

Таблица 1. Геометрические параметры сварочной ванны

	Стальная пластина		Алюминиевая пластина	
	Hv (мм)	Rv (мм)	Hv(мм)	Rv (мм)
I=150A	0,8	2,8	0,9	3
I=200A	1	3,7	1,3	5,25
I=250A	1,5	5	1,3	6
I=300A	1,3	6	1,7	8,5
I=350A	1,4	6,5	1,7	9

### Список литературы

1. A.Jainakov, J.Usenkanov, R.Sultangazieva "On joint modeling of processes in electrica arc plasma and melted metal", 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June-1999, Almaty
2. Жайнаков А.Ж., Султангазиева Р.Т., Усенканов Дж.О. "О влиянии термокапиллярной конвекции на параметры расплавленного электрической дугой металла", Доклады 3 традиционной казахстанско-российской научно-практической конференции «Математическое моделирование научно-технологических и экологических проблем в нефтегазодобывающей промышленности», 19-20 сентября 2000, Алматы
3. Математическое моделирование электрической дуги./Под ред. В.С.Энгельшта, Фрунзе, 1983
4. Keene, B. J. Review of data for the surface tension of pure metals, International Materials Reviews 38(4), 157-192. 1993

### References

1. A.Jainakov, J.Usenkanov, R.Sultangazieva "On joint modeling of processes in electrica arc plasma and melted metal", 6 general assembly of federation of engineering institutions of Islamic countries, 27-30 June-1999, Almaty
2. Jainakov A, Sultangazieva RT, Usenkanov JO "The effect of thermocapillary convection on the parameters of the molten metal arc" Reports 3 traditional Kazakh-Russian scientific-practical conference "Mathematical modeling of scientific-technological and ecological problems in oil and gas manufactory", September 19-20, 2000, Almaty
3. Mathematical modeling of electric arc. / Ed. VS Engelshta. -Frunze 1983.
4. Keene, B. J. Review of data for the surface tension of pure metals, International Materials Reviews 38(4), 157-192. 1993

УДК 621.7

## К РАСЧЕТУ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МКЭ

*Н.Маер, Н.Акматова, М.Чыныбаев*

*Кыргызский государственный технический университет им. И.Раззакова, Кыргызская Республика, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, maer\_n@mail.ru*

В данной статье приводятся результаты численного моделирования процесса упругого нагружения толстостенной трубы известных размеров с целью обеспечить лучшее понимание распределения напряжений возникающих при высоких давлениях. Моделирование методом конечных элементов задачи автофреттирования позволяет решать более широкий спектр практических задач по сравнению с аналитическими методами. В работе приведены результаты расчетов напряжений в упругой области до процесса автофреттирования с целью сопоставить результаты аналитических расчетов и значений, полученных при помощи метода конечных элементов (МКЭ) для оценки границ применения этого метода.

**Ключевые слова:** толстостенные трубы, напряжение, метод конечных элементов

## THICK-WALLED PIPES CALCULATION USING FEM

*N.Maer, N.Akmatova, M.Chynybaev*

*Kyrgyz State Technical University, Kyrgyz Republic, 720044, Bishkek, Mira avenue 66, maer\_n@mail.ru*

This article presents the results of numerical modeling of elastic loading thick-walled pipe of known dimensions to ensure a better understanding of the distribution of stresses encountered at high pressures. Finite element modeling problem of autofrettage solves a wide range of practical problems than analytical methods. The results of calculations of stresses in the elastic region before the process of autofrettage. In order to compare the results of analytical calculations and the values obtained using the finite element method (FEM) to evaluate the boundaries of this method.

**Keywords:** the thick-walled pipes, tensions, method of eventual elements

**Введение.** Толстостенные трубы, работающие под высоким давлением (например, стволы пушек, дизельные насосы), подвергаются операции автофретирования с целью повышения их рабочего давления и повышения долговечности. Процесс автофретирования помогает снизить уровень напряжений. Процесс автофретирования вызывает пластическое расширение внутреннего радиуса трубы, тем самым создавая благоприятные остаточные напряжения сжатия после разгрузки. При рабочем нагружении толстостенных труб появляется необходимость преодоления сжимающих напряжений до того, как напряжения перейдут в растягивающие. Для толстостенных труб, подвергнутых процессу автофретирования, глубина пластической зоны является ключевым фактором, который влияет на долговечность и безопасность работы.

