

9. Senthilkumar M., Sounderraj S., Anbumani N. Effect of spandex input tension, spandex linear density and cotton yarn loop length on dynamic elastic behavior of cotton/spandex knitted fabrics// Journal of Textile and Apparel, Technology and Management/ - 2012, Vol.7, Is.4
10. Степанов И.О., Ханбекова Н.Д., Андреева Е.Г., Гусева М.А. Проектирование технологии пошива мужских костюмов с учетом свойств эластичных материалов// Вестник молодых ученых, 2018.
11. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д., Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство). - М.: Академия. 2010. – 448 с.

УДК 602.17

## СВЕРХПРОЧНЫЕ АРАМИДНЫЕ ПОЛИМЕРЫ И КОМПОЗИТЫ НА ИХ ОСНОВЕ

### SUPERPROPRIATE ARAMID POLYMERS AND COMPOSITES BASED ON THEIR BASIS

И.А. Абронин<sup>1</sup>, М.А. Молоканов<sup>1</sup>, В.А. Ракитина<sup>2</sup>, М.В. Шаблыгин<sup>2</sup>  
I.A. Abronin<sup>1</sup>, M.A. Molokanov<sup>1</sup>, V.A. Rakitina<sup>2</sup>, M.V. Shablogin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Московский политехнический университет

<sup>2</sup>НПО «Термиз» (Москва)

Moscow Polytechnic University

SPA «Termiz»

E-mail: [iaabr@mail.ru](mailto:iaabr@mail.ru), [lebed48@icloud.com](mailto:lebed48@icloud.com), [Valeriirelav@bk.ru](mailto:Valeriirelav@bk.ru), [spectr32@mail.ru](mailto:spectr32@mail.ru)

**В работе рассмотрены подходы к теоретическому анализу относительной прочности арамидных полимеров. В частности приведены результаты модельных квантово-химических расчетов влияния водородных связей в ароматических полиамидах в полиамидах типа кевлар, СВМ, РУСАР, РУСЛАН и их композитов на их относительную устойчивость.**

**Ключевые слова:** кевлар; слоисто-тканевые материалы; арамидные полимеры; водородные связи; квантовая химия; молекулярная механика.

**The approaches to the theoretical analysis of the relative strength of aramid polymers are considered. In particular, the results of model quantum chemical calculations of the effect of hydrogen bonds in aromatic polyamides in polyamides such as Kevlar, CBM, RUSAR, RUSLAN and their composites on their relative stability are presented.**

**Key words:** Kevlar; layered-fabric materials; aramid polymers; hydrogen bonds; quantum chemistry; molecular mechanics.

Арамидные нити, волокна, пленки товарных знаков РУСАЛ, СВМ, РУСЛАН [1] обладают уникальными физико-механическими свойствами, обусловленными специфическим строением макромолекулярных агрегатов.

Решающим фактором их строения является высокий ориентационный порядок макромолекул и существование специфического межмолекулярного взаимодействия посредством систем водородных связей [2], а также π-π взаимодействием электронных систем бензольных колец соседних макромолекул [3].

Для п-арамидов товарных знаков кевлар, тварон межмолекулярные взаимодействия осуществляются водородными связями бензамидных систем, плоскости которых повернуты относительно бензольных колец.

Существование межмолекулярных Н-связей в ароматических полиамидах, согласно работам является причиной возникновения «самоориентационных» процессов при температурных обработках арамидных нитей РУСАЛ, РУСЛАН, СВМ.

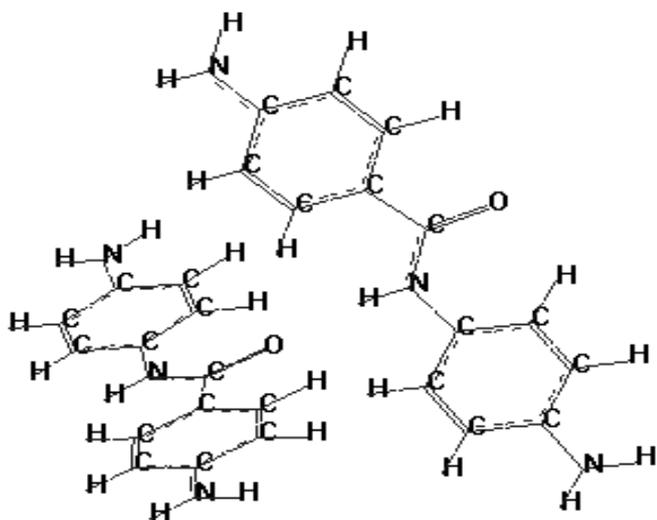
Проведение термохимических исследований и дифференциально-термического анализа мономерных соединений подтвердили ранее опубликованные результаты существования полиморфных форм 5(6)-амино-2(п-амино) фенилбензимидазола с двумя температурами их плавления и нескольких видов кристаллов.[1-3, с 16-24].

