

УДК 550.8.08: 681.2-2: 539.3: 539.3/.6: 004.942

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛИМЕРНОГО ПОДВЕСА  
ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА В МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОМ  
ПРИБОРЕ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ МАГНИТНЫХ  
ПОЛЕЙ**

Коробейников А.Г., Перечесова А.Д., Калапышина И.И.

*СПбФ ИЗМИРАН, СПб, Университетская наб, д.5, лит. Б,*

*office@izmiran.spb.ru*

Для измерения низкочастотных магнитных полей в СПбФ ИЗМИРАН на базе упругого торсионного подвеса разработан высокотехнологичный геофизический комплекс серии GI-MTS. Торсион изготовлен из полимерного материала: трех микрофиламентов арамидных нитей. В ходе исследований были спроектированы расчетные модели в среде ANSYS WorkBench, позволяющие моделировать и анализировать результаты для торсионов с плотностью плетения 7 узлов/мм.

*ВВЕДЕНИЕ*

В СПбФ ИЗМИРАН для измерения низкочастотных магнитных полей разработан высокотехнологичный геофизический комплекс серии GI-MTS (рис. 1а). Ответственную роль в комплексе играет упругий чувствительный элемент – торсионный подвес (УТП) магниточувствительного элемента (МЧЭ) магнитостатического вариометра. Торсион изготавливают из трех микрофиламентов арамидных нитей диаметром 16 мкм (рис. 1б, в).

Использование арамидных торсионных подвесов позволяет: понизить величину модуля кручения; увеличить устойчивость при изменении климатических факторов, уменьшить величину температурного дрейфа, увеличить устойчивость при динамических нагрузках [1].

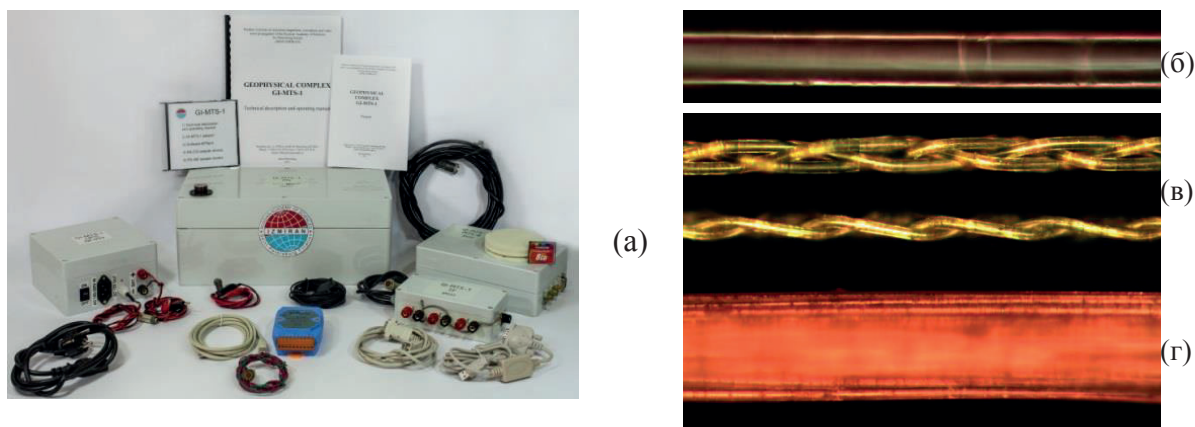


Рис. 1. Внешний вид комплекса GI-MTS-1 (а); фотографии одного микрофиламента арамидных нитей (x400, б), торсиона в двух проекциях (x160, в) и нить линейной плотности 6,3 текс (x80, г).

В ходе исследований возникла задача по созданию расчетных моделей для анализа торсионов с плотностью плетения 7 узлов/мм. В ходе исследований представлены результаты, полученные при помощи среды ANSYS WorkBench [2-13].

#### *ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ*

УТП представляет из себя спирально-анизотропный стержень в виде косы с плотностью плетения 7 узлов/мм. Огибающая поперечного сечения УТП – это эллипс, у которого большая ось равна 0,046 мм, а малая – 0,033 мм; рабочая длина УТП равна 100 мм. На рисунках 1б, в, г представлены фотографии, которые были получены при помощи микроскопа Meiji Techno IM7200 [16].

