

УДК 691.322:004.421

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПЛАСТИКОВОЙ АРМАТУРЫ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ**

*канд. техн. наук Д.Н. ШАБАНОВ;  
Е.А. ЗЯБКИН; Е.А. ТРАМБИЦКИЙ*

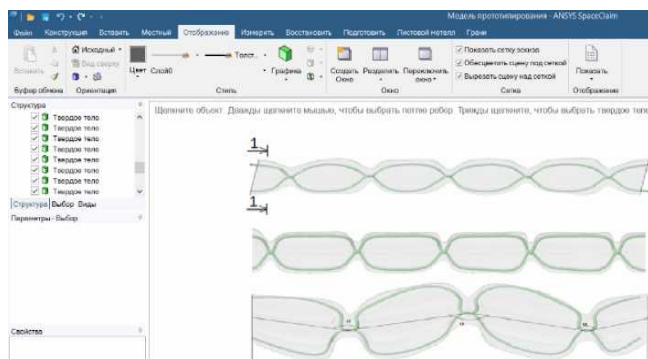
*Представлен пример современных систем инженерного анализа, информационного моделирования, позволяющих численными методами решать различные задачи, в частности определение физико-механических и деформационных характеристик преднатянутой стеклопластиковой арматуры. Грамотная постановка задачи с применением 3D-моделей существенно влияет на скорость исследования оценки строительных элементов различных конфигураций и их характеристик. Полученные результаты отличаются высокой степенью точности, что позволяет в некоторых случаях не прибегать к натурным испытаниям. Кроме того, благодаря построенной 3D-модели возможно наблюдать процесс деформации элемента в режиме «реального времени». В дальнейшем, на основе принципов подобия, полученные данные можно применить и для других материалов.*

**Ключевые слова:** *стеклопластиковая арматура, растяжение, деформация, информационное моделирование, T-FLEX CAD.*

**Введение.** Во многих случаях необходимо подтверждение работоспособности или проверка определенных эксплуатационных характеристик конструкций. Наиболее простой способ проверки работоспособности и надежности – создание опытных образцов или макетов с последующим испытанием в условиях, приближенных к реальным. Однако натурные испытания с помощью физических прототипов являются длительными и затратными, поэтому наиболее эффективным считается проведение виртуальных испытаний с применением современных систем инженерного анализа, CAE (Computer-Aided Engineering). Такая система позволяет численными методами решать различные задачи для определения физико-механических свойств исследуемых моделей [1].

Часто имитационное моделирование полностью заменяет натурные эксперименты. В случаях, когда необходимы испытания на физических образцах, имитационное моделирование позволяет существенно сократить количество экспериментов, подобрав оптимальные параметры конструкции, тем самым сократив издержки на апробацию результатов или сертификацию изделия. Зачастую результаты виртуальных испытаний дают более широкую картину происходящих процессов, чем натуральный эксперимент, предоставляя больше возможностей для оптимизации и улучшения эксплуатационных характеристик, экономя при этом значительные средства и время. Кроме того, практикуется применение численно-экспериментальных методов исследований, когда результаты натурных испытаний дополняются результатами имитационного моделирования, которые недостижимы в натурном эксперименте [2]. В этом случае достоверность результатов автоматически подтверждается корреляцией полученного решения с экспериментальным.

**Исследовательская часть.** Цель представляемой работы состоит в исследовании ранее смоделированного нами стержня [3] на растяжение неразрушающими методами. Для реализации задачи использовались программные продукты комплексов ANSYS SpaceClaim и T-FLEX PLM – T-FLEX CAD и T-FLEX Анализ (рисунок 1).



**Рисунок 1. – Рабочее окно программы ANSYS SpaceClaim с 3D-моделями профилей стеклопластиковой арматуры различной формы**

Для дальнейшего исследования выбран профиль эллиптической формы, представленный на рисунке 2 (получено положительное решение на получение патента).

