

УДК 620.22

**СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВОЛОКНИСТОГО ПОЛИМЕРНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО
МАТЕРИАЛА С КАПИЛЛЯРНЫМИ ВОЛОКНАМИ, РАССЧИТАННЫХ
АНАЛИТИЧЕСКИ И ТЕОРЕТИЧЕСКИ**

Добрых Е.А.

*студент 4 курса, Аэрокосмический факультет,
Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия*

Биянов И.А.

*студент 4 курса, Аэрокосмический факультет,
Кафедра «Механика композиционных материалов и конструкций»,
Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия*

Аннотация:

В данной работе представлены результаты расчетов однонаправленного волокнистого полимерного композиционного материала, армированного полыми волокнами. В качестве армирующего материала было выбрано стекловолокно, а в качестве связующего эпоксидная смола. Таким образом, в качестве объекта исследования был выбран стеклопластик. Проведен расчет эффективных характеристик в программе ANSYS Mechanical. Рассчитаны упругие характеристики композита, армированного полыми волокнами в программном обеспечении Wolfram Mathematica. Показана зависимость эффективных характеристик стеклопластика от капиллярности волокна в виде

графиков. Сделаны выводы на основе сравнения значений, полученных аналитически и в программном комплексе ANSYS.

Ключевые слова: композиционный материал, эффективные характеристики, стеклопластик, стекловолокно, эпоксидная смола, модуль Юнга, ANSYS.

***COMPARISON OF EFFECTIVE ELASTIC CHARACTERISTICS OF
FIBER-POLYMER COMPOSITION MATERIAL WITH CAPILLARY
FIBERS, CALCULATED ANALYTICALLY AND THEORETICAL***

Dobrykh E.A.

*4th year student, Aerospace Faculty,
Department «Mechanics of Composite Materials
and Construction»,
Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia*

Biyanov I.A.

*4th year student, Aerospace Faculty,
Department «Mechanics of Composite Materials
and Construction»,
Perm National Research Polytechnic University,
Perm, Russia*

Abstract:

This work presents the results of calculations of a unidirectional fibrous polymer composite material reinforced with hollow fibers. Glass fiber was chosen as a reinforcing material, and epoxy resin as a binder. Thus, fiberglass was chosen as the object of research. The calculation of effective characteristics was carried out in the ANSYS Mechanical program. The calculation of effective characteristics was

carried out in the ANSYS Mechanical program. The elastic properties of the hollow fiber-reinforced composite were calculated in Wolfram Mathematica software. The dependence of the effective characteristics of fiberglass on the capillarity of the fiber was shown in the form of graphs. Conclusions are made based on a comparison of the values obtained analytically and in the ANSYS software package.

Keywords: composite material, effective characteristics, fiberglass, glass fiber, epoxy resin, Young's modulus, ANSYS.

В последние годы композитные материалы широко используются в различных отраслях промышленности. В то же время инженеры и промышленные дизайнеры пытаются производить композитные материалы с высокой прочностью и высокими механическими свойствами для повышения эффективности и производительности.

Определение механических характеристик композиционных материалов (КМ), армированных волокном – одна из важнейших задач современной механики КМ, поскольку на сегодняшний день композиты используются в различных отраслях промышленности, таких как машиностроение, авиастроение, ракетостроение, судостроение и другие [5].

Свойства композита зависят от механических характеристик составляющих его компонентов. За счет изменения структуры, расположения волокон и армирующей способности КМ, формируются новые физико-механические свойства материала, отличные от отдельных его элементов [9].

В данной работе исследуется влияние капиллярности волокна на эффективные упругие характеристики композита, а именно модуль Юнга. Для определения эффективных характеристик был проведен расчет в пакете ANSYS Mechanical. Для проверки полученных расчетов были получены аналитические значения упругих характеристик по формулам Ванина.

Построены графики зависимости характеристик композита от капиллярности в программном обеспечении Wolfram Mathematica.

Объектом исследования является ячейка периодичности волокнистого полимерного композиционного материала [6]. Геометрия области для проведения расчетов представлена на рис. 1. Свойства волокна и матрицы которые являются упругими и изотропными представлены в таблице 1.