**Геометрическая модель.** Для проведения теоретического анализа и расчета при помощи метода конечных элементов (МКЭ) в работе рассмотрен цилиндр с внутренним диаметром 1,5 мм и внешним радиусом 4,75 мм. Толщина рассматриваемого элемента цилиндра составляет 1 мм, также принимается, что рассматриваемый элемент расположен на удалении от концов цилиндра.

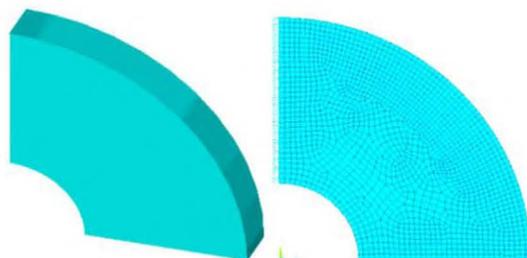


Рис. 1. Модель цилиндра и сетка конечных элементов.

Для рассматриваемого элемента задаем пластичный материал с материальными характеристиками Модуль Юнга  $E=200$  мпа и коэффициент Пуассона  $\nu=0,3$ .

**Основные соотношения.** При расчетах приняты предположения о том, что в толстостенном цилиндре внутреннее давление распределяется равномерно, а внутреннее давление имеет постоянное значение. Кроме того, считается, что градиент температур на внешней и внутренней стенке цилиндра незначителен. Радиальные, окружные и осевые напряжения обозначены через  $\sigma_r, \sigma_\theta, \sigma_z$  соответственно.

Радиальные и окружные напряжения

$$\sigma_r = \frac{r_i^2 p_i}{r_0^2 - r_i^2} \left( 1 - \frac{r_0^2}{r_i^2} \right) \tag{1}$$

$$\sigma_\theta = \frac{r_i^2 p_i}{r_0^2 - r_i^2} \left( 1 + \frac{r_0^2}{r_i^2} \right) \tag{2}$$

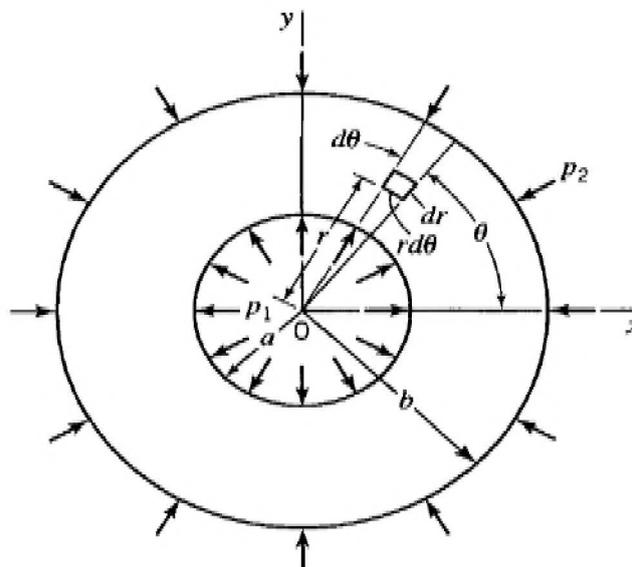


Рис. 2 Расчетная схема.

В рассматриваемом случае радиальные и окружные напряжения достигают максимальных значений на внутренней поверхности цилиндра. Напряжения в радиальном направлении всегда являются сжимающими, а окружные напряжения всегда имеют положительные значения. Также здесь следует отметить, что окружные напряжения численно всегда превосходят радиальные. Распределение напряжений показано на рисунке 3 а.

