города и улучшению социальной сферы.

Наконец, грамотное зонирование в ходе реновации заводской территории в парковую повышает привлекательность города. Создание зеленых пространств и комфортных условий для жизни и отдыха делает город более посещаемым. Это может повысить престиж города, привлечь новых жителей и инвесторов, а также способствовать его развитию.

К основным проблемам в ходе реновации заводской территории в парковую можно отнести следующие:

1 **Время и сложность процесса:** реновация заводской территории в парковую зону может занять продолжительное время и требует комплексного подхода, включая согласование с различными организациями и государственными структурами. В этом случае во избежание больших затрат по времени и высокой сложности процесса подходят пункты 1, 2 из классификации способов зонирования (минимальное разрушение здания завода).

2 **Потеря рабочих мест:** реновация заводской территории может привести к закрытию предприятий и потере рабочих мест. В этом случае, исключая потерю рабочих мест, в большей степени подходит пункт 1 из классификации способов зонирования, а пункты 2, 3 – при возможности более крупных финансовых затрат (наличие рабочих мест в досугово-развлекательной, культурно-массовой, административной сфере).

3 **Необходимость сохранения исторической ценности объекта.** В этом случае в большей степени подходит пункт 1 из классификации (максимальное сохранение здания завода).

4 **Неизбежные проблемы повышенной сложности,** которые требуют наибольших затрат – проблемы с инфраструктурой (инвестиции в развитие инфраструктуры, такой как дороги, электроснабжение и водоснабжение) и необходимость очистки загрязненных почв, воды, материалов (проведение демонтажа и утилизации опасных материалов). Это обязательные затраты в ходе реновации, сэкономить которые можно, выбрав пункт 3 из классификации, организовав максимальное пространство озеленения после подготовки территории.

В целом классификация приемов зонирования на начальном этапе реновации заводской территории в парковую является эффективным способом по установлению благоприятной среды для окружающих с учетом недостатков и проблем, связанных с инфраструктурой, финансовыми вложениями, сложностью реновационного процесса и др. Реновация изолированных производственных зон, создание единых парковых пространств, развитие общественных функций – все это способствует установлению здорового микроклимата в городах.

#### Список литературы

1 **Котенко, И. А.** Реновация бывших промышленных территорий / И. А. Котенко, В. А. Токарева // Градостроительство и архитектура [Электронный ресурс] . – 2015. – Т. 5. – № 3. – С. 47–52. – DOI : 10.17673/Vestnik.2015.03.6. – Режим доступа : <https://clek.ru/35f9iq>. – Дата доступа : 10.09.2023.

2 **Малков, И. Г.** Предпосылки, целесообразность и особенности перепрофилирования зданий / И. Г. Малков, И. В. Руденкова // Вестник Полоцкого государственного университета. Сер. F, Строительство. Прикладные науки [Электронный ресурс]. – 2021. – № 16. – С. 86–93. – Режим доступа : <https://journals.psu.by/constructions/article/view/1162>. – Дата доступа : 10.09.2023.

УДК 624.072

## РАСЧЕТ УЗЛОВ СОПРЯЖЕНИЯ И ИХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВАРИАЦИОННО-РАЗНОСТНЫМ МЕТОДОМ

*К. А. СИРОШ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Объектом работы является несущий элемент узла сопряжения элементов пространственного каркаса здания – закладная деталь, имеющая вид металлической прямоугольной пластинки, размерами  $l \times h$  с постоянной толщиной. Пластика находится под действием некоторых сосредоточенных сил  $R$  в условиях плоского напряженного состояния.

В расчетах закладной пластины принимаем, что она лежит на нелинейно-упругом слое под действием произвольной внешней нагрузки.