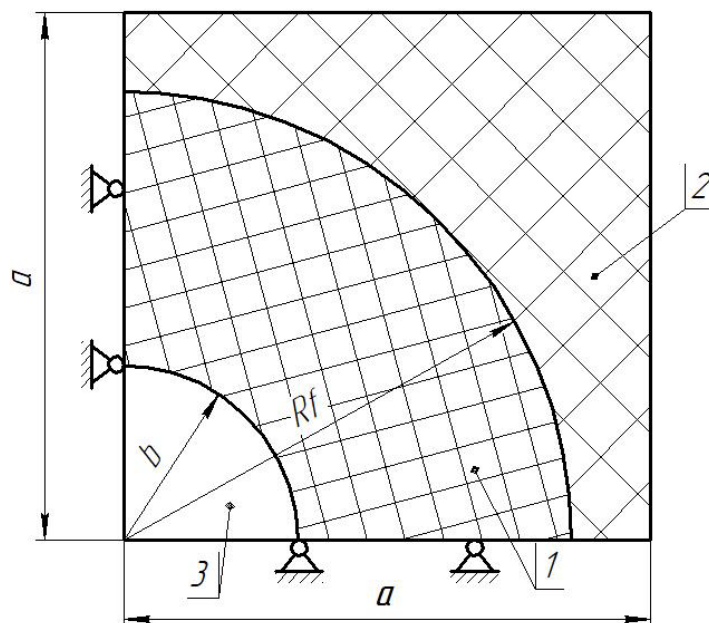


Рис. 1 - Геометрия расчетной области: 1-углеродное волокно, 2-эпоксидная матрица, 3-капилляр, R_f - внешний радиус волокна, b -радиус капилляра¹

Таблица 1- Механические характеристики волокна и матрицы

	Стекловолокно	Эпоксидная смола
Модуль Юнга, ГПа	72,4	2
Коэффициент Пуассона	0,3	0,4

¹ Авторская разработка

Для определения модуля Юнга задаем граничные условия в перемещениях представленные на рис. 2.

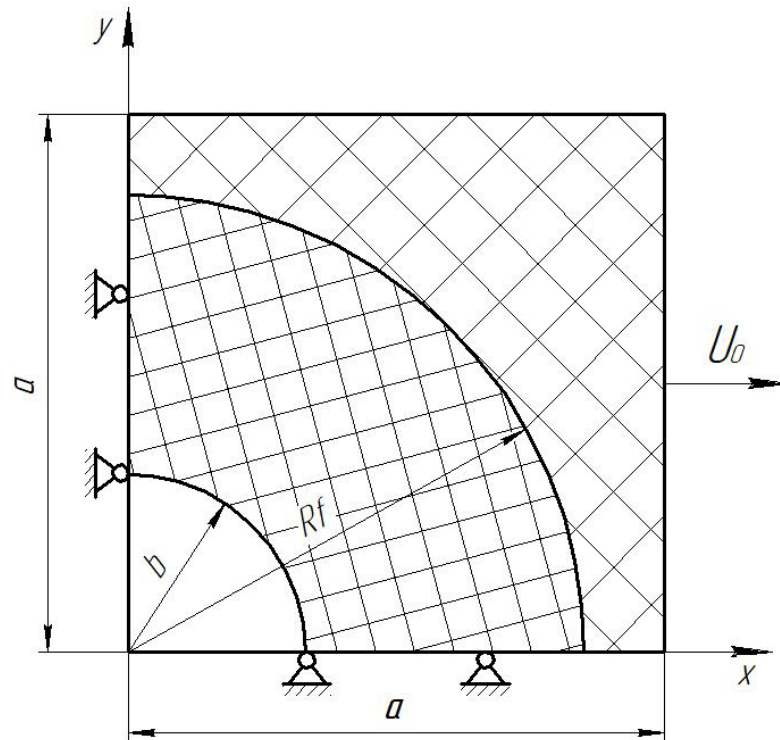


Рис. 2 - Схема нагружения для определения модуля Юнга²

Задаем перемещение $U_x = U_0 = 0,001 \cdot a$. Радиус волокна $R_f = 0,859$, объемная доля волокна ν_f равна 0,58, размер a равен 1, $b = q \cdot R_f$, где q – капиллярность.

