# СЕКЦИЯ 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ, МЕХАНИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 621.762.001.2

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОГО АНАЛИЗА

**К. В. Ефимчик, Е. Ф. Кудина**

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

*Отмечено, что разработка изделий, а также исследование физико-механических характеристик являются комплексом сложных и связанных задач. Установлено, что прогнозирование поведения получаемого изделия из разработанных композиционных материалов на стадии производства позволяет получить оптимальную конструкцию изделия с заданными физико-механическими характеристиками, что способствует ускоренному внедрению в производство.*

**Ключевые слова:** системы инженерного анализа, композиционные материалы, моделирование, прогнозирование.

## MODELING OF COMPOSITE MATERIAL PRODUCTS USING MODERN ENGINEERING ANALYSIS SYSTEMS

**К. В. Ефимчик, Е. Ф. Кудина**

*Belarusian State University of Transport, Gomel*

*The development of products, as well as the study of their physical and mechanical characteristics, are a complex of complex and related tasks. Forecasting the behavior of the resulting product from the developed composite materials at the production stage allows us to obtain an optimal design of the product with specified physical and mechanical characteristics, which facilitates accelerated implementation in production.*

**Keywords:** engineering analysis systems, composite materials, modeling, forecasting.

В развитии промышленного производства в настоящее время важно усовершенствование характеристик материалов. Как правило, при этом основные усилия направляют на снижение веса изделия, увеличение его прочности и повышение стойкости к агрессивным средам. На сегодняшний день внимание уделяется полимерным композиционным материалам (ПКМ). При получении изделий из ПКМ нужно учитывать их будущие высокие прочностные свойства, с одной стороны, а также специфику их переработки и утилизации, с другой [1].

Цель исследования – анализ современных систем инженерного анализа, а также возможность их применения в образовательном процессе.

Инженерный компьютерный анализ в процессе создания нового изделия позволяет спрогнозировать поведение системы и с минимальными затратами времени сопоставить ряд различных альтернативных конструкторских решений. В результате снижается объем экспериментальной отработки и доводки изделия, повышается его

качество, а сам процесс проектирования ускоряется и удешевляется. Роль компьютерного моделирования и инженерного анализа при разработке новых изделий растет и в конечном счете они должны стать неотъемлемой частью любого процесса проектирования.

Современные системы инженерного анализа (или системы автоматизации инженерных расчетов) – CAE (computer-aided engineering) обеспечивают решение задач линейного и нелинейного статистического анализа, анализа частоты, устойчивости, температурного анализа, усталости, испытаний на ударную нагрузку, линейного и нелинейного динамического анализа, анализа оптимизации и др. CAE применяются совместно с CAD-системами компьютерного геометрического моделирования (computer-aided design). Назначение CAD-систем – создание 3D-моделей и получение чертежей. Часто CAE интегрируются в CAD, образуя гибридные CAD/CAE системы.

CAE-системы включают расчетные модули, позволяющие оценить, как поведет себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. Расчетные модули, используемые в CAE-системах, основаны на численных методах решения дифференциальных уравнений (метод конечных элементов, метод конечных объемов, метод конечных разностей и др.) [2]. В настоящее время системы инженерного анализа применяются во всех сферах деятельности. На рис. 1 представлены распределение CAE-систем по сферам деятельности, а также объем мирового использования ведущих компаний в области систем инженерного анализа.

