

## К ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ АРТЕРИИ ПРИ РАСКРЫТИИ СТЕНТА

Е. В. Зайцев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель А. И. Столяров

*Выполнен расчет напряжений и деформаций в артерии и бляшке при раскрытии стента.*

**Ключевые слова:** стент, артерия, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.

Стентирование коронарных артерий – один из методов лечения ишемической болезни сердца, позволяющий увеличить просвет пораженной атеросклеротическим процессом артерии [1]. При этом происходит «раздавливание» атеросклеротической бляшки и увеличение просвета артерии сердца, в результате нормализуется коронарный кровоток. Стент оказывает механическое давление на сосудистую стенку (бляшку, артерию), изменяя ее напряженное состояние.

Целью данной работы являлся расчет напряжений и деформаций в артерии и бляшке при раскрытии стента, который проводили при помощи метода конечных элементов. На рис. 1 показана физическая модель системы артерия–бляшка–стент.

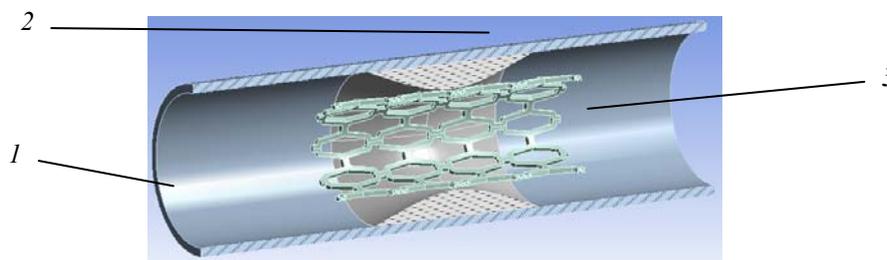


Рис. 1. Физическая модель системы артерия–бляшка–стент:  
1 – артерия; 2 – бляшка; 3 – стент

Предполагали, что артерия и бляшка изотропны и гиперупруги. Модель артерии была структурно разделена на три слоя: интима, медиа и адвенция (внутренний, средний и внешний слои кровеносного сосуда, соответственно). Выбранный геометрический профиль бляшки являлся одним из наиболее распространенных. Для описания механического поведения артерии и бляшки выбрали модели Ogden и Mooney-Rivlin, соответственно. Параметры модели Mooney-Rivlin для бляшки:  $C_{10} = 0,07508$ ;  $C_{01} = 0,1090$ ;  $C_{20} = 1,2935$ ;  $C_{11} = -2,542$ ;  $C_{02} = 2,4119$ . Значения параметров модели Ogden для слоев артерии приняли в соответствии с [2].

Материал стента – сталь 12X18Н10. Физико-механические свойства стали 12X18Н10: модуль упругости  $E = 1,98 \cdot 10^5$  МПа; плотность  $\rho = 7920$  кг/м<sup>3</sup>; предел прочности  $\sigma_b = 550$ – $650$  МПа, условный предел текучести  $\sigma_{0,2} = 225$ – $315$  МПа [3]. Приняли, что начальные напряжения в стенте отсутствуют, нагрузка равномерно распределена по внутренней поверхности.

Для достижения необходимой точности при минимальных затратах времени на вычисления напряжений и перемещений в структурах стента, артерии и бляшки общее количество конечных элементов составило более 80 тыс.

В результате расчета были получены значения напряжений и деформаций.

Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу в стенте показано на рис. 2, *а*, в артерии и бляшке – на рис. 2, *б*.

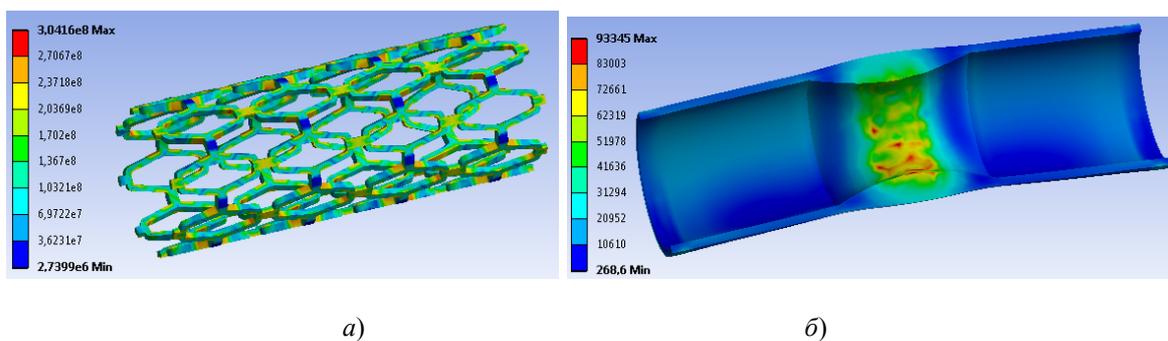


Рис. 2. Распределение эквивалентных напряжений (Па) по Мизесу:  
*а* – в стенте; *б* – в артерии и бляшке

Из рис. 2 видно, что наибольшее значение напряжений локализовано в зоне контакта стента и бляшки и составляет 93 кПа, при этом напряжения в стенке артерии незначительны. Значение максимальных эквивалентных напряжений в стенте при его полном раскрытии не превышает 304 МПа, что значительно меньше предела прочности материала, из которого он изготовлен. Уровень напряжений в стенте составил 70–170 МПа, при этом наблюдаются почти ненагруженные области с уровнем напряжений до 50 МПа.

Результаты численного моделирования взаимодействия артерии и бляшки со стентом показали, что уровень напряжений, возникающий в артерии, не превышает предела ее прочности и, соответственно, не приводит к ее повреждению. Наличие зон с низким уровнем напряжений в стенте позволяет изменить геометрические размеры его структурных элементов, снизить давление в дилатационном баллоне, а также уменьшить диапазон внешнего воздействия на сосуды, при которых они сохраняют необходимые функции.

#### Л и т е р а т у р а

1. Медицинская технология. Стентирование коронарных артерий / А. Г. Осиев [и др.]. – Новосибирск : НГУ, 2008.
2. Structural and Hemodynamic Analyses of Different Stent Structures in Curved and Stenotic Coronary Artery / L. Wei [et al.] // Front. Bioeng. Biotechnol. – 2019. – N 7, Iss 366. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00366>
3. Марочник сталей и сплавов / Ю. Г. Драгунов [и др.] ; под общей ред. Ю. Г. Драгунова и А. С. Зубченко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2014. – 1216 с.