

УДК 620.22

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАПИЛЛЯРНОСТИ НА УПРУГИЕ СВОЙСТВА  
ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
СО СТЕКЛЯННЫМИ И БОРНЫМИ ВОЛОКНАМИ**

**Патрушева А.В.**

*Студентка 4 курса, Аэрокосмический факультет*

*Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

*Пермь, Россия*

**Веснина С.А.**

*Студентка 4 курса, Аэрокосмический факультет*

*Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»*

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет*

*Пермь, Россия*

**Аннотация**

В данной работе представлены результаты расчетов волокнистых полимерных композиционных материалов тетрагональной структуры с капиллярными включениями. В качестве материалов исследования были выбраны композиты со стеклянными и борными волокнами. Расчеты проводились с помощью программного комплекса ANSYS методом конечных элементов. Исследовано влияние капиллярности на упругие характеристики материалов, а именно на эффективный модуль Юнга. Построены графики зависимости эффективных модулей Юнга от объемной доли капиллярности волокна.

**Ключевые слова:** волокнистые полимерные композиционные материалы, ANSYS, капиллярность, модуль Юнга, стеклянные волокна, борные волокна.

***ESTIMATION OF THE EFFECT OF CAPILLARITY ON THE ELASTIC  
PROPERTIES OF FIBROUS POLYMER COMPOSITE MATERIALS WITH  
GLASS AND BORON FIBERS***

***Patrusheva A.V.***

*Student 4 course, Aerospace faculty*

*Department of "Mechanics of composite materials and structures"*

*Perm National Research Polytechnic University*

*Perm, Russia*

***Vesnina S.A.***

*Student 4 course, Aerospace faculty*

*Department of "Mechanics of composite materials and structures"*

*Perm National Research Polytechnic University*

*Perm, Russia*

**Annotation**

The paper presents the results of calculations of a fibrous polymer composite material of a tetragonal structure with capillary inclusions. Composites with glass and boron fibers were selected as the research materials. The effect of capillarity on the elastic characteristics of the material is investigated. A plot of the effective Young's modulus against fraction of fiber capillarity is constructed.

**Keywords:** fibrous polymer composite material, ANSYS, capillarity, Young's modulus, glass fibers, boron fibers.

В современном мире композиционные материалы (КМ) используются во многих областях промышленности, особое место КМ занимают в области авиастроения, а именно в производстве авиадвигателей и ракетных двигателей [5;7;13]. Композиты обладают свойствами и особенностями, которые выгодно отличают их от традиционно используемых металлических сплавов. КМ открывают широкие возможности для улучшения существующих и разрабатываемых конструкций. Композиты могут работать при интенсивных

воздействиях механических и тепловых нагрузок, агрессивных сред, так же они обеспечивают снижение массы конструкции без потери прочностных и жесткостных характеристик. КМ применяют в различных сферах, таких как ракетно-космическая, авиационная техника, автомобилестроение и т. д. Для совершенствования современной техники необходимы материалы, которые будут надежны при сложных нагружениях, воздействию агрессивных сред, различного рода излучений. Композиты обычно применяются в случаях, когда нет возможности применить традиционные конструкционные материалы, так как они не отвечают требованиям массы, прочности и другим свойствам конструкции. Сфера применения КМ определяется механическими свойствами, в частности, упругими характеристиками.

Одной из главных структурных характеристик волокнистого полимерного КМ является пористость, определяющая прочностные свойства композита. В пористых трубках возникает капиллярный эффект (явление подъема или опускания жидкости в капиллярах — узких трубках, каналах произвольной формы, пористых телах)[1]. В технике капиллярные явления имеют большое значение в процессах сушки, в строительстве [8]. Верная оценка физико-механических, в частности упругих, свойств является важным фактором обеспечения эксплуатационной надежности элементов конструкций из пористых материалов [14]. Автоматизированное проектирование композиционных материалов с заранее заданными физико-механическими характеристиками является важной задачей [3].

Для оценки эффективных физико-механических характеристик и проектирования активно используются различные программные комплексы, такие как ABAQUS, ANSYS, NASTRAN [4;6;12]. Во многих CAE- системах, используемых для решения задач о напряженно-деформированном состоянии при действии механических нагрузок, расчет проводится с помощью метода конечных элементов [2].

Цель работы: исследовать влияние капиллярности на упругие характеристики материала, а именно на модуль Юнга.