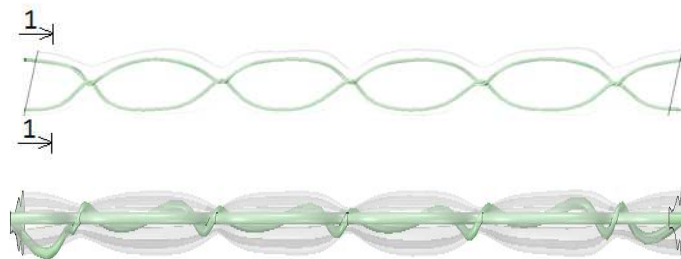


Рисунок 2. – Профиль стеклопластиковой арматуры эллиптической формы

Отличительные признаки арматурного стержня:

- иная форма выполнения элементов, а именно арматурного композитного стержня, имеющего места переплетения из жгутов нитей;
- взаиморасположение элементов, т.е. места переплетения, расположены с равным, регулируемым шагом между ними;
- дополнительная обработка стекловолокна специальными видами смол, обладающими таким свойством, как память, которое будет стремиться вернуть стержень в первоначальное состояние, до его вытягивания.

Применение стекловолокна при армировании цемента или бетона обусловлено использованием его значительной прочности на растяжение, невысоким модулем Юнга и неограниченно большой длиной. Один из способов использования стекловолокна заключается в том, что из ровинга получают жгуты, волокна в которых соединены вместе и покрыты пластиком, благодаря чему получают армирующий стержень, который может заменить стальную арматуру [4]. При этом толстое покрытие предохраняет стекловолокно от агрессивного действия среды. Известны исследования с предварительно напряженной арматурой. Модуль стекла довольно низкий для эффективного использования напряженной арматуры, но сочетание низкого модуля и высокой прочности на растяжение делают армирование конструкций перспективным способом [4]. Предельная величина предварительного напряжения  $\sigma$  стеклопластиковой арматуры периодического профиля составляет 0,30.

Испытания на растяжение неразрушающими методами осуществлены с помощью программного обеспечения T-FLEX CAD. В процессе проектирования в T-FLEX CAD использовалась 3D-модель стеклопластиковой арматуры периодического профиля. Фрагменты выполнены параметрическими, созданы окна диалогов управления. Это позволило ускорить работу по оптимизации геометрических размеров и формы элементов стержня, а также существенно ускорить выполнение прочностных расчетов в модуле T-FLEX Анализ (рисунок 3).

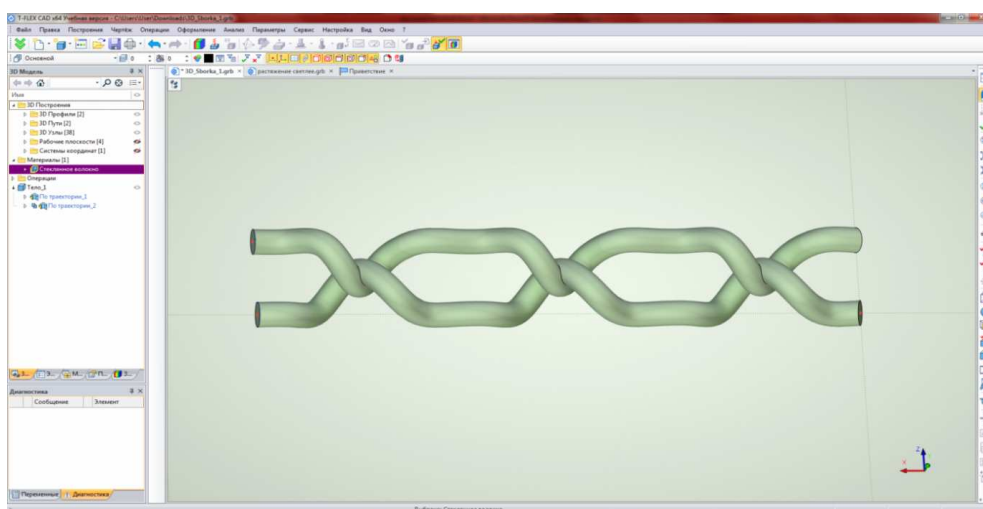


Рисунок 3. – Рабочее окно программы T-FLEX CAD с построенной 3D-моделью выбранного профиля стеклопластиковой арматуры