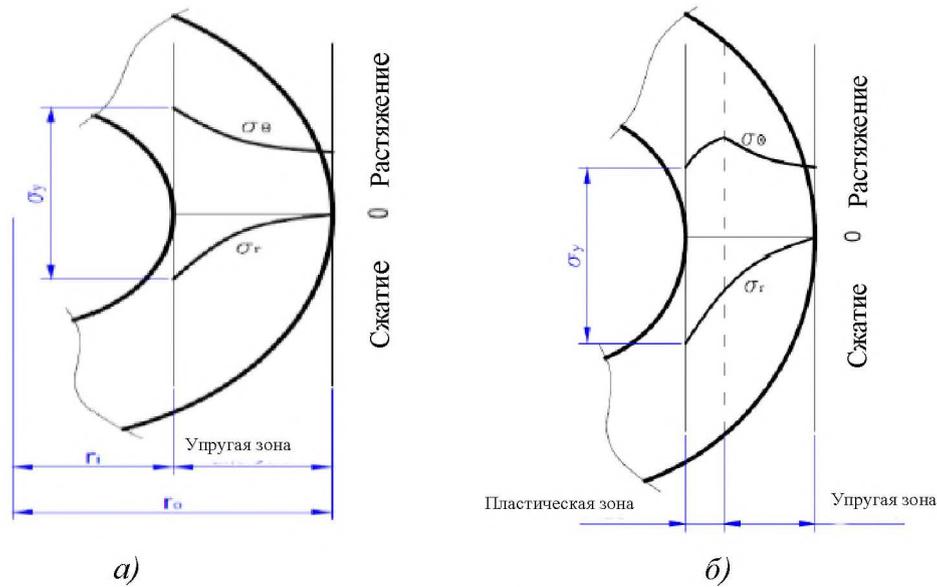


Рис. 3. Распределение напряжений в толстостенной трубе а) – до автофретирования, б) – после процесса автофретирования.

Радиальные и окружные напряжения после процесса автофретирования [1]:

$$\sigma_r = -\sigma_T \left( \ln \frac{a}{r} \right) - \frac{\sigma_T}{2r_0^2} (r_0^2 - a_0^2) \tag{3}$$

$$\sigma_\theta = \sigma_T \left( 1 - \ln \frac{a}{r} \right) - \frac{\sigma_T}{2} \left( 1 - \frac{a^2}{r_0^2} \right) \tag{4}$$

где  $\sigma_T$  – предел текучести материала.

**Сравнительный анализ напряжений до автофретирования.** Проведено сравнение значений радиальных и окружных значений напряжений рассчитанных по соотношениям (1) и (2). Подставляя значения внутреннего радиуса  $r_i$ , внешнего радиуса  $r_0$  и предела текучести материала  $\sigma_T$  можно определить теоретические значения напряжений до и после процесса автофретирования. Также напряжения определены методом конечных элементов. Так как значение внутреннего давления при автофретировании больше чем значения давления для предела упругости возникают пластические деформации во внутренней стенке толстостенного цилиндра до определенного радиуса. В данной задаче рассмотрено давление автофретирования величиной в 220 МПа при рабочем давлении в 180 МПа. На рисунке 4 приведены результаты расчетов величин окружных напряжений в радиальном направлении аналитическим способом и методом конечных элементов.

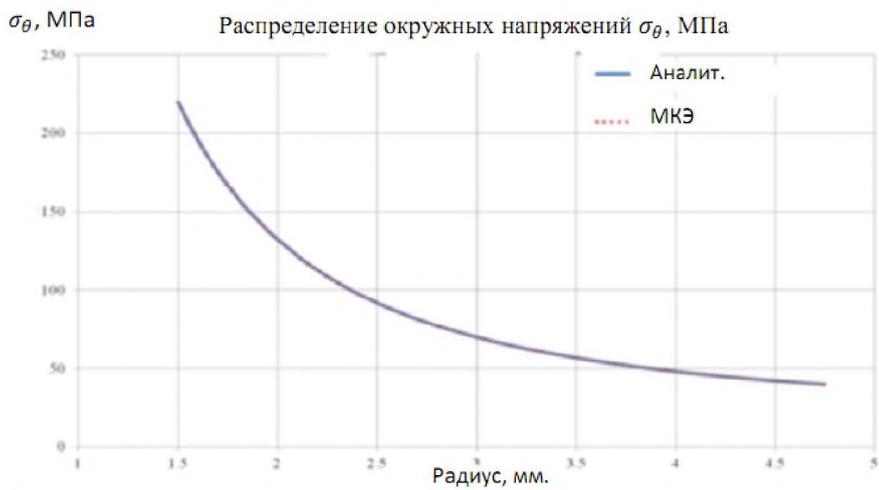


Рис. 4. Окружные напряжения до процесса автофретирования.

