

ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Ф.
РЕШЕТНЕВА»

При поддержке ООО РЦ "АСКОН-Енисей"

"3D ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ НАУЧНО- ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ"

Сборник статей Всероссийской научно-
практической конференции, 29 сентября 2022 г

г. Красноярск, 2022 г

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» г. Красноярск

При поддержке ООО РЦ «АСКОН-Енисей»

«3D технологии в решении научно-практических задач»

**Сборник статей Всероссийской
научно-практической конференции
29 сентября 2022 г.**

г. Красноярск 2022 г.

УДК

3D технологии в решении научно-практических задач. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции - Красноярск: СибГУ, 2022.- 240 с.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Авдеева Елена Владимировна – доктор с-х. наук, заведующий кафедрой лесного инжиниринга, ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва"

Заместитель главного редактора:

Черник Денис Владимирович – кандидат техн. наук, доцент кафедры лесного инжиниринга, ФГБОУ ВО "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва"

Члены редакционной коллегии:

- Захаров Олег Владимирович, профессор кафедры «Технология машиностроения» Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.
- Гасанов Андрей Александрович, руководитель коммерческого отдела ООО РЦ «АСКОН-Енисей»;
- Вагнер Е.А., ст. лаборант кафедры лесного инжиниринга;
- Коршунова А.А., студент группы БНТ 20-01

В сборнике представлены статьи, посвященные 3D технологиям, математическому и прикладному моделированию в различных сферах и отраслях профессиональной деятельности.

Материалы публикуются на языке оригинала в авторской редакции. При использовании научных идей и материалов сборника, ссылки на авторов и издания являются обязательными.

© ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва», 2022

© Авторы статей, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВИРТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ А. К. Блинков, К. В. Руденко.....	8
ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА О. В. Захаров, А. С. Яковичин, А. В. Жуков.....	12
ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЁТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР В МАШИНОСТРОЕНИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВАЛОВ А. П. Зобнин	17
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ МЕТРОЛОГИИ И САПР В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ М. В. Павлов, А. М. Балланд, А. В. Уколов.....	21
3D ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ А. А. Прусаков, А. С. Сорокин, И. А. Щекотихин	26
КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР Е. С. Судеревский, М. О. Каранаев, Г. К. Баринов.....	30
ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ К. Г. Иванов.....	34
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ САМ СИСТЕМ КОМПАС 3D МОДУЛЬ ЧПУ, MASTERCAM И SOLIDCAM А. В. Казамаров, Д. В. Карпухин	37
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ОПТИМИЗАЦИИ БЛОКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ Д. О. Степанов, М. Д. Калинин.....	40
ОРГАНИЗАЦИЯ "БЕЗЛЮДНОГО" КОММЕРЧЕСКОГО ОСМОТРА ГРУЗОВ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ В. В. Карнакова	44
АКТУАЛЬНОСТЬ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ О. В. Крашенинникова	47
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТАБЛИЧНО-МАТРИЧНОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА МАТЕРИАЛА КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПОКРЫТИЕМ А. В. Купряшов, А. В. Пронин.....	49
ОСОБЕННОСТИ НАЛОЖЕНИЯ СВЯЗЕЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ В ЭСКИЗЕ РАЗЛИЧНЫХ САПР А. В. Лебедев.....	55
ТРЕХМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ МОДЕЛИ В КАЖДОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ А. Ш. Липинский, М. И. Цыганков	59
ТЕХНИЧЕСКИЕ УЛУЧШЕНИЯ FDM 3D-ПРИНТЕРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ 3D-ПЕЧАТЬ ВОСКОМ Д. А. Родионов	63
ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЗАГОТОВКИ ИНДУКЦИОННЫМ СПОСОБОМ В. А. Скорик.....	67
ПРИМЕНЕНИЕ САД СИСТЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА А. А. Соболева, В. О. Цубикс, С. Н. Долматов.....	71
3D МОДЕЛЬ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С УПРОЧНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS Р. Р. Усманова.....	75

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СТОЛА УДАРНОЙ МАШИНЫ СТЕНДА МНОГОКРАТНЫХ УДАРОВ С ПОМОЩЬЮ 3D ТЕХНОЛОГИЙ Н. Д. Чамара, Д. С. Штрекер.....	78
КАМЕРА СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ РАКЕТЫ, ИЗГОТОВЛЕННАЯ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ (DMLS) Е. Д. Чуева, Е. А. Федорова.....	83
APPLICATION OF CAD SYSTEMS IN FORESTRY MACHINE-BUILDING К. N. Chernik	87
ПОДГОТОВКА 3D ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D ТЕХНОЛОГИИ М. А. Шкловец	90
РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА ТОЧНОГО ВЫСЕВА В КОМПАС 3D Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. В. Черник, М. Д. Калинин	93
ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ 3D МОДЕЛИ КАРКАСА ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В SOLIDWORKS Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, А. И. Авгутин	96
РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ КАРКАСА ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В КОМПАС 3D Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. Е. Шпагин	100
ПОСТРОЕНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ТЕМАТИЧЕСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ Е. И. Беляева, Е. П. Хазова	104
ВИЗУАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕТРОПАВЛОВСКОЙ ЦЕРКВИ В СЕЛЕ ВИРМА, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ А. А. Соловьева, Н. Г. Иршинский	109
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В АРХИТЕКТУРЕ А. А. Шемонаева, А. А. Зеленина	112
МЕТОД SRH КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЛАВИНЫ А. П. Алешин	116
ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ DEBRIS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЕЛЕВОГО ПОТОКА А. П. Алешин.....	119
УРАВНЕНИЯ НАВЬЕ-СТОКСА, КАК ОСНОВНОЕ СРЕДСТВО ПОМОГАЮЩЕЕ СМОДЕЛИРОВАТЬ ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО ПОТОКА А. П. Алешин	122
РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ Г. М. Гринберг, В. А. Федоров.....	125
ПАКЕТНО-УЗЛОВОЙ МЕТОД (ПУМ 4.0) - ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВОМ М. О. Гришин, А. В. Шабунин, С. С. Балашов ...	130
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОИМПУЛЬСНОГО ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ЗЕМЛИ К УРАНУ СО СТАРТОВОЙ ТРЕТЬЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ Н. Ю. Исаченков.....	135
МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОИМПУЛЬСНОГО ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ТРАЕКТОРИИ «ЗЕМЛЯ-МАРС-ЮПИТЕР-САТУРН» Н. Ю. Исаченков	140

СРАВНЕНИЕ ДВУХ СМОДЕЛИРОВАННЫХ ОДНОИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЕТОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ЗЕМЛИ К ВЕНЕРЕ С ГРАВИТАЦИОННЫМ МАНЕВРОМ ВОЗЛЕ ЛУНЫ Н. Ю. Исаченков	145
ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОГРУЗЧИКА ПЕРЕКИДНОГО ТИПА В SOLIDWORKS А. А. Коршунова	151
РАЗРАБОТКА ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕКИДНОГО ПОГРУЗЧИКА В SOLIDWORKS А. А. Коршунова, Д. В. Черник	154
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ А. А. Мамедов	157
ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В BLENDER В. М. Соломатов, В. Ю. Кушнарев.....	162
3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS Р. Р. Усманова.....	165
3D ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ МАЛОМОЩНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА (КВАДРОЦИКЛА) С МОТОЦИКЛЕТНОЙ ПОСАДКОЙ ВОДИТЕЛЯ И ПАССАЖИРОВ Н. В. Далида, Д. В. Скуба.....	168
ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ В. О. Цубикс, А. А. Соболева	173
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛЫ МАНИПУЛЯТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В SOLIDWORKS К. Н. Черник, Д. В. Черник	177
3D МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЫМОХОДНЫХ ГАЗОВ М. Д. Калинин, А. И. Авгутин, И. В. Чумаков, Д. С. Коржов.....	180
ПРИМЕНЕНИЕ 3D ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА А. И. Якубович.....	184
CLEANING SOIL FROM OIL POLLUTION FOR THE IMPROVEMENT OF THE URBAN ENVIRONMENT N. A. Artishcheva, Ya. S. Goncharova, K. N. Chernik	189
КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛИЦ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД А. Н. Козлов.....	192
3D МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОГРУППЫ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ И. К. Олехнович.....	197
ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СКВЕРА «ПОБЕДИТЕЛЕЙ» А. В. Мощный.....	201
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ К. А. Колесникова, Н. К. Гальченко, С. Ю. Раскошный.....	204
СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ Р. В. Ралдугин, К. Ю. Ковалёв	210
СОВРЕМЕННЫЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С. В. Буглаев, С. А. Кавычкин, Н. А. Федосеев, З. К. Лесина....	215
ОБ АНАЛИЗЕ НЕКОТОРЫХ ПРОГРАММ В ПРИКЛАДНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ Д. Е. Ворошилов, С. Н. Мартыновская.....	218

ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПРИНТЕРА В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ К. Ю. Ковалёв, С. Н. Мартыновская.....	221
ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ФЛАНЦЕВОГО ФИКСАТОРА ВАЛА В SOLIDWORKS SIMULATION Р. В. Ралдугин, С. Н. Мартыновская	227
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ РЕДАКТОРОВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВА Я. В. Мезенина*, К. В. Шестак ..	233
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛИВОЧНОЙ РАМПЫ Э. В. Трас	238

УДК 004.891.3

ВИРТУАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

А. К. Блинков*, К. В. Руденко

Научный руководитель – А. Р. Христинич

Красноярский институт железнодорожного транспорта – филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Российская Федерация, 660028, Сибирский федеральный округ, Красноярский край, город Красноярск, улица Ладо Кецховели, д.89

*E-mail: blinkov_ak@mail.ru

В данной статье будет рассмотрена 3D визуализация тяговой подстанции и связь моделей с датчиками на подстанции для ее виртуального мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг, компас 3D, визуализация, датчик нагрева, вольтметры, амперметр, датчик электромагнитных полей.

