

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ЦИЛИНДРА ИЗ МАТЕРИАЛА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

Ю.Б. Какулия, А.М. Шарыгин

*Ухтинский государственный технический университет
169300 Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, 13
E-mail: yuri@uti.sever.ru*

В работе определены напряжения и перемещения в цилиндре из материала с памятью формы. Расчеты проведены методом конечных элементов с применением структурно-аналитической теории прочности. Получены распределения напряжений и перемещений по толщине стенки цилиндра при действии внутреннего давления и при изменении температуры в интервалах мартенситных превращений.

Метод конечных элементов, являющийся эффективным численным методом механики деформируемых твердых тел, в сочетании со структурно-аналитической теорией прочности позволяет исследовать напряженно-деформированные состояния в элементах конструкций из материалов с памятью формы. В соответствии с методологией таких исследований, изложенной в [1], в настоящей работе проведены расчеты для толстостенного цилиндра из материала с фазовыми превращениями первого рода, находящегося под действием внутреннего давления и подвергнутого изменениям температуры. Наряду с тем, что данная задача сама по себе представляет интерес и ее результаты имеют очевидное практическое значение, в работе продемонстрирована возможность реализации предложенного метода в полярной системе координат.

Рассчитываемая область представляла четверть кольца с внутренним радиусом $a = 80$ мм и наружным $b = 160$ мм. Область была равномерно разбита на конечные элементы дугами концентрических окружностей и радиусами, проведенными из центра окружностей, таким образом, что содержала 9 строк (дуг) с 11 узлами в каждой строке. Учитывали температурную, тепловую и фазовую деформации. Изменение температуры задавали настолько медленным, что температурное поле можно было считать стационарным. При расчетах приняты те же константы материала, что в работе [1]. В первой серии численных экспериментов в мартенситном состоянии задавали внутреннее давление 200 МПа, после чего производили разгрузку, а затем нагревание в полном интервале обратного мартенситного превращения. Во второй серии внутреннее давление 100 или 200 МПа задавали в аустенитном состоянии и проводили охлаждение под нагрузкой в интервале прямого превращения.

Распределение окружного σ_θ и радиального σ_r напряжений по толщине стенки цилиндра показано на рис. 1 для первой серии расчетов и на рис. 2 – для второй. Для сравнения приведены результаты, полученные при решении задачи в упругой постановке (кривые 1 на рис. 1 и кривые 2 и 4 на рис. 2). Перераспределение напряжения σ_θ по толщине стенки, сводящееся к уменьшению (по сравнению с упругим решением) его значений в средней части стенки и увеличению вблизи внутренней поверхности цилиндра, имеет место как при задании нагрузки в мартенситном состоянии (рис. 1, а), так и в результате пря-

мого превращения под нагрузкой (рис. 2,а). В последнем случае с ростом давления степень перегрузки точек у внутренней поверхности цилиндра повышается, что видно из сопоставления кривых 1 и 2 с кривыми 3 и 4 на рис. 2,а.

