

Для определения предельного равновесия зоны предразрушения в кольцевом диске используется критерий критического раскрытия берегов зоны предразрушения. Полагаем, что разрыв межчастичных связей материала на берегах зоны предразрушения (при $x_1 = x_0$) произойдет, когда

$$\sqrt{\left[u_1^+(x_0, 0) - u_1^-(x_0, 0) \right]^2 + \left[v_1^+(x_0, 0) - v_1^-(x_0, 0) \right]^2} = \delta_c.$$

Используя полученное решение задачи о равновесии зоны предразрушения в кольцевом диске, находим смещения на берегах зоны предразрушения и условие, определяющее предельное значение тепловой нагрузки, при которой произойдет трещинообразование:

$$\frac{1 + \kappa}{2\mu} \frac{\pi \ell_1}{M} \sqrt{\left[\sum_{m=1}^{M_1} v_1(t_m) \right]^2 + \left[\sum_{m=1}^{M_1} u_1(t_m) \right]^2} = \delta_c.$$

Совместное решение построенных уравнений позволяет при заданных характеристиках кольцевого диска найти критическую величину тепловой нагрузки и размер зоны предразрушения для состояния предельного равновесия. Так как размер ℓ_1 длины зоны предразрушения заранее неизвестен, алгебраическая система нелинейна и для ее решения использовался метод последовательных приближений. Выбирая различные значения параметров можно исследовать разные случаи расположения зоны предразрушения в кольцевом диске.

Список литературы

- 1 **Мухелишвили, Н. И.** Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мухелишвили. – М. : Наука, 1966. – 707 с.
- 2 **Паркус, Г.** Неуставившиеся температурные напряжения / Г. Паркус. – М. : Физматгиз, 1963. – 252 с.

УДК 539.87,51-74,532.546

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕШЕТЧАТЫХ СТРУКТУР КАК ПОРИСТЫХ СРЕД

И. Н. КАРПОВИЧ, М. А. НИКОЛАЙЧИК

Белорусский государственный университет, г. Минск

Решетчатые структуры являются ключевыми элементами во многих областях техники, таких как системы вентиляции, очистки газов, теплообменные аппараты и химические реакторы. Их повсеместное применение обусловлено способностью такого рода структур эффективно фильтровать, смешивать, распределять потоки жидкостей и газов, а также обеспечивать интенсивный тепло- и массообмен [1, 2] (рисунок 1). Однако прямое компьютерное моделирование динамики движения газов через такие структуры с учетом каждой детали геометрии представляет собой чрезвычайно ресурсоемкую вычислительную задачу в силу необходимости разбиения расчетной области на сложную и многоэлементную сетку.



Рисунок 1 – Пример решетчатой структуры теплообменных устройств

Альтернативным и эффективным подходом является моделирование решетчатой структуры как некоторой эквивалентной пористой среды. Данный метод позволяет отказаться от трудоемкого построения детализированной сетки и значительно сократить время расчета, описывая сопротивление решетки и ее влияние на поток с помощью характеристик пористой среды, таких как коэффициенты проницаемости и инерционного сопротивления, а также пористости [2]. Таким образом, целью настоящего исследования является разработка и верификация модели пористой среды, адекватно

описывающей влияние конкретного типа решетчатой структуры на динамику потока газа. В рамках исследования определяются коэффициенты сопротивления и производится валидация предложенной модели на основе сравнения с результатами прямого CFD-моделирования рассматриваемой структуры.

Для описания динамики движения газов через решетчатые структуры в рамках модели пористой среды используется квадратичный закон Дарси [2]. Данная модель позволяет учесть как вязкое, так и инерционное сопротивление, возникающее в процессе фильтрации.

Данный закон устанавливает связь между перепадом давления в моделируемом элементе и скоростью фильтрации и записывается в следующем виде:

$$-\frac{\Delta P}{H} = \frac{\mu}{\alpha} v + C_2 \frac{1}{2} \rho v^2, \quad (1)$$

где ΔP – перепад давления; H – толщина пластинки; μ – динамическая вязкость; α – коэффициент проницаемости; ρ – плотность жидкости; v – скорость фильтрации; $C_1 = 1/\alpha$ – коэффициент вязкого сопротивления пористой среды; C_2 – коэффициент инерционного сопротивления среды.