VIRTUAL MONITORING OF TRACTION SUBSTATIONS

A. K. Blinkov*, K.V. Rudenko

Scientific supervisor – A. R. Hristinich

Krasnoyarsk Institute of Railway Transport – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State University of Railways"

Russian Federation, 660028, Siberian Federal District, Krasnoyarsk Territory, Krasnoyarsk city, Lado Ketskhoveri Street, 89

*E-mail: blinkov_ak@mail.ru

This article will consider 3D visualization of a traction substation and the connection of models with sensors at the substation for its virtual monitoring.

Keywords: monitoring, 3D compass, visualization, heating sensor, voltmeters, ammeters, electromagnetic field sensor.

На сегодняшний день мониторинг тяговых подстанций осуществляется такими методами как обходы, осмотры, проверка приборов учета. Данные методы с каждым годом становятся все менее актуальными, так как идет модернизация оборудования, следовательно нужно обучать персонал для нового оборудования. Как следствие в имеющихся методах имеет место человеческий фактор. И итогом все это ведет к образованию аварийных ситуаций на подстанциях.

Наш проект предлагает убрать человеческий фактор из мониторинга тяговых подстанций. Создав интерактивную 3D модель тяговой подстанции и внедрив нужные нам для мониторинга датчики. Мы сможем полностью автоматизировать мониторинг подстанции.



Рисунок 1 – 3D модель тяговой подстанции в ПО Компас 3D

Создание такого автоматизированного мониторинга нужно начинать с создания 3D модели. ПО для создания 3D модели подстанции используем Компас 3D. В данном ПО можно создать полномасштабный макет подстанции соблюдая все технические размеры аппаратуры и оборудования. Данный этап является самым объемным, так как нужно создавать все элементы вручную в программе.

Следующим этапом проекта является, это внедрение на подстанцию датчиков для мониторинга.

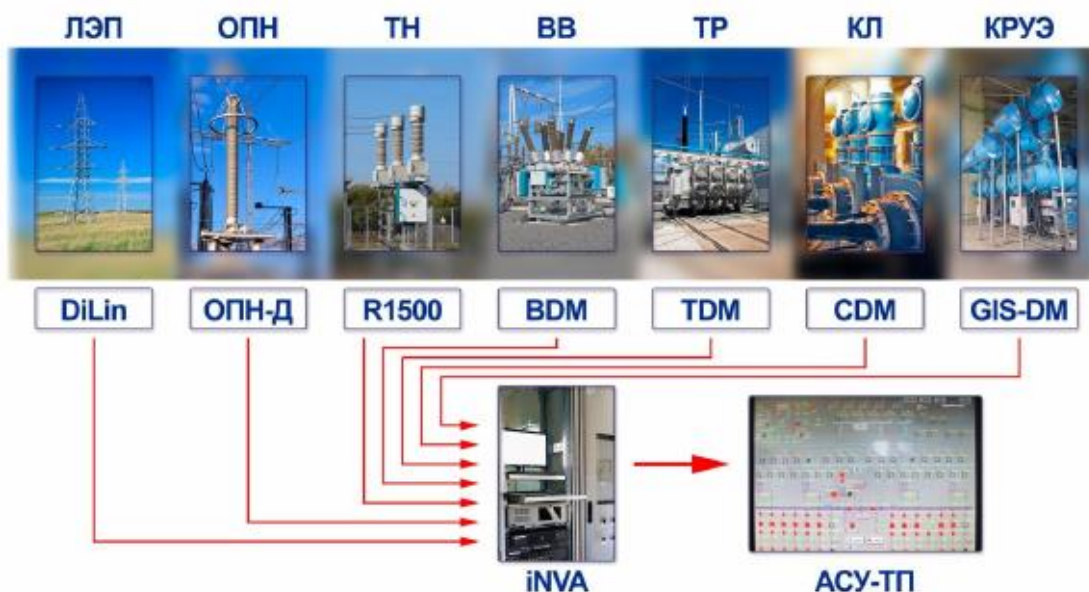


Рисунок 2 - комплексной системы INVA для мониторинга оборудования подстанции

На основном оборудовании подстанции устанавливаются датчики и приборы систем мониторинга, информация от которых обрабатывается при помощи единого АРМ с общим программным обеспечением. Все параметры и результаты работы локальных и комплексной системы мониторинга доступны пользователям ЛВС на уровне АРМ, а по каналам связи они передаются в системы АСУ-ТП любого технологического уровня.

Наиболее важные достоинства комплексной системы мониторинга оборудования подстанции: - При комплексном подходе к мониторингу всей технологической цепи оборудования подстанции датчики, устанавливаемые в местах соединения оборудования (ЛЭП + трансформатор + КРУ + кабельная линия и т. д.) могут использоваться для работы двух и более систем мониторинга. Это позволяет минимизировать состав технических средств – первичных датчиков и сигнальных кабельных линий - сократив затраты на поставку оборудования на 20 – 30%. - Использование общего программного обеспечения мониторинга и диагностики позволяют оперативно обмениваться информацией между отдельными элементами комплексной системы мониторинга, существенно снижая затраты на адаптацию и поддержку программного обеспечения. - Единая система оценки состояния оборудования, общая структура экспертных правил диагностики позволяет одинаково достоверно оценивать состояние элементов технологической цепи подстанции. - Общий подход к диагностике и к формированию итоговых параметров состояния оборудования позволяет решать самую важную эксплуатационную задачу - выявлять «слабое» или критическое звено в технологической цепи: оперативно находить оборудование, в наибольшей степени нуждающееся в ремонтном воздействии. В результате у персонала появляется возможность обеспечивать надежность работы всей подстанции, используя минимум ремонтных воздействий.

Следующий этап — это настройка связи датчиков с созданной 3D моделью. Происходит это путем программирования на языке C++, а для комфортного отображения данного мониторинга используется JavaScript. Плюсы данных языков — это хорошее взаимодействие и минимизация ошибок программного кода.

В результате мы получаем программное обеспечение с отображением нашей тяговой подстанции и отображением данных датчиков.

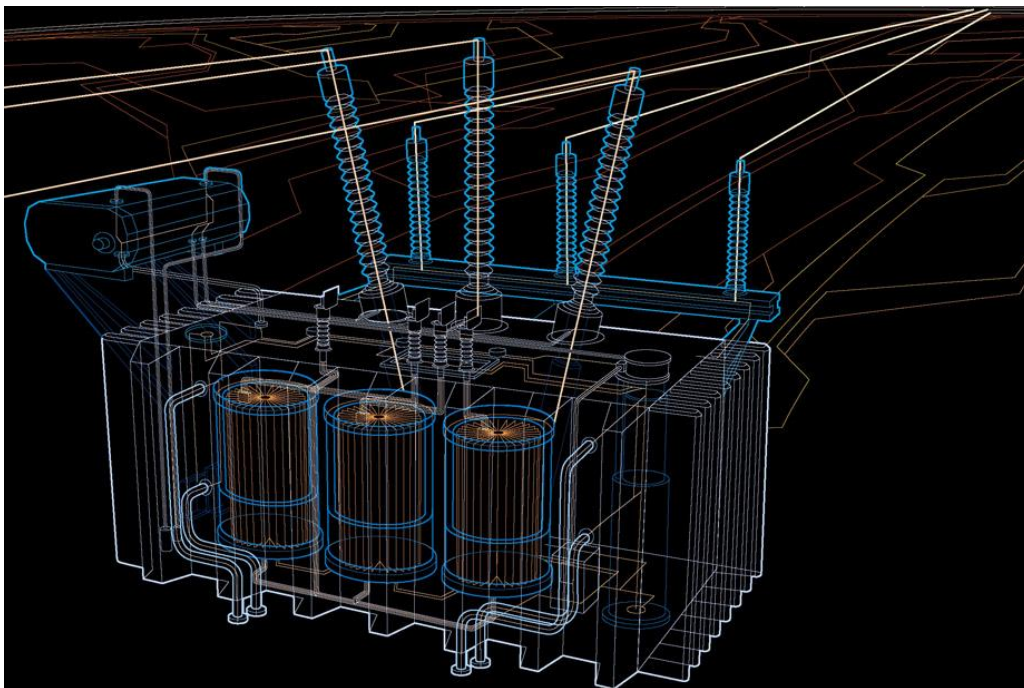


Рисунок 3 - Отображение тяговой подстанции с датчиками мониторинга



Рисунок 3 – Окно работы с отображением данных датчика на тяговом трансформаторе

Таким образом мы получаем все данные о тяговой подстанции на компьютере. Также программное обеспечение сможет предсказывать предаварийные ситуации, и сообщать нам о нестабильной работе оборудования или аппаратуры. Как следствие мы получаем мониторинг тяговой подстанции более качественный без риска для жизни и без человеческого фактора, что повышает уровень охраны труда и электробезопасности на подстанции. Как итог повышается имидж компании, использующие данную технологию.

