

формация об университете, однако контент сайта, его сложная структура не позволяет увлечь слабо замотивированного пользователя. В связи с этим, так же надо обратить внимание на данные направления при следующей реорганизации или обновления сайта.

ЛИТЕРАТУРА

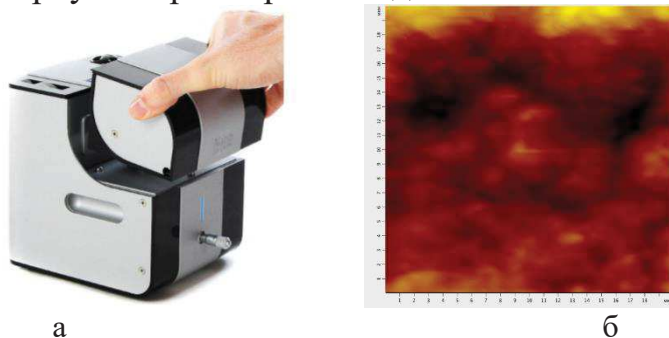
1. Элементарная веб-аналитика. Простые советы по анализу сайта для непрофессионалов URL: https://registratura.ru/blog/elementarnaya_veb_analitika_prostye_sovety_po_analizu_sayta_dlya_neprofessionalov (дата обращения 10.02.2021)

УДК 531, 519.63

М. А. Шилов, доц., канд. техн. наук (ИГЭУ, г. Иваново, ВятГУ г. Киров);
С. В. Фомин, проректор, канд. техн. наук (ВятГУ, г. Киров);
П.В. Королев, ассист. (ИГЭУ, г. Иваново);
А. В. Касперович, зав. каф., канд. техн. наук;
А.В. Шевчик, мл. науч. сотр (БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТА РЕАЛЬНОЙ ГИПЕРУПРУГОЙ ПОВЕРХНОСТИ С АНАЛИТИЧЕСКОЙ ПЛОСКОСТЬЮ

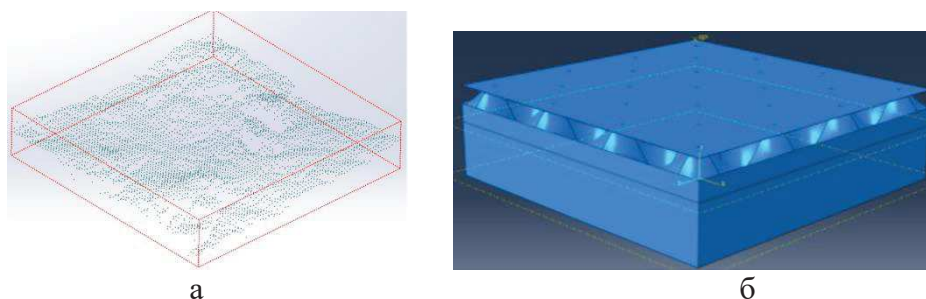
Для исследования шероховатости реальной нерегулярной поверхности резинового образца, был использован Сканирующий зондовый микроскоп «НАНОЭДЬЮКАТОР II» (рис. 1, а). Исследование проводится по методике, представленной в учебном пособии «Сканирующая зондовая микроскопия», написанном компанией НТ-МДТ [1]. На рис. 1, б представлен пример полученной шероховатости эластомера на виде сверху и в трехмерном виде.



а – внешний вид, б – шероховатости образца резины на основе каучука СКИ-3

**Рисунок 1 – Сканирующий зондовый микроскоп
«НАНОЭДЬЮКАТОР II»**

С целью получения цифровой модели поверхности гиперупругого образца нами использован программный комплекс SolidWorks. Данные сканированной области в формате «.txt» импортировали в SolidWorks для их 3D визуализации. Полученное облако точек представлено на рис. 2, а. Для получения сплошной поверхности из облака точек использовали «Мастер подготовки сетки» из опции ScanTo3D. Сглаживая границы и определяя настройки сетки получали нерегулярную поверхность, описывающую реальную шероховатость резинового образца. Полученные модели нерегулярной поверхности импортировали в программный комплекс Simulia Abaqus. Для создания цифровой модели контакта нами использованы экспериментальные данные по растяжению образцов из резины на основе СКИ-3, полученные в работе [2].



