

Н. Н. Шалобыта, Т. П. Шалобыта, Е. А. Деркач, Ю. Н. Науменко // Вестник БрГТУ. – 2016. – № 1(97): Строительство и архитектура. – С. 81–86.

6. Шалобыта, Н. Н. Экспериментальное определение параметров контакта в монолитных конструкциях с включением в работу несъемной опалубки из цементно-стружечной плиты / Н. Н. Шалобыта, Т. П. Шалобыта, Е. А. Деркач, Ю. Н. Науменко // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. – 2016. – Т. 6. №1: Тэхніка. – С. 58–66.

7. Древесина. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе : ГОСТ 16483.9–73. – Введ. 01.07.1974. – Москва : ИПК Издательство стандартов, 1999. – 6 с.

8. Плиты древесные с ориентированной стружкой. Технические условия : ГОСТ 32567-2013. – Введ. 01.07.2014. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 17 с.

9. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия : ГОСТ 3916.1-96 – Взамен ГОСТ 3916.1-89, ГОСТ 10.55-71 ; введ. 01.01.1998. – Москва : Издательство стандартов, 1997, Стандартиформ, 2008. – 11 с.

10. Плиты цементно-стружечные. Технические условия : ГОСТ 26816-2016. – Введ. 01.04.2017. – Москва: Стандартиформ, 2016. – 15 с.

УДК 620.1:674.8

**Лазарук А. А.**

**Научные руководители: к. т. н., доцент Шалобыта Н. Н.,  
к. т. н., доцент Шалобыта Т. П.**

## **ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НДС КОМПОЗИТНОГО ЭЛЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ЦСП И УГЛЕПЛАСТИКА**

**Введение.** В настоящее время численное моделирование становится неотъемлемой частью при разработке, совершенствовании и исследовании строительных конструкций. Достигнутый на данный момент уровень развития вычислительной техники, как по быстродействию, так и по объему оперативной памяти, и одновременно с этим широкое внедрение многопроцессорных систем позволяют реализовывать более сложные нелинейные математические модели строительных конструкций из различных материалов. Решение подобных задач в нелинейной постановке позволит в конечном итоге реализовать идею сокращения экспериментальных исследований математическим моделированием на ЭВМ. Наряду с этим, в настоящее время изменились приоритеты исследования – главной задачей исследователя становится не получение любой ценой решения в виде аналитического выражения, а преобразование исходных уравнений (в том числе аналитическими методами) к виду, удобному для ЭВМ, и последующий машинный анализ, позволяющий получить максимум полезных свойств из моделируемой системы.

Вычислительный эксперимент во многом аналогичен натурному. Он также состоит из последовательного проведения этапов, таких как планирование экспериментов, создание экспериментальной установки, проведение испытаний, обработка экспериментальных данных, их интерпретация и т. д. Однако вычислительный эксперимент проводится не над реальным объектом, а над его математической моделью, и роль экспериментальной установки играет оснащенная специально разработанной программой ЭВМ.

Сравнивая численные и физические эксперименты, приходим к выводу, что физический значительно дороже. Численный эксперимент обладает типичной для теории степенью гибкости, которая состоит в способности оценить влияние

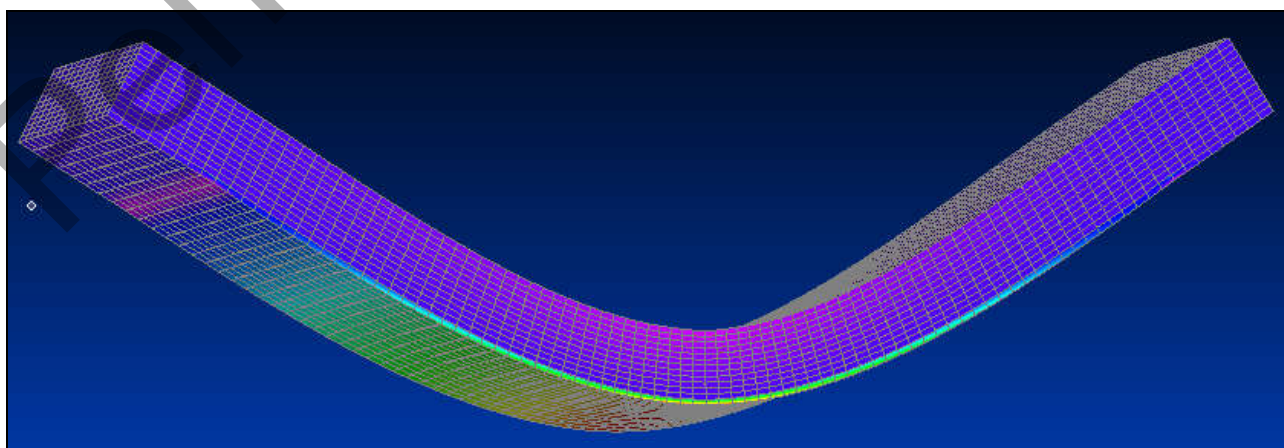
различных факторов, не прибегая к существенным изменениям в вычислительной модели. В тех случаях, когда физическое явление недостаточно изучено или реальный эксперимент трудно осуществим, математическое моделирование остается практически единственным средством. И, наконец, численный эксперимент является более прозрачным. Экспериментальные установки, даже построенные по единой принципиальной схеме, непременно имеют конструктивные, технологические и эксплуатационные особенности, которые в значительной степени определяют результаты опытов. Математические модели, алгоритмы и программы легко копируются, распространяются и воспроизводятся. Однако при проведении исследований важно помнить, что численный эксперимент имеет свои ограничения, которые могут привести к неэффективным затратам времени и ресурсов или даже к получению ошибочных результатов.