Способом расчета в данной работе является вариационно-разностный метод (ВРМ). Вариационно-разностный метод основан на методе Ритца – Тимошенко и вариационном принципе Лагранжа – Дирихле с последующей заменой дифференциальных уравнений конечно-разностными аппроксимациями. Метод заключается в приведении задачи минимизации функционала полной потенциальной энергии элемента исследуемой системы «конструкция – основание» с параметрами расчетной области к задаче минимизации функции многих переменных [1]. Согласно вариационному принципу Лагранжа – Дирихле при нагружении исследуемого элемента статической нагрузкой его полная потенциальная энергия в состоянии равновесия имеет наименьшее значение.

Вариационно-разностный метод (ВРМ) позволяет описать напряженно-деформированное состояние (НДС) закладной металлической детали узла сопряжения с учетом нелинейности материалов в контактной зоне.

Закладная пластинка разбивается сеткой конечных размеров с постоянным шагом в осях на ячейки метода конечных разностей.

Для каждой отдельной ячейки расчетной области определяется энергия деформации в центре ячейки [2, 3] (рисунок 1).

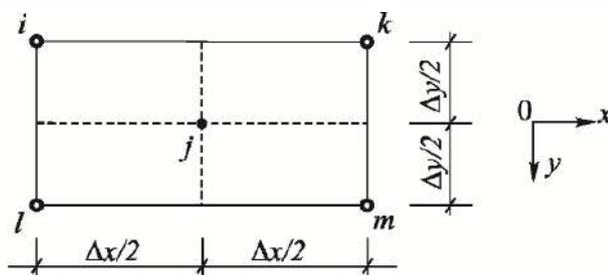


Рисунок 1 – Прямоугольная ячейка метода конечных разностей

$$\Delta \mathcal{E}_j = \left[ \frac{E_j^{(m)}}{1-\mu_0^2} \left[ \varepsilon_x^{j^2} + \varepsilon_y^{j^2} + 2\mu_0 \varepsilon_x^j \varepsilon_y^j \right] + \frac{E_j^{(m)}}{4(1+\mu)} \gamma_{xy}^{j^2} \right] \Delta x \Delta y =$$

$$= \left[ \frac{E_j^{(m)}}{1-\mu_0^2} \left[ \left( \frac{1}{2\Delta x} u_k + u_m - u_i - u_l \right)^2 + \left( \frac{1}{2\Delta y} v_k + v_i - v_l - v_m \right)^2 \right] + 2\mu_0 \cdot \frac{1}{2\Delta x} u_k + u_m - u_i - u_l \cdot \frac{1}{2\Delta y} v_k + v_i - v_l - v_m \right] \Delta x \Delta y.$$

$$+ \frac{E_j^{(m)}}{4(1+\mu_0)} \left( \frac{1}{2\Delta y} (u_i + u_k - u_l - u_m) \right) \left( \frac{1}{2\Delta x} (v_k + v_m - v_l - v_i) \right)^2 \quad (1)$$

Полная энергия пластинки и действующей на нее нагрузки в общем виде

$$\mathcal{E} = \sum_{n=1} \Delta \mathcal{E}_j - R(u_s + u_t), \quad (2)$$

где  $n$  – количество ячеек разбивочной области.

Далее формула (2) дифференцируется по узловым перемещениям, после формируется система линейных алгебраических уравнений.

Расчет осуществляется итерационным алгоритмом вариационно-разностного метода (ВРМ) при постоянном коэффициенте Пуассона [4]. При вычислениях используем касательный модуль, так как на каждой итерации модуль деформации в  $i$ -й точке основания меняется.

Касательный модуль для ячейки с номером « $j$ »

$$E_j^{(1)} = \frac{E_0}{\text{ch}^2 \left( \frac{E_0}{\sigma_u} \varepsilon_j^{(0)} \right)}. \quad (3)$$

Нулевая итерация – есть решение задачи в линейной постановке. Для решения поставленной задачи во втором и последующих приближениях необходимо в центре каждой ячейки вычислить напряжения.

