

$$a_{3ij} = a_{3ij_0} - \sum_{k=j_0}^{j-1} y_k^2 (a_{ik} - a_{i(k+1)}); \quad (14)$$

$$a_{2ij} = a_{2ij_0} + 2 \sum_{k=j_0}^{j-1} y_k (a_{ik} - a_{i(k+1)}),$$

$$j = j_0, j_0 + 1, \dots, j_m.$$

$z \{ i, i_r, j, j_m \}$ индексы элементов, через которые проходит проекция контура конструкции.

Граничные условия типа (7), (10) записываются соответственно для элементов, через которые проходит проекция контура конструкции.

Таким образом, предложенный выше подход позволит производить расчет тонких безмоментных оболочек с произвольным контуром.

Литература

1. Попов Н.А., Брикса В.П. Численное определение динамических характеристик мембранных конструкций. - Динамика сооружений: Сб. научных трудов. - М.: ЦНИИСК, 1990.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОКНИСТОЙ СТРУКТУРЫ И ТЕЧЕНИЯ НЕЛИНЕЙНО-ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ ЧЕРЕЗ НЕЕ

В.П. Ставров^а, О.А. Кравченко^б, В.М. Ткачев^б, А.И. Столяров^б

^аБелорусский государственный технологический университет

^бГомельский политехнический институт им. П.О. Сухого

В последние годы значительно возрос интерес к исследованию прочности волокнистых систем для высоковязких неньютоновских жидкостей в связи развитием одного из видов т.н. «высоких» технологий - процессов получения высокопрочных композитных материалов и изделий из них. Наиболее перспективные матричные материалы - термопластичные полимеры имеют в состоянии расплава очень высокую вязкость (на 2-4 порядка превышающую вязкость традиционных связующих на основе растворов термореактивных полимеров), существенно зависящую от скоростей сдвига. Многие известные результаты [1,2], полученные в

линейном приближении (для ньютоновской жидкости), оказались не вполне пригодными для описания процессов производства и формообразования волокнистых композитов с термопластичной матрицей, связанных с проникновением полимерной матрицы в волокнистую систему.

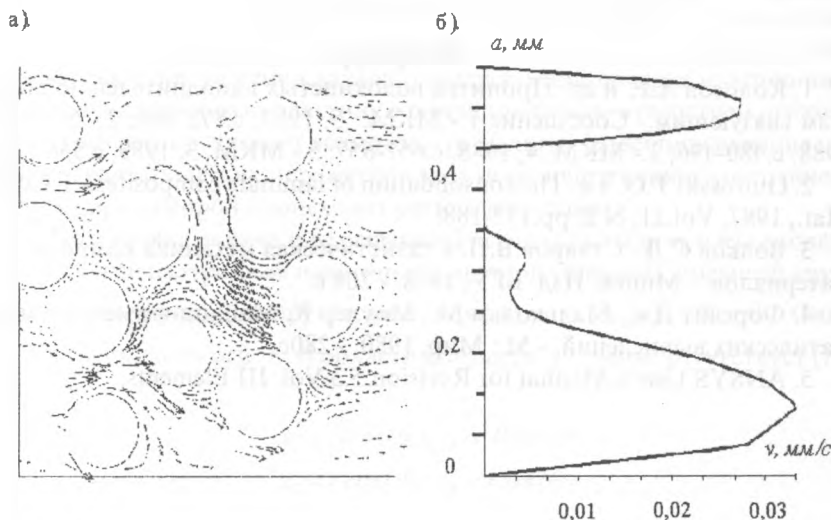
К наиболее существенным факторам, обуславливающим механизм и параметры процесса течения высоковязких жидкостей через волокнистые среды, относятся анизотропия и стохастический характер структуры таких сред, особенности геометрии промежутков между волокнами, по которым протекает жидкость, возможность перемещения волокон в процессе течения жидкости, нелинейность вязких свойств таких жидкостей. С целью учета реальной формы капилляров в волокнистой среде авторами рассматривалась уточненная модель проницаемости однонаправленной волокнистой системы для неньютоновской жидкости: . Здесь m - коэффициент вязкости, n - параметр жидкости.

Задача исследований состояла в применении статистических методов описания геометрии и структуры порового пространства волокнистых сред в процессе протекания через них высоковязких жидкостей. Исследования включали разработку алгоритмов и программ имитационного моделирования на ПЭВМ волокнистой системы и процесса перколяции нелинейно-вязкой жидкости в волокнистой среде.

