

УДК 677:620.1

**РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК  
СТРОЕНИЯ ПРИРОДНЫХ АРМИРОВАННЫХ ОБОЛОЧЕК\***

**CLASSIFICATION DEVELOPMENT  
OF A NATURAL REINFORCED SHELLS CHARACTERISTICS**

*Г. МАХМУДОВА<sup>1</sup>, Т.В. РУДНЕВА<sup>2</sup>, Е.М. БАЗАЕВ<sup>2</sup>, С.И. СТАХАНОВА<sup>2</sup>,  
С.Ш. ТАШПУЛАТОВ<sup>3</sup>, У.Т. СУЛЕЙМЕНОВА<sup>4</sup>*

*G. MAKHMUDOVA<sup>1</sup>, T.V. RUDNEV<sup>2</sup>, E.M. BAZAEV<sup>2</sup>, S.I. STAKHANOVA<sup>2</sup>,  
S.SH. TASHPULATOV<sup>3</sup>, U.T. SULEIMENOVA<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан,  
<sup>2</sup>Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство),  
<sup>3</sup>Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан,  
<sup>4</sup>Университет дружбы народов имени академика А. Куатбекова, Республика Казахстан)

<sup>1</sup>M. Auezov South Kazakhstan State University, Republic of Kazakhstan,  
<sup>2</sup>Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art),  
<sup>3</sup>Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan,  
<sup>4</sup>University of Friendship of Peoples named after Academician A. Kuatbekov, Republic of Kazakhstan)

E-mail: maxmudova1974@mail.ru

*В статье приводятся результаты анализа особенностей строения природных армированных оболочек, а также классификация их характеристик, позволяющая выделить наиболее значимые особенности строения для проектирования швейных изделий с зональным распределением физико-механических свойств.*

*Таким образом, паутина характеризуется радиально-кольцевым расположением структурных элементов. Рисунок жилкования листьев растений зависит от формы листа. В большинстве случаев можно выделить наиболее толстые жилки, образующие основной каркас, от которого расходится сеть более мелких вспомогательных жилок. Особенности образования рисунка жилкования крыльев насекомых сходны с рисунком жилкования растений, в котором также можно выделить жилки, образующие основной каркас крыла, однако, в отличие от паутины, сложно определить общее направление вспомогательных жилок. В соответствии с этим структуру листьев растений и крыльев насекомых можно назвать безаксиальной, которая, в отличие от двуаксиальной, триаксиальной и других переплетений, не имеет систем непрерывных однонаправленных нитей. Аналогичный*

\* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-29-13044.

\* The reported study was funded by RFBR, project number 19-29-13044.

*текстильный материал с такой структурой возможно изготовить методом настрачивания армирующих нитей на водорастворимую ткань-подложку.*

*Investigation results of the natural shells structural features were displayed. Developed classification of natural shells characteristics will allow indicating structural features, most significant for designing of the sewn products with zonal distribution of physical-mechanical properties.*

*Thus, the web is characterized by a radial-ring arrangement of structural elements. The venation pattern of plant leaves depends on the shape of the leaf. In most cases, the thickest veins can be distinguished, forming the main frame, from which a network of smaller auxiliary veins diverges. The peculiarities of the formation of the venation of insect wings is similar to the pattern of venation of plants, in which it is also possible to distinguish the veins forming the main skeleton of the wing, however, unlike the web, it is difficult to determine the general direction of the auxiliary veins. In accordance with this, the structure of the leaves of plants and insect wings can be called axial-free, which, unlike biaxial, triaxial and other weaves, does not have continuous unidirectional filament systems. A similar textile material with such a structure can be made by tuning reinforcing threads onto a water-soluble backing fabric.*

**Ключевые слова:** природные оболочки, текстильные оболочки, армирование, нерегулярная структура.

**Keywords:** natural shells, textile shells, reinforcement, irregular textile structure.

Возрастающий интерес ученых к эффективным структурам, встречающимся в природе, и расширение сферы их применения при проектировании новых конструкций и материалов приводит к необходимости изучения особенностей геометрического строения природных оболочек и его влияния на физико-механические свойства текстильных аналогов. Формирование базы данных и разработка классификации характеристик строения таких оболочек позволит усовершенствовать процесс проектирования швейных изделий бытового и специального назначения с нерегулярной (анизотропной) структурой.

Оболочка – тело, у которого один размер (например, толщина) существенно меньше двух других [1]. К природным оболочкам можно отнести листья растений, крылья насекомых, паутину и т.д., так как их толщина значительно меньше размеров.