При выполнении расчетов принимаются следующие допущения и упрощения:

- прочность конструкции оценивается величиной коэффициента запаса прочности по эквивалентным напряжениям;
- материал конструкции принимается изотропным, концентраторы напряжений, вызванные идеальной геометрией модели, и дефекты материала в расчете не учитываются;
- расчет прочности конструкции проводится по соответствующему напряжению, при котором начинается пластическая деформация материала.

На основе 3D-модели реализованы следующие этапы эксперимента:

- построена расчетная конечно-элементная модель;
- заданы контактные условия и условия нагружения;
- выполнен поверочный расчет модели;
- осуществлена общая оценка прочности конструкции.

Полученные результаты, проиллюстрированные рисунком 4, сравнимы с показателями натуральных испытаний, представленных в таблице 1, что подтверждает правильность заданных параметров и конфигураций при проведении виртуального эксперимента.

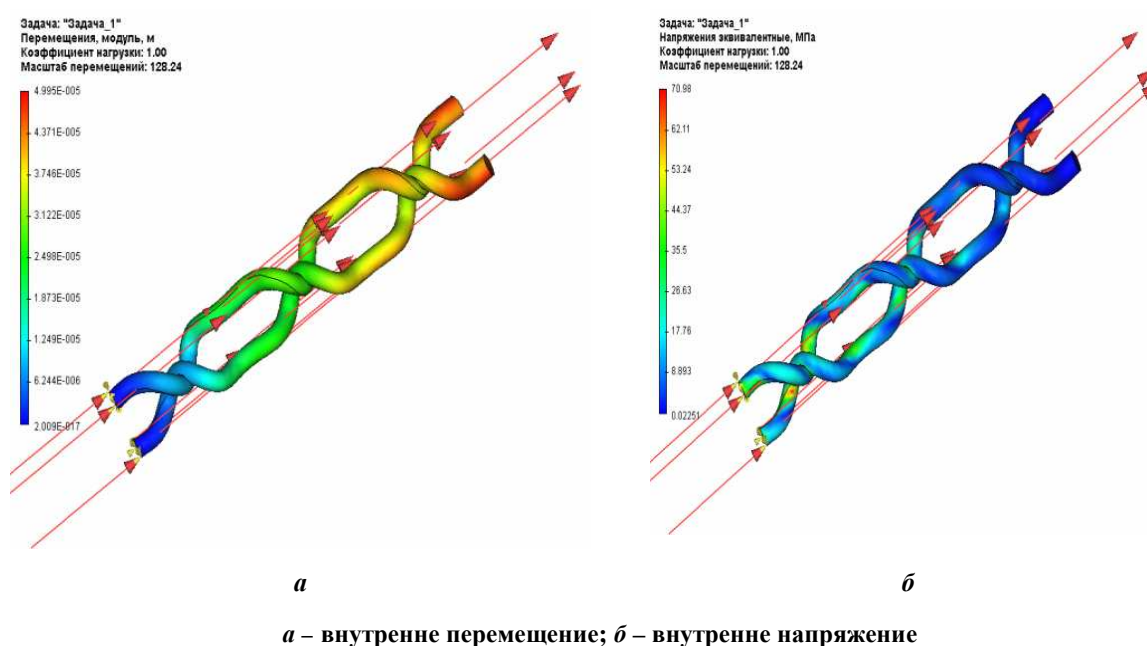


Рисунок 4. – Деформации напряжения растяжения, испытываемые моделью заданного профиля

Таблица 1. – Физико-механические характеристики стеклопластиковой арматуры периодического профиля

Площадь поперечного сечения $\Phi$ , мм	Предельная нагрузка, Р, кН	Предел прочности, $\sigma$ , МПа	Относительное удлинение, $\xi$ , %
8	0	0	0
Нагрузка до предельной величины предварительного напряжения	1	11,4	0,0004
	2	22,7	0,0009
	3	34,1	0,0013
	4	45,4	0,0016
	5	56,8	0,002
	5,7	63,81	0,0022

Источник: собственная разработка.