Проводится определение полей напряжений и деформаций расчетной области используя пакет ANSYS. Для этого строим геометрию и разбиваем ее на конечные элементы. Задаем граничные условия и получаем поле напряжений (Рис. 3). Перейдем от микроскопических значений напряжений и деформаций к макроскопическим. По этим значениям определяем поперечный модуль Юнга. Данный алгоритм повторяем для различных значений

² Авторская разработка

капиллярности в пределах от 0 до 1 с шагом 0,2. Результаты расчетов приведены в таблице 2[3].

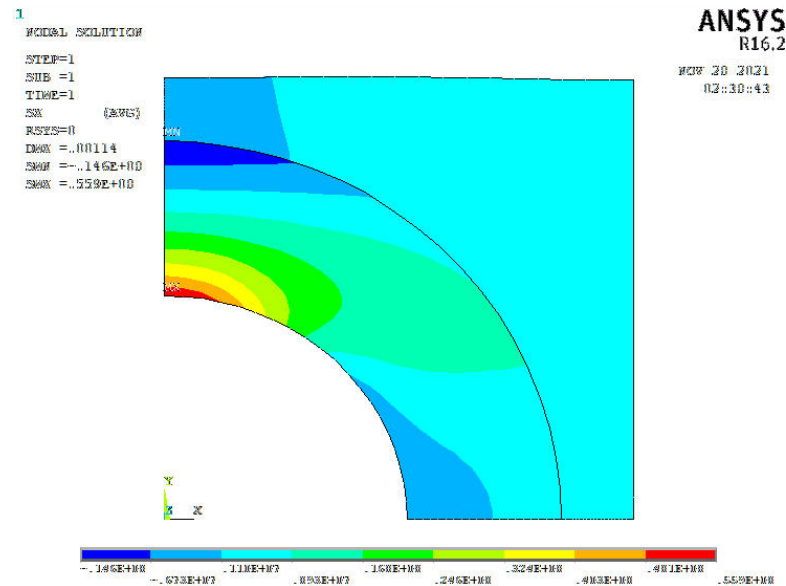


Рис. 3 - Поле напряжений σ_x^3

Таблица 2 - Значения модуля Юнга определенные в Ansys

q	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
E_{\perp}^* , ГПа	7,08	7,04	6,86	6,20	4,39	2

Для аналитического определения упругих характеристик композиционного материала воспользуемся формулами из монографии Ванина Г.А. [1].

Вычислим поперечный модуль Юнга:

Для этого определим эффективный модуль сдвига в поперечном сечении по формуле:

³ Авторская разработка
Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

$$G_{\perp}^* = \left(\frac{1}{G_m} \cdot \frac{(1 + \nu_f \chi_m)(1 + \chi_f q^2) \frac{G_m}{G_f} + (1 - q^2)(\nu_m \chi_m (1 - \Omega) - (1 + \nu_f \chi_m) \Omega) \frac{G_m}{G_f}}{(1 - q^2)(\nu_f + \chi_m)(1 - \Omega) - \nu_m \Omega \frac{G_m}{G_f} + \nu_m (1 + \chi_f q^2) \frac{G_m}{G_f}} \right)^{-1} \quad (1)$$

Находим эффективный модуль упругости первого рода в поперечном сечении для композита с капиллярными волокнами подставляя формулу (1) в (2):

$$E_{\perp}^* = \left(\frac{\nu_{\square}^2}{E_{\square}} + \frac{1}{4G_{\perp}^*} + \frac{1}{8G_m} \cdot \left(\frac{2(1 - \nu_f)(1 - q^2)(\chi_m - 1) + (\nu_f(\chi_m + 1)(\chi_f - 1) + (1 - \nu_f)(\chi_m - 1)(\chi_f - 1 + 2q^2)) \frac{G_m}{G_f}}{(1 - q^2)(2 - \nu_f + \chi_m \nu_f) + (1 - \nu_f)(\chi_f - 1 + 2q^2)) \frac{G_m}{G_f}} \right)^{-1} \right)^{-1} \quad (2)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 3:

Таблица 3 - Значения модуля Юнга по формулам Ванина Г.А.

q	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
E_{\perp}^* , ГПа	7	6,95	6,84	6,64	6,15	0,562

Зависимости эффективного модуля Юнга в поперечном сечении от капиллярности приведены на рис. 4:

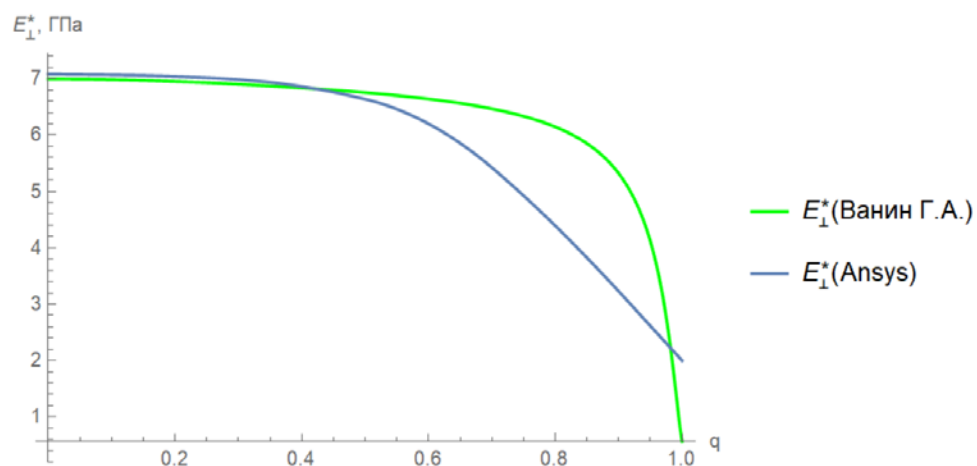


Рис. 4 - Зависимость эффективного модуля Юнга от капиллярности⁴

Различность графиков обусловлена тем, что полости при $q \geq 0,7$ не допустимы для хрупких волокон по формулам Ванина, а в Ansys нет таких ограничений.

Вывод:

Мы сравнили значения упругих постоянных, вычисленных в программном пакете ANSYS, с полученными результатами по ранее известным формулам. Максимальная погрешность составляет 26% при капиллярности равной 0,8.

С увеличением размера капилляра до размера волокна эффективный модуль Юнга, рассчитанный в программе ANSYS, принимает значение эффективного модуля Юнга матрицы.

Работа выполнена в рамках НИРС в ПНИПУ [2]

⁴ Авторская разработка
Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

Библиографический список:

1. Ванин Г. А. Микромеханика композиционных материалов: монография. – Киев: Наук. Думка, 1985 – 304с.
2. Методические указания по проведению научно-исследовательской работы для студентов бакалавриата по направлению «Материаловедение и технологии материалов» / Макарова Е.Ю., Соколкин Ю.В., Чекалкин А.А. - Пермь: ПНИПУ, 2017 - С. 40
3. Патрушева А. В., Веснина С.А. Оценка влияния капиллярности на упругие свойства волокнистых полимерных композиционных материалов со стеклянными и борными волокнами // Дневник науки. - 2020. - №3
4. Федотов А.Ф. Прогнозирование эффективных модулей упругости пористых композиционных материалов. Известия вузов // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2015;(1):32-37. <https://doi.org/10.17073/1997-308X-2015-1-32-37>
5. Чекалкин А.А., Котов А.Г. Динамика и устойчивость композитных конструкций. - Пермь: Пермский государственный технический университет, 2006. - 66 с.
6. Чекалкин А.А., Паньков А.А. Лекции по механике конструкций из композиционных материалов. - Пермь: Пермский государственный технический университет, 1999. - 150 с.
7. Biarjemandi, Mojde; Etemadi, Ehsan; Lezgy-Nazargah, Mojtaba. Evaluation of mechanical properties of fiber reinforced composites filled with hollow spheres: A micromechanics approach. Journal of Composite Materials. – 2020. – 1-15 с. - doi:10.1177/0021998320949649
8. Homeniuk, S.; Grebenyuk, S.; Klimenko, M.; Stoliarova, A. 2018. Determining the effective characteristics of a composite with hollow fiber at

longitudinal elongation, Eastern-European Journal of Enterprise Technologies 6/7 (96): 6-12.

9. Sergii Grebenyuk. Longitudinal Shear Modulus of the Composite Material with Hollow Fibers. // Sergii Grebenyuk, Mykhailo Klymenko, Anastasiia Stoliarova. – Kaunas University of Technology, - Lithuania. – 2019. – 45-48 с.

Оригинальность 88%