Библиографический список

1. Литунов, С. Н. Обзор и анализ аддитивных технологий. Ч. 1 / С. Н. Литунов, В. С. Слободенюк, Д. В. Мельников // Омский научный вестник. Сер. Приборы, машины и технологии — М., 2016. — 12–17 с.
2. Романова Л. Ф. Современное ювелирное искусство/ Л. Ф. Романова — М., 2010. — 16–18 с.
3. Баринов В. А. Стратегический менеджмент: Учебник/ В. А. Баринов, В. Л. Харченко — М.: ИНФРА-М, 2005. — 237 с.
4. Брагин, В. А. Применение инновационных 3D-технологий в физическом и цифровом проектировании объектов дизайна. Комплект мобильных аксессуаров отслеживания здоровья / В. А. Брагин, А. Д. Бобов, Е. А. Кузьмин. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2022. — № 13.1 (408.1). — С. 2-5.

© Блинков А. К., Руденко К. В., 2022

УДК 681.2.08

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

О. В. Захаров*, А. С. Яковинин, А. В. Жуков

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.
Российская Федерация, 410054, г. Саратов, ул. Политехническая, 77

*E-mail: zov20@mail.ru

Рассмотрены особенности структуры поверхности изделий аддитивного производства на основе обзора современных литературных данных. В результате классифицированы уникальные характеристики поверхности изделий аддитивного производства.

Ключевые слова: аддитивное производство, структура поверхности, шероховатость, измерение.

FEATURES OF SURFACE STRUCTURE FOR ADDITIVE MANUFACTURING PRODUCTS

O. V. Zakharov*, A. S. Yakovishin, A. V. Zhukov

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov
77, Politechnicheskaya str., Saratov, 410054, Russian Federation

*E-mail: zov20@mail.ru

The features of the surface structure of additive manufacturing products, based on a review of modern literature data, are considered. As a result, the unique characteristics of the surface of additive manufacturing products are classified.

Keywords: additive manufacturing, surface texture, roughness, measurement.

Аддитивное производство широко применяется в ключевых отраслях промышленности, включая аэрокосмическую, автомобильную, оборонную. Ведущими передовыми процессами стали селективное лазерное плавление (SLM) и электронно-лучевое плавление (EBM) [1]. В этих процессах используются металлические порошки из стали, титана, алюминия, сплавов на основе никеля и керамических композитов, которые расплавляются сфокусированным лучом лазера для формирования поверхности изделия [2, 3]. Аддитивное производство имеет множество преимуществ по сравнению с традиционными методами производства и растет в геометрической прогрессии [4].

Вместе с тем аддитивное производство характеризуется плохой повторяемостью и большими допусками на размеры, что ограничивает дальнейшее развитие [5]. Кроме того, аддитивному производству присуще низкое качество поверхности изделий. В процессе сплавления изделие подвергается сложным теплофизическим явлениям, состоящим из различных механизмов теплопередачи и течения расплавленного расплава, что приводит к плохому качеству поверхности. Основными причинами плохого качества поверхности являются металлургические дефекты (скатывание, волнообразный эффект или образование выпуклостей), горячие брызги и брызги порошка, пористость, трещины [6]. Для достижения лучшей шероховатости поверхности необходима одна или несколько операций финишной

обработки, особенно для компонентов, подвергающихся экстремальным условиям работы, например, в аэрокосмической отрасли [7].

Измерение и анализ структуры поверхности необходимы для оценки качества изделия, для оптимизации технологического процесса, а также для моделирования и нормирования геометрических характеристик при проектировании деталей и узлов. Известно, что процессы аддитивного производства по своему характеру отличаются от традиционного производственного процесса, поэтому структура поверхности также отличается [8]. Этот важный факт следует учитывать при выборе, с одной стороны, методов и приборов для измерения, а с другой стороны, методов обработки результатов, например, фильтрации. В статье выполнен обзор современного состояния исследований по структуре поверхности. В результате классифицированы уникальные характеристики поверхности изделий аддитивного производства.

Примеры структуры поверхности, полученные по технологиям EBM и SLM, даны на рис. 1. Стандартные параметры структуры поверхности составили для технологии EBM: $S_a = 11,2$ мкм, $S_q = 14,9$ мкм, $S_{sk} = -0,7$, $S_{ku} = 5,0$, для технологии SLM: $S_a = 3,1$ мкм, $S_q = 4,1$ мкм, $S_{sk} = -1,2$, $S_{ku} = 6,0$ [5]. Таким образом, технология SLM в среднем обеспечивает более высокое качество поверхности, чем технология EBM. При этом в обоих случаях характерно несимметричное положение хребтов и долин с преобладанием долин ($S_{sk} < 0$). Распределение высот отличается от нормального ($S_{ku} = 3$).

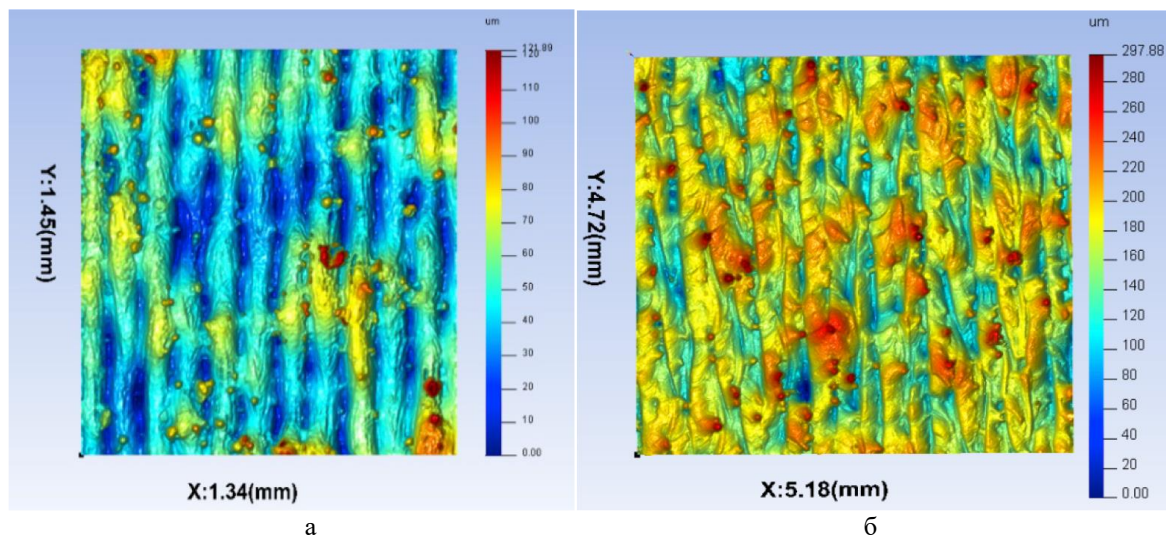


Рисунок 1 – Типовая структура поверхности после SLM (а) и EBM (б) [5]

Поверхностям изделий аддитивного производства присущ «эффект лестницы» [6]. Этот эффект обусловлен послойным характером процесса и зависит от режимов обработки и формы поверхности. Эффект лестницы иллюстрируется на рис. 2.

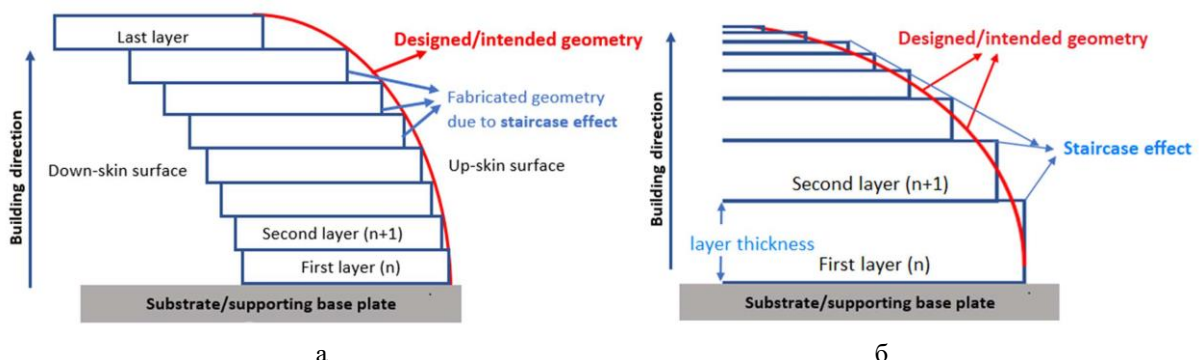


Рисунок 2 – Влияние толщины слоя на шероховатость поверхности:
а – эффект лестницы, б – убывающий эффект [6]

На рис. 3 показаны оптические изображения поверхностей площадью 2×10 мм для визуальной оценки рельефа поверхности с различными углами. При 0 градусах поверхность выглядит как типичная поверхность с наличием волнистости, вызванной быстро движущимся лазером, с включением нескольких нежелательных дефектов. Линейные узоры, видимые на 3° и 6° , в основном образованы полосами следов затвердевшего расплава, уложенными друг на друга между ступенями лестницы с размерами, зависящими от толщины слоя и углов наклона. Таким образом, что стратегия лазерного сканирования в виде шахматной доски отчетливо видна. По мере увеличения наклона с 6° до 9° можно заметить устойчивое уменьшение ширины образующего лестничного эффекта. Видимость линейных рисунков следов расплава становится менее заметной после 9° . Видно, что нерасплавленные или частично расплавленные частицы и брызги прилипают к краям ступеней лестницы. Дальнейшее увеличение угла наклона до 15° приводит к постепенному уменьшению ширины ступеней, и картина сканирования, существовавшая при предыдущих наклонах, становится менее неразличимой.

