

4. Ткачева Л. А. *Колебания цилиндрического тела, погруженного в жидкость, при наличии ледяного покрова*. ПМТФ. 2015. Т. 56. №. 6. С. 173–186.
5. Ткачева Л. А. *Краевые волны в жидкости под ледяным покровом с трещиной*. ДАН. 2017. Т. 473. №. 5. С. 545–551.

## **Эволюция фазово-структурной деформации в охлаждающемся пакете стержней из сплава с памятью формы**

**К. А. Тихомирова**  
*ИМСС УрО РАН, Пермь*  
tikhomirova.k@icmm.ru

Рассматривается задача об охлаждении пакета стержней из сплава с памятью формы, находящихся изначально в недеформированном аустенитном состоянии при температуре  $T_1$  и имеющих одинаковую длину. Стержни расположены горизонтально друг над другом, их края соединены шарнирно с жесткими стенками, ограничивающими пакет. Учтена возможность воздействия на боковые стенки управляющей нагрузки (продольная сила, изгибающий момент). Предполагается, что трение между стержнями и поперечные усилия отсутствуют, а деформация изменяется линейно по высоте пакета, что соответствует возможности жесткого горизонтального смещения и поворота боковых стенок. При этом каждый стержень испытывает одноосное растяжение или сжатие. Охлаждение происходит через поверхность крайнего стержня за счет теплообмена с окружающей средой (граничные условия III рода), имеющей температуру  $T_2$ , такую что после установления теплового равновесия все стержни находятся в мартенситном состоянии. Остальные поверхности теплоизолированы. Считается, что в процессе охлаждения температура одинакова внутри каждого стержня и изменяется от стержня к стержню по высоте пакета, при этом переход каждого стержня в мартенситное состояние осуществляется постепенно в интервале температур прямого превращения. Теплота, выделяемая в процессе фазового перехода, также оказывает влияние на изменение температурного

поля. Неоднородность поля температур приводит к неравномерному распределению фазовой деформации по высоте пакета, что, в свою очередь, вызывает перераспределение усилий в стержнях и может приводить к структурному деформированию образовавшегося ранее мартенсита.

Для расчета используется феноменологическая модель [1], являющаяся отчасти интегральным аналогом дифференциальной модели А.А. Мовчана [2], но по-иному описывающая процессы структурного деформирования, ориентированного превращения и обратного фазового перехода. Интегральная модель [1] позволяет учесть полную историю деформирования материала, что важно при описании явлений, связанных с фазовым переходом под действием изменяющегося напряжения. Учитывается возможность протекания в стержнях следующих процессов: образование температурного мартенсита (при охлаждении) и мартенсита напряжения (при возрастании нагрузки), а также смещение характерных температур превращения от действия напряжения; полное или частичное обратное превращение при снижении нагрузки; структурное превращение при увеличении (по модулю) нагрузки того же знака или при изменении знака нагрузки; ориентированное превращение при охлаждении под снизившейся (по модулю) нагрузкой. Кроме того, учтена асимметрия накопления фазово-структурной деформации в сплавах с памятью формы при растяжении и сжатии.

Задача решена методом конечных разностей, проведено практическое исследование сходимости численного решения. При вычислении деформации используется суммирование упругой и фазово-структурной ее составляющих. В результате получена зависимость напряжения и фазово-структурной деформации для каждого стержня от времени, а также распределение напряжений и деформаций по высоте пакета в каждый момент времени в процессе охлаждения. Сделан вывод о необходимости учета деформации структурного и ориентированного превращения при анализе эволюции напряженно-деформированного состояния конструкции.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №16-31-00161-мол\_а).

## Литература

1. Тихомирова К.А. Разработка и численная реализация одно-

мерной феноменологической модели фазовой деформации в сплавах с памятью формы // Вычисл. мех. сплош. сред. - 2016. - Т. 9, № 2. - С. 192-206.

2. Мишустин И.В., Мовчан А.А. Моделирование фазовых и структурных превращений в сплавах с памятью формы, происходящих под действием немонотонно меняющихся напряжений // Изв. РАН. МТТ. - 2014. - № 1. - С. 37-53.

## Об использовании Ньютоновского потенциала, равного константе внутри односвязной области, при моделировании струй идеальной несжимаемой жидкости

**Н. А. Трубаев**

*Российский университет транспорта (МИИТ)*

trubaevn@umail.ru

Представление гармонической функции, равной константе внутри односвязной области, Ньютоновским потенциалом простого слоя  $V(\xi)$  (1), заданным на поверхности  $S$ , являющейся границей области, единственно [1]:

$$V(\xi) = \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\xi(q)}{r(p,q)} dS_q, \quad (1)$$

где  $r(p, q)$  - расстояние между точками  $p$  и  $q$ ,  $\xi$  - функция плотности.

Предельные значения (1) изнутри области (индекс '+') и снаружи области (индекс '-'):

$$\left[ \frac{\partial V(\xi)}{\partial n} \right]^\pm = \pm \xi(p) + \frac{1}{2\pi} \int_S \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{\xi(q)}{r(p,q)} \right) dS_q. \quad (2)$$

Из (2) очевидно, что если  $V(\xi)$  равен константе внутри области, то предельные значения изнутри области равны нулю, а снаружи области - удвоенной плотности  $\xi$  с обратным знаком.

Пусть нужно смоделировать поток идеальной несжимаемой жидкости вблизи трехмерной незамкнутой поверхности  $\hat{S}$ , на которой нужно обеспечить выполнение условия непротекания - равенства нулю нормальной к поверхности компоненты скорости