Для расчета полей напряжений и деформаций в композите используем программный комплекс ANSYS [9;10]. Объектами исследования являются волокнистые полимерные КМ тетрагональной структуры: образец со стеклянными волокнами (Табл. 1) и образец с борными волокнами (Табл. 2).

Сначала рассчитываются поля напряжений и деформаций без капилляра (Рис. 1), далее с капилляром (Рис. 2). Волокна, матрица являются упругими и изотропными.

Таблица 1 – Механические характеристики образца со стеклянными волокнами

	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона
Эпоксидная матрица ЭДТ-10	2.91	0.356
Стекловолоконное волокно	100	0.21

Таблица 2 – Механические характеристики образца с борными волокнами

	Модуль Юнга, ГПа	Коэффициент Пуассона
Эпоксидная матрица ЭДТ-10	2.91	0.356
Борное волокно	390	0.14

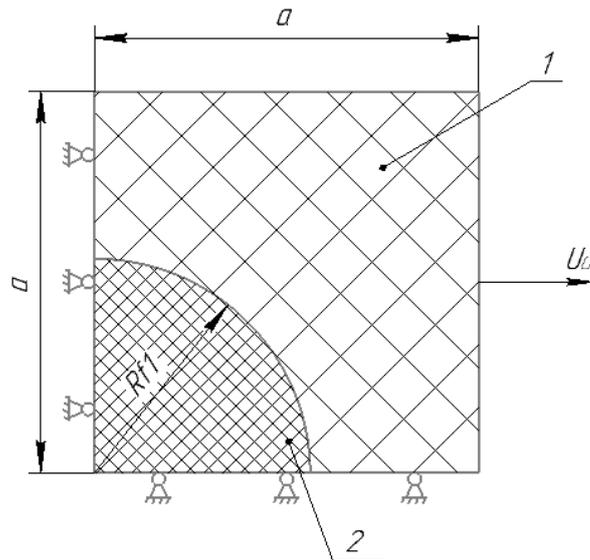


Рис.1 – геометрия расчетной области образца с борными или стеклянными волокнами, где: 1 – эпоксидная матрица ЭДТ-10, 2 – стеклянное или борное ВОЛОКНО.

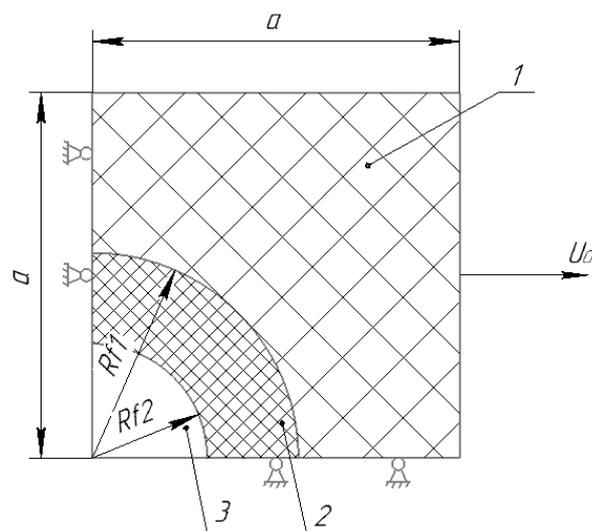


Рис.2 – геометрия расчетной области образца с борными или стеклянными волокнами, где: 1 – эпоксидная матрица ЭДТ-10, 2 – стеклянное или борное волокно, 3 - капиллярное включение.

Заданы перемещения  $U_x = U_0 = 0,1$ . Радиус капилляра  $R_d = q * R_f$ , где  $q$  – объемная доля капилляра,  $R_f$  – радиус волокна, равный 0,757 м, при объемной доле волокна равной 0,45.

При построении геометрии, выбираются свойства материалов и задаются их характеристики, так же конструкция разбивается на конечные элементы. Чтобы рассмотреть влияние капилляра внутри волокна слоя на упругие характеристики, в материале рассматриваются разные радиусы капилляра.

Получим неоднородные поля напряжений, достигающие максимальных значений вблизи капилляра (Рис.3, Рис.4).