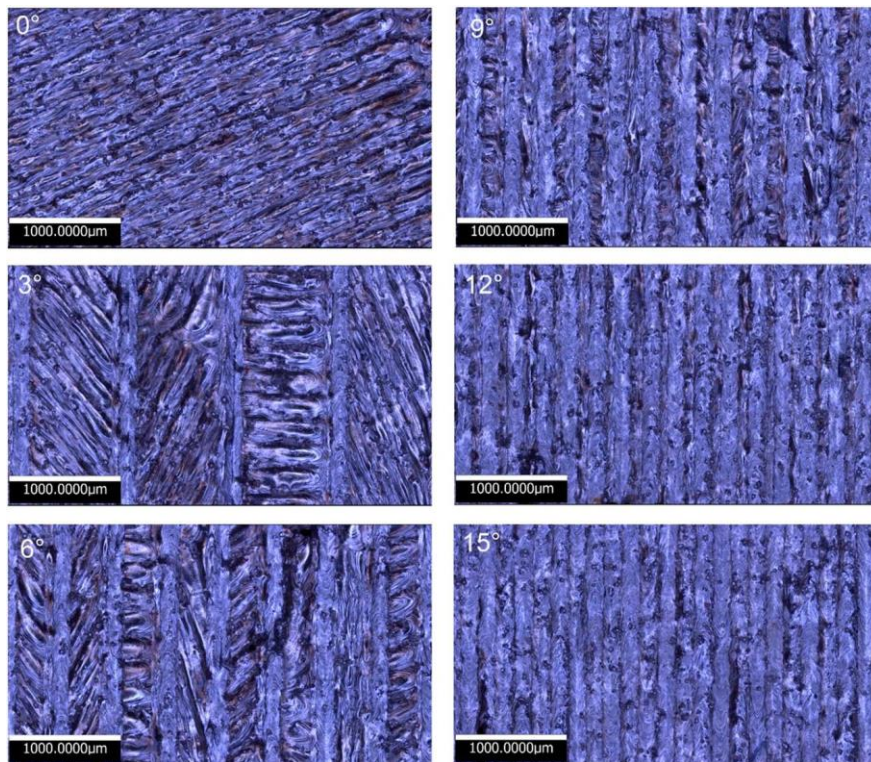


Рисунок 3 – Рельеф поверхности с углами наклона 0-15° [6]

Проведенный обзор современных исследований поверхностных характеристик изделий аддитивного производства показал, что большая часть опубликованных работ следует традиционным подходам для определения геометрических характеристик поверхности, не уделяя особого внимания уникальным характеристикам. Разделение компонентов поверхности на форму, волнистость и шероховатость осуществляется с помощью фильтрации [9]. Основным вопросом будет выбор индекса вложения. Выявление дефектов поверхности в виде выступов реализуется с помощью морфологического анализа или алгоритмов сегментации [10]. Определение поверхностных пор возможно только с применением рентгеновской компьютерной томографии [11].

Характерные при аддитивной технологии дефекты структуры поверхности рассмотрены в [2, 6, 11] и могут быть представлены графически в виде схемы (рис. 5).

Целесообразно выделить два основных вида дефектов: поверхностные поры и отдельные выступы (наплывы).

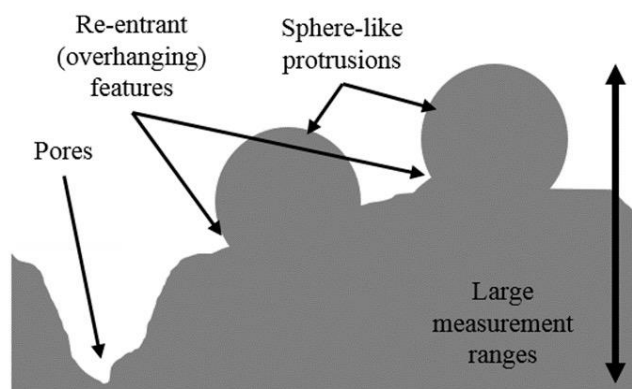


Рисунок 4 – Особенности структуры поверхности [12]

Модель поверхности изделия аддитивного производства представлена на рис. 5. Основными компонентами структуры поверхности являются крупные волны как след плавления металла по слоям (эффект лестницы), мелкие волны перпендикулярно крупным волнам по направлению движения лазерного луча, сферические выступы и мелкие поры и трещины в результате металлургических дефектов.

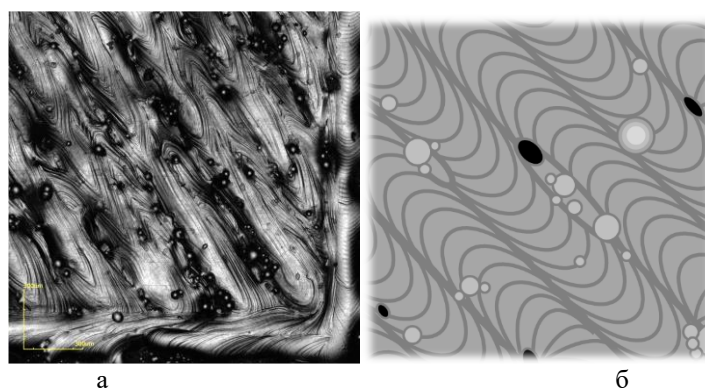


Рисунок 5 – Топография поверхности после SLM: а – фотография, б – модель [12]

Таблица 1

Особенности структуры поверхности и механизм их образования

Компоненты поверхности	Особенности структуры	Механизм образования
Погрешность формы	Искажение идеальной геометрической формы поверхности	Основная причина – тепловые деформации [2]
Волнистость	Периодические элементы погрешности формы	Кинематика движения лазерного луча (эффект лестницы) [7]
Шероховатость	Неровности поверхности в микромасштабе	Течение расплавленного металла [2, 6]
Дефекты	Сферические выступы различных размеров	Нерасплавленные или частично расплавленные частицы различного размера, выступающие из поверхности. Причина – выброс расплавленного металла из-за перегрева [6, 12]
Поверхностные поры	Небольшие полости различных размеров	Небольшие полости различных размеров. Причины – недостаточная мощность лазера или перегрев расплавленного металла [11]

На основе анализа определены следующие особенности структуры поверхности изделий аддитивного производства:

- 1) структура поверхности помимо традиционных хребтов и долин дополнительно имеет дефекты в виде пор и наплывов со стохастическим расположением;
- 2) высотные параметры шероховатости значительно больше, чем при большинстве методов механической обработки, что требует последующей финишной обработки;
- 3) структура поверхности содержит эффект лестницы, при котором направление неровностей поверхности определяется траекторией движения лазера и для сложных поверхностей может меняться на различных участках;
- 4) значения параметров шероховатости изменяется в широких пределах в зависимости как от кинематики обработки, так и от свойств порошкового материала и режимов сплавления.

Таким образом, измерение и анализ структуры поверхности для изделий аддитивного производства имеют специфику и требуют индивидуального подхода при решении задач определения набора профильных и пространственных параметров структуры и выбора метода фильтрации и задания индекса вложения.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 22-29-01269).