Последние исследования показали, что композитные слоистые материалы изготовленные на основе волокон и тканей из РУСАЛа и кевлара обладают даже большей прочностью и эксплуатационными характеристиками. При этом их себестоимость заметно уменьшается в связи с более простой технологией производства кевлара и меньшей стоимостью исходных веществ.

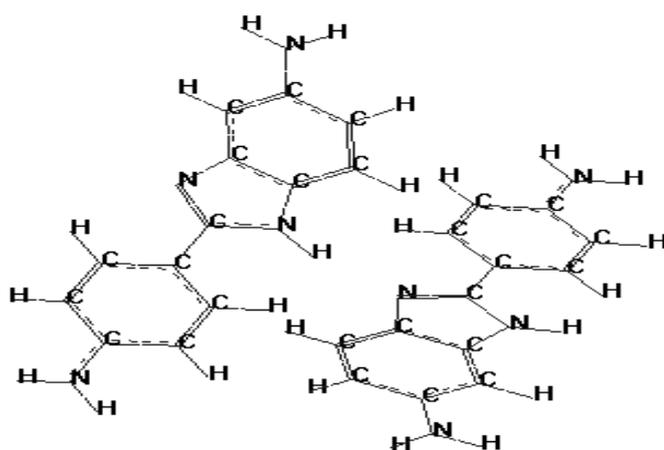
В настоящей работе неэмпирическими квантово-химическими методами с полной оптимизацией геометрических параметров и энергии комплекса образования водородных связей, димерных фрагментов кевлара, РУСАЛа и смешанных фрагментов кевлара и РУСАЛа связанных водородными связями между пиптидной группой фрагмента кевлара и медозольной группой РУСАЛа.

Таблица 1

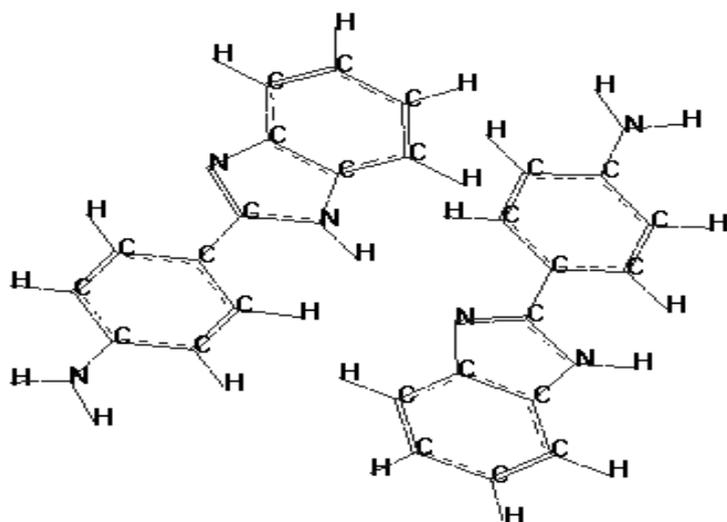
Структура и энергия водородносвязанных комплексов



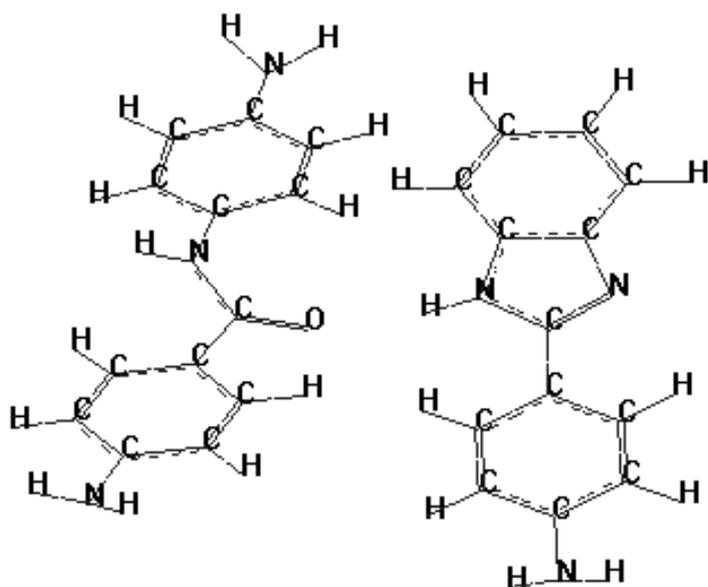
$E_H=5,52$   
ккал/моль (рис.1)