Моделирование однонаправленной стохастической волокнистой системы сводится к случайному расположению на плоскости непересекающихся кругов со случайными радиусами [3], для которых принят нормальный закон распределения. Нормально распределенные величины генерируются на ПЭВМ по одному из алгоритмов, предложенных Дж. фон Нейманом [4]. Круги, радиусы которых представляют собой выборку из нормально распределенной совокупности, размещаются на квадратном поле со стороной квадрата a . Задается доля P площади квадрата, занятой кругами. В основе нескольких алгоритмов моделирования лежит схема: генерирование такого количества n радиусов кругов, при котором достигается значение P с заданной точностью; сортировка кругов в порядке невозрастания радиусов; расположение кругов на плоскости, т.е. вычисление координат центров кругов с условием их непересечения и достижения равномерного расположения; расчет статистических характеристик радиусов кругов. Разработан также алгоритм, позволяющий достигать максимально возможное значение P . С целью последующего моделирования процессов перколяции высоковязкой жидкости через подвижную волокнистую систему разработаны алгоритмы, позволяющие получить модель

системы, уплотненной в результате воздействия фронта жидкости на одну из границ модельной структуры.

Полученный результат использовали при моделировании процесса течения высоковязкой жидкости через микроячейку однонаправленной волокнистой среды. Указанную микроячейку получали как фрагмент стохастической модели волокнистой системы, построенной по одному из разработанных алгоритмов. Размеры микроячейки в сечении, перпендикулярном волокнам, задавали равными $0,5 \times 0,5$ мм, а средний диаметр кругов, моделирующих сечения волокон - $0,1$ мм. Число кругов, размещаемых в микроячейке, определяется объемной долей заполнения (для рассматриваемого случая $P=0,3$). Расчеты процесса течения жидкости через микроячейку проводили по методу конечных элементов, реализованному в программном комплексе ANSYS 5.3. При этом использовали тип конечного элемента Fluid141 [5], позволяющий рассчитывать параметры течения неньютоновской жидкости. Исходными данными для расчета служат: геометрическая модель микроячейки и свойства жидкости. Внешними условиями могут быть давление на входе и выходе, источник тепла.



Течение нелинейно вязкой жидкости через фрагмент модели волокнистой структуры: а - распределение вектора скорости по току жидкости; б - профиль скорости в а в выводе.

Давление на входе задавали равным 250 кПа . Коэффициент вязкости - $5 \text{ кПа}\cdot\text{с}^n$, параметр жидкости (показатель степени в законе течения) $n=0,56$.

Результатом решения являются компоненты вектора скоростей и давления в узлах конечно-элементной модели. В результате расчета получены распределения векторов скоростей потока жидкости внутри микрочайки (рис.а). На рис.б показаны профили скоростей в выходном сечении. Они типичны для течения жидкости через щелевой канал. При наличии волокон вблизи выходного сечения наблюдается снижение местной скорости истечения. Применяемая здесь имитационная модель дает не только качественную картину течения жидкости через микрочайку волокнистой системы, но и позволяет на основании закона Дарси рассчитать коэффициенты проницаемости.

Для определения расхода через входное и выходное сечения микрочайки достаточно проинтегрировать поля скоростей потока.

Таким образом предлагаемый метод позволяет промоделировать процесс пропитки волокнистой структуры полимерным связующим и оптимизировать режимы таких технологических процессов как, например, пултрузия.

Литература

1. Колосов А.Е. и др. Пропитка волокнистых наполнителей полимерным связующим.- Сообщение 1.- МКМ, 5, 1987, с.878-886; 2.- МКМ, 3, 1988, с.480-496; 3.- МКМ, 4, 1988, с.651-657; 5.- МКМ, 3, 1989, с.536-544.
2. Gutowski T.G. a.a. The consolidation of laminate composites.- J. Comp. Mat., 1987, Vol.21, N 2, pp.172-188.
3. Волков С.Д., Ставров В.П. Статистическая механика композитных материалов. - Минск: Изд. БГУ, 1978. - 208 с.
4. Форсайт Дж., Малькольм М., Моулер К. Машинные методы математических вычислений. - М.: Мир, 1980. - 280с.
5. ANSYS User's Manual for Revision 5.3 Vol. III Elements.