

подтверждает с высокой точностью связи независимых и зависимых переменных с возможностью предсказать значения зависимой переменной.

### Список литературы

1 **Gruzinova, V.** Optimizing Oil-Contaminated Wastewater Purification with Polypropylene Thread Waste / V. Gruzinova, V. Romanovski // Waste and Biomass Valorization. – 2024. – Vol. 16 (5) – P. 2521–2533.

2 **Грузинова, В. Л.** Математическое описание процесса реагентной очистки сточных вод от нефтепродуктов / В. Л. Грузинова, В. И. Романовский, В. В. Лихавицкий // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2014. – № 2 (86). – С. 62–65.

3 **Романовский, В. И.** Оценка экономической эффективности применения промышленных отходов в технологии очистки сточных вод локомотивных депо от нефтепродуктов / В. И. Романовский, В. Л. Грузинова // Актуальные вопросы экономики строительства и городского хозяйства : материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 апр. 2013 г. / Белорусский национальный технический университет ; редкол.: С. А. Пелих, В. К. Липский. – Минск, 2014. – С. 307–313.

4 **Горелая, О. Н.** Магнитный сорбент из отходов водоподготовки для очистки нефтесодержащих сточных вод / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Вестник БрГТУ. Серия: Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология. – 2020. – № 2. – С. 61–64.

5 **Горелая, О. Н.** Влияние дозы восстановителя на свойства магнитных сорбентов из осадков станций обезжелезивания / О. Н. Горелая, В. И. Романовский // Водоснабжение и санитарная техника. – 2022. – № 1. – С. 32–37.

УДК 621.762.001.2

## СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Е. Ф. КУДИНА, К. В. ЕФИМЧИК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель  
efim\_by@mail.ru*

**Актуальность.** В настоящее время большое внимание уделяется полимерным композиционным материалам (ПКМ). Из них изготавливают изделия с уникальными свойствами и высокими эксплуатационными характеристиками. При получении деталей из ПКМ нужно учитывать не только их будущие высокие эксплуатационные характеристики, но и специфику их переработки (утилизации) с сохранением экологической безопасности. В противном случае преимущества высоких прочностных свойств ПКМ могут быть перевешены негативными последствиями для экологии [1].

**Цель работы** – обзор современных систем инженерного анализа для моделирования изделий из ПКМ, а также возможность их применения в учреждении образования «Белорусский государственный университет транспорта».

**Основные результаты.** Современные системы инженерного анализа – CAE (Computer Aided Engineering) – обеспечивают решение задач анализа частоты, усталости; линейного и нелинейного статистического и динамического анализа; устойчивости; температурного анализа; испытаний на ударную нагрузку и др. CAE применяются совместно с CAD-системами компьютерного геометрического моделирования (Computer Aided Design). CAD-системы применяют в целях создания 3D моделей и получения из них чертежей. Часто CAE интегрируются в CAD, образуя гибридные CAD/CAE-системы [2].

На рисунке 1 изображено распределение CAE-систем по сферам применения.

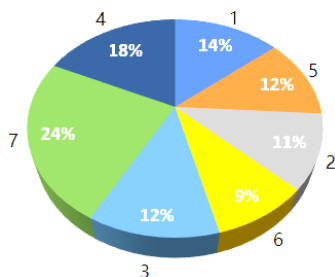


Рисунок 1 – Сферы применения CAE-систем:

1 – автомобильная промышленность; 2 – химическая промышленность; 3 – другое;  
4 – машиностроение; 5 – аэрокосмическая промышленность; 6 – образование; 7 – электроника

На рисунке 2 представлен объем использования CAE-систем ведущими мировыми компаниями.

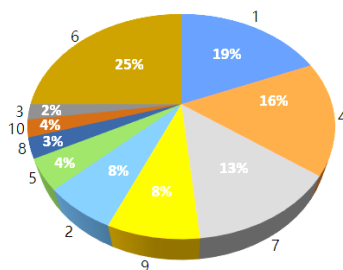


Рисунок 2 – Объем использования ведущими мировыми компаниями CAE-систем:

1 – ANSYS; 2 – Altair; 3 – Autodesk; 4 – Dassault Systems; 5 – MSC Software; 6 – другое;  
7 – Siemens PLM; 8 – ESI group; 9 – Mathworks; 10 – Cybernet

На военно-транспортном факультете в УО «Белорусский государственный университет транспорта» для расчета прочностных характеристик изделий и 3D моделирования применяется программа Autodesk Inventor Professional.

В настоящее время в УО «Белорусский государственный университет транспорта» произведен расчет оптимального размера элемента сборно-разборного дорожного настила (СРДН), устанавливаемого на любую твердую поверхность, который собирается с помощью замков в любую конфигурацию без использования специальной грузоподъемной техники (рисунок 3) [3].

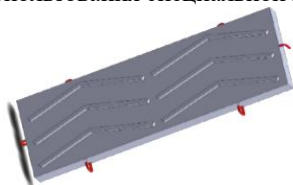


Рисунок 3 – Элемент СРДН

По формуле (1) было рассчитано давление, которое оказывает грузовой автомобиль массой 10 т с прилегающей площадью колеса 0,08 м<sup>2</sup> при проезде по элементу СРДН.

$$P = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{10000 \cdot 9,81}{0,08} = 1226250 \text{ Па} \approx 1,2 \text{ МПа.} \quad (1)$$

В целях произведения расчетов с применением системы инженерного анализа Autodesk Inventor Professional была разработана 3D модель СРДН. Далее в качестве материала изделия были заданы характеристики разработанного в УО «Белорусский государственный университет транспорта» композиционного материала на основе геомодифицированных полиолефиов (рисунок 4) [4].