$E_H=7,96$   
ккал/моль (рис.2)



$E_H=8,13$   
ккал/моль (рис.3)



$E_H=8,43$   
ккал/моль (рис.4)

Из полученных результатов следует, что водородные связи между имидазольными фрагментами полимерных волокон РУСАРА, а также комплекса его фрагментов водородносвязанного комплексы между пептидной связью кевлара и имидазольной группы РУСАРА могут вносить существенный вклад в их стабильность, при этом оказалось, что минимальная энергия водородной связи на рис.1 составляет 5,52 ккал/моль, для фрагмента РУСАРА и кевлара - 8,43 ккал/моль, что является максимальным в рассмотренном водородносвязанном комплексе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Лакунин В.Ю., Шаблыгин М.В., Складорова Г.Б., Ткачева Л.В.// Номенклатура и свойства арамидных нитей, производимых ОАО «Каменскволокно», Хим.волокна, 2010,№3.
2. Шаблыгин М.В.// Межмолекулярные взаимодействия в химии и технологии волокон. Хим. Волокна, 2006, №6.
3. Лакунин В.Ю., Шаблыгин М.В.// Номенклатура и свойства арамидных нитей, производимых ОАО «Каменскволокно», Хим.волокна, 2010,№3.
4. Абронин И.А., Ракитина В.А., Слугин И.В., Шаблыгин М.В. // Квантово-химические исследования структуры фенилбензимидазола.и Хим.волокна, 2004, №4, с 42-46

5. Абронин И.А., Ракитина В.А., Грибанов В.А.// Квантово-химический расчет водородных связей. Хим. волокна, 2005, №6, с 81-85
6. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, Л.В. Волкова, М.В. Шаблыгин// Особенности водородных связей в ароматических полиамидах, содержащих бензимидазольные группировки, по данным квантово-химических расчетов. Хим. волокна, 2015 №5, с 40-43
7. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, В.А. Ракитина, М.В. Шаблыгин.// Модельные квантово-химические расчеты водородных связей между полимерными молекулами в волокнах типа АРМОС. Материалы международного семинара «Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы» SMARTEX-2013. Иваново, 2013, с.32-34.
8. И.А. Абронин, А.В. Бандуркин, Л.В. Волкова, М.В. Шаблыгин // Особенности водородных связей в ароматических полиамидах, содержащих бензимидазольные группировки, по данным квантово-химических расчетов. Хим. волокна, 2015 №5, с 40-43

УДК 677.074.1

## **РАЗРАБОТКА СТРУКТУР ТКАНЕЙ ДЛЯ МЯГКОЙ БРОНЕЗАЩИТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКООБЪЕМНЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ НИТЕЙ**

## **DEVELOPMENT OF STRUCTURES OF FABRICS FOR MILD BODY ARMOR WITH THE USE OF HIGH-SIZE AND COMBINED THREADS**

П.Е. Сафонов<sup>1</sup>, Н.М. Левакова<sup>1</sup>, С.С. Юхин<sup>2</sup>  
P.E. Safonov<sup>1</sup>, N. M. Levakova<sup>1</sup>, S.S. Yukhin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «ТЕКС-ЦЕНТР», (Москва)

<sup>2</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина  
(Технологии. Дизайн. Искусство), (Москва)

<sup>1</sup>TEKS-CENTRE Ltd (Moscow)

<sup>2</sup>Russian State University "A.N. Kosygin" (Technology. Design. Art), (Moscow)

E-mail: info@teks-centre.ru, sergeyyukhin@yandex.ru

Представлены результаты разработки защитных арамидных тканей с использованием высокообъемных и комбинированных неоднородных нитей. Подтверждена целесообразность использования высокообъемных нитей для повышения осколочной стойкости арамидных тканей и целесообразность использования комбинированных нитей со стальной оплеткой для защиты от холодного оружия.

**Ключевые слова:** арамидные нити, текстурированные высокообъемные нити, комбинированные неоднородные нити, противоосколочная стойкость ткани.

The results of the development of protective aramid fabrics using high-size and combined heterogeneous threads are presented. The expediency of the use of high-size threads to increase the fragmentary resistance of aramid fabrics and the feasibility of using combined threads with steel braid for protection against cold weapons is confirmed.

**Keywords:** aramid threads, textured high-size threads, combination of heterogeneous threads, ballistic resistance of the fabric.

При проектировании рациональных структур защитных тканей на основе высокопрочных и высокомодульных арамидных нитей необходимо иметь четкие представления о механизмах разрушения той или иной структуры при воздействии поражающих элементов определенной формы и с определенной скоростью (энергией).