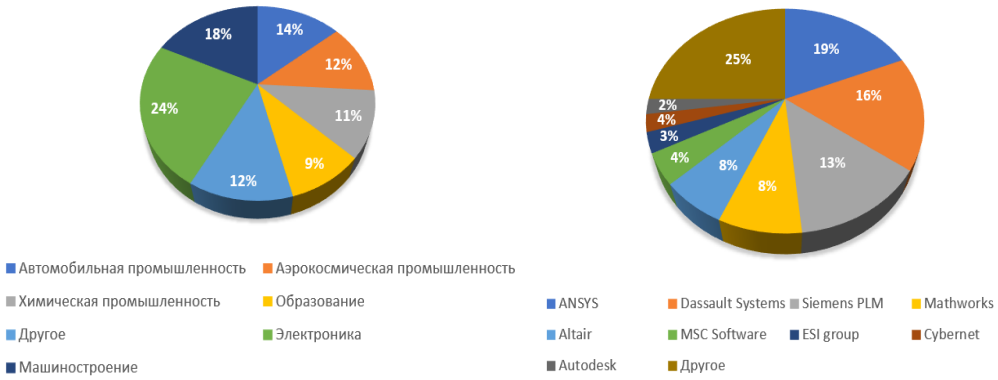



*Рис. 1*. Распределение CAE-систем и объем их использования

За последние 10 лет мировой рынок CAE платформ вырос с 2,2 до 5,3 млрд USD (+146 %). Согласно последним исследованиям, 9 ведущих компаний, занимающихся разработкой CAE-систем, занимают около 75 % мирового рынка.

Программное обеспечение вышеперечисленных компаний дает возможность путем проведения виртуальных исследований, не требующих натурных экспериментов, с высокой точностью определить физико-механические характеристики изделий из разрабатываемого материала [3].

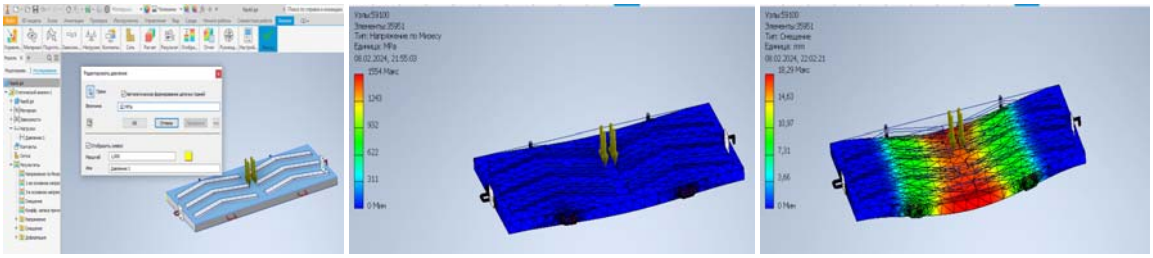
Использование программы ANSYS позволяет разработать методику исследования механических характеристик в твердых телах при деформациях на растяжение и сжатие. Модуль ANSYS/Mechanical предоставляет широкие возможности для выполнения проектных разработок, анализа и оптимизации: решение сложных задач прочности конструкций, теплопередачи и акустики. Эта программа, обеспечивающая проверку правильности проектных работ, является мощным инструментом для опре-

деления перемещений, напряжений, усилий, температур и давлений, а также других важных параметров [4].

Dassault Systemes (биржевой индекс DASTY) на рынке CAE занимает 2-ю позицию. Работы в области CAE-технологий ведутся под брендом SIMULIA. Инструменты для инженерного анализа содержатся также в пакетах CATIA и SOLID-WORKS. SOLIDWORKS – программный комплекс для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает проверку изделий из разработанного материала любой степени сложности и назначения, а также проверку правильности проектных работ, анализ конфликтов и поиск оптимального решения в эскизах, деталях и сборках, геометрическую оптимизацию порядка построения модели, скруглений и уклонов [5].

На военно-транспортном факультете в Белорусском государственном университете транспорта для 3D-моделирования и расчета прочностных характеристик изделий применяется программа Autodesk Inventor Professional. Примерный расчет приведен на базе сборно-разборного дорожного настила [6].

Для проведения инженерного анализа с помощью программы Autodesk Inventor Professional необходимо выбрать зависимость фиксации, а также установить давление, оказываемое на изделие в соответствии с расчетами, и разбить деталь на конечные элементы с помощью сетки (рис. 2).