Исследования, проведенные специалистами разных стран [2], [3], показали, что природные оболочки обладают не только

красотой и привлекательностью геометрического строения, но и повышенными показателями прочности, формоустойчивости и малым весом.

Проектирование текстильных оболочек по принципу строения природных структур является актуальной задачей швейной отрасли, так как позволяет найти рациональное соотношение между малой массой и высокой прочностью изделия за счет зонального распределения физико-механических свойств (жесткости и гибкости).

На первом этапе исследований для выявления особенностей строения армированных природных оболочек проведен визуальный анализ геометрической структуры листьев растений, крыльев насекомых и паучьих сетей.

В каждом виде природных оболочек можно выделить базовые структурные элементы: в крыльях насекомых – мембрану, представляющую собой аэродинамическую поверхность, и пересекающиеся жилки, образующие рисунок жилкования; в листь-

ях растений – листовую пластинку и жилки; в паутине – переплетающиеся между собой нити паучьего шелка [2], [4...6], [11].

Наибольший интерес для дальнейших исследований представляет плоская колесовидная паутина, поскольку она покрывает наибольшую площадь при минимальных затратах материала [2], а также растительный лист с сетчатым рисунком жилкования и крыло стрекозы, имеющие в своей структуре разные по форме и размеру ячейки.

Геометрическое строение природной оболочки характеризуется расположением структурных элементов. Так, в плоской круговой паутине более прочные нити паучьего шелка располагаются расходящимися из одной точки радиусами, по которым проложены спирали клейких нитей [2]. Таким образом, паутина характеризуется радиально-кольцевым расположением структурных элементов. Рисунок жилкования листьев растений зависит от формы листа. В большинстве случаев можно выделить наиболее толстые жилки, образующие основной каркас, от которого расходится сеть более мелких вспомогательных жилок [4], [5]. Особенности образования рисунка жилкования крыльев насекомых сходны с рисунком жилкования растений, в котором также можно выделить жилки, образующие основной каркас крыла, однако, в отличие от паутины, сложно определить общее направление вспомогательных жилок. В соответствии с этим структуру листьев растений и крыльев насекомых можно назвать безаксиальной, которая, в отличие от двуаксиального, триаксиального и других переплетений, не имеет систем непрерывных однонаправленных нитей. Аналогичный текстильный материал с такой структурой возможно изготовить методом настрачивания армирующих нитей на водорастворимую ткань-подложку [7].

Кроме того, особенности строения природных оболочек представляют большой интерес в области проектирования и производства технических изделий из композиционных материалов. Геометрические характеристики природных структур учи-

тываются при разработке армирующего каркаса, от свойств которого зависит масса и прочность конструкции [8], [9].

Анализ природных оболочек позволил выделить, что, в отличие от текстильных материалов, применяемых в настоящее время для изготовления швейных изделий, природные оболочки имеют нерегулярную структуру, образованную разными по форме и размеру ячейками [10] и таким образом способствующую зональному распределению физико-механических свойств. Регулярную структуру в природе имеют пчелиные соты, состоящие из рядов шестиугольных ячеек. Кроме того, некоторые виды пауков используют при строительстве паутины вспомогательные нити, чтобы поддерживать расстояние между соседними нитями клейкого шелка приблизительно равным по всей площади [2]. В листьях растений жилки при параллельном жилковании также отстоят друг от друга на равное расстояние, сходясь в одну точку лишь у верхнего конца листа [4].

Установлено, что жилки, образующие основной каркас листьев и крыльев насекомых, являются более толстыми и соответственно более жесткими, чем расходящиеся от них вспомогательные жилки. При этом жесткость в листьях растений уменьшается по направлению к краям листа [5], а в крыльях насекомых — по направлению от переднего края крыла к заднему и от основания к концу [11].

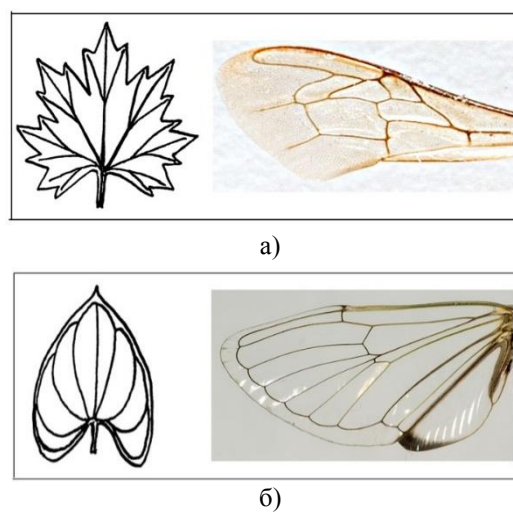


Рис. 1

Форма оболочек может быть как открытой (рис. 1-а), в которой жилки обрываются у края оболочки, так и закрытой (рис. 1-б), в которой жилки образуют по краю оболочки замкнутые ячейки, как, например, при закрытом жилковании в листьях растений или в рисунке жилкования некоторых насекомых.