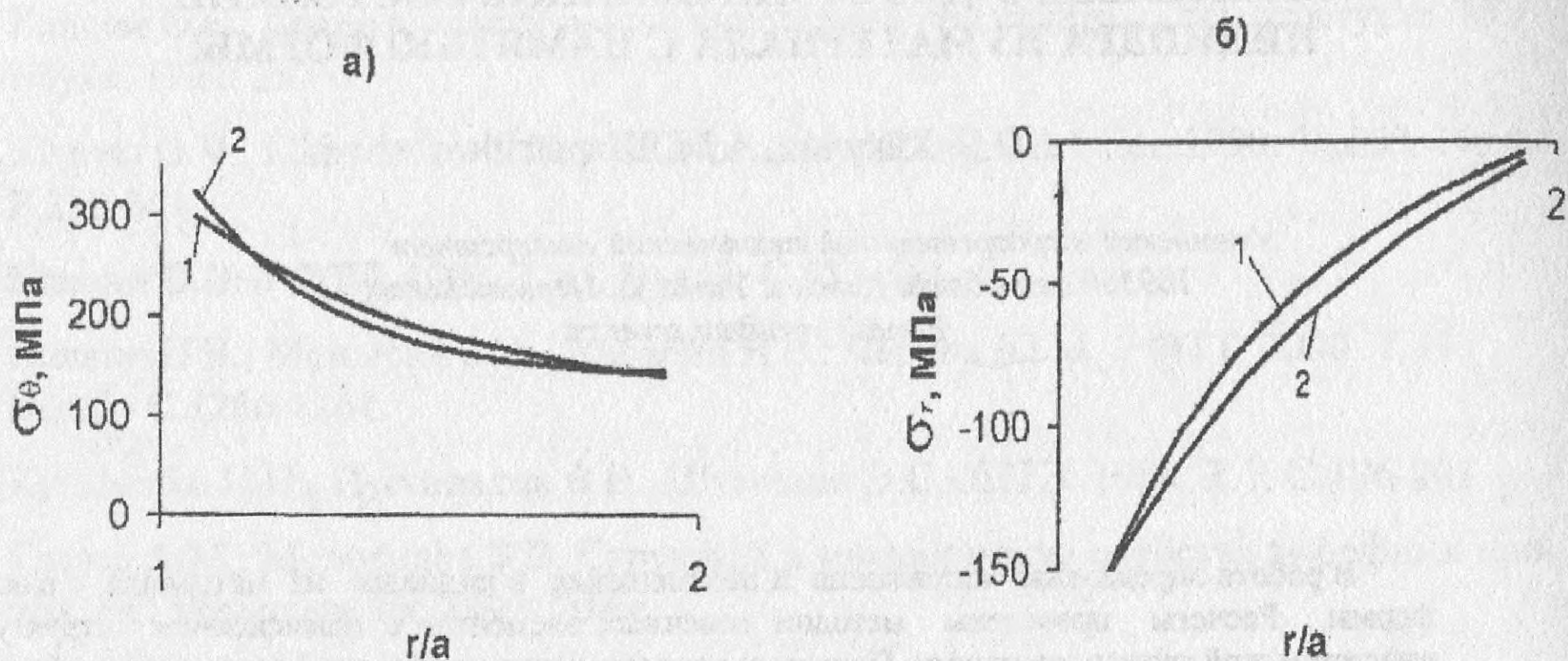


Рис. 1. Распределение окружных (а) и радиальных (б) напряжений по толщине стенки цилиндра при $T = 270\text{K}$ и внутреннем давлении 200МПа . 1 – упругое решение, 2 – решение с учетом фазовой деформации.