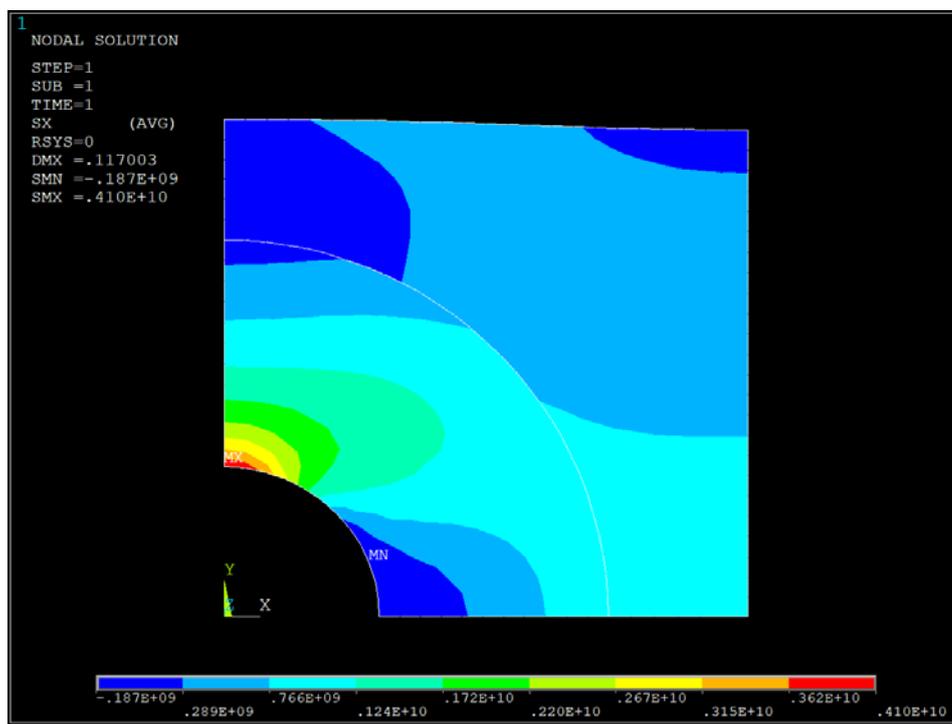


Рис.3 – Поля напряжений  $\sigma_x$  материала со стеклянными волокнами

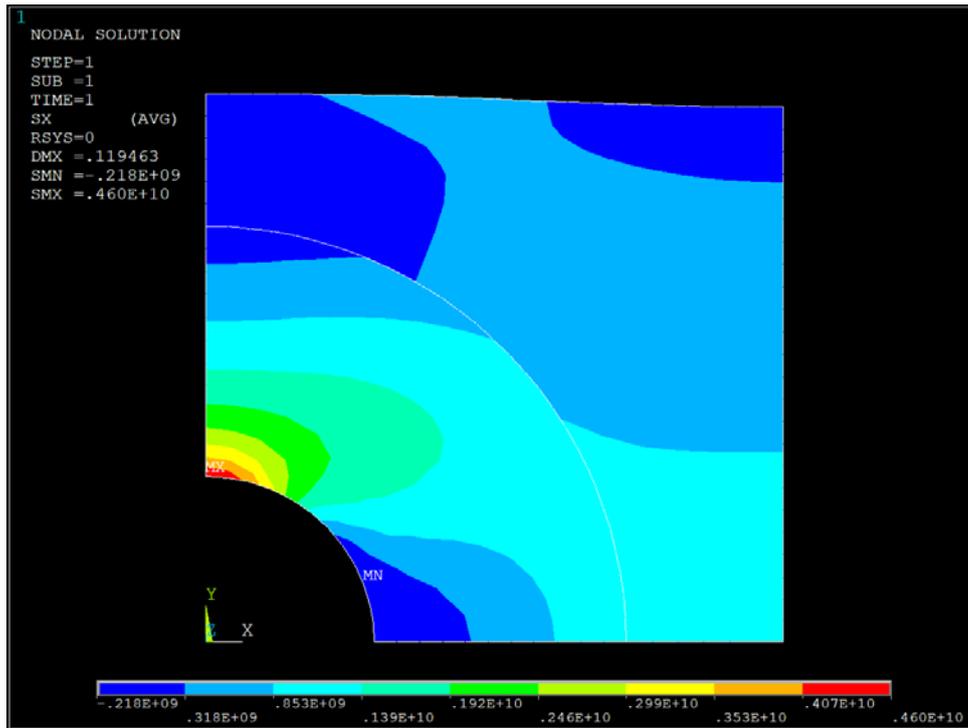


Рис.4 – Поля напряжений  $\sigma_x$  материала с борными волокнами.