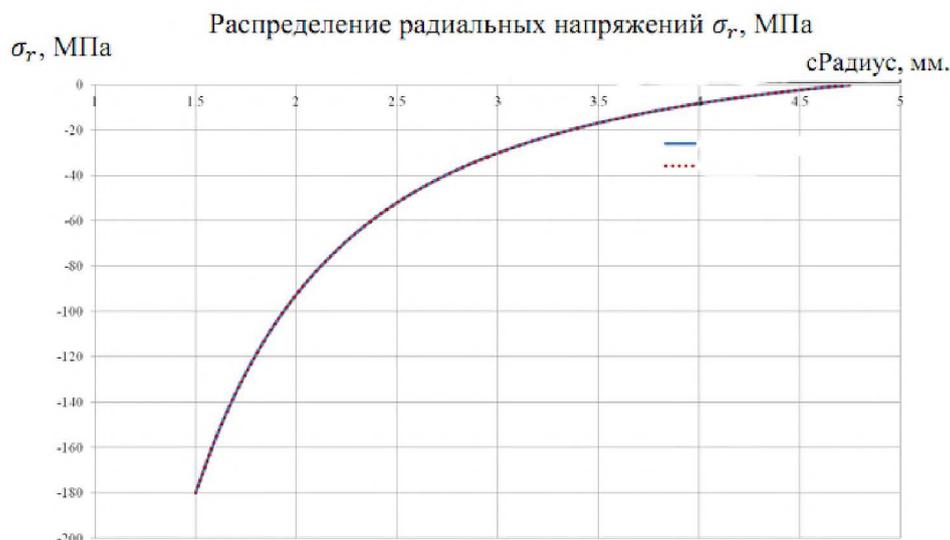


Рис. 5. Радиальные напряжения до процесса автофреттирования.

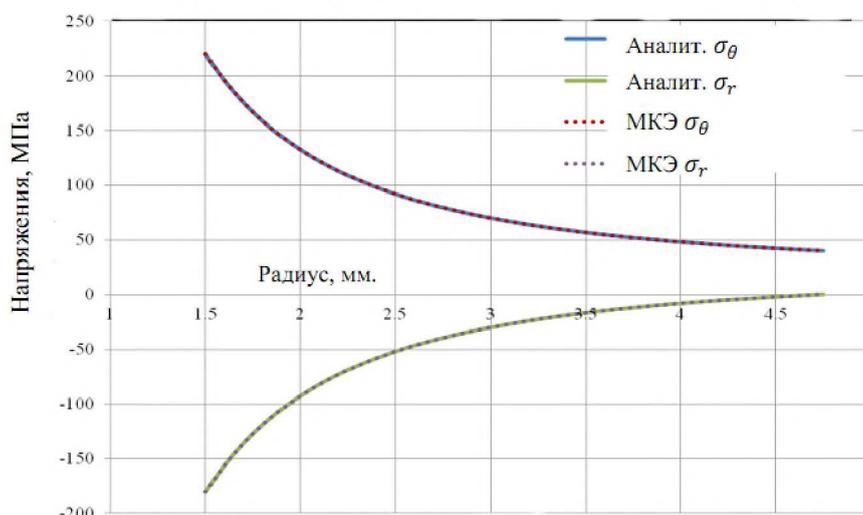


Рис. 6. Распределение напряжений в толстостенной трубе до процесса автофреттирования.

**Выводы.** Из полученных результатов можно сделать вывод, что результаты расчетов аналитическим методом и методом конечных элементов практически совпадают как количественно, так и качественно.

**Список литературы**

1. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести / Н.Н. Малинин. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с
2. Моделирование механического поведения металлопластиковых труб под действием внутреннего давления / С.Г. Иванов [и др.] // Механика композитных материалов. – 2005. – Т. 41. – №1. – С. 57–70.
3. Parker A.P. Bauschinger Effect Design Procedures for Autofrettaged Tubes Including Material Removal and Sachs' Method / A. P. Parker, J. H. Underwood, D.P. Kendall // Journal of Pressure Vessel Technology. – 1999. – № 121. – p. 430 – 437.
4. Loghman A. Loading and Unloading of Thick Walled Cylindrical Pressure Vessels of Strain Hardening Material / A. Loghman, M. A. Wahab // Journal of Pressure Vessel Technology. – 1994. – № 116. – p. 105 – 109.
5. Segall A. E. Localized Autofrettage as a Design Tool for the Fatigue Improvement of Cross-Bored Cylinders / A.E. Segall, C. Tricou, M. Evanko, J. C. Conway, Jr. // Journal of Pressure Vessel Technology. – 1998. – № 120. – p. 393 – 397.

**References:**

1. Malinin, N.N. Applied theory of plasticity and creep / of N.N. Malinin. - M.: Engineer, 1975. - 400 with
2. Design of mechanical behavior of metal-stratal pipes under the action of intrinsic pressure / of C.G. Ivanov [and other] // Mechanics of composite materials. - 2005. - T. 41. - №1. - P. 57-70.
3. Parker A.P. Bauschinger Effect Design Procedures for Autofrettaged Tubes Including Material Removal and

Sachs' Method / A. P. Parker, J. H. Underwood, D.P. Kendall // Journal of Pressure Vessel Technology. – 1999. – № 121. – p. 430 – 437.