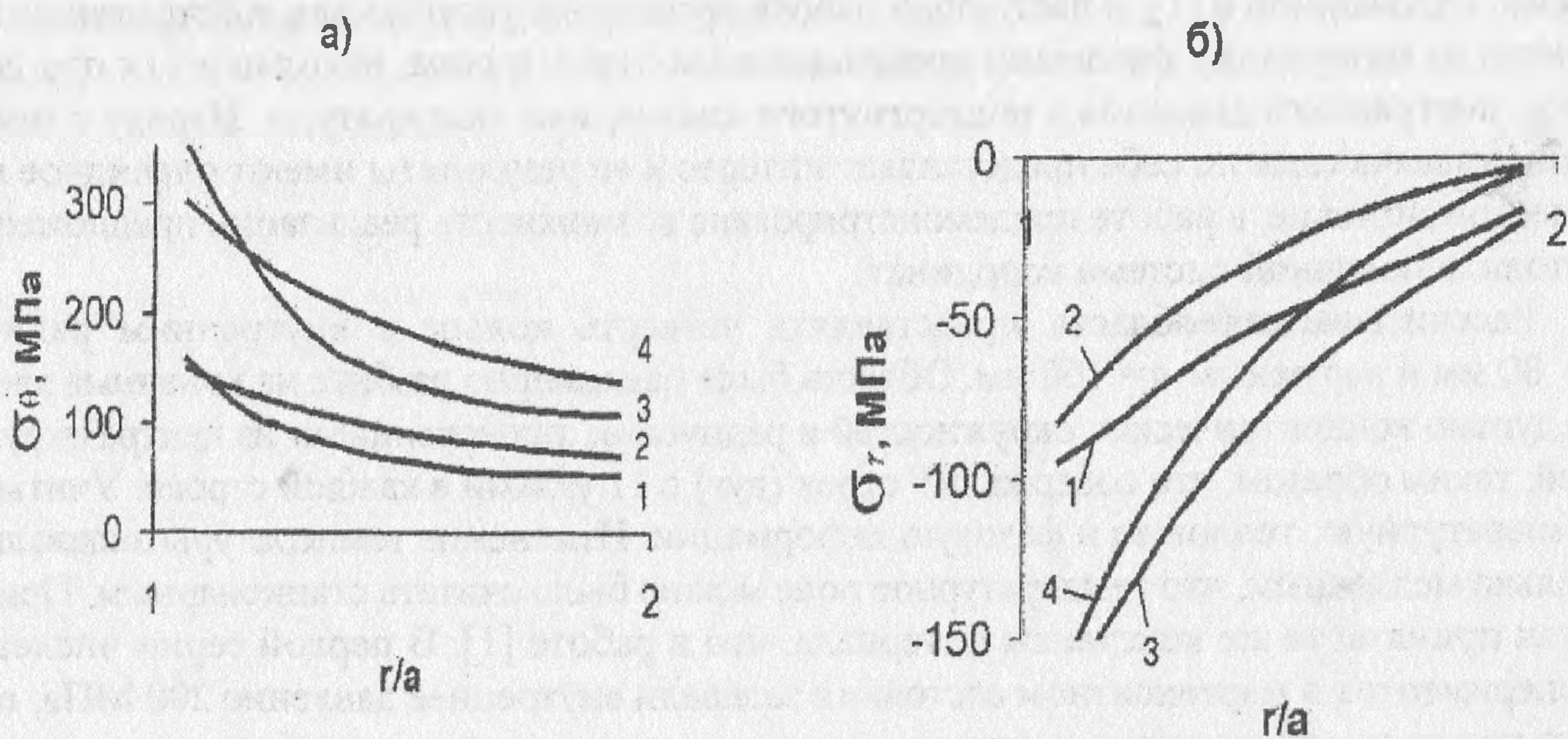


Рис. 2. Распределение окружных (а) и радиальных (б) напряжений по толщине стенки цилиндра при внутреннем давлении 100МПа (1,2) и 200МПа (3,4). 2,4 – после нагружения при $T = 470\text{K}$, 1,3 – после охлаждения под нагрузкой от 470K до 270K .

