

$$J_{\text{red},j}(\mathbf{q}) = \sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial \mathbf{v}_{Ci}}{\partial \dot{q}_j} \right)^T \cdot m_i \cdot \frac{\partial \mathbf{v}_{Ci}}{\partial \dot{q}_j} + \left(\frac{\partial \boldsymbol{\omega}_i}{\partial \dot{q}_j} \right)^T \cdot \mathbf{J}_i^{\text{global}} \cdot \frac{\partial \boldsymbol{\omega}_i}{\partial \dot{q}_j},$$

где v_{Ci} – линейная скорость центра масс звена i , $\boldsymbol{\omega}_i$ – его угловая скорость, выраженные через обобщённые скорости \dot{q}_j .

Для реализации алгоритма использован программный комплекс Maple 2025 с применением символьных вычислений. Вычислительное ядро реализовано в виде модуля, принимающего на вход: геометрические параметры звеньев; массы и моменты инерции; кинематические связи (тип кинематических пар, положение неподвижных опор). На выходе система генерирует: аналитические выражения и численные значения приведённых моментов инерции для любого положения механизма; графики изменения приведенного момента инерции в пределах одного цикла движения.

Верификация проводилась путём сравнения результатов с результатами ручного расчёта по методу планов сил для шести положений механизма. Автоматизированный метод не только повышает точность, но и снижает трудоёмкость расчёта: если ручной расчёт одного положения занимает 2–3 часа с проверкой, то автоматизированная система выдаёт результат для 24-х положений механизма за 12 секунд. Это особенно критично для задач оптимизации конструкции, где требуется анализ сотен вариантов геометрии.

Заключение. Проведённое исследование подтверждает, что автоматизация расчёта инерционных характеристик звеньев механизмов позволяет существенно повысить точность динамических моделей, устраняя систематическую ошибку методов приведения по кинетической энергии. Предложенный алгоритм, реализованный в символьной среде Maple, обеспечивает автоматизированное получение точных аналитических выражений для приведённого момента инерции и тензора инерции системы как функций обобщённых координат, без численного дифференцирования или аппроксимации.

СОЗДАНИЕ ПОЛНОКУПОЛЬНЫХ ФИЛЬМОВ: ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СПЕЦИФИКА ВИЗУАЛЬНОГО ЯЗЫКА

Дубницкий И.Ф.,

студент 3 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

Научный руководитель – Денисенко Т.А., ст. преподаватель

Полнокупольные фильмы являются современным элементом образовательных программ планетариев, позволяя достигать более полного погружения в визуальную среду. Подобный формат открывает новые возможности для демонстрации научных материалов и придает большую наглядность учебным и научно-популярным фильмам. В Витебской области функционируют четыре планетария: в ВГУ имени П.М. Машерова; в Гимназии № 1 г. Витебска имени Ж.И. Алфёрова, а также школьные планетарии Новкинской и Кировской средних школ Витебского района. Витебские планетарии активно показывают полнокупольные фильмы, однако почти все они – иностранного производства. Такие видео впечатляют графикой, но их содержание не всегда отвечает образовательным задачам. При этом растёт спрос на отечественную продукцию. Видится перспективным создавать фильмы своими силами и на собственные темы. Чтобы реализовать этот замысел, важно изучить технологии производства: освоить методы и специфику создания полнокупольного видео.

Цель работы – систематизация знаний о технологических и художественных принципах производства полнокупольных фильмов.

Материал и методы. Теоретической базой исследования послужили научные публикации по технологиям сферической проекции, материалы профессиональных сообществ создателей full-dome фильмов, а также техническая документация программных продуктов [1; 2; 3]. В ходе работы применялись методы анализа и обобщения техниче-

ской литературы, сравнительный анализ программных средств визуализации, экспериментальная апробация технологий при создании профориентационного видеоролика. Для съемки использовалась камера Insta360 ONE X2, обеспечивающая захват сферического видео 360°. Обработка материала выполнялась в Adobe After Effects с плагином VR Converter (конвертация в full-dome формат, коррекция искажений, создание отдельных сегментов) и Adobe Premiere Pro (финальный монтаж, синхронизация с аудиорядом).

Результаты и их обсуждение. Производство полнокупольного фильма включает: разработку концепции, пространственный сценарий, расширенную раскадровку в fisheye-проекции, 3D-моделирование, анимацию, рендеринг, композитинг, звуковой дизайн и тестовый просмотр.

Первые купольные проекции появились в 1920-х годах с созданием оптико-механических планетарных проекторов. Цифровая революция превратила купол в пространство искусства: компьютерная графика и цифровые проекторы позволили создавать динамические сцены высокого разрешения. Современные системы используют несколько проекторов, объединенных в единую сеть, что обеспечивает бесшовное изображение.

Специфика восприятия полнокупольного видео заключается в том, что зритель оказывается внутри визуальной среды: он самостоятельно выбирает направление взгляда, что повышает вовлечённость, но требует особых приёмов удержания внимания. Основные особенности формата: композиция читаема со всех сторон (внимание привлекается световыми акцентами, движением объектов, пространственным звуком); крупные планы под куполом создают давление, визуальный стиль тяготеет к средним и общим планам; движение камеры преимущественно статичное или плавное, динамика создается перемещением объектов; пространственный звук формирует маршрут восприятия.