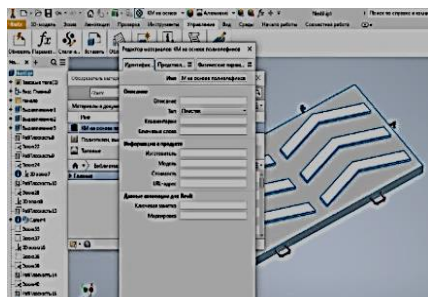
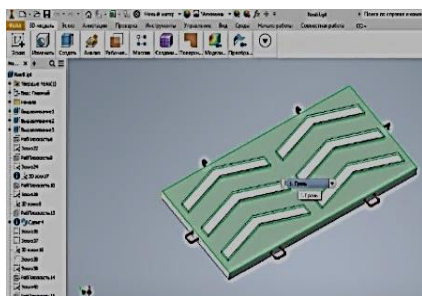


Рисунок 4 – 3D модель СРДН и выбор характеристик материала

Для измерения эксплуатационных характеристик элемента СРДН с применением системы инженерного анализа была выбрана зависимость для фиксации элемента с наименьших торцов, а также установлено давление, оказываемое при наезде колеса грузового автомобиля в соответствии с расчетами (рисунок 5).

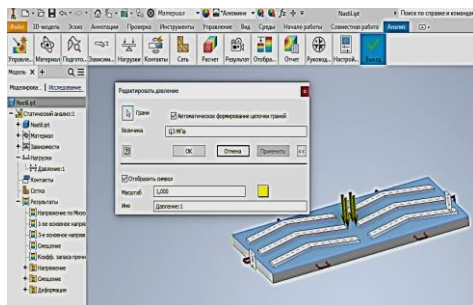


Рисунок 5 – Установка параметров в соответствии с расчетами

Для проведения точных расчетов элемент СРДН был разбит на конечные элементы с помощью сетки. После чего была определена величина смещения (прогиба) в месте приложения заданного давления (рисунок 6).

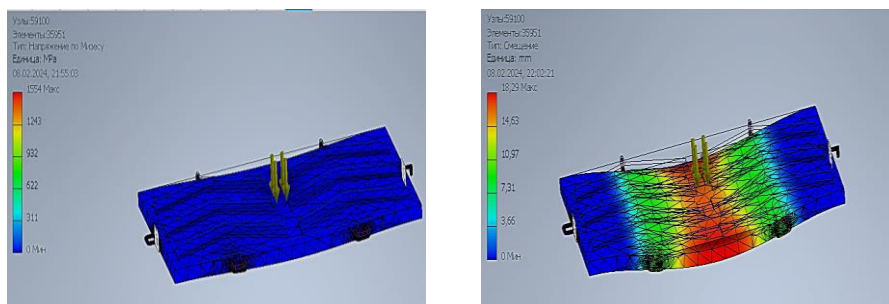


Рисунок 6 – Разбиение элемента СРДН на конечные элементы и определение величины прогиба

Необходимо отметить, что при проведении эксперимента элемент СРДН был условно зафиксирован со стороны наименьших торцов. При приложении рассчитанного давления элемент подвергается деформации, но не разрушается. Изготовленный элемент СРДН должен укладываться на полутвердый или твердый грунт, что исключает возможность его прогиба.

После проведения расчетов модель элемента была оптимизирована до размеров, которые возможно изготовить на производстве.

**Выводы.** Таким образом, с использованием систем инженерного анализа, таких как Autodesk Inventor Professional, можно предсказать, как будут вести себя элементы под воздействием различных нагрузок. Это позволяет сократить время, необходимое для создания нескольких экспериментальных образцов разных размеров, что ускоряет и удешевляет процесс проектирования и производства.

## Список литературы

1 Восточно-европейский журнал передовых технологий : сб. науч. ст. / Частное предприятие «Технологический Центр» ; редкол.: Д. А. Демин (гл. ред.) [и др.] – Харьков : Технологический Центр, 2016. – 912 с.

2 **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., посвященной 50-летию основания Государственного научного учреждения «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 : Беларуская навука, 2022. – С. 183–188.

3 Заявка № a20230136. Сборно-разборный дорожный настил : заявл. 01.06.2023 / Ефимчик К. В., Кудина Е. Ф., Поддубный А. А.

4 Патент ВУ 24427. Композиционный песчано-полимерный материал конструкционного назначения : опубл. 01.11.2024 / Ефимчик К. В., Поддубный А. А., Кудина Е. Ф., Доломанюк Р. Ю.

УДК 72

## **СИСТЕМА ИНДИКАТОРОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ АРХИТЕКТУРНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ЗАГРЯЗНЁННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ ТЕРРИТОРИЙ**

*Е. Е. ПОРТНОЙ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель  
portnoy.e@ya.by*

**Актуальность.** Архитектурно-планировочную реабилитацию загрязнённых радионуклидами территорий можно условно разделить на следующие этапы: рекогносцировочный; подготовительный; аналитический; этап разработки плана архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий, реализации и эксплуатации (рисунк 1). Проводя рекогносцировочный этап, необходимо установить оценочную систему (индикаторы) для измерения результата проведённой реабилитации, так как без возможности количественной оценки анализ является лишь мнением.

**Цель работы** – анализ и подбор системы индикаторов, которые наиболее полно будут отражать эффективность реабилитационных мероприятий с учётом требования об относительной легкости сбора данных. Объект исследования – теоретическая основа для архитектурной реабилитации пространств населённых пунктов Восточного Полесья. Предмет исследования – система индикаторов для проведения оценки архитектурно-планировочной реабилитации загрязнённых радионуклидами территорий.