

**СИНТЕЗ 3D-МОДЕЛИ ТКАНОЙ АРМИРУЮЩЕЙ СТРУКТУРЫ
ТЕКСТИЛЬНОГО КОМПОЗИТА
СРЕДСТВАМИ МЕТОДОЛОГИИ ЧИСЛЕННОГО
ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ***

**SYNTHESIS OF A 3D MODEL OF A WOVEN REINFORCING STRUCTURE
OF A TEXTILE COMPOSITION
BY MEANS OF THE METHODOLOGY
OF NUMEROUS OBJECT-ORIENTED SIMULATION**

С.В. ЕРШОВ, И.А. СУВОРОВ, В.Б. КУЗНЕЦОВ, Е.Н. НИКИФОРОВА, Е.Н. КАЛИНИН

S.V. ERSHOV, I.A. SUVOROV, V.B. KUZNETSOV, E.N. NIKIFOROVA, E.N. KALININ

(Ивановский государственный политехнический университет)

(Ivanovo State Polytechnical University)

E-mail:enkalini@gmail.com

Авторами разработан алгоритм синтеза 3D-модели тканой армирующей структуры полимерного композитного материала с использованием разработанной программной среды для расчета глобальных переменных и использующей методологию численного объектно-ориентированного моделирования таких свойств программируемой системы, как инкапсуляция и обобщенное программирование (полиморфизм) – позволяющие обобщить информационные ресурсы для синтеза и анализа 3D-модели, управляющие параметры которой выражены средствами глобальных переменных. Таким образом, полученная 3D-модель синтезированной тканой структуры в целях, например, идентификации системы, может быть трансформирована для получения задаваемых параметров анализируемой многокомпонентной системы путем варьирования значений управляющих переменных, соответствующих решаемой задаче.

The authors have developed an algorithm for the synthesis of a 3D model of a woven reinforcing structure of a polymer composite material using the developed software environment for calculating global variables and using the methodology of numerical object-oriented modeling of such properties of a programmable system as encapsulation and generalized programming (polymorphism) - allowing to generalize information resources for synthesis and analysis of a 3D model, the control parameters of which are expressed by means of global variables. Thus, the obtained 3D-model of the synthesized woven structure for purposes of, for example, identification of the system, can be transformed to obtain the specified parameters of the analyzed multicomponent system by varying the values of the control variables corresponding to the problem being solved.

Ключевые слова: полимерный композитный материал, армирующая текстильная структура, параметрическая линзовидная геометрическая мо-

* Работа выполнена при поддержке Гранта РФФИ по проекту 20-43-37007 "Развитие научных основ прогнозирования функциональных параметров синтезируемых полимерных волокнистых композитных систем".

дель структуры переплетения, 3D-модель структуры ткани, твердотельное моделирование, управляющие переменные.

Keywords: polymer composite material, reinforcing textile structure, parametric lenticular geometric model of weave structure, 3D-model of fabric structure, solid modeling, control variables.

Полимерные композитные материалы (ПКМ) представляют собой многокомпонентные структуры, состоящие, как правило, из матрицы, армированной наполнителями. ПКМ как конструкционные материалы являются основой для создания изделий с высокими физико-механическими свойствами, чем определяется их востребованность во многих отраслях промышленного производства. Многие композиты превосходят традиционные материалы и сплавы по своим как функциональным, так и по конструктивным параметрам.

В настоящее время совершенствование методов производства инженерных объектов из ПКМ является одной из наиболее перспективных областей научных исследований, а прогнозирование и оптимизация параметров ПКМ является приоритетной задачей при разработке процессов их синтеза.

Целью работы является создание алгоритма для формирования программных средств, позволяющих определить численные значения управляющих параметров синтезируемой геометрической модели тканой структуры, формирующей основу дальнейшего создания трехмерной твердотельной модели тканой армирующей структуры полимерного композитного материала.

Традиционно для построения трехмерных моделей тканой структуры используются геометрические модели, разработанные применительно к нитям, образующим эту структуру, с круглым, эллиптическими линзовидным сечениями [1]. Ранее нами уже были разработаны их трехмерные твердотельные модели [2], однако эти модели были реализованы для ограниченного набора геометрических параметров армирующей структуры и не позволяли выполнять их трансформацию без редактирования самих моделей. Такой подход к моде-

лированию тканых армирующих структур ПКМ оказался неэффективным с точки зрения трудоемкости решения задач моделирования и проектирования изделий из ПКМ в широком диапазоне изменяющихся параметров как самих структур, так и физико-механических характеристик волокнистых материалов.

