

УДК 539.3

DOI: 10.17223/00213411/63/9/68

*С.А. МУСЛОВ<sup>2</sup>, Д.И. ПОЛЯКОВ<sup>2</sup>, А.И. ЛОТКОВ<sup>1</sup>, А.Г. СТЕПАНОВ<sup>2</sup>, С.Д. АРУТЮНОВ<sup>2</sup>***ИЗМЕРЕНИЕ И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
СИЛИКОНОВОГО КАУЧУКА \***

Выполнены измерение и расчет механических свойств силиконового каучука, применяемого для изготовления протеза ушной раковины больных на базе стоматологических CAD/CAM-систем с использованием гибридной технологии, включающей традиционные и цифровые методы производства медицинских изделий. Механические испытания на растяжение проводили в климатической камере при различных температурах: –20, 0, 25 и 40 °С. Все механические характеристики силиконового каучука лежали в весьма ограниченной области значений и при увеличении температуры испытаний от –20 до +45 °С монотонно снижались. Отмечена относительно высокая стойкость силиконового каучука к изменениям температуры. В рамках гиперупругой модели Муни – Ривлина определены коэффициенты модели C01 и C10, которые могут быть применены как параметры при выполнении имитационного моделирования напряженно-деформированного состояния протезов. На основании полученных данных сделана оценка плотности сшивки (cross-linked density) материала силиконового каучука как синтетического полимера. Она оказалась равной 0.49.

*Ключевые слова:* замещающие биоматериалы, протезирование, силиконовый каучук, механические свойства, гиперупругая модель Муни – Ривлина.

**Введение**

Каучукоподобные (резиноподобные) материалы, которые характеризуются относительно низким модулем упругости и большим объемным модулем, имеют сегодня широкий спектр применений в технике и медицине. Эти материалы часто называют гиперупругими. Опубликовано весьма большое количество работ по изучению и моделированию гиперупругих материалов [1–3]. Однако для получения адекватных результатов моделирования изделий из гиперупругих материалов необходимо точно определить константы Муни – Ривлина для них. В данной работе публикуются результаты комплексного изучения и расчета физико-механических свойств силиконового каучука, применяемого для изготовления протеза ушной раковины больным, страдающим микротией – врожденным недоразвитием ушной раковины вплоть до ее отсутствия, а также пациентам с посттравматической утратой ушной раковины и в связи с хирургическими вмешательствами по поводу онкологических заболеваний [4]. Силиконовый протез ушной раковины реконструируется с использованием цифровых CAD-систем по скану сохранившейся контралатеральной естественной ушной раковины, адаптации виртуального зеркального отображения в программе компьютерного моделирования. По полученной виртуальной модели ушной раковины моделируется в CAD-системе персонализированная конструкция кюветы протеза ушной раковины, которая изготавливается из термоустойчивого полимера аддитивной технологией 3D-печати [5]. Силиконовые каучуки начали массово использовать в конце 1950-х гг., и до сих пор этот материал остается наиболее распространенным среди биоматериалов. Силиконовые каучуки обладают хорошей биосовместимостью и полезными механическими свойствами, их также легко использовать в обработке.

**Материалы и методика исследований**

Исследование механических свойств образцов силиконовых каучуков при одноосном растяжении проводили на универсальной испытательной машине Instron® 5965 Series («Illinois Tool Works Inc.», США), укомплектованной датчиком нагрузки ±5000 Н и климатической камерой серии 3119, позволяющей испытывать материалы при температурах от –100 до +350 °С. Образцы в виде двухсторонних лопаток вырубали из пластины при помощи стандартного штампа. Размеры образцов для испытаний соответствовали требованиям ГОСТ 270-75 (тип 4). Рекомендованная ГОСТ 270-75 скорость испытаний составляла 500 мм/мин. Для фиксации образцов использовали

\* Работа выполнена в рамках госзадания ИФПМ СО РАН, проект III.23.2.2, а также в соответствии с планом НИР АААА-А16-116102010059-6 ФГАНУ ЦИТиС кафедры нормальной физиологии и медицинской физики и 009-06 «Совершенствование метода изготовления протеза ушной раковины с использованием аддитивной технологии 3D-печати» кафедры пропедевтики стоматологических заболеваний МГМСУ им. А.И. Евдокимова.

Уважаемые читатели!

Доступ к полнотекстовой версии журнала  
**«Известия высших учебных заведений. Физика»**  
осуществляется на платформе  
Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU  
на платной основе:

<https://elibrary.ru/contents.asp?titleid=7725>