Таким образом, задача моделирования сводится к корректному определению следующих параметров для рассматриваемой решетчатой структуры: пористости, коэффициента вязкого сопротивления, коэффициента инерционного сопротивления пористой среды.

Для определения коэффициентов была проведена серия численных экспериментов. Методом вычислительной гидродинамики была смоделирована секция решетчатой структуры (рисунок 2).

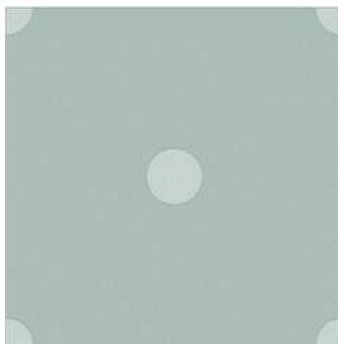


Рисунок 2 – Секция решетчатой структуры

Было рассчитано установившееся течение газа при различных значениях входной скорости. В результате для каждой скорости был получен перепад давления на решетчатой структуре (таблица 1).

Таблица 1 – Перепад давлений в решетке в зависимости от скорости потока

Скорость потока, попадающего на решетку, м/с	Перепад давлений до и после решетки, Па
1	639,7817
2	2527,303
3	5709,358
4	10176,87
5	15937,12

Можно заметить, что зависимость имеет нелинейный характер, что обусловлено значительным вкладом инерционной составляющей сопротивления [3]. Была найдена интерполяционная зависимость, описывающая перепад давления от скорости [3]:

$$\Delta P = -16v + 640v^2. \quad (2)$$

Сравнивая вид полученной зависимости (2) с законом Дарси (1), можно заметить, что они структурно соответствуют, отсюда найдем C_1 и C_2 .

На рисунках 3 и 4 показан перепад давлений и распределение скоростей в модели решетке и пористой среды согласно рисунку 2.



Рисунок 3 – Перепад давлений



Рисунок 4 – Распределение скоростей

В рамках проведенного исследования была успешно решена задача моделирования решетчатой структуры методом эквивалентной пористой среды. Данный подход позволяет существенно сократить вычислительные затраты по сравнению с прямым моделированием детальной геометрии, сохраняя при этом высокую точность описания гидродинамических процессов.

Список литературы

- 1 Wood, B. D. Modeling turbulent flows in porous media / B. D. Wood, X. He, S. V. Apte // Annual Review of Fluid Mechanics. – 2020. – 52 (1). – 171–203.
- 2 Nield, D. A. Convection in porous media / D. A. Nield, A. Bejan. – New York, NY : Springer New York, 2017. – 640 p.
- 3 De Lemos, M. J. S. Turbulence in porous media: modeling and applications / M. J. S. De Lemos. – Elsevier, 2012. – 410 p.

УДК 539.3

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ОТНОШЕНИЙ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ ОРТОТРОПНОГО МАТЕРИАЛА ВНУТРЕННЕГО ПОКРЫТИЯ ТРУБЫ ИЗ КОМПОЗИТА НА СКОРОСТЬ ВОЛНЫ ПРИ ГИДРАВЛИЧЕСКОМ УДАРЕ

С. В. КИРГИНЦЕВА, В. В. МОЖАРОВСКИЙ

Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь

Создание автоматизированных методик расчета прочности, диагностики и оптимального подбора материалов для трубопроводов на основе теоретических разработок и построения новых математических моделей является актуальной задачей. Действительно, многолетняя эксплуатация труб связана с их коррозией, утечкой, разрывами, может вызывать просадки дорог и экологические аварии и иметь социальные последствия.

В данной работе рассматривается расчет скорости волны при гидроударе, влияющей на разрушение труб при эксплуатации; решается задача компьютерной реализации расчета скорости волны при гидроударе для двухслойных труб из композитов, проведен анализ изменения отношений модулей упругости E_r / E_θ внутреннего покрытия трубы на скорость волны C .