Для получения поперечного модуля Юнга, выразим макроскопические напряжения и деформации через микроструктурные. Подставив в эти выражения результаты, полученные в ANSYS, получим значения упругих характеристик (Табл.3).

Таблица 3 – Макроскопические упругие модули образца со стеклянными волокнами и образца с борными волокнами

Материал	q	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1
Образец со стеклянными волокнами	$E^*_\perp$ , ГПа	6.83	6.81	6.73	6.42	5.3	2.91
Образец с борными волокнами		7.108	7.105	7.08	6.97	6.1	2.91

По результатам расчетов построены зависимости влияния доли капиллярности на эффективный поперечный модуль Юнга для образцов со стеклянными и борными волокнами (Рис.5, Рис.6).

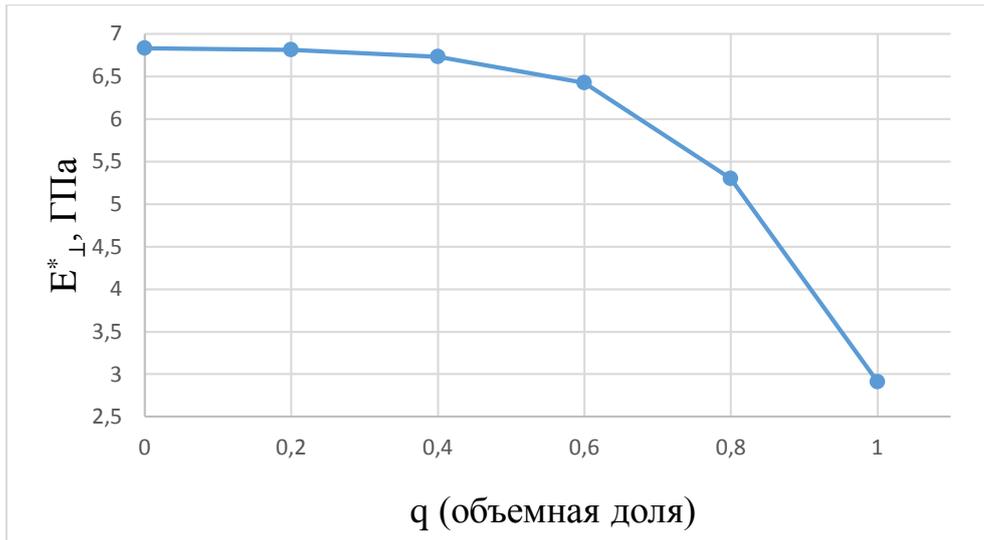


Рис.5 – Зависимость эффективного поперечного модуля Юнга от объемной доли капилляра в стеклянном волокне

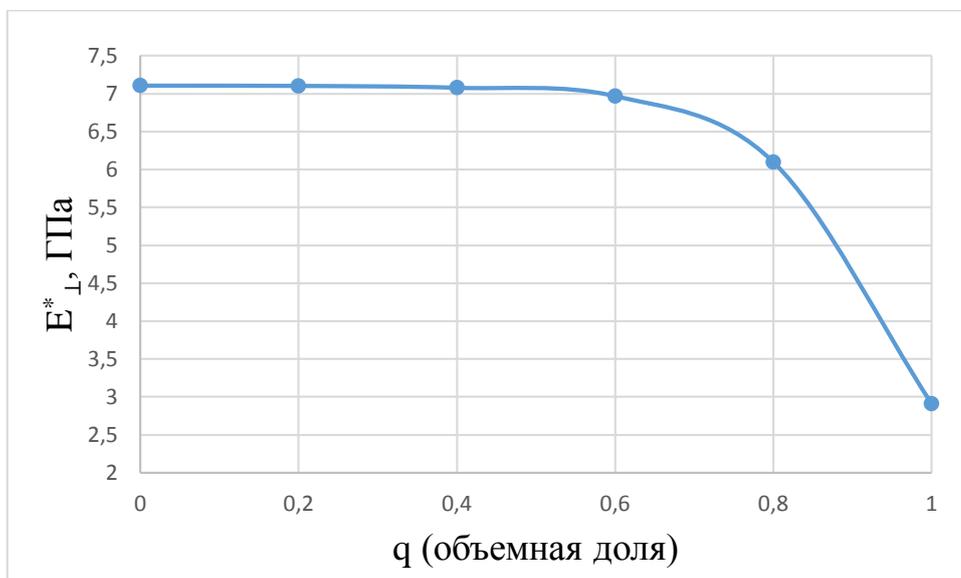


Рис.6 – Зависимость эффективного поперечного модуля Юнга от объемной доли капилляра в борном волокне