Микронные размеры и плотное плетение торсиона приводит к значительным техническим сложностям и высоким временным затратам при их изготовлении, поэтому для определения оптимальных характеристик плетеных микрофиламентных арамидных торсионов целесообразно применять современные методы аналитического исследования, реализованные в пакете ANSYS WorkBench и SolidWorks.

Для аналитического исследования плетеного торсиона были созданы 3-D модели в программе SolidWorks, которые соответствуют геометриче-

скому строению исследуемых образцов. Расчетные модели и построения конечно-элементной сетки были выполнены в среде ANSYS WorkBench и с использованием модуля Explicit Dynamics, который имитирует реакции конструкции к нагрузкам. Далее был создан командный файл, содержащий всю информацию о модели для дальнейшего расчета, который предоставляет возможность учесть нагрузки и разрушения, а также деформации материала. Выбранный метод решения позволяет учесть геометрию нелинейного контакта и структурные проблемы при исследовании торсиона из полимерных материалов в форме косы.

Ранее была разработана методика, позволяющая значительно сократить эффект внутреннего проскальзывания филамента в зажиме, что повышает точность и стабильность экспериментальных исследований на растяжение нитевидных образцов с микронными толщинами. Были получены параметры необходимые для расчетов на ANSYS WorkBench – физико-механические параметры одного филамента арамидной нити (коэффициент Пуассона, Модуль Юнга и др.) [12].

### *Моделирование экспериментов на растяжение с помощью ANSYS*

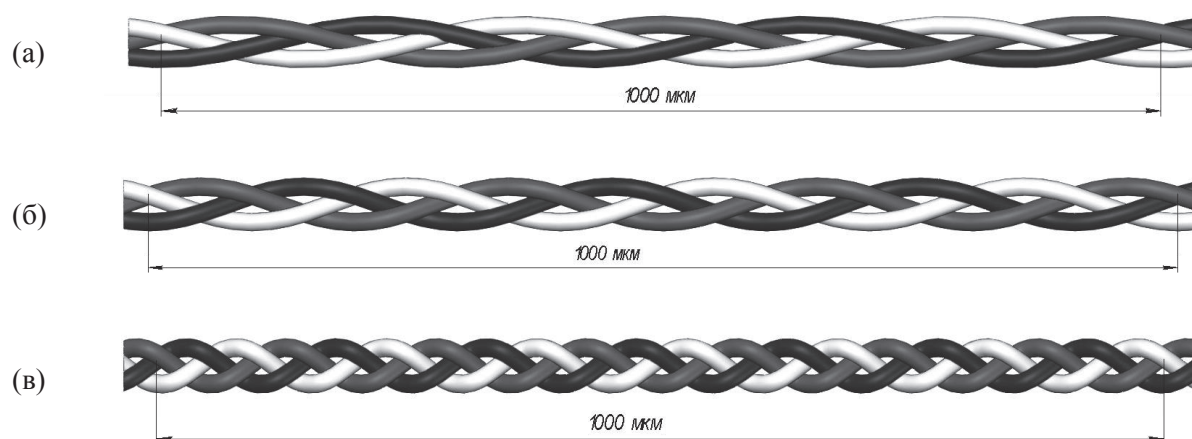


Рис. 2. 3-D модели SolidWorks торсиона плотность плетения 7 узлов/мм (а), 15 узлов/мм (б), 20 узлов/мм (в).

Для аналитического исследования плетеного торсиона были созданы 3-D модели в программе SolidWorks, которые соответствуют геометриче-

скому строению исследуемых образцов: 7 узлов/мм, 15 узлов/мм, 20 узлов/мм (рис. 2). Для моделирования были использованы экспериментальные данные с графиков, на которых аппроксимированная кривая показала результат: сила – 0,72 Н, удлинение – 3,1 мм (при базе измерения 50 мм).

На рис. 3 представлена конечно-элементная модель (а), зона разрушения (б) арамидного плетеного торсиона из полимерных материалов с плотностью плетения 7 узлов/мм в среде ANSYS WorkBench.

