

На рис. 2 показаны зависимости кинематических параметров звена 6 (ползуна) от угла поворота кривошипа 2 (для наглядности на графике угол φ_2 в градусах).

Л и т е р а т у р а

1. Теория механизмов и машин : учеб. пособие для вузов / М. З. Коловский [и др.]. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2008. – 558 с.
2. Кроль, Д. Г. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов : практикум по курсу «Теория механизмов и машин» для студентов машиностр. специальностей днев. и заоч. форм обучения / Д. Г. Кроль, Н. В. Иноземцева, М. И. Лискович. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2012. – 55 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ГИДРОГАЗОДИНАМИКИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Н. В. Бочаров

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Л. Л. Великович

Для минимизации рисков, связанных с производственными процессами, инженерными просчетами, и оптимизации работы оборудования в различных отраслях промышленности внедряются современные технологии компьютерного моделирования.

Большинство реальных задач слишком сложны для аналитического решения из-за сложности геометрии и условий окружающей среды. Более того, когда в этих задачах учитывается нелинейность и динамические эффекты, то их аналитическое решение практически невозможно. Это заставляет прибегать к использованию различных численных методов, дающих приближенное решение задачи.

В данной работе рассмотрен метод конечных элементов (МКЭ), его применение, а также представлен конкретный пример конечно-элементного моделирования, решенный автором.

Основная идея метода конечных элементов состоит в том, чтобы разбить начальное тело на множество небольших геометрически более простых объектов, называемых элементами.

После этого дифференциальные уравнения, описывающие тот или иной физический процесс, для каждого элемента могут быть легко установлены, а их решение может осуществляться одновременно.

Когда каждому элементу дан конечный размер, этот элемент называется конечным. Набор таких элементов называется сеткой конечных элементов (КЭ).

Конечные элементы соединены узлами, расположенными на ребрах и вершинах элементов. Значение неизвестной физической величины вычисляется в явном виде в узлах, затем эти значения используются для аппроксимации значений в неузловых точках, т. е. расположенных внутри элемента, путем интерполяции узловых значений.

Используется МКЭ в различных программных продуктах, таких, как Ansys, Abaqus, Nastran, Cosmos и др. Основные этапы решения задач с применением МКЭ могут быть представлены в виде следующей схемы [1].

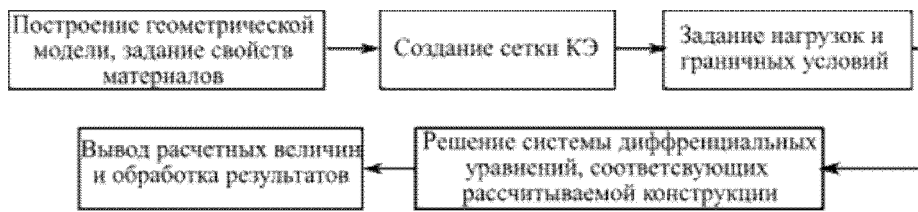


Рис. 1. Общая схема решения задач с применением метода конечных элементов

К числу наиболее перспективных способов интенсификации добычи нефти и повышения нефтеотдачи пласта относятся технологии волнового воздействия, в частности, кавитационно-импульсное воздействие на прискважинную зону. Популярность таких методов обуславливается их простотой, дешевизной и оперативностью применения, при этом обеспечивающих высокий экономический эффект от внедрения. В настоящее время на нефтяных месторождениях для интенсификации притока и декольматации порового пространства прискважинной зоны пласта активно применяются соляно-кислотные обработки с применением гидродинамических пульсаторов-кавитаторов, которые обеспечивают высокоамплитудные колебания рабочих параметров жидкости (давления и скорости), а также создание и вынос в скважинное пространство кавитационных пузырьков и каверн, где, попадая в зону высокого давления, они схлопываются, создавая пульсационные потоки высокой интенсивности [2].

Прежде чем изготавливать устройство, необходимо провести его численное математическое моделирование для подтверждения его работоспособности и определения оптимальных конструктивных параметров. Моделирование проводилось в программном комплексе Ansys CFX. Это профессиональный аналитический комплекс для решения термо-, гидро-, газодинамических задач. Первым этапом моделирования является импорт геометрии пульсатора (рис. 2), затем создается область вокруг устройства, имитирующая скважинное пространство, а также расчетная конечно-элементная модель (рис. 3).

