

**Заключение.** Таким образом, в ходе выполнения исследования были разработаны задания лабораторных работ по исследованию ряда задач математического моделирования физических процессов в системе компьютерной математики *Maple*.

1. Залесская, Е. Н. Применение информационно-коммуникационных технологий при обучении тригонометрии / Е. Н. Залесская, А. А. Молчанова. – Текст : электронный // Репозиторий ВГУ имени П. М. Машерова. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/42234> (дата обращения: 05.03.2026). – Электрон. версия ст. из: Наука – образованию, производству, экономике : материалы 76-й Регион. науч.-практ. конф. преподавателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 1 марта 2024 г. : ВГУ имени П. М. Машерова, 2024. С. 578–579.

## АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ЛОКАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ И ПРОЧНОСТИ ПЛОСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ОРГСТЕКЛА НА ОСНОВЕ ДВУХНАПРАВЛЕННОГО СКАНИРОВАНИЯ БИНАРНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

*Радевич И.Н.,*

*студент 3 курса Оршанского колледжа ВГУ имени П.М. Машерова,  
г. Орша, Республика Беларусь*

Научный руководитель – Романцов Д.Ю., магистр техн. наук, преподаватель

Изделия из оргстекла широко применяются в рекламе, дизайне интерьеров, выставочном оборудовании и декоративных конструкциях благодаря высокой прозрачности, малому весу и относительной простоте обработки. Однако прочность таких изделий сильно зависит от минимальной толщины (ширины) материала в критических сечениях – перемычках, выступах, зонах возле отверстий и вырезов. Локальные утонения, возникающие при лазерной резке, фрезеровке или из-за ошибок проектирования, часто приводят к трещинам, поломкам и браку уже на этапе эксплуатации или монтажа. Современные CAD-системы (FreeCAD, Компас-3D, SolidWorks) позволяют моделировать геометрию и проводить расчёт напряжений, но не дают быстрой визуальной оценки «узких мест» для плоских листовых деталей. Конструкторам и технологам приходится либо закладывать большой запас по толщине (увеличивая себестоимость), либо сталкиваться с дефектами на производстве. Актуальность разработки алгоритма обусловлена необходимостью автоматизированного, быстрого и наглядного анализа прочностных характеристик плоских деталей из оргстекла на этапе подготовки файла для резки. Такой инструмент позволяет заранее выявлять слабые зоны.

**Материал и методы.** Разработка программы, демонстрирующей предложенный алгоритм, выполнена в среде Microsoft Visual Studio 2022 Community Edition на языке программирования C# с использованием платформы .NET и WPF для интерфейса. Алгоритм реализован в виде набора классов: ImageLoader, ImagePreprocessor, GeometryScanner, StrengthClassifier, HeatmapRenderer, объединённых через фасад [2] StrengthAnalysisFacade. Основной метод – двухнаправленное сканирование бинарной матрицы (горизонтальное и вертикальное) с последующим усреднением результатов [1, 3]. Для бинаризации применяется порог по яркости (тёмные пиксели – материал = 1, светлые – фон = 0) [3]. Масштабирование осуществляется по вводимым пользователем реальным размерам детали в мм с использованием следующей формулы:

$$S = \frac{L_{mm}}{L_{px}} \quad (1)$$

где:

$S$  – коэффициент масштабирования (мм/пикс);

$L_{mm}$  – физический размер стороны в миллиметрах;

$L_{px}$  – количество пикселей по этой же стороне.

В ходе экспериментов установлено, что арифметическое среднее завышает оценку прочности в некоторых случаях. Поэтому применено среднее гармоническое:

$$H = \frac{2ab}{a+b} \quad (2)$$

где:

a и b – это усредняемые положительные величины.

Цель работы – разработать и реализовать алгоритм оценки локальной толщины и прочности плоских деталей из оргстекла по бинарному растровому изображению с использованием двухнаправленного сканирования, построения матрицы усреднённых значений и визуализации в виде тепловой карты.

**Результаты и их обсуждение.** 1. На первом этапе выполняется подготовка изображения и калибровка масштаба. Программа загружает растровое изображение детали (в формате PNG, JPG, JPEG и BMP) и выполняет его бинаризацию – преобразование в двумерную матрицу, где пиксели материала обозначены значением 1, а фон – 0. Далее рассчитывается масштаб изображения в миллиметрах на пиксель. Это делается по введённым пользователем реальным габаритам детали (ширина и длина в мм) формуле 1.

2. Алгоритм выполняет сканирование бинарной матрицы в двух ортогональных направлениях:

а) Горизонтальное сканирование (по строкам). Для каждой строки определяется непрерывный сегмент единиц (материала). Для каждой позиции внутри сегмента вычисляется минимальное расстояние до границы слева и справа. Значение толщины в этой точке – меньшее из двух расстояний, умноженное на масштаб [1].

б) Вертикальное сканирование (по столбцам). Аналогичный процесс, но расстояния измеряются до ближайших границ сверху и снизу. В результате формируются две матрицы вещественных чисел. Одна содержит локальные толщины по горизонтали, вторая – по вертикали.

3. Усреднение результатов и построение тепловой карты прочности. Для получения итоговой оценки локальной толщины матрицы объединяются с использованием среднего гармонического.

Такой способ усреднения выбран потому, что он чувствителен к минимальному значению. Даже если в одном направлении материал широкий, но в перпендикулярном очень узкий, итоговая толщина будет низкой. Это соответствует реальной механике разрушения – деталь ломается по самому слабому сечению. Полученная усредненная матрица сравнивается с тремя пороговыми значениями, заданными пользователем.

ThresholdWeak – слабые зоны (красный → оранжевый градиент);

ThresholdNormal – приемлемая прочность (оранжевый → жёлтый);

ThresholdStrong – высокая надёжность (жёлтый → зелёный).

Результат визуализируется классом HeatmapRenderer.

Эксперименты на реальных изделиях показали, что гармоническое усреднение лучше выявляет слабые места по сравнению с арифметическим. Однако метод имеет ограничение: не учитывает диагональные и криволинейные направления – кратчайшее расстояние до края может быть недооценено/переоценено. Перспектива – переход ray-casting.

**Заключение.** Разработанный алгоритм двухнаправленного сканирования бинарного изображения с гармоническим усреднением [1; 3] позволяет быстро и наглядно оценивать локальную толщину и прочность плоских деталей из оргстекла. Преимущества: простота, скорость, визуальная интерпретация слабых зон. Недостатки: ограничение ортогональными направлениями, зависимость от качества бинаризации.

1 Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. Пер. с англ. / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с., ил.

2 Гамма, Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования. Паттерны проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – СПб.: Питер, 2015. – 368 с., ил.

3 Казанский, Н.Л. Алгоритмы поиска расстояний до объектных пикселей на бинарных изображениях / Н.Л. Казанский, В.В. Мясников, Р.В. Хмелев.: Самара, – 2000. – С. 134–139