Библиографический список

1. Frazier W.E. Metal Additive Manufacturing: a Review. J. Mater. Eng. Perform. 2014. Vol. 23. Pp. 1917-1928.
2. Townsend A, Senin N., Blunt L., Leach R.K., Taylor J.S. Surface texture metrology for metal additive manufacturing: a review. Precision Engineering. 2016. Vol. 46. Pp. 34-47.
3. Хаймович А.И., Санчугов В.И., Степаненко И.С., Смелов В.Г. Оптимизация селективного лазерного сплавления методом оценки множественных параметров качества в двигателестроении // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20. № 6 (86). С. 41-46.
4. Grasso M., Remani A., Dickins A., Colosimo B.M., Leach R.K. In-situ measurement and monitoring methods for metal powder bed fusion: an updated review. Meas. Sci. Technol. 2021. Vol. 32. Pp. 112001.
5. Lou S., Jiang X., Sun W., Zeng W., Pagani L., Scott P. Characterisation methods for powder bed fusion processed surface topography. Precis. Eng. 2019. Vol. 57. Pp. 1-15.
6. Narasimharaju S., Liu W., Zeng W., See T., Scott P., Jiang X., Lou S. Surface Texture Characterization of Metal Selective Laser Melted Part With Varying Surface Inclinations J. Tribol. 2021. Vol. 143. Pp. 051106.
7. Печенин В.А., Рузанов Н.В., Болотов М.А. Моделирование координатных измерений геометрических параметров формы и расположения сложных профилей лопаток компрессора ГТД // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 6-4. С. 921-928.
8. Nagalingam, A.P., Vohra M.S., Kapur P., Yeo S.H. Effect of Cut-Off, Evaluation Length, and Measurement Area in Profile and Areal Surface Texture Characterization of As-Built Metal Additive Manufactured Components. Appl. Sci. 2021, 11, 5089.
9. Захаров О.В., Яковишин А.С., Жуков А.В. Применение фильтров серии ISO 16610 для анализа структуры поверхности. Часть 1. Обзор профильных фильтров // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2022. № 2. С. 22-37.
10. Захаров О.В., Лаптев А.Г., Лысенко В.Г., Милованова Е.А., Табачникова Н.А. Дискретный алгоритм на основе кусочно-линейной интерполяции для дискового морфологического фильтра // Измерительная техника. 2022. № 8. С. 35-40.
11. W. Sun, C. Giusca, S. Lou, X. Yang and et al. Establishment of X-ray computed tomography traceability for additively manufactured surface texture evaluation Author links open overlay panel. Additive Manufacturing. Vol. 50. Pp. 102558.
12. Thompson A., Senin N., Giusca C., Leach R. Topography of selectively laser melted surfaces: A comparison of different measurement methods. CIRP Ann. 2017. Vol. 66. Pp. 543-546.

УДК 004.94

ПРОЧНОСТНЫЕ РАСЧЁТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР В МАШИНОСТРОЕНИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВАЛОВ

А. П. Зобнин*

Научный руководитель – Е. С. Коккарева

¹Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«ПЕТРОВСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, ул. Балтийская, д. 35

*E-mail: zobninalex54321@gmail.com

В данной статье рассматривается применение программных комплексов на основе систем CAD/CAE в механических конструкциях при разработке сложных инженерных систем, в частности при анализе прочности валов и оценке их характеристик. Описан метод расчета и анализа валов с использованием программных систем, представлены методы расчета.

Ключевые слова: прочностной расчет, системы автоматизированного проектирования, метод конечных элементов

STRENGTH CALCULATIONS USING CAD IN MECHANICAL ENGINEERING WHEN DESIGNING SHAFTS

A.P. Zobnin*

Scientific supervisor – E.S. Kokkareva

St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution "PETROVSKY COLLEGE"

Russian Federation, 198095, St. Petersburg, Baltiyskaya str., 35 lit.

*E-mail: zobninalex54321@gmail.com

This article discusses the use of software systems based on CAD/CAE systems in mechanical structures in the development of complex engineering systems, in particular in the analysis of shaft strength and evaluation of their characteristics. The method of calculation and analysis of shafts using software systems is described, calculation methods are presented.

Keywords: strength calculation, computer-aided design systems, finite element method

Как показывает опыт, анализ валов с использованием программных систем позволяет избежать ошибок в расчетах и дает возможность оптимизировать конструкцию вала. Удобный в использовании и понятный графический интерфейс, мощные функциональные возможности программных систем и наглядность выходных данных позволяют использовать их в расчетах и анализе инженерных данных в различных отраслях машиностроения.

Сегодня современные компьютерные технологии способны моделировать работу любых конструкций и анализировать их поведение на этапе подготовки проектных решений. В результате анализ возможных модификаций позволяет выбрать наиболее эффективное конструкторское предложение, сводящее к минимуму дорогостоящие испытания прототипов, или полностью отказаться от таких испытаний. Для реализации комплексного

инженерного анализа механического оборудования и конструкций были разработаны различные САПР системы: APM WinMachine, KISSsoft, SolidWorks, KOMPAS-3D, и т.д. В этом случае для анализа стандартных деталей и узлов могут быть использованы инженерные методы, основанные на аналитических решениях, а для общего класса задач можно использовать численные решения, основанные на использовании методов конечных элементов [1].

Безопасность во всех отраслях промышленности тесно связана с расчетом и проектированием машин и установок. Одним из основных элементов большинства машин являются валы различных конструкций, которые рассчитаны на статическую прочность, жесткость, сопротивление усталости, виброустойчивость и многое другое. Расчеты по многим параметрам объясняются тем фактом, что в большинстве случаев валы сильно нагружены и из-за конструктивных особенностей валов их нагрузка может быть переменной. Эти обстоятельства могут привести к их усталостному разрушению. В связи с этим мы должны ответственно подойти к определению геометрических параметров и использовать для анализа и расчетов современное программное обеспечение.

При классическом выполнении расчётов валов по известным методам необходимо представить реальную конструкцию в виде расчётной схемы, выбрать тип опоры, приложить нагрузки, построить диаграммы изгибающих и моментов кручения и оценить коэффициенты запаса прочности на критических участках. Однако использование методов анализа валов систем САПР отличается.

Для расчёта необходимо построить твердотельную модель вала по диаметрам и длинам его ступеней с указанием геометрических размеров объекта. После этого устанавливаются точки или участки приложения локальных и распределенных сил, действующих на вал. При расчёте валов для зубчатых передач нормальная сила разлагается на составляющие: радиальную, тангенциальную и осевую (изгибающий момент). Эти нагрузки приводят к созданию нормальных напряжений и напряжений сдвига в поперечных сечениях вала.

Согласно алгоритму расчёта требуется учесть условие крепления вала, установив тип опор и участки, на которых они расположены, а также тип и параметры материала вала.

Расчет в большинстве САПР ведется методом конечных элементов.

Суть метода состоит в следующем: исследуемый объект разбивается на конечное число элементов, в каждом из которых при расчете выбирается вид аппроксимирующей функции, которая в других элементах приравнивается к нулю. Значения функций в узлах каждого из элементов неизвестны. Они и есть решение задачи. Значения функций на границах между элементами равны и на основе этого определяются коэффициенты аппроксимации. Составляется система линейных алгебраических уравнений, количество которых равно количеству неизвестных значений в узлах. Чем больше узлов, тем точнее, но сложнее расчет. Тот факт, что каждый из элементов связан с ограниченным количеством соседних упрощает решение системы уравнений. Возможности компьютерной техники являются единственным ограничением таких расчетов [2].

При изменении в системе используются методы нелинейного анализа. В этом случае исходными данными для каждого последующего состояния принимается состояние объекта на предыдущем шаге. При этом все внутренние и внешние силы должны быть уравновешены с определенной погрешностью, величину которой определяет критерий сходимости, задаваемый в процентах от приложенных внешних сил и реакций. Решение нелинейных задач значительно сложнее по сравнению с линейными статическими задачами и требует большего машинного времени.

Преимуществом данного метода является то, что он позволяет производить расчеты объектов любой сложности. Очевидно, что решение таких задач без вычислительной техники

не осуществимо, поэтому САЕ системы находят при проектировании все большее применение.

В Компас 3D можно производить как проектные, так и проверочные расчеты валов. Рассмотрим возможности проверочного расчета валов в Компас 3D с помощью APM FEM.

APM FEM позволяет провести следующие виды расчетов:

- статический расчет;
- расчет на устойчивость;
- расчет собственных частот и форм колебаний;
- тепловой расчет.

В результате выполненных системой APM FEM расчетов могут быть получены:

- карта распределения нагрузок, напряжений, деформаций в конструкции;
- коэффициент запаса устойчивости конструкции;
- частоты и формы собственных колебаний конструкции;
- карта распределения температур в конструкции;
- масса и момент инерции модели, координаты центра тяжести [3].

Таким образом применение САПР значительно повышает качество и производительность проектных работ, обеспечивая конкурентоспособность и более быстрое внедрение продукции в производство и выход на рынок.

Использование систем САПР позволяет значительно сократить время расчёта по сравнению с известными методами проектирования и расчёта валов, изложенными в инженерной литературе, а также избежать ошибок в расчётах и повысить их точность. Кроме того, при расчёте прочности возникает возможность оптимизации конструкции вала, что позволяет снизить расход материала и, следовательно, обеспечивает экономическую эффективность процесса изготовления деталей. Удобный и понятный графический интерфейс, мощная функциональность программного обеспечения системы и наглядность выходных данных позволяют использовать их при расчётах прочности деталей машин, проводить инженерный анализ данных, выбирать наилучший вариант проектирования, чтобы обеспечить безопасные условия работы механического оборудования в различных отраслях машиностроения.

Вычислительные возможности современной компьютерной техники позволяют эффективно решать большой комплекс задач, необходимых для выполнения инженерного анализа, при наличии современных и сложных программных систем. Программное обеспечение при этом должно позволять: использовать международный и отечественный опыт, воплощенный в его расчётном разделе; использовать отечественную и международную базу стандартных изделий; снизить вероятность ошибок при выполнении расчётов; повысить производительность труда проектировщиков и технологов; снизить зависимость результатов расчётно-конструкторских работ от квалификации специалистов. персонал, выполняющий такие работы; оптимизировать конструкторские решения при изготовлении промышленных изделий и оборудования с целью снижения их себестоимости и повышения конкурентоспособности в отношении к лучшим мировым аналогам.