В настоящей работе нами приведена разработка алгоритма синтеза 3D-модели тканой армирующей структуры полимерного композитного материала с использованием разработанной программной среды для расчета глобальных переменных и использующей методологию численного объектно-ориентированного моделирования с такими свойствами программируемой системы, как инкапсуляция и обобщенное программирование (полиморфизм) – позволяющие интегрировать информационные ресурсы для синтеза и анализа 3D-модели, управляющие параметры которой выражены в форме глобальных переменных, напрямую связанных с внешней базой данных и программным инструментом, задействованным в синтезе ее трехмерной модели.

Для математического описания моделируемой тканой армирующей структуры полимерного композита на данном этапе нами была применена параметрическая модель с линзовидным поперечным сечением нити [2], так как принятый нами тип модели (с линзовидным поперечным сечением нити) имеет более точное математическое описание и соответствие геометрическому представлению реальной тканой структуры. Поэтому через приведенные уравнения можно получить математическое описание и для других видов моделей, армирующих структур ПКМ [4]. Система уравнений для линзовидной геометрической модели, использованная в настоящей работе, имеет вид:

$$\begin{cases}
 p_1 = (\ell_2 - D_2\theta_2) \cos\theta_2 + D_2\sin\theta_2, \\
 h_2 = (\ell_1 - D_1\theta_1) \sin\theta_1(1 - \cos\theta_1), \\
 D_1 = 2R_2 + b_1, \\
 a_2 = 2d_2 + \sin\theta_1, \\
 b_2 = 2d_2 + \cos\theta_1, \\
 e_2 = a_1/b_1, \\
 \sin\phi_1 = 2e_1/(1 + e_1^2), \\
 h_1 + h_2 = b_1 + b_2, \\
 \ell_2 = D_1\theta_1,
 \end{cases}
 \quad (1)$$

где h_1, h_2 – высота нитей основы и утка;
 a_1, b_1 – высота линзовидного сечения нити/ши-

рина линзовидного сечения нити; D – сумма диаметров нитей основы и утка; d_1, d_2 – диаметры нитей основы и утка соответственно; p_1, p_2 – расстояние между нитями основы и уточной нити соответственно; ℓ_1, ℓ_2 – длины нитей основы и утка; θ_1, θ_2 – углы плетения нитей основы и утка; e – степень смятия нити. Индексы "1" и "2" в приведенных выше переменных относятся к деформации основы и утка соответственно [5].