4. Loghman A. Loading and Unloading of ThickWalled Cylindrical Pressure Vessels of StrainHardening Material / A. Loghman, M. A. Wahab // Journal of Pressure Vessel Technology. –1994. – № 116. – p. 105 – 109.

5. Segall A. E. Localized Autofrettage as a Design Tool for the Fatigue Improvement of Cross-Bored Cylinders / A.E. Segall, C. Tricou, M. Evanko, J. C. Conway, Jr. // Journal of Pressure Vessel Technology. – 1998. – № 120. – p. 393 – 397.

УДК: 53.089.5: 621.315.668.2: 539.383

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОПОР ПРИ СЖАТИИ

*Аскарбеков Р.Н.* соискатель КГТУ им. И. Раззакова, Кыргызстан, 720044, г. Бишкек, пр. Мира 66, e-mail: [askarbekovu@gmail.com](mailto:askarbekovu@gmail.com)

Цель статьи – выявить эффективность использования резинометаллических опор для систем сейсмо- и виброизоляций зданий, и сооружений. А также использование данных типов опор для виброизоляции оборудования, транспортных машин, устройств и т.п. В статье приводятся результаты экспериментов резинометаллической опоры при статических нагрузках. Полученные результаты приводятся в таблице и на рисунках. Данный эксперимент позволил определить важные физико-механические параметры для резинометаллических опор.

**Ключевые слова:** сжатие, резинометаллические опоры, деформация, напряжение, макет

### DETERMINATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF RUBBER METAL SUPPORTS UNDER COMPRESSION

*Askarbekov R.N.* PhD student of KSTU named after I. Razzakov, Kyrgyzstan, 720044, Bishkek, Mira ave. 66, e-mail: [askarbekovu@gmail.com](mailto:askarbekovu@gmail.com)

Aim of this article - to identify effectiveness of of using of rubber to metal supports and vibration isolation systems, seismic buildings and structures. And the use of these types of supports for vibration control equipment, transport vehicles, equipment, etc. The article presents the results of experiments, the rubber bearings under static loads. The results are given in tables and figures. This experiment allowed us to determine important physical and mechanical properties of rubber to metal supports.

**Keywords:** compression, rubber metal supports, deformation, stress, layout

Резиновые конструкции находят широкое применение в различных отраслях современной техники в качестве упругих шарниров и опор, амортизаторов и виброзащитных устройств, компенсаторов различного вида деформаций и т. д. По многим параметрам – простоте конструкций, надежности, габаритам, стоимости и др. – резиновые элементы превосходят традиционные системы того же назначения.

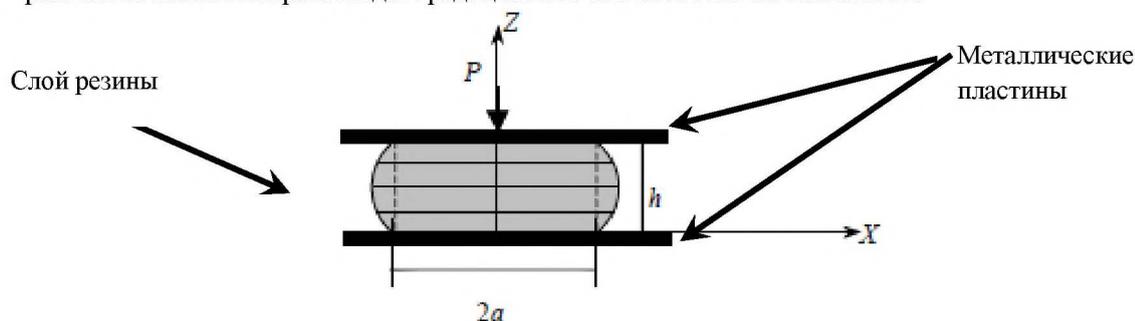


Рис. 1 Сжатие резинового элемента резинометаллического амортизатора

Рассмотрение задач расчета резинометаллических изделий в нелинейной постановке наиболее часто связано с необходимостью анализа механического поведения резиновых элементов, при простых нагружениях в области больших деформаций. Для расчета деформации в таких изделиях, вводят понятие «упругое тело», который имеет определенные граничные условия. В исследованиях зарубежных