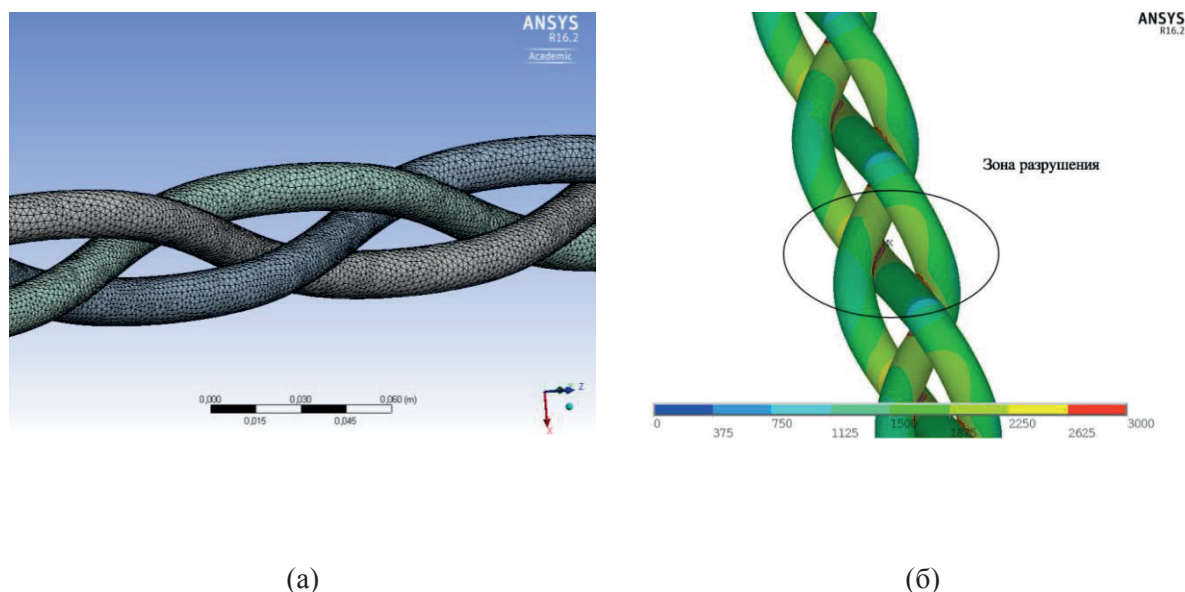


Рис. 3. ANSYS моделирование разрыва: конечно-элементная модель (а) и деформированное состояние на начальной стадии (б).

В областях модели была построена конечно-элементная модель, имеющая размер ячейки 18 нм [17]. Деформированное состояние на начальной стадии (рис. 3б) локализовано в области отмеченной красным цветом, за непродолжительное время первоначальная зона критической деформации увеличивается, образуются новые очаги на длине всего образца, начинают разрушаться арамидные волокна, а по площади торсиона распространяется область напряженного состояния, переходя к полному разрыву испытуемого образца.

Исследование арамидного плетеного торсиона в среде ANSYS WorkBench позволило оценить критическую силу, после которой начинается необратимые пластические деформации образца с последующим раз-

рывом, сила составила  $F=1,21-1,38$  (Н), что соответствует предварительным экспериментальным данным, полученным ранее для арамидного плетеного торсиона из полимерных материалов с плотностью плетения 7 узлов/мм [12].

### *ЗАКЛЮЧЕНИЕ*

В работе представлен объект исследования, описана проблема определения оптимальных характеристик плетеных микрофиламентных арамидных торсионов, обоснована целесообразность применения современных методов аналитического исследования, реализованных в пакете ANSYS WorkBench и SolidWorks. Продемонстрированы результаты эксперимента на растяжение образцов филаментов арамидных нитей, выбран оптимальный вариант дополнительной фиксации образца в зажиме с помощью БФ-2, минимизирующий эффект внутреннего соскальзывания нитей в зажиме. Получены параметры необходимые для расчетов на ANSYS WorkBench. Представлены результаты исследования арамидного плетеного торсиона в среде ANSYS WorkBench, которые позволили оценить критическую силу, после которой начинается необратимые пластические деформации образца с последующем разрывом. Сила составила  $F=1,21-1,38$  (Н), что соответствует предварительным экспериментальным данным, полученным ранее для арамидного плетеного торсиона из полимерных материалов с плотностью плетения 7 узлов/мм [16].