В общем виде выражение интенсивности деформаций:

$$\varepsilon_j^{(m-1)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_x^{(m-1)} - \varepsilon_y^{(m-1)})^2 + \varepsilon_y^{(m-1)^2} - \varepsilon_x^{(m-1)^2} + \frac{3}{2} \gamma_{xy}^{(m-1)^2}}. \quad (4)$$

Таким образом, нелинейный расчет закладной детали узла сопряжения предполагает итерационный процесс, который заканчивается, как только разница между последующим и предыдущим приближением исследуемой функции будет соответствовать требуемой точности решения.

В рассматриваемой работе автором предложено вариационно-разностным методом реализовывать решение задачи о расчете закладной пластины узла сопряжения. Построен алгоритм расчета и апробирован в проприетарной системе компьютерной алгебры МАТНЕМАТИСА. Приведены дифференциальные соотношения полной потенциальной энергии несущего элемента узла сопряжения (закладной пластинки).

#### Список литературы

- 1 **Козунова, О. В.** Нелинейный расчет фундаментных плит на слоистых основаниях, ослабленных биогенными включениями / О. В. Козунова // Вестник гражданского инженеров. – 2009. – № 2 (19). – С. 100–104.
- 2 **Козунова, О. В.** Вариационно-разностное исследование НДС пластины как закладной детали опорного узла в нелинейной постановке / О. В. Козунова, А. А. Васильев, К. А. Сирош // Механика. Исследования и инновации. – Гомель : БелГУТ, 2017. – Вып. 10. – С. 171–176.
- 3 **Рындин, Н. И.** Краткий курс теории упругости и пластичности / Н. И. Рындин. – Л. : Изд-во Ленинград. университета, 1974. – 174 с.
- 4 **Александров, А. В.** Основы теории упругости и пластичности / А. В. Александров, В. Д. Потапов. – М. : Высш. шк., 1990. – 398 с.
- 5 **Фихтенгольц, Г. М.** Основы математического анализа : учеб. в 2 т. Т. 1 / Г. М. Фихтенгольц. – СПб. : Лань, 2001. – 448 с.
- 6 **Дураев, А. Е.** Расчет методом конечных разностей прямоугольных плит, лежащих на грунтовом основании, модуль деформации которого изменяется с глубиной / А. Е. Дураев // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1971. – № 4. – С. 32–34.
- 7 **Босаков, С. В.** Метод Ритца в контактных задачах теории упругости : [монография] / С. В. Босаков. – Брест : БрГТУ, 2006. – 107 с.

УДК 699.86

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЗАЛИВОЧНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

*А. Г. ТАШКИНОВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Широкое применение в современном строительстве находят пенопласты, обладающие низкими значениями плотности, тепло- и звукопроводности. Высокой прочностью и химической стойкостью, теплостойкостью, хорошими диэлектрическими свойствами и адгезией ко многим материалам, низкой водо- и паропроницаемостью характеризуются эпоксидные пенопласты (пеноэпоксиды). Высокой технологичностью обладают заливочные композиции, которые могут приготавливаться непосредственно на строительной площадке путем смешения эпоксидных диановых смол ЭД-20 и ЭД-16 с полиэтилгидросилоксаном (газообразователем) и алифатическим полиамином (отвердителем). От содержания газообразователя и отвердителя зависит объем выделяющегося газа и скорость отверждения пеномассы, а следовательно, и свойства получаемых пеноэпоксидов. Высокие физико-механические показатели пенопластов с мелкопористой равномерной структурой получаются при большой скорости гелеобразования. Быстрая фиксация ячеистой структуры приводит к тому, что относительно толстые и прочные полимерные перегородки в процессе вспенивания препятствуют раскрытию ячеек. Изменяя расход газообразователя в пределах от 5 до 25 % и отвердителя от 15 до 20 % от массы эпоксидной смолы (ЭД-20), удалось получить пенопласты равномерной структуры со средней плотностью 100–250 кг/м<sup>3</sup> и прочностью при сжатии 0,4–5,3 МПа [1].

Для оценки тепловых свойств эпоксидных пенопластов исследовались: формостабильность, теплостойкость и термостойкость при температурах до 100 °С [2].