а - облако точек в SolidWorks, б - стальной штамп и поверхность

Рисунок 2 – Цифровая модель реальной поверхности

Количество элементов сетки нерегулярной поверхности: 63586. Тип элемента: C3D8H – восьмиузловой шестигранный конечный элемент сплошной среды в смешанной постановке с линейной функцией формы и равномерным распределением давления (одна дополнительная переменная) в пределах элемента. Поверхности нагружали посредством приложения нормальной нагрузки на гладкий стальной штамп, равной 60 Н (рис. 3).

Каждое основание поверхности жестко закреплялось. В качестве модели материала использована модель Марлоу с параметром с $N=1$. В результате нагружения нерегулярной поверхности получены контактные напряжения и площади контакта рис. 4.

Анализируя полученные данные, приведем зависимость между фактической и номинальной площадями контакта при нормальной нагрузке в 60 Н для нерегулярной поверхности и ее регулярного аналога в виде таблицы.

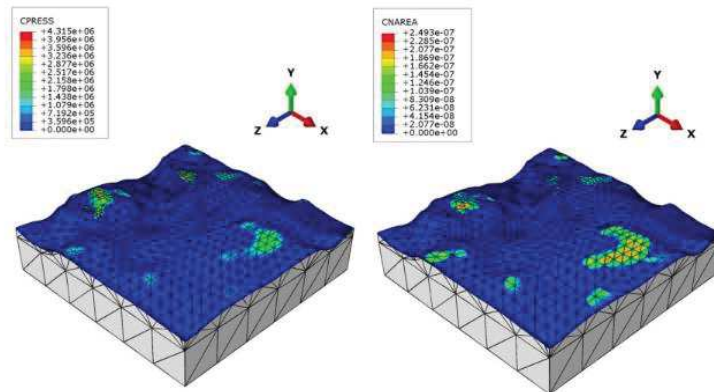


Рисунок 4 – Контактные напряжения (CPRESS, МПа) и площадь контакта (CNAREA, мм²) для трех нерегулярных поверхностей соответственно
Таблица – Зависимость между фактической (A) и номинальной (Aa) площадями контакта при нормальной нагрузке в 60 Н для двух нерегулярных поверхностей и их регулярных аналогов

Модель	A/Aa (%)	
	Sin (регулярный аналог шероховатой поверхности)	Irregular (нерегулярная поверхность)
1	7,586	8,135
2	6,009	12,375

Очевидно также, что различие между нерегулярными и регулярными поверхностями, описывающими шероховатости эластомера, велико. Разброс составляет от 7 до 100 %: самое большое отличие в моделях №2, самое небольшое в моделях №1 (7%). Результаты моделирования показали существенное влияние выбора волнистости (амплитуды, периода) при создании регулярной поверхности на фактическую площадь контакта. Эти данные будут нами использованы для модификации модели, полученной ранее в работе [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Круглов А.В., Голубок А.О. Инструкция по работе с СЗМ НАНОЭДЬЮКАТОР II, включающая лабораторные работы для школьников. Москва, 2012. 179 с.
2. Шилов М.А., Фомин С.В., Бритова А.А., П.В. Королев. Исследование физико-механических свойств резин, армированных углеродными наноструктурами // Жидк. крист. и их практич. использ. 2020. Т. 20, № 4. С. 93–98.
3. Finite-element simulation of cyclic compression of a cylinder with account for energy dissipation / M.A. Shilov, P.V. Korolev, L.B. Maslov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Bristol: IOP Publishing. 2020. vol. 1., Т. 20. – pp.85–91.