В работе представлен объект исследования, обоснована целесообразность применения современных методов аналитического исследования, реализованных в пакете ANSYS WorkBench и SolidWorks. Представлены результаты исследования арамидного плетеного торсиона в среде ANSYS WorkBench, которые позволили оценить критическую силу, после которой начинается необратимые пластические деформации образца с последующем разрывом. Сила составила  $F= 1,21-1,38$  (Н), что соответствует предва-

рительным экспериментальным данным, полученным ранее для арамидного плетеного торсиона из полимерных материалов с плотностью плетения 7 узлов/мм. Планируется спроектировать конечно-элементные модели в среде ANSYS WorkBench, получить и проанализировать результат для торсионов с плотностью плетения 7 узлов/мм, 15 узлов/мм, 20 узлов/мм. Выбрать оптимальные характеристики торсионного подвеса для системы комплекса серии GI-MTS.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Копытенко Ю.А., Петрищев М.С., Сергушин П.А., Леваненко В.А., Перечесова А.Д.* /Устройство для изготовления торсионных подвесов чувствительных элементов приборов / патент РФ № 2519888, МПК D07B3/00, 20.06.2014, Бюл. № 17.
2. *Коробейников А. Г., Гатчин Ю. А.* Математические основы криптологии. Учебное пособие. СПб: СПб ГУ ИТМО, 2004. – 106 с, илл.
3. *Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю., Святкина М.Н.* /Применение интеллектуальных агентов магнитных измерений для мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры/ Кибернетика и программирование. 2013. №3. С.9-20.
4. *Коробейников А.Г., Кутузов И.М.* /Алгоритм обфускации/ Кибернетика и программирование. 2013. №3. С.1-8.
5. *Коробейников А.Г.* Разработка и анализ математических моделей с использованием MATLAB и Maple. Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО. 2010. 144 с.
6. *Гришенцев А.Ю., Коробейников А.Г.* /Понижение размерности пространства при корреляции и свертке цифровых сигналов/ Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т.59. №3. С.211-218.



7. *Коробейников А. Г.* Математические основы криптографии. Учебное пособие. СПб: СПб ГИТМО (ТУ), 2002. 41 с
8. *Коробейников А.Г.* Проектирование и исследование математических моделей в средах MATLAB и Maple. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2012. – 160 с.
9. *Коробейников А.Г., Копытенко Ю.А., Исмагилов В.С.*  
/Интеллектуальные информационные системы магнитных измерений/  
Научно-технический вестник информационных технологий, механики  
и оптики. 2011. №1 (71). С.39-45.
10. *Коробейников А.Г., Ахапкина И.Б., Безрук Н.В., Демина Е.А., Ямщикова Н.В.* /Применение системы компьютерной алгебры Maple в обучении проектированию и анализу многомерных математических моделей/ Информатика и образование. 2014. №253. С.69.
11. *Коробейников А.Г., Гришенцев А.Ю.* Разработка и исследование многомерных математических моделей с использованием систем компьютерной алгебры. – СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 100 с.
12. *Коробейников А.Г., Перечесова А.Д., Калапышина И.И., Леваненко В.А., Гатчин Ю.А., Федосовский М.Е., Поляков В.И.* /Применение полимерных материалов в системе измерения низкочастотных магнитных полей/ Структура и динамика молекулярных систем. Сборник докладов и сообщений на XXIII Всероссийской конференции «Структура и динамика молекулярных систем». - Йошкар-Ола: ПГТУ, 2017. С.46-54.
13. *Перечесова А.Д., Калапышина И.И.* /Выбор метода испытания на растяжение арамидных нитей/ Приборы. - М: Союз общественных объединений "Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов", 2014. Вып.172. №10. С.28-33.
14. *Мусалимов В.М., Заморуев Г.Б., Перечесова А.Д.* /Расчет физико-механических характеристик винтовых элементов спирально-

- анизотропных стержней/ Изв. вузов. Приборостроение. 2012. Т.55, №6. С.24-30.
15. *Perechosova A.D., Kalapyshina I.I., Nuzhdin K.A.* /Kinematics and dynamics analysis of different mechanisms using the simmechanics/SIMULINK/MATLAB/ 26th European Modeling and Simulation Symposium, EMSS 2014. 2014. P.128-135.
16. *Перечесова А.Д* Анализ и синтез механизма для плетения торсионных подвесов приборов: дис. канд. техн. наук: 05.02.18. – СПб, 2012. – 125 с.
17. *Бруяка В.А., Фокин В.Г., Курвева Я.В.* Инженерный анализ в Ansys Workbench: Учебное пособие /Самара: Самар. гос. техн.ун-т, 2013. - 148с.: ил.