В ходе работы создан первый полнокупольный видеоролик – профориентационный фильм о факультете математики и информационных технологий ВГУ имени П.М. Машерова. Съемка велась камерой Insta360 ONE X2 в учебных аудиториях и лабораториях. В Adobe After Effects с VR Converter выполнялась предварительная обработка и конвертация исходного 360°-видео в отдельные сегменты full-dome. В Adobe Premiere Pro осуществлен финальный монтаж: сборка блоков, синхронизация с аудио. Отработаны навыки адаптации реальной съемки под купольную проекцию, включая коррекцию искажений и контроль центральной зоны.

В производстве полнокупольного видео применяются следующие инструменты. Для 3D-моделирования и анимации используются Blender (рендер через fisheye-камеру) и Cinema 4D (моушн-графика). Ключевой инструмент постобработки – Adobe After Effects со встроенным плагином VR Converter, конвертирующим 360°-видео и 2D-слои в full-dome формат с контролем центра проекции и угла обзора. Текст и графика закругляются по форме купола, частицы и эффекты рассчитываются в сферической перспективе. Для съемки реального мира применяются камеры 360° (Insta360 с ПО для автоматической сшивки).

При этом создавать такие фильмы сложно из-за технических ограничений. Видеокарты должны быть мощными, чтобы справиться с рендерингом 4K–8K, а сцены нужно оптимизировать. Геометрия купола искажает обычное видео, поэтому его приходится точно конвертировать. Быстрые движения дезориентируют зрителя, если кадры перегружены. Кроме того, сложно переносить проекты между Blender, After Effects и Nuke, так как форматы несовместимы.

Заключение. Производство полнокупольного видео малоизучено и требует комплексного подхода, объединяющего художественные и технические аспекты. В результате работы создан профориентационный полнокупольный ролик – первая подобная разработка ВГУ имени П.М. Машерова. Проект подтвердил, что такие фильмы можно создавать на базе имеющегося оборудования и программного обеспечения. Blender для 3D-графики и After Effects с VR Converter для конвертации в full-dome стали ключевыми инструментами для создания данного видео. Съемка реального мира выполняется

на камеры 360° (Insta360). Формат обеспечивает уникальный эффект погружения, что делает его перспективным для образования и медиаискусства.

Результаты данной работы можно плодотворно использовать в самостоятельной разработке полнокупольных фильмов для отечественных планетариев.

1 Fulldome in the UK : отчет/ Live Cinema UK ; авт.: K. Wellham, L. Harkman, L. Brook ; при поддержке Creative UK ; в рамках IDFA DocLab 2021. – 2021. – URL: <https://livecinemauk.com/wp-content/uploads/2024/07/Fulldome-in-the-UK-Full-report.pdf> (дата обращения: 04.03.2026). – Текст: электронный.

2 Best practices in fulldome content creation/ International Planetarium Society. – URL: <https://www.ips-planetarium.org> (дата обращения: 04.03.2026). – Текст: электронный.

3 Handbook of research on the global impacts and roles of immersive media/ ed. J. F. Morie, K. McCallum. – Hershey : IGI Global, 2019. – 539 с. – ISBN 978-1-7998-2434-3. – Текст: электронный.

РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОГО ТРЕНАЖЁРА АНАЛОГОВОГО МАНОМЕТРА ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ФИЗИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ

Журавлёва К.Ю., Атрощенко Д.А.,

студенты 3 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь

Научный руководитель – Бувич Т.В., канд. техн. наук, доцент

В современном образовательном процессе учреждений высшего образования особое внимание уделяется внедрению инновационных технологий обучения, в том числе виртуальных лабораторных работ и тренажёров. Актуальность разработки виртуальных тренажёров измерительных приборов обусловлена необходимостью формирования у студентов практических навыков считывания показаний аналоговых приборов, что является важной составляющей профессиональной подготовки специалистов технических и естественнонаучных специальностей. Аналоговые манометры широко применяются в промышленности, энергетике, системах отопления и водоснабжения. Умение правильно определять показания таких приборов, учитывать цену деления шкалы и погрешность измерения представляет собой важную компетенцию, которую должны освоить студенты при изучении курсов физики, метрологии и технических дисциплин. Однако в традиционном учебном процессе отработка данного навыка часто ограничивается недостаточным количеством практических занятий и отсутствием индивидуального подхода к каждому обучающемуся.

Цель работы – разработка и программная реализация виртуального тренажёра аналогового манометра для формирования у студентов навыков считывания показаний измерительных приборов давления с использованием веб-технологий.

Материал и методы. При разработке виртуального тренажёра применялись методы объектно-ориентированного программирования, математического моделирования процессов измерения давления, а также принципы педагогического дизайна образовательных цифровых ресурсов. Программная реализация выполнена с использованием современных веб-технологий: HTML5 для структурирования контента, CSS3 для стилизации интерфейса и JavaScript для обеспечения интерактивной функциональности тренажёра. Математическая модель работы тренажёра включает генерацию случайных значений давления в заданном диапазоне, расчёт углового положения стрелки манометра в соответствии с калибровочной характеристикой прибора, а также алгоритм проверки правильности ответов обучающихся с учётом допустимой погрешности измерения.

Результаты и их обсуждение. В результате выполненной работы разработан полнофункциональный виртуальный тренажёр аналогового манометра, интерфейс которого представлен на рисунке 1. Тренажёр моделирует работу реального аналогового манометра с диапазоном измерений от 0 до 4 МПа. Шкала прибора проградуирована с ценой деления 0,04 МПа, что соответствует типичным характеристикам промышленных манометров данного класса точности. Визуализация манометра выполнена с высокой степе-