

МИНОБРНАУКИ РФ
Российский фонд фундаментальных исследований
Национальный исследовательский Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики Томского госуниверситета
Физико-технический факультет
Совет молодых учёных ТГУ

**V Международная молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики»
25–27 ноября 2015 г., Томск**

**Vth International Youth Scientific Conference
«Currently issues of
continuum mechanics and celestial mechanics – 2015»,
25–27 November, 2015**



Томск-2015

Математическую основу рассматриваемой задача образуют уравнения Навье - Стокса совместно с уравнением неразрывности. Задача формулируется в безразмерных переменных. В основе данной работы лежит метод конечных объемов, а отыскание стационарных полей скорости и давления осуществлялось с использованием алгоритма SIMPLE (Semi-ImplicitMethodforPressure-LinkedEquation). Конвективные слагаемые в уравнениях движения аппроксимируются разностями против потока для больших значений числа Рейнольдса, либо с помощью экспоненциальной схемы в противном случае, для аппроксимации уравнений движения и неразрывности вводится разнесенная разностная сетка. Кинематика течения описывалась с помощью траекторий движения частиц в области каверны, для чего в поток помещалась частица – маркер. Движение частицы описывалась кинематическими уравнениями, которые решаются с помощью многошагового метода Адамса-Башфорта четвертого порядка.

Расчеты показали, что картина рассматриваемого пространственного течения характеризуется наличием циркуляционных зон в центре каверны и в ее углах. Параметрические исследования в диапазоне изменения значения чисел Рейнольдса от 0,1 до 100 показывают его влияние на размеры, положение циркуляционных зон и интенсивность движения в них. Представлены картины распределения полей кинематических и динамических характеристик в объеме каверны. Полученные результаты согласуются с данными других авторов.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ В ТРЕЩИНЕ ГИДРОРАЗРЫВА НА ДЕФОРМАЦИЮ В ЕЕ ВЕРШИНЕ EFFECT OF PRESSURE DISTRIBUTION IN THE FRACTURE FRAC- TURING DEFORMATION AT ITS TOP

А.С. Романов¹, Ю.П. Стефанов^{2,3}

A.S. Romanov, Yu.P. Stefanov

¹Национальный Исследовательский Томский государственный университет

²ИНГГ СО РАН, Россия; ³ИФПМ СО РАН

National Research Tomsk State University

²Institute of Strength Physics and Materials

alesandro_pato22@mail.ru, yu_st@mail.ru

Характер развития трещин гидроразрыва зависит от множества факторов, важнейшими из которых являются свойства и напряженное состояние окружающей среды, а также распределение давления нагнетаемой жидкости в трещине. От данных параметров зависят механизмы продвижения трещины и раскрытие ее берегов.

В работе рассмотрена задача о деформировании геологической среды с трещиной длиной 4 метра, в которую нагнетается жидкость. Размеры пласта: по оси X – 36 метров, по оси Y – 32 метра. Среда находится под дейст-

вию вышележащих слоев (σ_y) и сжимающих горизонтальных напряжений (σ_x). Моделирование процессов деформации горной породы выполнено для условий плоской деформации. В работе рассмотрено два варианта среды – упругая и упругопластическая (модифицированная модель Друкера–Прагера–Николаевского [Друкер, Прагер, 1975, Николаевский, 1972, Стефанов, 2002]), причем разрушение породы рассматриваться не будет. В расчетах этот эффект достигается путем искусственного задания высоких прочностных свойств горной породы.

Моделирование процессов деформации горной породы осуществлялось путем численного решения системы уравнений явным конечно-разностным методом [Уилкинс, 1967].

Распределение давления жидкости вдоль трещины принято: (а) – равномерным, (б) – параболическим. Давление в трещине превышало значение сжимающей компоненты напряжений σ_x на 10 МПа. Для наглядности влияния механических свойств породы на форму трещины и величину ее раскрытия расчеты проводились в слоистой среде, причем часть трещины находилась в упругом слое, другая часть в упругопластичном слое. Расчеты проводились для двух вариантов начального напряженного состояния среды: $\sigma_x = 40 \text{ МПа}$, $\sigma_y = 60 \text{ МПа}$ и $\sigma_x = 50 \text{ МПа}$, $\sigma_y = 60 \text{ МПа}$. Соответственно: $P_f = \sigma_x + 10 \text{ МПа}$, где P_f – давление жидкости в трещине.