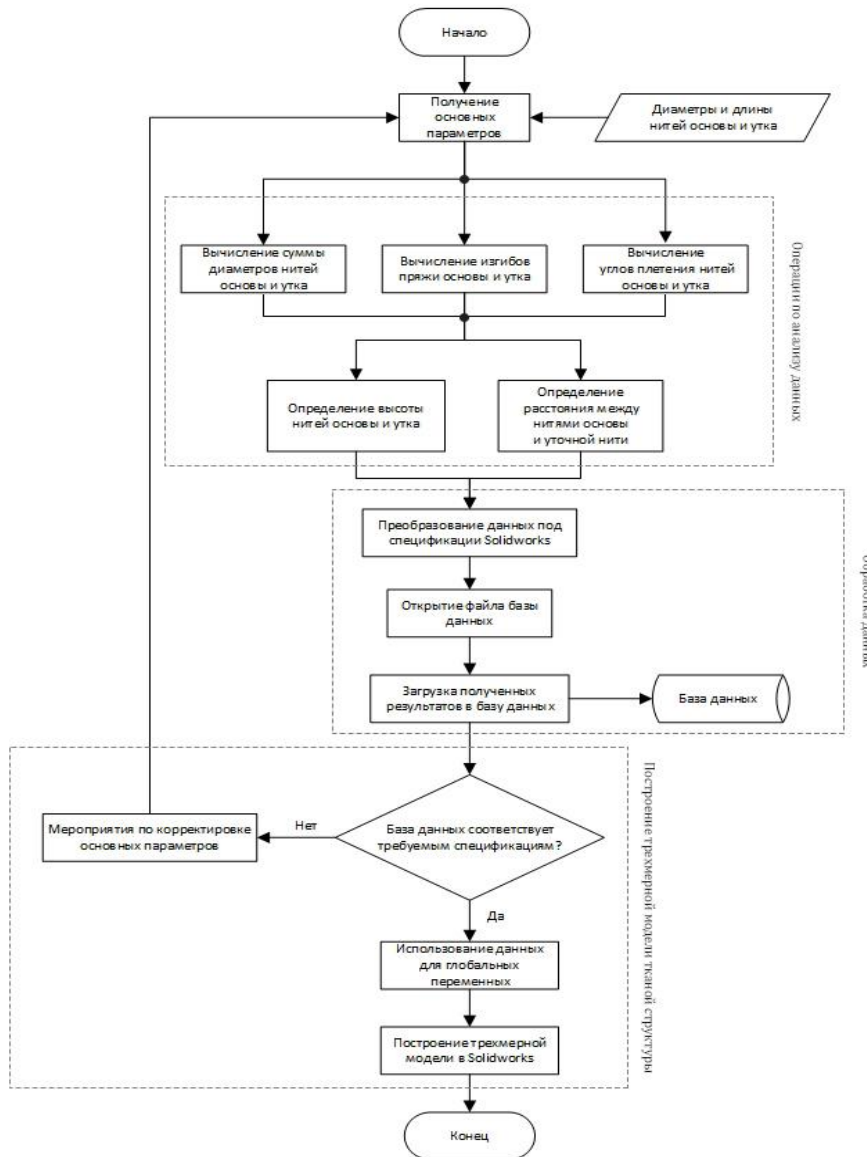


Рис. 1

Для разработки алгоритма по расчету глобальных управляющих переменных в качестве среды и реализации численной модели нами использована система MatLab,

обладающая возможностью математического анализа и передачи информационных ресурсов для дальнейшего анализа обработанных данных в CAD/CAM-комплекс

твердотельного моделирования SolidWorks [3], обладающий рядом таких достоинств, как возможность тонкой настройки сетки; опциональные модули, позволяющие расширить базовые функции, а также возможность системной интеграции с другими внешними приложениями и позволяющий организовать итерационные взаимодействия действующих твердотельных моделей со средой MatLab.

Ключевые структурные этапы, образующие блок-схему (рис.1), являющуюся основой для реализации вычислительных процессов, обеспечивающих процедуры обработки заданных значений основных параметров нитей и обеспечение трансляции результатов предварительных вычислений во внешнюю базу данных, представляют:

- операции по анализу данных;
- обработка данных;
- построение трехмерной модели тканой структуры.

При этом дополнительное преобразование полученных результатов под спецификации программного комплекса SolidWorks осуществляется перед загрузкой во внешнюю базу данных.

По приведенным выше зависимостям системы уравнений (1) геометрической модели тканой армирующей структуры концептуальная параметрическая 3D-модель (рис.2) представлена нами в виде двумерной элементарной ячейки тканой структуры, которая построена путем наложения линейных геометрических параметров нитей и их поперечных сечений для получения заданной конфигурации.

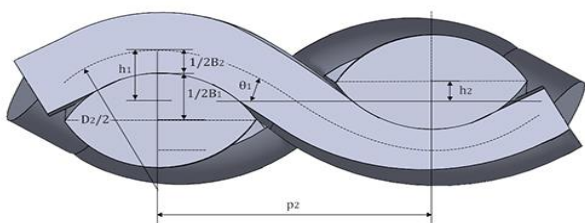


Рис. 2

На рис.3 показаны аксонометрические проекции параметрических 3D-моделей элементарной ячейки тканой армирующей структуры ПКМ. Для топологической опти-

мизации геометрических параметров моделей, таких как длина нити, радиусы окружностей и т.д., использовались глобальные управляющие переменные, объединяющие заданные размеры модели через математические уравнения (1). Глобальные управляющие переменные могут использоваться для управления уравнениями и измерениями, располагая свойством двунаправленности, чем обеспечивается взаимосвязь между определенной глобальной переменной и величинами соответствующих переменных.

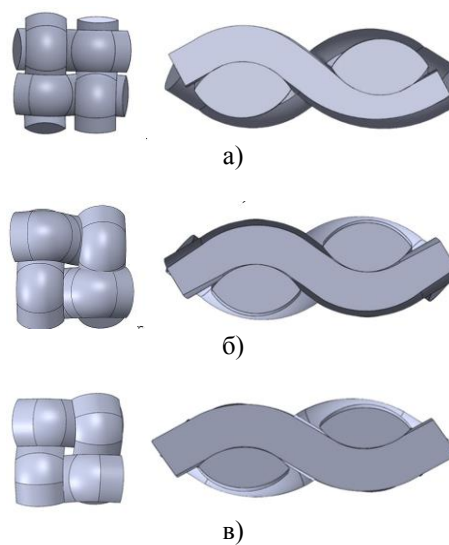


Рис. 3

В соответствии с геометрическими значениям параметрической 3D-модели двумерной элементарной ячейки тканой армирующей структуры ПКМ построены 3D-модели в системе твердотельного моделирования SolidWorks. В табл. 1 приведены заданные значения линзовидной геометрической модели, использованные в качестве основных параметров, загружаемых в файл как глобальные переменные.