Ячейки природной оболочки по форме можно разделить на замкнутые и незамкнутые. Замкнутая форма ячеек присуща рисунку жилкования крыльев насекомых (рис. 2-а), а жилки в листьях некоторых растений образуют незамкнутые ячейки (рис. 2-б), располагающиеся по всей плоскости листа.

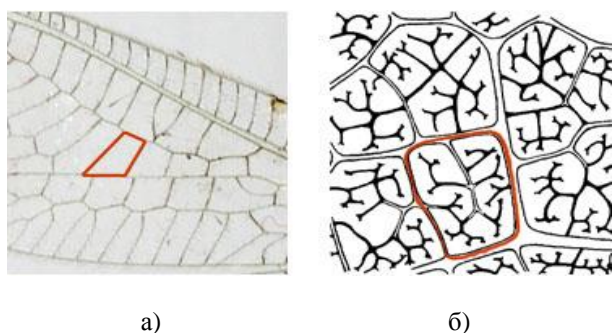


Рис. 2

Учет особенностей соединения сторон ячеек природных оболочек при проектировании текстильных швейных изделий может привести к образованию некорректных структур материала [10], характеризующихся прерывистостью нити (невозможностью использовать непрерывные нити), обрывом или выводом нити, образованием отверстий.

В отличие от сетей полотняного или триаксиального переплетений ряды ячеек природной оболочки смещены относительно следующего ряда ячеек (рис. 3-а). Подобные особенности встречаются в рисунках жилкования крыльев насекомых и листьев растений.

Незамкнутая форма ячеек, встречающаяся в рисунках жилкования листьев растений, в текстильном материале достигается за счет вывода или обрыва нити (рис. 3-б).

В некоторых случаях изготовление сетчатого текстильного материала со струк-

турой, подобной природным оболочкам, может потребовать вырезания структурных ячеек, что приводит к образованию отверстий в материале (рис. 3-в).

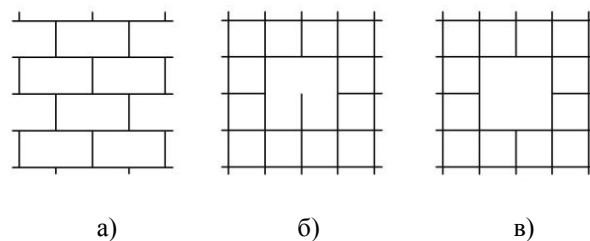


Рис. 3

Использование перечисленных особенностей структуры природных оболочек при изготовлении текстильных швейных изделий может быть осуществлено на современных вышивальных машинах, которые позволяют получать текстильные структуры с ячейками любой формы и переменной толщины.

Выявлены особенности строения природных оболочек: нерегулярность структуры, разнотолщинность, некорректность соединения жилок между собой и т.д.

Влияние некоторых особенностей геометрической структуры природных оболочек (форма ячеек и оболочки, корректность структуры) на физико-механические свойства проектируемых изделий требует дальнейших исследований. Однако уже сейчас можно сказать, что создание изделий по принципу строения природных оболочек позволит изготавливать изделия с зональным распределением прочностных и формообразующих свойств. Как показали результаты испытаний, проведенных на втором этапе исследований, материал со структурой крыла стрекозы обладает равной прочностью во всех направлениях [12], а материалы с радиально-кольцевым расположением армирующих элементов превосходят по прочностным показателям материалы с ортогональным расположением элементов в два раза [13].

По результатам проведенных исследований и анализа разработана классификация характеристик строения природных оболочек, которые будут учитываться при проектировании швейных изделий с зо-

нальным распределением прочностных и формообразующих свойств (рис. 4).