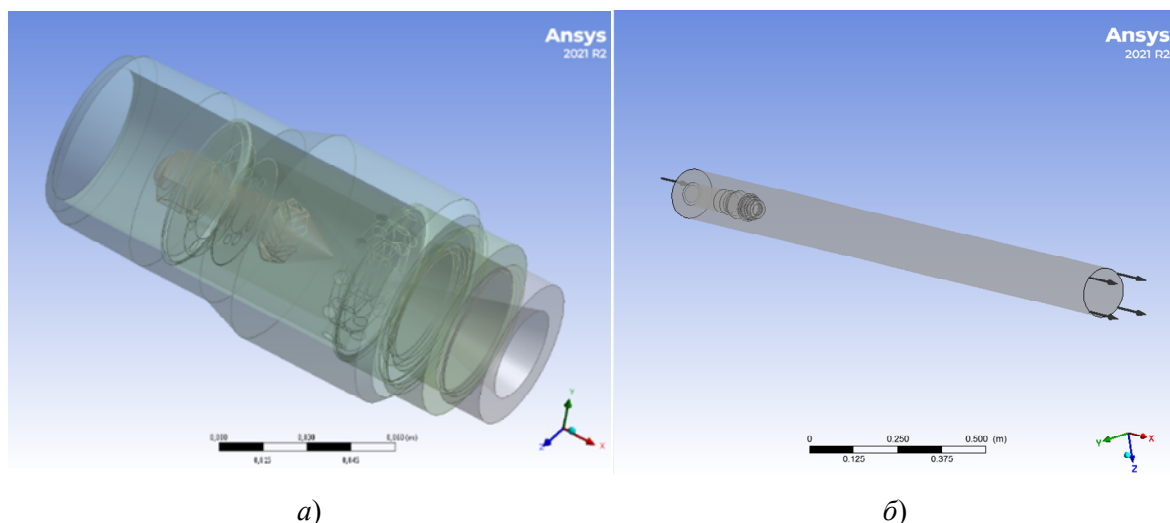


Рис. 2. 3D-модель пульсатора-кавитатора (а) и расчетная схема скважинного пространства (б)

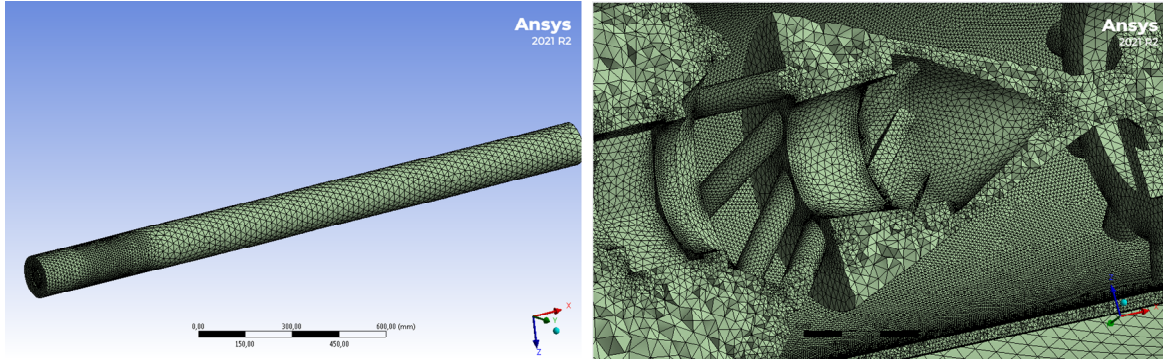


Рис. 3. Схема конечно-элементного разбиения расчетной области

В данном примере модель состоит из 497420 узлов и 2458589 элементов тетраэдрической формы. Моделировалось многофазное течение 18%-го раствора соляной кислоты со следующими свойствами: давление насыщения – 4 МПа; плотность – 1190 кг/м³, динамическая вязкость – 2,1 мПа · с и паров соляной кислоты: плотность – 1,552 кг/м³ и динамическая вязкость – 0,146 мкПа · с. Для расчета данного многофазного течения использовалась модель Эйлера и математическая модель динамики сферической каверны Релея–Плессета (1) со средним диаметром пузырька – 2 мкм. В данном случае мы рассматривали изотермический процесс, поэтому движение жидкости полностью описывалось системой уравнений, состоящей из уравнения неразрывности (2) и уравнения Навье–Стокса (3), с учетом модели турбулентности $k-\epsilon$ (k – турбулентная кинетическая энергия; ϵ – скорость ее диссипации), которые позволяют вычислить среднее давление p и компоненты вектора средней скорости $U = \{U_x, U_y, U_z\}$:

$$R_B \frac{d^2 R_B}{dt^2} + \frac{2}{3} \left(\frac{dR_B}{dt} \right)^2 + \frac{2\sigma}{\rho_f R_B} = \frac{p_v - p}{\rho_f}, \quad (1)$$