На рисунке 5 в виде графиков отображены участки максимальных напряжений и деформаций стеклопластиковой арматуры периодического профиля при получении преднапряжения.

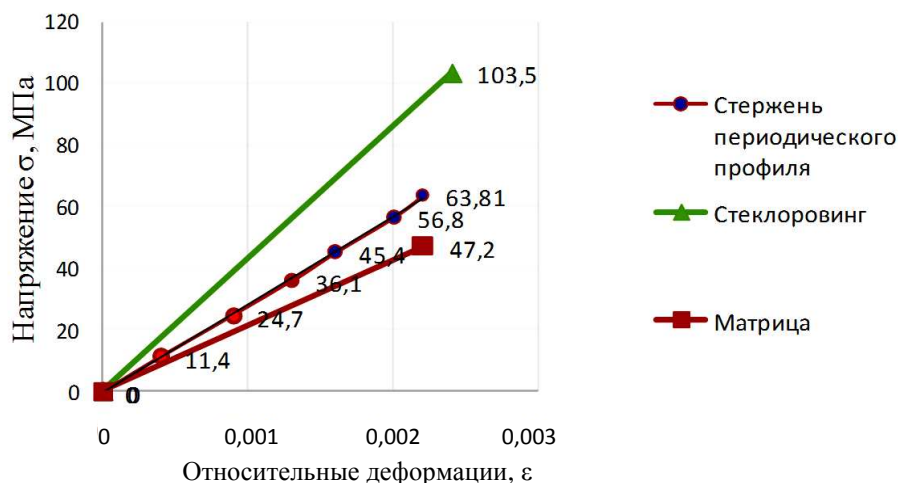


Рисунок 5. – Предельная величина деформаций всех составляющих стеклопластиковой арматуры периодического профиля при получении предварительного напряжения

Прочность композиционного материала характеризуется одновременной работой составляющих компонентов, и в случае ориентированного в одном направлении однородного непрерывного волокна, жестко сцепленного с матрицей, нагрузка на композицию распределяется между волокном и матрицей.

Упрочняющее действие волокон заключается в том, что более прочные и жесткие по сравнению с матрицей волокна начинают нести в композиции основную часть нагрузки, как только их объемная доля в матрице превысит некоторую критическую величину [5].

В заключение исследования можно сделать следующие **выводы**:

- испытание стеклопластиковой арматуры периодического профиля на растяжение способствует получению наиболее полного набора характеристик испытываемого образца;
- зона напряжений, равная 30% от разрушающей нагрузки, отображает поведение образца при приложении сил на начальной стадии испытания;
- отношение между прилагаемой силой или нагрузкой и удлинением образца – линейное. В пределах данной линейной области прямые подчиняются Закону Гука, согласно которому имеет место постоянное отношение между напряжением и деформацией. Наклон прямых на данном участке, где напряжение  $\sigma$  пропорционально деформации  $\epsilon$ , называется «модулем упругости», или «модулем Юнга».