Библиографический список

- 1) Легкова И.А. Возможности современных систем автоматизированного проектирования для проведения прочностного анализа // NovaInfo 81, 21 марта 2018, Технические науки с.5-9,

- 2) STATIC ANALYSIS AND STRENGTH CALCULATION OF DRIVE SHAFT OF LARGE-SCALE CONE CRUSHER. / . Kondratenko, L.V. Sedykh, A. Mirzakarimov, A. Aleksakhin // E3S Web of Conferences. Сер. "International Conference on Modern Trends in Manufacturing Technologies and Equipment, ICMTMTE 2020" 2020. С. 01038.
- 3) APM FEM. Система прочностного анализа для КОМПАС-3D. Версия для КОМПАС-3D V17. Руководство Пользователя [Электронный ресурс] URL: https://kompas.ru/source/info_materials/2017/APM_FEM_17-man.pdf

© Зобнин А. П., 2022

УДК 004.94

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА МЕТОДАМИ ЦИФРОВОЙ МЕТРОЛОГИИ И САПР В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

М. В. Павлов, А. М. Балланд, А. В. Уколов
Научные руководители – Е. С. Коккарева, Г. В. Шампарова

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Петровский колледж» Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, Балтийская улица, дом
35, литер А
E-mail: amsoem@mail.ru

Статья раскрывает полное представление о реинжиниринге, цифровой метрологии и САПР, а также их эффективную производительную работу в условиях импортозамещения.

Ключевые слова: реверс-инжиниринг, эффективность, автоматизация, цифровая метрология, цифровизация, САПР, импортозамещение.

SOLVING REVERSE ENGINEERING PROBLEMS BY DIGITAL METROLOGY AND CAD METHODS IN THE CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION

M. V. Pavlov, A. M. Balland, A. V. Ukolov
Scientific supervisors – E. S. Kokkareva, G. V. Champarova

¹St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution "Petrovsky College" Russian
Federation, 198095, St. Petersburg, Baltiyskaya Street, street 35, letter A
E-mail: amsoem@mail.ru

The article reveals a complete understanding of reengineering, digital metrology and CAD, as well as their effective productive work in the conditions of import substitution.

Keywords: reengineering, efficiency, automation, digital metrology, digitalization, CAD, import substitution.

В данный период времени, импортозамещение стало выполнять основную роль в развитии производства РФ.

Импортозамещение является стратегий промышленной модернизацией, заключающаяся в замещение импортного производства на отечественное. В свою очередь, главная задача импортозамещения состоит в поддержке отечественных предприятий для эффективного сохранения финансовых потребностей за счёт организации выгодной среды формирования промышленности, сокращая таким образом зависимость от иностранного импорта, снижая экономические риски в закупки производственных ресурсов.

Реверсивный, или обратный инжиниринг представляет разработку конструкторской документации на основе имеющегося готового изделия или детали. Результатом данного процесса является 3D-модель, на основе которой производятся прочностные и другие расчеты, определяются технические характеристики и создается конструкторская документация. Все это является важным в том случае, когда необходимо модернизировать или воссоздать технические объекты при отсутствии конструкторской документации на них.

[1]

Обычно работы производятся в следующей последовательности:

- определение размеров и геометрии реального объекта методом измерений или 3D-сканирования
- создание 3D-модели и ее компьютерный анализ;
- создание комплекта конструкторской документации;
- разработка технологической документации, необходимой для производства объекта.

Реверсивный инжиниринг также способен выполнять важную в основе предприятия задачу, а именно функцию эффективного повышения технологической подготовки производства, позволяя результативно осуществить замену устаревшего оборудования на новое, вследствие чего, осуществляется усовершенствование и внедрение новых технологий производства. Благодаря реверсивному инжинирингу предприятия, находящиеся в кризисном или затруднительном положении, могут обрести новый технологически-производственный уровень.

Цифровая метрология понимается, как наука о цифровых измерениях, заключающаяся в принципах регулирования измерений идеальной точности. В свою очередь, цифровая метрология не похожа на традиционную так как, её главные функции взаимодействуют с цифровыми измерениями. Она содержит огромную базу измерительной информации, которую эффективно быстро можно использовать с помощью современных автоматизированных средств измерений. [2]

Еще одним эффективным инструментом реверсивного инжиниринга являются САПР. САПР – это система автоматизированного проектирования, занимающаяся проектированием с помощью информационных технологий. Основная задача САПР заключается в автоматизации технологической подготовки.

Функции САПР:

- 1) Создание модернизированного техпроцесса изготовления изделия.
- 2) Компоновка технологической документации.
- 3) Вычисление временных расходов на технологические операции.
- 4) Установление конфигурации сложности на производство изделия.
- 5) Подсчёт затрат на использование материалов. [3]

Рассмотрим процесс реверс-инжиниринга на примере конкретной детали «Статор роторного насоса» (рис. 1). Данная деталь довольно часто требует замены.



Рисунок 1 – Статор

Для того чтобы разработать деталь необходимо знать её размеры. Проведем измерение профилометром шероховатости поверхности диаметра окружности, а также торца детали. При измерении использовался прибор MarhSurf PS1. Измерение проводят под прямым углом к поверхности детали, подвергнутой машинной обработке.

Методика измерения:

1. Переместить щуп в положение для измерения. Ножка щупа должна быть параллельной поверхности, которая будет прослежена.

2. Чтобы начать измерение необходимо нажать на кнопку Ra. В течение измерения монитор покажет "Measurement" ("Измерение"). Число, показанное после этого слова, указывает мерную длину, пересекаемую в данное время щупом.

3. После измерения показывается надпись "End of measurement" ("Конец измерения"), на экране будет выведен результат.

В результате проводимых измерений получаем Ra 0,63 на базовой длине 0,8 мм. Это 8 квалитет. Исходя из квалитета оптимальным выбором для измерения диаметра окружности и ширины детали будет МК 50, так как у него цена деления 0,01 в соответствии с Гост 6507-90.

Методика измерения микрометром:

1. Для измерения микрометром измеряемая деталь зажимается между стержнями до упора.
2. Совмещение измерительных поверхностей микрометров осуществляется аккуратным вращением микровинта за трещотку до трех щелчков.

Для удобства измерения можно использовать стойки, штативы и другие приспособления для закрепления микрометра.

Результаты измерений: диаметр окружности 62,27 мм, ширина детали 25,49 мм.

Так как деталь имеет форму окружности необходимо провести измерение круглости на кругломере. При работе использовался прибор Formtester MMQ 100. С помощью кругломера измеряется отклонение от круглости методом измерений отклонений радиуса-вектора в декартовой системе координат с последующей математической обработкой результатов измерений и их выводом на компьютер.

Методика измерений кругломером:

1. Деталь устанавливается на вращающийся стол деталь. Стол перемещается в двух взаимно перпендикулярных направлениях микрометрическими винтами.
2. Запускается программа. При вращении шпинделя измерительный наконечник скользит по поверхности изделия и с помощью индуктивного датчика измеряет отклонение от круглости. По круглограмме можно определить величину отклонения от круглости и оценить действительную форму измеряемой детали.

Для определения отклонения от круглости на круглограмму наносят прилегающую окружность, касающуюся выступающих точек записанного профиля. Отклонение от круглости равно наибольшему расстоянию по радиусу от круглограммы до прилегающей окружности.

Измеряемая деталь имеет сложную охватывающую геометрию, поэтому при ее измерении был использован контурограф.

Действие этого прибора основано на принципе ощупывания неровностей измеряемой поверхности щупом с индуктивным датчиком путем перемещения щупа по измеряемой поверхности и последующего преобразования возникающих при этом механических колебаний щупа в цифровой сигнал.

Методика измерений контурографом:

1. По вертикали для обеспечения контакта щупа с измеряемой поверхностью изделия привод устанавливается на моторизированной стойке, а измеряемое изделие на координатный стол. Координатный стол позволяет выбрать на изделии место для измерения профиля, а также получить трехмерную форму изделия за счет измерения многих профилей посредством пошагового перемещения стола.

Управление прибором осуществляется посредством управляющего компьютера, входящего в состав прибора и установленного в передвижном монтажном шкафу, на который устанавливается прибор.

2. Запускается программа. Специальное программное обеспечение управляет приводами, принимает и обрабатывает сигналы с датчиков и выводит данные на монитор.

В результате работы контурографа был определен радиус внутренней дуги детали 12,5 градусов. Для определения последнего параметра измеряемой детали был использован толщиномер.

Последний параметр необходимый для создания 3д модели является толщина детали. Для определения толщины был использован толщиномер.

Методика измерения толщиномером:

1. Протереть измеряемое изделие мягкой тканью, так как присутствие масла, абразивной пыли и т.п. приводит к неправильному измерению.
2. Нажимом на арретир отвести измерительный стержень и между ним и пяткой ввести, измеряемую поверхность, после чего арретир отпустить. Размер толщины отсчитать по шкале отсчетного устройства.

В результате измерений получилась толщина 3,43 мм.

После получения всех необходимых размеров приступаем к построению твердотельной модели.

Материал детали – сталь EN24 (817M40). Отечественным аналогом данного материала является Сталь 40ХН- ГОСТ 4543—2016.

После полученных данных строим 3D модель.