Расчеты показали, что с увеличением горизонтальной составляющей начального напряженного состояния среды, увеличивается величина напряжений в вершине трещины, а также увеличивается раскрытие трещины. Причем, в случае равномерного распределения давления жидкости наблюдается наибольшее раскрытие трещины. По результатам видно, как состояние среды влияет на форму трещины, если в упругом случае форма имеет правильную овальную форму, то в случае упругопластичной среды заметно затупление в вершине трещины. В упругой среде величина раскрытия заметно меньше, чем в упругопластичной среде.

В процессе деформирования упругопластичного слоя среды наблюдается формирование зон пластических деформаций. В зависимости от прочностных свойств среды эти зоны могут повлиять на траекторию распространения трещины гидроразрыва. Симметрия в формировании областей пластических деформаций оставляет не решенным вопрос устойчивости траектории распространения трещины по критерию превышения предельных значений пластических деформаций.

Работа выполнена при поддержке Сколтеха (Соглашение № 711-MRA).

Литература

1. Друкер Д., Прагер В. Механика грунтов и пластический анализ или предельное проектирование // Механика. Новое в зарубежной науке. Вып. 2: Определяющие законы механики грунтов. М.: Мир, 1975. С. 166–177.

2. Николаевский В.Н. Механические свойства грунтов и теория пластичности // Механика твердых деформируемых тел. Т. 6: Итоги науки и техники. М.: ВИНТИ АН СССР, 1972. С. 5–85.

3. Стефанов Ю.П. Локализация деформации и разрушение в геоматериалах. Численное моделирование // Физ. мезомех. 2002. Т. 5. № 5. С. 107–118.

4. Уилкинс М.Л. Расчет упругопластических течений // Вычислительные методы в гидродинамике. М.: Мир, 1967. С. 212–263.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ЗАКРУЧЕННОГО
ТЕЧЕНИЯ В ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ЦЕНТРОБЕЖНОМ
СЕПАРАТОРЕ**
**MODELLING OF AERODYNAMICS OF SWIRLED FLOW IN THE
PNEUMATIC CENTRIFUGAL SEPARATOR**

Р.Р. Турубает, А.В. Шваб

R.R. Turubaev, A.V. Shvab

Национальный Исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
roma_94_ktl@mail.ru, avshvab@inbox.ru

Пневматический центробежный аппарат имеет практический интерес при изучении процессов сепарации и классификации и может быть использован в порошковой металлургии, химической, атомной и других отраслях промышленности.

В данной работе проводится численное исследование аэродинамики вихревой камеры, которая представляет собой цилиндрическую область с невращающимися стенками, диском, центр которого совпадает с осью цилиндра и системой вращающихся дисков на выходе из камеры. Процесс сепарации происходит за счет того, что центробежная сила значительно превосходит силу аэродинамического сопротивления [1].

Для описания процессов происходящих в вихревой камере использовались уравнения Навье–Стокса в цилиндрической системе координат. После введения масштаба длины, в качестве которого взят радиус входного сечения и входной скорости, а также считая плотность газа постоянной, в силу небольших скоростей и с учетом осевой симметрии рассматриваемой задачи относительно окружной координаты. В результате получим безразмерную систему уравнений Навье–Стокса.

Полученная система решается методом физического расщепления полей скорости и давления. После расщепления получаем систему уравнений переноса импульса и уравнение Пуассона для поправки к давлению. Далее используется обобщенный метод переменных направлений, суть которого заключается в расщеплении шага по времени [2]. Он обладает вторым порядком точности по времени. Конвективные и диффузионные члены в этих уравнениях аппроксимировались с помощью экспоненциальной схемы, так как она снимает ограничение на число Рейнольдса и имеет второй порядок точности по пространственным координатам [3]. Безразмерная форма граничных условий приводит к появлению обратных чисел Россби.