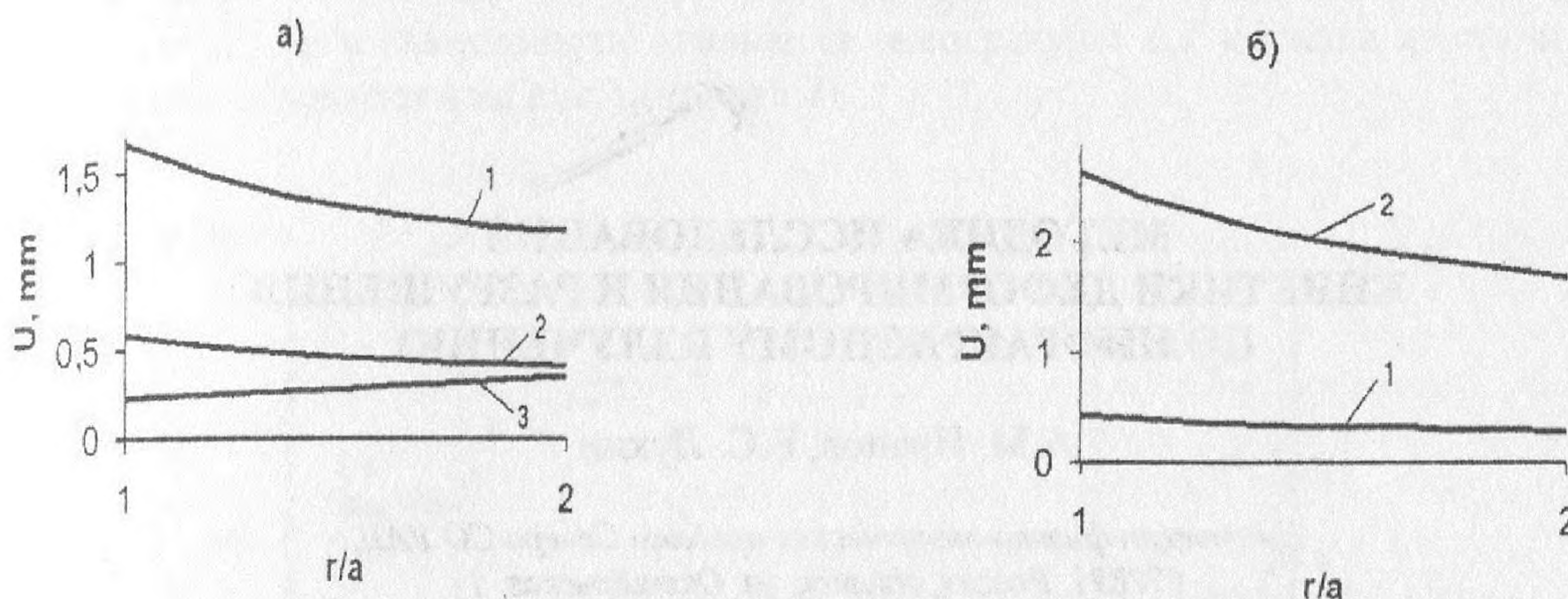


Рис. 3. Изменение радиальных перемещений по толщине стенки цилиндра: а – при внутреннем давлении 200МПа и $T = 270\text{K}$ (1), после изотермической разгрузки (2) и после нагревания до 470К (3); б – при внутреннем давлении 200МПа и $T = 470\text{K}$ (1), и после охлаждения под нагрузкой до $T = 270\text{K}$ (2).

Радиальные напряжения σ_r в обеих сериях расчетов при учете фазовой деформации (кривая 2 на рис. 1, б и кривые 1 и 3 на рис. 2, б) имеют несколько большие значения, чем при решении задачи в упругой постановке (соответственно кривая 1 на рис. 1, б и кривые 2, 4 на рис. 2, б). Изменение радиального перемещения U по толщине стенки цилиндра показано на рис. 3, а для первой серии опытов и на рис. 3, б – для второй. Следует отметить следующий результат. Нагревание в интервале обратного превращения предварительно продеформированного в мартенситном состоянии цилиндра приводит к распределению перемещений (кривая 3 на рис. 3, а), качественно отличному от имевшего место до нагревания (кривая 2 на рис. 3, а). Таким образом, толщина стенки цилиндра увеличивается по сравнению с первоначальной.

Приведенные результаты еще раз убеждают в том, что метод конечных элементов совместно со структурно-аналитической теорией прочности позволяет моделировать напряженно-деформированные состояния в элементах конструкций из материалов с памятью формы для широкого круга задач.

Список литературы.

1. Какулия Ю.Б., Шарыгин А.М. Численное решение двумерных задач для материалов с памятью формы (См. настоящий сборник, стр. 481-483).