Рис. 4

## ВЫВОДЫ

Разработанная классификация позволит выделить геометрические характеристики природных оболочек, наиболее значимые для дальнейших исследований и разработок в области создания текстильных материалов с анизотропной структурой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лопандин И.В. Расчет оболочек и разверток одежды промышленного производства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982.
2. Zschokke S. Form and function of the orb-web // European Arachnology 2000. Proceedings of the 19th European Colloquium of Arachnology, Aarhus 17-22 July 2000. – Aarhus, Aarhus University Press, 2002. P.99...106.
3. Патури Ф. Растения – гениальные инженеры природы / Пер. с нем. – М.: Прогресс, 1979.
4. Лотова Л.И. Морфология и анатомия высших растений. – М.: "Едиториал УРСС", 2001.
5. Тимонин А.К. Ботаника: в 4-х т. Т. 3. Высшие растения. – М.: Издательский центр "Академия", 2007.
6. Insect Wings [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://128.6.230.9/Insect%20Wings/index.html>
7. Руднева Т.В., Базаев Е.М. Проектирование армированных оболочек по принципу строения крыла стрекозы // Швейная промышленность. – 2014, №4. С. 32...33.
8. Нелюб В.А., Александров И.А., Мальшева Г.В., Прозоровский А.А. Исследование параметров состояния поверхности углеродных волокон // Энциклопедия инженера-химика. – 2013, №5. С.34...38.
9. Мальшева Г.В., Романова И.К. Оптимизация выбора параметров, характеризующих состояние объекта при решении задач надежности // Ремонт,

восстановление, модернизация. – 2015, №6. С.33...38.

10. Базаев Е.М., Руднева Т.В. Моделирование текстильных оболочек по принципу строения природных структур // Дизайн и технологии. – 2012, №28(70). С. 36...40.

11. Combes S.A., Daniel T.L. Flexural stiffness in insect wings. I. Scaling and the influence of wing venation // The Journal of Experimental Biology. – 2003. Vol.206. P. 2979...2987.

12. Руднева Т.В., Рябовол Д.Ю., Базаев Е.М. Исследование прочностных свойств структуры природных аналогов текстильных оболочек // Тез. докл. II Междунар. науч.-практ. конф.: Инновационные и наукоемкие технологии. — М.: МГУДТ, 2010. С. 47...49.

13. Руднева Т.В., Базаев Е.М. Армирование композитов по принципу строения природных оболочек // Сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф.: Интеграция науки и образования. — Уфа: РИО "Омега Сайнс", 2014. С. 162...164.

## REFERENCES

1. Lopandin I.V. Raschet obolochek i razvertok odezhdy promyshlennogo proizvodstva. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1982.
2. Zschokke S. Form and function of the orbweb // European Arachnology 2000. Proceedings of the 19th European Colloquium of Arachnology, Aarhus 17-22 July 2000. – Aarhus, Aarhus University Press, 2002. P.99...106.
3. Paturi F. Rasteniya – genial'nye inzheneri prirody / Per. s nem. – M.: Progress, 1979.
4. Lotova L.I. Morfologiya i anatomiya vysshikh rasteniy. – M.: "Editorial URSS", 2001.
5. Timonin A.K. Botanika: v 4-kh t. T. 3. Vysshie rasteniya. – M.: Izdatel'skiy tsentr "Akademiya", 2007.
6. Insect Wings [Elektronnyy resurs] — Rezhim dostupa: <http://128.6.230.9/Insect%20Wings/index.html>
7. Rudneva T.V., Bazaev E.M. Proektirovanie armirovannykh obolochek po printsipu stroeniya kryla strekozy // Shveytnaya promyshlennost'. – 2014, №4. S.32...33.
8. Nelyub V.A., Aleksandrov I.A., Malysheva G.V., Prozorovskiy A.A. Issledovanie parametrov sostoyaniya poverkhnosti uglerodnykh volokon // Entsiklopediya inzhenera-khimika. – 2013, №5. S.34...38.
9. Malysheva G.V., Romanova I.K. Optimizatsiya vybora parametrov, kharakterizuyushchikh sostoyanie ob"ekta pri reshenii zadach nadezhnosti // Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya. – 2015, №6. S.33...38.
10. Bazaev E.M., Rudneva T.V. Modelirovanie tekstil'nykh obolochek po printsipu stroeniya prirodnykh struktur // Dizayn i tekhnologii. – 2012, №28(70). S. 36...40.
11. Combes S.A., Daniel T.L. Flexural stiffness in insect wings. I. Scaling and the influence of wing venation // The Journal of Experimental Biology. – 2003. Vol.206. P. 2979...2987.

12. Rudneva T.V., Ryabovol D.Yu., Bazaev E.M. Issledovanie prochnostnykh svoystv struktury prirodnykh analogov tekstil'nykh obolochek // Tez. dokl. II Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: Innovatsionnye i naukoemkie tekhnologii. — M.: MGUDT, 2010. S. 47...49.

13. Rudneva T.V., Bazaev E.M. Armirovanie kompozitov po printsipu stroeniya prirodnykh obolochek // Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: Integratsiya

nauki i obrazovaniya. — Ufa: RIO "Omega Sayns", 2014. S. 162...164.

Рекомендована кафедрой нефтяного и строительного производства Университета дружбы народов имени академика А. Куатбекова. Поступила 05.03.20.

---