*а*) *б*) *в*)

*Рис. 2*. Установка давления в соответствии с расчетами (*а*), разбиение изделия на конечные элементы (*б*) и проверка максимальной величины прогиба (*в*)

После проведения расчетов модель может быть оптимизирована до размеров, которые возможно изготовить на производстве.

Таким образом, из приведенных диаграмм видно, что к основным мировым лидерам рынка систем инженерного анализа относятся ANSYS, Dassault Systemes и Siemens PLM Software. Также примерные расчеты можно провести с применением программы Autodesk Inventor Professional, которая является бюджетным вариантом системы инженерного анализа и позволяет спрогнозировать поведение изделия при заданных нагрузках.

В результате применения систем инженерного анализа снижается время на изготовление нескольких экспериментальных образцов различных размеров, а сам процесс проектирования ускоряется и удешевляется. Вышеперечисленные программы дают возможность создавать анимацию деформации изделия с заданным давлением в различный период времени и формировать отчет по результатам эксперимента в виде .html файла.

Литература

1. Восточно-европейский журнал передовых технологий : сб. науч. ст. / Частное предприятие «Технологический Центр» ; редкол.: Д. А. Демин (гл. ред.) [и др.]. – Харьков : Технол. Центр, 2016. – 912 с.
2. Лукинских, С. В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологической подготовке производства : учеб. пособие / С. В. Лукинских. – Екатеринбург : Урал. ун-т, 2020. – 168 с.
3. Программный комплекс Fidesys / Cal- Fidesys.com. – URL: http://www.sstc.spb.ru/upload/iblock/e76/06-ПакетFidesysдляпрочностногоинженерногоанализа.pdf (дата обращения: 20.09.2024).
4. ANSYS / Офиц. сайт. – URL: https://www.cadfem-cis.ru/products/ansys/structures/mechanical (дата обращения: 20.09.2024).
5. Ефимчик, К. В. Моделирование изделий из порошковых материалов с использованием современных систем инженерного анализа / К. В. Ефимчик, Е. Ф Кудина // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка : материалы Междунар. конф., посвящ. 50-летию основания ГНУ «Институт порошковой металлургии имени академика О. В. Романа», г. Минск, 14–16 сент. 2022 г. / Ин-т порош. металлургии им. акад. О. В. Романа. – Минск, 2022, – С. 183–188.
6. Заявка № a 20230136. Сборно-разборный дорожный настил : заявлено 01.06.2023 / Ефимчик К. В., Кудина Е. Ф., Поддубный А. А.

УДК 629.44;629.4.027.5

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ ВНУТРЕННИХ КОЛЕЦ БУКСОВЫХ ПОДШИПНИКОВ С ШЕЙКОЙ ОСИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ

**Р. И. Чернин**

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», г. Гомель*

*Отмечено, что эксплуатационные факторы, оказывающие влияние на прочность прессовых соединений элементов колесных пар, не изучены в должной мере. Приведены результаты исследований влияния скорости движения на прочность прессовой посадки внутренних колец буксовых подшипников на шейке оси колесной пары на разработанной и верифицированной конечно-элементной модели.*

**Ключевые слова:** колесная пара, соединения с натягом, напряженно-деформированное состояние, контактное давление, прочность, скорость движения.

## ASSESSMENT OF THE EFFECT OF THE SPEED OF MOVEMENT ON THE STRENGTH OF THE CONNECTION OF THE INNER RINGS OF THE AXLE BEARINGS WITH THE AXLE NECK OF THE WHEELSET

**R. I. Chernin**

*Belarusian State University of Transport, Gomel*

*The operational factors affecting the strength of the press joints of the wheelset elements have not been adequately studied. The results of studies of the influence of the speed of movement on the strength of the pressing fit of the inner rings of axle bearings on the neck of the axle of the wheelset on the developed and verified finite element model are presented.*

**Keywords:** wheelset, press-fit joints, stress-strain state, contact pressure, strength, speed of movement.