Модуль упругости – это мера жесткости материала, однако она действует только на линейном участке кривой, который приведен на графике (рисунок 5). Если образец подвергается нагрузке на линейном участке, то материал вернется в исходную форму при прекращении действия нагрузки, что требуется для получения предварительного напряжения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Куликовкий, Д.П. BIM-технологии. Опыт внедрения / Д.П. Куликовкий // Технологии интеллектуального строительства. – М., 2015. – № 3.
2. Структура отрасли информационного моделирования, или Кто нужен рынку для ее развития [Электронный ресурс] // NEOLANT. – 2016. – ноябрь. – Режим доступа: [http://neolant.ru/upload/29112016/NEOLANT\\_SAPRiGr\\_Structura%20otrasli%20IM.pdf](http://neolant.ru/upload/29112016/NEOLANT_SAPRiGr_Structura%20otrasli%20IM.pdf). – Дата доступа: 03.02.2016.
3. Шабанов, Д.Н. Компьютерное моделирование стеклопластиковой арматуры периодического профиля и вычислительный эксперимент оценки ее эксплуатационных свойств / Д.Н. Шабанов, Е.А. Зябкин, Е.А. Трамбицкий // Вестник Полоцкого государственного ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикладные науки. – 2016. – С. 73–78.
4. Материалы, армированные волокном : пер. с англ. / Л.И. Сычева, А.В. Воловик. – М. : Стройиздат, 1982. – 180 с.
5. Хежев, Т.А. Технология современных композиционных бетонов и изделий : метод. разработки к практическим занятиям по спецкурсу / Т.А. Хежев. – Нальчик : Кабардино-Балкар. ун-т, 2004. – 86 с.
6. Куликовский, Д. Повышение рентабельности проектно-строительного производства в условиях применения технологии информационного моделирования (BIM). Новая роль архитектора/проектировщика / Д. Куликовский, А. Паршин // Архитектура и строительство. – 2015. – № 2.

7. Волкинд, Д. Прямой и обратный инжиниринг с ANSYS SpaceClaim: применение для САМ, САЕ и 3D-сканирования / Д. Волкинд, К. Кравченко, М. Булатов.
8. Бабичев, С.В. Инженерный анализ средствами T-FLEX / С.В. Бабичев // САПР и графика. – 2016. – декабрь.
9. Плотников, А. Использование программного комплекса T-FLEXPLM и возможностей 3D-печати для проектирования оснастки испытательной установки / А. Плотников, Ю. Кучковский, С. Федотов // САПР и графика. – 2017. – январь.
10. Способ изготовления композитной арматуры периодического профиля : полож. решение пат. Респ. Беларусь, МПК Е 04 С 5/07, В 29 С 55/30, В 29 С 53/26 / Н.Н. Попок, Д.Н. Шабанов, О.А. Ерошова, Е.А. Менжинский ; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № а 20130798 ; заявл. 2013.06.24.
11. Багмутов, В.П. Особенности организации вычислительного эксперимента по формированию шейки цилиндрического образца при растяжении / В.П. Багмутов, С.В. Бабичев // Изв. ВолгГТУ. Серия «Материаловедение и прочность элементов конструкций». – 2005. – Вып. 1. – № 3 (12).
12. Шабанов, Д.Н. / Эра технологий в современном строительстве / Д.Н. Шабанов, Н.А. Аверченко, М.Н. Высоцкая // Актуальные проблемы архитектурного Белорусского Подвинья и сопредельных регионов : сб. ст. республ. науч.-техн. семинара, Новополоцк, 8–9 окт. 2015 г. ; Полоц. гос. ун-т; под общ. ред. В.Е. Овсейчик, Г.И. Захаркина, Р.М. Платонова. – Новополоцк : ПГУ 2015. – 216 с.
13. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач : учеб. пособие / В.В. Белов [и др.]. – Тверь : ТвГТУ, 2015. – 108 с.

Поступила 12.06.2017

## COMPUTER MODELING AND ANALYSIS OF OPERATING CHARACTERISTICS OF THE PERIODICAL PROFILE FIBERGLASS REINFORCEMENT

*D. SHABANOV; E. ZIABKIN; E. TRAMBITSKY*

*An example of modern systems of engineering analysis, information modeling, allowing numerical methods to solve various problems, for example: the determination of physico-mechanical and deformation characteristics of prestressed fiberglass reinforcement. Competent statement of the problem with the use of 3D-models and the possibilities of artificial intelligence significantly affects the speed of research and evaluation of building elements of different configurations and characteristics. The results obtained are highly accurate, which in some cases does not require full-scale testing. In addition, thanks to the constructed 3D-model, we can observe the deformation process of the element in the “real time” mode. In the future, based on the principles of similarity, the data obtained can be applied to other materials.*

**Keywords:** *fiberglass reinforcement, tension, deformation, information modeling, T-FLEX CAD.*