где R_B – радиус пузырька; p_v – давление внутри пузырька; p – давление жидкости вокруг пузырька; ρ_f – плотность жидкости; σ – поверхностное натяжение между жидкостью и газом:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_j) = 0; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho U_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho U_i U_j) = - \frac{\partial p'}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{eff} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \right] + S_M, \quad (3)$$

где ρ – плотность, U – скорость, p' – модифицированное давление, μ_{eff} – динамическая вязкость, S_M – сумма объемных сил.

Устанавливались следующие граничные условия: длина расчетной области скважинного пространства принималась равной двум метрам, со свободной поверх-

ностью, со следующими давлениями на входе: статическое давление, имитирующее давление закачки рабочей жидкости – 40 МПа; на выходе: давление, имитирующее пластовое давление, 5 МПа.

По результатам моделирования строились поля распределения давления, скоростей, доли объемного содержания парогазовой фракции (рис. 4).

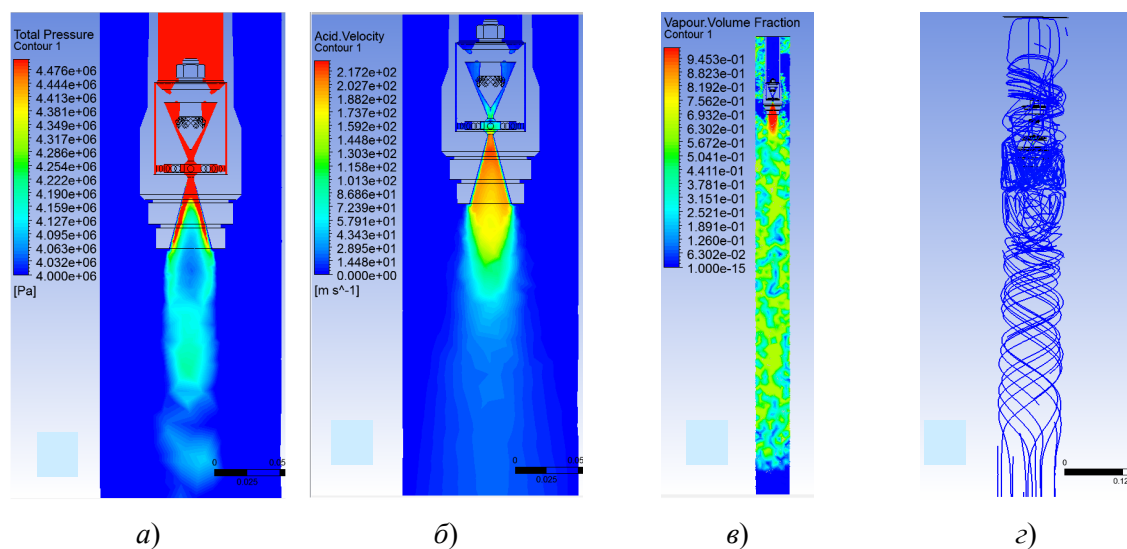


Рис. 4. Количественная картина распределения давления (а), скорости (б), парогазовой фракции (в) и линии тока (з) рабочей жидкости в скважине при работающем устройстве

Таким образом, внедрение в производство современных методов компьютерного моделирования, основанных на применении различных численных методов, позволяет избежать непредвиденных аварий и дополнительных денежных затрат.

Литература

1. Шимановский, А. О. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики : учеб.-метод. пособие для студентов техн. специальностей / А. О. Шимановский, А. В. Пуято ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 61 с.
2. Ткачев, Д. В. Разработка оборудования и технологии для кавитационно-импульсного воздействия на пласт в условиях нефтяных месторождений компании «Белоруснефть» / Д. В. Ткачев, А. В. Серебренников, В. М. Ткачев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2016. – № 3. – С. 63–67.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛАСТОМЕРНОГО ПОГЛОЩАЮЩЕГО АППАРАТА

Н. Г. Малашков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель А. И. Столяров

В настоящее время по совокупности экономических и технических показателей наиболее перспективными являются амортизаторы, в которых рабочее тело – это объемно-сжимаемый (до 15–17 % при давлении 500 МПа) и высоковязкий