Применение методологии численного объектно-ориентированного моделирования на примере формирования блока глобальных управляющих переменных с возможностью системной интеграции с другими внешними приложениями и позволяющий организовать итерационные взаимодействия действующих твердотельных моделей с вычислительной системой, например, MatLab и SolidWorks, позволяет регу-

лизовать значения параметров модели применительно к конкретной решаемой задаче путем варьирования значений одной или нескольких управляющих переменных, получая детальную информацию о структуре тканой структуры ПКМ, и оценить уровень погрешности модельного выхода 3D-мо-

дели параметров тканой структуры относительно физического объекта – армирующей структуры ПКМ, воспроизведенной на технологическом оборудовании в соответствии с параметрами из блока глобальных управляющих переменных и внешней базы данных.

Т а б л и ц а 1

№ эксперимента	a, мм	b, мм	p_1, p_2 , мм	h_1, h_2 , мм
1	8	5	10	7,5
2	6	3,5	8	2,3
3	14	10	16	5,5

ВЫВОДЫ

1. Таким образом, нами решена задача по созданию и реализации алгоритмического программного комплекса на основе методологии численного объектно-ориентированного моделирования на примере формирования блока глобальных управляющих переменных с возможностью системной интеграции внешних приложений и позволяющей организовать итерационные взаимодействия действующих твердотельных 3D-моделей с вычислительными системами, например, MatLab и SolidWorks, и регулировать значения параметров 3D-модели двумерной элементарной ячейки тканой армирующей структуры ПКМ, являющихся основой построения 3D-модели в системе твердотельного моделирования, путем варьирования значений из блока управляющих переменных и внешней базы данных, обеспечивающих получение детальной информации о тканой структуре ПКМ и оценить уровень погрешности модельного выхода 3D-модели параметров тканой структуры относительно физического объекта – армирующей структуры ПКМ.

2. На основе полученных результатов моделирования тканых структур сделан вывод об успешном взаимодействии разработанного алгоритмического программного комплекса в виде файлов MatLab для расчета управляющих переменных геометрической модели тканой структуры и комплекса твердотельного моделирования SolidWorks.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суворов И.А., Еришов С.В., Кузнецов В.Б. Разработка параметрической 3D-модели тканой армирующей структуры полимерного композиционного материала // Сб. тр. Всероссийской (с международным участием) молодежной научно-технической конференции "ПОИСК-2019". – 2019. С. 310...312.
2. Суворов И.А., Еришов С.В., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н. Создание параметрической 3D-модели тканой армирующей структуры композиционного материала // Сб. тр. XXII Междунар. научн.-практ. форума SMARTEX. – 2019. С.194...198.
3. Кожевников С.О., Кузнецов В.Б., Малов М.С. Анализ технических возможностей SolidWorks при моделировании движения жидкости в устройствах для механоактивации коллоидных систем. Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование // Сб. науч. тр. 5-й Междунар. молодеж. науч.-практ. конф. – В 2-х томах. Т.1., Юго-Зап. гос. ун-т., – Курск: Изд-во ЗАО "Университетская книга", 2018. С. 335...341.
4. Chen X. Modelling and predicting textile behaviour. – 2010. С. 25...29.
5. Vassiliadis S. Mechanical Analysis of Woven Fabrics: The State of the Art // Advances in Modern Woven Fabrics Technology. – 2011. С. 41...61.

REFERENCES

1. Suvorov I.A., Ershov S.V., Kuznetsov V.B. Razrabotka parametricheskoy 3D-modeli tkanoy armiruyushchey struktury polimernogo kompozitsionnogo materiala // Sb. tr. Vserossiyskoy (s mezhdunarodnym uchastiem) molodezhnoy nauchno-tekhnickeskaya konferentsii "POISK-2019". – 2019. S. 310...312.
2. Suvorov I.A., Ershov S.V., Kuznetsov V.B., Kalinin E.N. Sozдание parametricheskoy 3D-modeli tkanoy armiruyushchey struktury kompozitsionnogo materiala // Sb. tr. XXII Mezhdunar. nauchn.-prakt. foruma SMARTEX. – 2019. S.194...198.

3. Kozhevnikov S.O., Kuznetsov V.B., Malov M.S. Analiz tekhnicheskikh vozmozhnostey SolidWorks pri modelirovanii dvizheniya zhidkosti v ustroystvakh dlya mekhanoaktivatsii kolloidnykh sistem. Kachestvo produktsii: kontrol', upravlenie, povyshenie, planirovanie // Sb. nauch. tr. 5-y Mezhdunar. molodezh. nauch.-prakt. konf. – V 2-kh tomakh. T.1., Yugo-Zap. gos. un-t., – Kursk: Izd-vo ZAO "Universitetskaya kniga", 2018. S. 335...341.

4. Chen X. Modelling and predicting textile behaviour. – 2010. S. 25...29.

5. Vassiliadis S. Mechanical Analysis of Woven Fabrics: The State of the Art // Advances in Modern Woven Fabrics Technology. – 2011. S. 41...61.

Рекомендована кафедрой мехатроники и радиоэлектроники. Поступила 21.06.20.