Для построения используем отечественный САПР «Компас 3D» и приступаем к работе:

- 1) Выполняем построение детали (Рис.2)
- 2) Устанавливаем материал
- 3) Получаем данные МЦХ
- 4) На основе 3D детали делаем чертёж (Рис.3)

МЦХ модели «Статор»:

Заданные параметры: Сталь 40ХН- ГОСТ 4543—2016

Материал тел: Круг Р18Ф2 ГОСТ 19265-73

Плотность материала тел $\rho_0 = 0.008700$ г/мм³

Расчетные параметры (тела и компоненты)

Масса $M = 360.355164$ г

Площадь $S = 13473.082567$ мм²

Объем $V = 41420.133780$ мм³

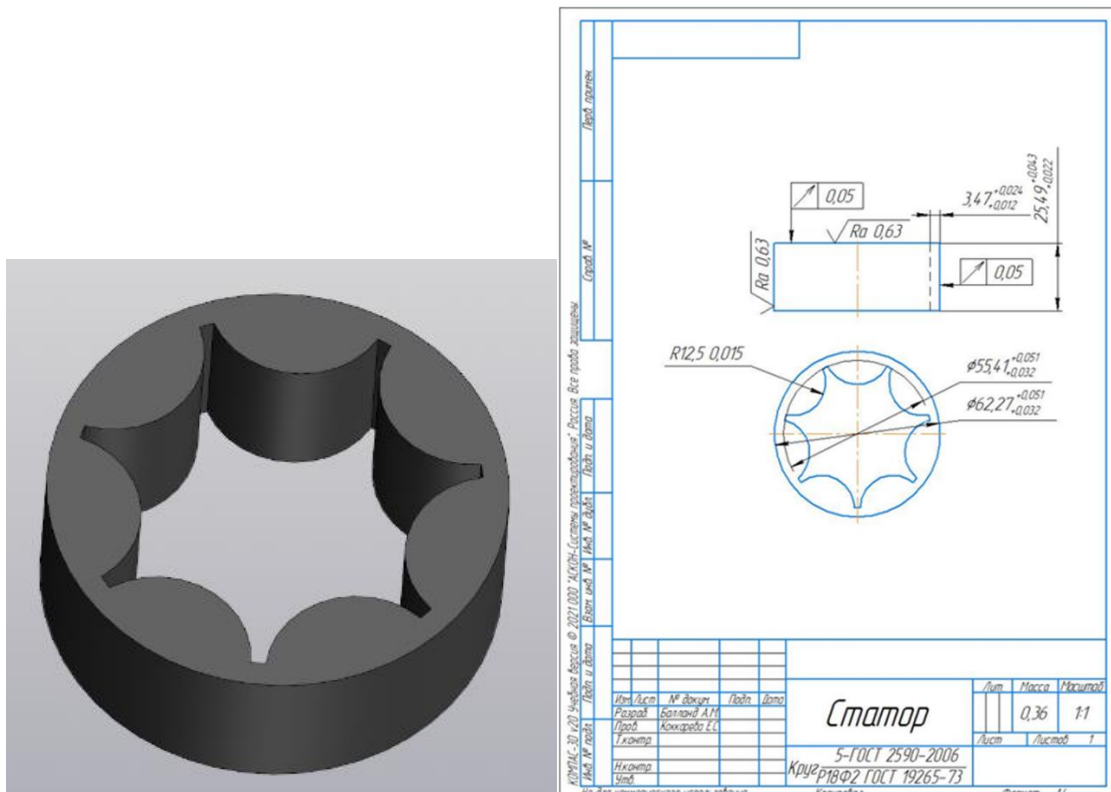


Рисунок 2 – Модель и чертёж детали Статор

На основании данной модели можно разработать технологический процесс и написать управляющую программу для оборудования с ЧПУ.

Импортозамещение снижает степень зависимости от западных технологий благодаря собственным разработкам, которые позволяют отечественным производителям составлять серьезную конкуренцию мировым производствам, а из этого вытекает перспектива роста экспорта товаров внутреннего производства, развития современных технологий, открывающие новые предприятия.

Решение задач реверс-инжиниринга методом информационной метрологии и автоматизированного проектирования в условиях импортозамещения задействует значительное сокращение стоимости и времени на производство изделий.

поскольку инновационное программное обеспечение способствует ускорению измерения, сокращая таким образом значительное время реализации. В следствие данного процесса, увеличивается корректность измерений за счёт того, что исключается риск погрешности при снятии показаний. Также, совершенствуется уникальность использования информационной метрологии, за счёт возможности проектировании многосложных по конфигурации моделей изделий.

Таким образом, решение задач реверсивного инжиниринга методами цифровой метрологии и САПР позволяет полностью решить задачи импортозамещения, поскольку наша страна, Российская Федерация, имеет все необходимые ресурсы, оборудование и программные продукты для эффективной реализации и надёжной поддержки отечественного производства.

Библиографический список

1. Низовцева Я.Ю. Реверсивный инжиниринг в производстве деталей и узлов подвижного состава [Электронный ресурс] / Я.Ю. Низовцева, Е.Ю. Дульский, П.Ю. Иванов, А.А. Хамнаева, В.Д. Шестакова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1 (11). – Режим доступа: <http://mnv.urgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана.
2. Журнал ИСУП № 3(93) «Метрологическое обеспечение в эпоху цифровой трансформации» – 2021 – С.35.
3. Эдуард Берлинер «Актуальность применения САПР в машиностроении» учеб. Машиностроение – 2020 – С.140.
4. Стародубцева Е.Б. Импортозамещение как экономического процесс: Учебник / Стародубцева Е.Б. - М.: Инфра-М – 2019 – С.15.

© Павлов М. В., Балланд А. М., Уколов А. В., 2022

УДК 621.9.08

3D ТЕХНОЛОГИИ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА ИЗДЕЛИЙ

А. А. Прусаков, А. С. Сорокин, И. А. Щекотихин
Научный руководитель – Г. В. Шампарова

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Петровский колледж»
Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, улица Балтийская, дом 35
*E-mail: sadaweqq@bk.ru

Точность режущего инструмента, как элемента технологической системы, оказывает значительное влияние на размерную точность и качество поверхности. В настоящее время на станках с ЧПУ широко применяются резцы со сменными пластинами. Как и любое изделие, пластина не может быть изготовлена абсолютно точно. 3D технологии при контроле размеров пластин повышают качество продукции и производительность.

Ключевые слова: процесс резания металла, погрешность, точность, режущий инструмент, координатно-измерительная машина.

3D TECHNOLOGIES IN PRODUCT QUALITY ASSURANCE

A. A. Prusakov, A. S. Sorokin, I. A. Shchekotikhin
Scientific supervisor – G. V. Champarova

St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution "Petrovsky College"
Russian Federation, 198095, St. Petersburg, Baltiyskaya Street, house 35
*E-mail: sadaweqq@bk.ru

The accuracy of the cutting tool, as an element of the technological system, has a significant impact on dimensional accuracy and surface quality. Currently, cutters with replaceable plates are widely used on CNC machines. Like any product, the plate cannot be made absolutely accurately. 3D technologies in plate size control improve product quality and productivity.

Keywords: metal cutting process, error, accuracy, cutting tool, coordinate measuring machine.

Качество обработки деталей машин определяется двумя критериями: точностью обработки и шероховатостью обработанных поверхностей.

Под точностью обработки понимают степень соответствия изготовленной детали заданным размерам и форме.

Отклонение формы реальной поверхности от номинальной, т. е. заданной чертежом, оценивается наибольшим расстоянием D между точками реальной поверхности и номинальной, измеренным по нормали к последней. Отклонения формы и расположения поверхностей регламентируются ГОСТом. Наиболее часто встречающиеся из них при точении:

- Отклонения от плоскостности при подрезке торца и уступов: выпуклость, вогнутость;
- Отклонения от круглости: овальность, огранка;
- Отклонения профиля продольного сечения - характеризуются непрямолинейностью и непараллельностью образующих: конусообразность, бочкообразность, седлообразность;

- Отклонения расположения характеризуется отклонением реального расположения поверхностей (осей) от их номинального расположения: торцовое биение, радиальное биение, неперпендикулярность оси и плоскости, несоосность.

Точность режущего инструмента, как элемента технологической системы, оказывает значительное влияние на размерную точность и качество поверхности. В настоящее время на станках с ЧПУ широко применяются резцы со сменными пластинами. Как и любое изделие, пластина не может быть изготовлена абсолютно точно. Разброс размерных параметров наблюдается в каждой упаковке. Еще большее значение он принимает при рассмотрении нескольких партий продукции. Если такие параметры, как углы и радиусности при незначительных отклонениях оказывают влияние только на силы резания, то толщина пластины, диаметр центрального отверстия и расстояние от центра до режущей вершины пластины влияют на качество продукции достаточно весомо. Отклонение размеров инструментов непосредственно переносится на заготовку. Однако при этом часто возникают дополнительные погрешности размеров и формы, вызываемые условиями обработки.

Рассмотрим каждый из этих параметров на примере проходного резца.