### **Основная часть**

Теоретическая оценка работы под нагрузкой железобетонной монолитной плиты с несъемной опалубкой из композитной конструкции в виде цементно-стружечной плиты и углепластика [1] предполагает наличие прочностных и деформационных характеристик данного материала, что требует проведения комплекса экспериментальных исследований. Численное моделирование нового материала конструкции в виде конечно-элементного объекта позволит существенно сократить продолжительность исследований, однако потребует верификации принятой модели на основе экспериментальных данных, но уже с меньшими затратами материальных ресурсов.

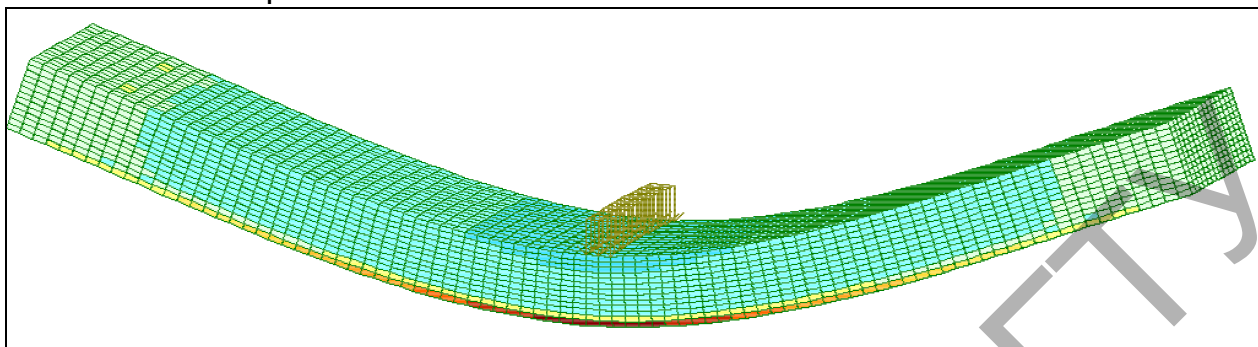
В качестве численного метода решения поставленной задачи использовалось конечно-элементное моделирование с применением вычислительных пакетов «NX Nastran» [2] и ПК «ЛИРА-САПР2017» [3]. При моделировании объемной модели и исследовании её напряженно-деформированного состояния применялось допущение в виде жесткого сопряжения углеволокна с ЦСП.

Для построения конечно-элементной трехмерной модели в NX Nastran было применено твердотельное моделирование с использованием КЭ «Solid» (рисунок 3). Разбивка производилась с использованием твердотельных пространственных шестигранных элементов «Solid» типа «Brick» («Брусok»). Толщина принятых КЭ – 2 мм, что позволило разбить толщину композита на 13 равных частей (при толщине ЦСП 24 мм и углеволокна 2 мм). В горизонтальной плоскости размеры по двум осям приняты по 5 мм. Прочностные и деформационные характеристики отдельно каждого из материалов (ЦСП и углеволокна) задавались на основании данных, полученных по результатам их испытаний в соответствии с требованиями [4].



**Рисунок 1 – Численное моделирование композитного элемента в NX Nastran**

Объемное моделирование трехмерной модели в ПК ЛИРА-САПР было построено с применением конечного элемента «Тип 36 – универсальный пространственный восьмиузловой изопараметрический КЭ». Разбиение сетки конечных элементов выполнено аналогично Nastran, т. е. в вертикальной плоскости 2 мм и в горизонтальной по 5 мм.