### Выводы

1. С увеличением объемной доли капилляра в волокне эффективный поперечный модуль Юнга в образцах уменьшается, так как уменьшается объемная доля волокна, которое является самой жесткой частью образца .

2. Поля напряжений в образцах со стеклянными и борными волокнами неоднородны. Максимальные значения напряжений определяются вблизи капилляра.

3. С увеличением размера капилляра до размера волокна эффективные модули Юнга обоих образцов принимают значения эффективных модулей Юнга матрицы.

4. Эффективный модуль Юнга образца со стеклянными волокнами начинает значительно снижаться при объемной доле капилляра 0.4, у образца с борными волокнами - при объемной доле капилляра 0.6. Разница скорости изменения модуля Юнга образцов обусловлена разными механическими характеристиками компонентов, а именно модулями Юнга борного и стеклянного волокна.

*Работа выполнена в рамках НИРС [11]*

### **Библиографический список**

1. Бакланов К.В., Шаньгин Я.И. Анализ упругих модулей однонаправленного волокнистого стеклопластика с учетом капиллярности волокон // Молодежный научный вестник. - 2019. - №3. - С. 94-98.
2. Численные методы анализа и метод конечных элементов / Батэ К., Вилсон Е., Под ред. А.Ф. Смирнова. - М.: Стройиздат, 1982. - С. 448.
3. Бобрышев А.Н., Жарин Д.Е. Шафигуллин Л.Н., Гумеров М.И. Система автоматизированного проектирования полимерных наполненных композиционных материалов специального назначения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. - 2009. - №8. - С. 9-16.
4. Бондарчук Д.А., Федулов Б.Н., Федоренко А.Н., Ломакин Е.В. Анализ остаточных напряжений в слоистых композитах на примере симметричной схемы армирования  $[0^\circ/90^\circ]$  // Вестник ПНИПУ. Механика. - 2019. - №3. - С. 44-55.

5. Исангулова Э. Р. Применение инновационных композиционных материалов в современных авиационных двигателях // Вестник науки и образования. - 2018. - №52. - С. 14-16.
6. Кожанов Д.А., Любимов А.К. Моделирование гибких тканых композитов в системе ANSYS Mechanical APDL // Компьютерные исследования и моделирование. - 2018. - №6. - С. 789-799.
7. Комиссар О.Н., Хмельницкий А.К. Применение высококачественных полимерных композиционных материалов и наукоемких технологий в изделиях авиационно-космической техники // Решетневские чтения. - 2012. - №16. - С. 66-67.
8. Комков М.А., Тарасов В.А. Влияние вязкости связующего в пропиточной ванне на пористость композита при мокром способе намотки [Электронный ресурс] // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана: Электрон.Журн. - 2014. - № 12. — Режим доступа — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-vyazkosti-svyazuyuschego-v-propitochnoy-vanne-na-poristost-kompozita-pri-mokrom-sposobe-namotke> (дата обращения: 18.02.2020).
9. А.А. Чекалкин, А.А. Паньков. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов . - Пермь: ПГТУ, 1998. - С. 151.
10. Любина Дж. Справочник по композиционным материалам. - М.: Машиностроение, 1988. - С. 185.
11. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» / Макарова Е.Ю. , Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А., - Пермь: ПНИПУ, 2017. - С. 40.
12. Морозов Н. А., Власов Ю. Л., Гаврилов А. А. Оптимизация параметров композитных обшивок сухих отсеков летательных аппаратов с помощью Nastran // Вестник ОГУ. - 2015. - №9. - С. 37-50.

13. Рыжов А. А., Первушин Ю. С. Применение композиционных материалов в авиационной и машиностроительной индустрии РБ // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. - 2011. - №2. - С. 15-20.
14. Федотов А.Ф. Прогнозирование эффективных модулей упругости пористых композиционных материалов // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. - 2015. - №1. - С. 32-37.

*Оригинальность 83%*