**Рисунок 2 – Численное моделирование композитного элемента в ПК ЛИРА-САПР**

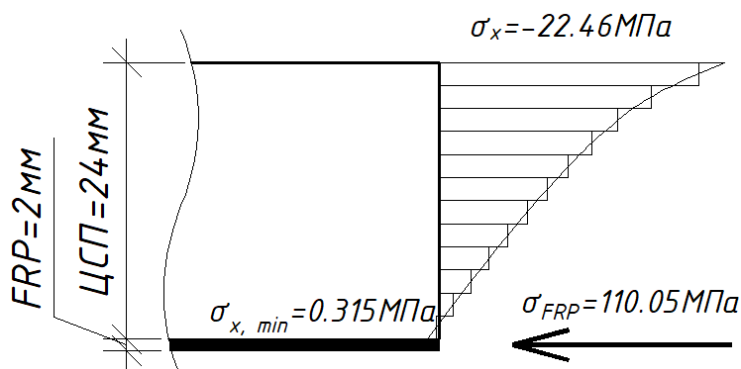
Верификация результатов численного и натурального экспериментов проводилась по значениям прочностных характеристик в характерных сечениях элемента и по величине вертикальных перемещений (прогиба) в тех же сечениях. В таблице 1 приведены данные сравнения численных и экспериментальных результатов при одинаковой величине прикладываемой нагрузки.

**Таблица 1 – Сравнение результатов экспериментальных и численных исследований при нагрузке, соответствующей трещинообразованию в ЦСП**

Показатель	Эксперимент	NX Nastran	ПК ЛИРА-САПР
Напряжения в FRP $\sigma_x$ , МПа	170	168	159
Прогиб, мм	5.35	3.62	3.02

Анализ полученных результатов, оформленных в виде обобщенных теоретико-экспериментальных характеристик, показал, что расхождение значений теоретических и экспериментальных данных по напряжениям находится в пределах 5–7%, по деформациям прогиба – до 35%.

Также полученные численные модели позволяют анализировать распределение напряжений по сечению образца. На рисунке 3 изображено распределение нормальных напряжений в середине сечения композита на некотором этапе нагружения до образования трещин.



**Рисунок 3 – Распределение нормальных напряжений по сечению на этапе нагружения**

Таким образом, разработанная математическая модель практически в полной мере адекватна реальной работе комплексного материала. Из полученных данных можно установить, что разработанная математическая модель соответствует необходимому уровню точности для определения прочностных и деформационных характеристик с целью предконструкторского проектирования конструкции.

**Заключение.** В действительности, численный эксперимент не может полностью заменить натурный, и поэтому необходимо их разумное сочетание. Результаты натурного опыта являются фундаментом для построения теории, на основе которой создается математическая модель. Поэтому к результатам численного эксперимента необходимо подходить с известной осторожностью, особенно если в его основе лежит новая теория либо используемые параметры модели находятся на границе области ее применимости.

Выводы:

1. Разработанная математическая модель по результатам верификации с проведенным физическим экспериментом является адекватной, что говорит о возможности дальнейшего применения результатов этой модели при проведении исследований.

2. Анализ полученных распределений напряжений и перемещений, построенных по результатам численных расчетов и экспериментальных исследований, наглядно демонстрируют достоверность созданной компьютерной модели, что позволяет ее использовать для дальнейших исследований.

#### **Список цитированных источников**

1. Шалобыта, Н. Н. Численно-экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния нового композитного элемента на основе цементно-стружечной плиты и углеволокна / Н. Н. Шалобыта, Т. П. Шалобыта, А. А. Лазарук // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением систем автоматизированного проектирования (САПР): сборник статей III Международной научно-технической конференции 28-29 марта 2019 г. – Брест: Изд-во БрГТУ, 2019.

С. 117–124.

2. NX Nastran [электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.plm.automation.siemens.com/global/ru/products/simcenter/simcenter-nastran.html>. – Дата доступа: 10.03.2019.

3. ПК ЛИРА-САПР Проектирование и расчет строительных конструкций. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.liraland.ru/lira>. – Дата доступа: 10.03.2019.

4. Плиты цементно-стружечные. Технические условия : ГОСТ 26816-2016. – Москва: Стандартинформ, 2016. – 15 с.

УДК 691.115:539.412

**Ласкевич А. В.**

**Научный руководитель: д. т. н. Найчук А. Я.**

### **ДЛИТЕЛЬНАЯ ПРОЧНОСТЬ ОРИЕНТИРОВАННО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ ПРИ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ В ПЛОСКОСТИ ПЛАСТИ**

В последнее время как в нашей стране, так и за рубежом при строительстве малоэтажных домов широкое распространение получили ориентированно-стружечные плиты (ОСП). ОСП используют как конструкционные элементы в виде обшивок панелей стеновых панелей, настила полов, крыш, стенок балок двутаврового сечения, щитов опалубки и т. п. Несмотря на относительно широкую область применения ОСП в строительстве, до настоящего времени в нормативном документе [1] недостаточно полно приведены их значения как прочностных, так и упругих характеристик в зависимости от вида напряжённо-