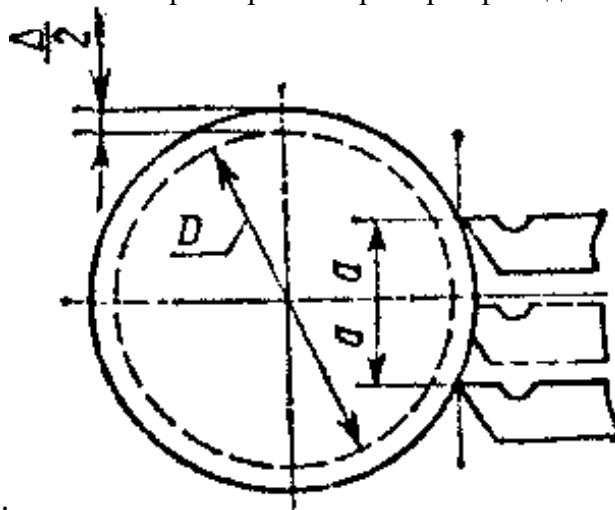


Рисунок 1 – Положение вершины резца

При смещении вершины резца на размер a вверх-вниз относительно оси станка (рис. 4) возникают следующие проблемы:

- диаметр D заготовки увеличивается.
- биение вращающихся центров станка приводит к биению обрабатываемых поверхностей заготовки относительно оси центральных отверстий. При перестановке обработанной заготовки на другой станок с другим биением центров может возникнуть отклонение от соосности у заготовок, обрабатываемых в разных условиях.
- при смещении вершины вверх возникает трение между заготовкой и задней поверхностью режущей части, вследствие чего происходит нагрев (причина температурных погрешностей, наростообразования и более быстрого износа резца) и возможность возникновения вибраций (причина микро- и макронеровностей поверхности) [1].

С целью уменьшения влияния погрешностей режущего инструмента на точность обработки необходимо выбирать инструмент соответствующей точности.

При работе на станках с ЧПУ необходимы периодический поворот и смена пластин. Если точность инструмента соответствует точности получаемого при обработке размера, можно избежать дополнительных затрат времени на ввод корректоров или размерную привязку. Исходя из этого можно отметить, что соответствие точности режущих пластин влияют не только на качество продукции, но и на ее себестоимость и производительность. Поэтому контроль качества инструмента очень важен.

Точность инструмента и требования к нему определены государственными стандартами. На рассматриваемые нами пластины распространяется ГОСТ 19056-80 [2].

Контроль изделий несет за собой несколько проблем. Одной из главных является человеческий фактор, так как появляются неточности. Для решения данной проблемы необходима автоматизация процесса контроля.

В данной работе будет рассмотрен процесс работы КИМ (Координатно-измерительная машина) за счет применения 3D технологий.

Координатно-измерительная машина (КИМ) – автоматизированное устройство для измерения геометрических характеристик объекта. Ее точность измерения, как правило, достигает до десятков микрон.

КИМ могут не только измерять типовые поверхности, но и определять систему координат положения специальных поверхностей относительно базовых [3].

Также перед началом контроля качества пластин, нужно узнать по каким параметрам мы должны их проверять:

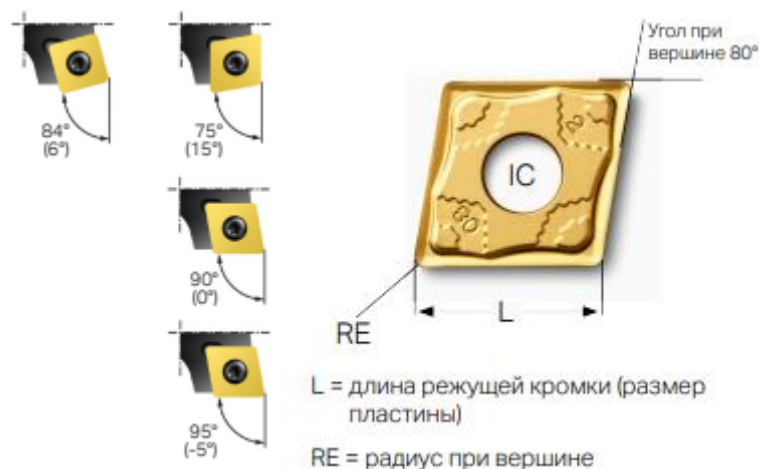


Рисунок 2 – Параметры режущей пластины

Основное преимущество 3D технологий заключается в легкости и скорости проверки деталей, проходящей в несколько этапов:

1.Этап Загрузить плоский чертёж детали

1.1. Находим и открываем нужный чертёж, он обязательно должен быть в формате «DXF».

2.Этап Подготавливаем чертеж к измерениям.

2.1. Кликнуть на поле чертежа.

2.2. Производим аппроксимацию детали. Чтобы это сделать нажимаем на кнопку «Аппроксимация», после этого выбираем каждый элемент детали на чертеже

2.3. В поле анализа вкладка анализа результатов изменений проставляем «базу».

2.4. Выбираем элементы, которые хотим измерить.

3. Этап Обозначаем объекты для измерения. Переходим во вкладку «Главная», после чего два раза кликаем левой кнопкой мыши по элементам детали, относящиеся к 7 пункту подпункту е. Если вы все сделали правильно слева сверху появятся выбранные элементы

4. Этап. Нажимаем на «Выполнить привязку», которая находится в левом верхнем углу.

4.1. Обычно в таких ситуациях появляется окно выхода в нулевую позицию. Если оно появилось, то ЕГО НЕЛЬЗЯ ЗАКРЫВАТЬ, чтобы его убрать необходимо передвинуть столик в нижний правый угол. Если такое окно не появилось вам повезло.

4.2. Выбираем точку на чертеже, она должна стать красной, после чего наводим объектив в ту же точку на детали. Нажимаем на «Измерить точку». Таким образом привязываем минимум 3 точки. Чем больше точек привязано, тем точнее измерения.

5. Этап. После привязки минимум 3 точек появится красный контур детали, нажимаем «Готово», или продолжаем выделять точки, чем больше, тем точнее.

6. Этап. Производим измерения.

6.1. Нажимаем «Запуск схемы» находящуюся в левом верхнем углу.

6.2. Следуем значку навигации в левом верхнем углу. Он показывает направление движения по 4 сторонам.

6.2.1. Если стрелочка горит зеленым цветом передвигать до того, как она исчезнет.

6.2.2. Если контур вокруг стрелочки горит красным, нужно передвигать в ту сторону

6.3. После чего передвигаем столик следуя навигации до точки измерения, которую программа определяет автоматически. При достижении данной точки снизу появится надпись: «Стабилизация измерения».

6.4. Когда будут измерены все нужные точки появится окно «Фильтрация результатов измерений», где проставляем, если необходимо размер фасок, дистанция объединения, после чего нажимаем «Запуск». (на данной детали ничего менять не нужно)

6.5. В появившемся окне «Редактирование результатов измерений» удаляем ненужные точки и нажимаем «Готово» слева сверху.

6.6. После чего получаем результаты.

Таким образом, за счет применения 3Dтехнологий - работы с КИМ, ускоряется проверка изделий и повышается качество контроля.

Библиографический список.

1. Резание материалов. Режущий инструмент в 2 ч. Часть 1 : учебник для среднего профессионального образования / А. Г. Схиртладзе [и др.] ; под общей редакцией Н. А. Чемборисова. — Москва : Издательство Юрайт, 2022. — 263 с.
2. ГОСТ 19056-80 Пластины режущие сменные многогранные твердосплавные ромбической формы с углом 80°. Конструкция и размеры (с Изменениями N 1, 2). // Пластины сменные многогранные. Технические условия. Конструкция и размеры: Сб. стандартов. - М.: Стандартиформ, 2006
3. В.К., Гарипов ИИУС координатно-измерительных машин и измерительных роботов / В.К. Гарипов, А.В. Тихонравов und В.В. Слепцов. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2015. - 128 с.

© Прусаков А. А., Сорокин А. С., Щекотихин И. А., 2022

УДК 004.94

КОНСТРУИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ САПР

Е. С. Судеревский, М. О. Каранаев, Г. К. Баринов
Научный руководитель – Е. С. Коккарева*

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Петровский колледж» Российская Федерация, 198095, г. Санкт-Петербург, Балтийская улица, дом
35, литер А

*E-mail: e.kokkareva@petrocollege.ru

Использование САПР существенно сокращает объем работ технолога и конструктора, в том числе связанных с технической подготовкой производства. Статья раскрывает возможности проектирования, модернизации и восстановления технологической оснастки с использованием САПР на примере конструирования скальчатого кондуктора.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, станочные приспособления, кондуктор.

DESIGNING OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT USING CAD

E. S. Suderevsky, M. O. Karanaev, G. K. Barinov
Scientific supervisor – E. S. Kokkareva*

St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution "Petrovsky College" Russian Federation,
198095, St. Petersburg, Baltiyskaya Street, house 35, letter A

*E-mail: e.kokkareva@petrocollege.ru

The use of CAD significantly reduces the amount of work of the technologist and designer, including those related to the technical preparation of production. The article reveals the possibilities of designing, upgrading and restoring technological equipment using CAD on the example of designing a rock conductor.

Keywords: computer-aided design systems, machine tools, conductor.

Станочные приспособления являются частью технологической системы, без них невозможно произвести механическую обработку заготовки. По степени специализации можно рассматривать приспособления универсальные, специальные и специализированные.

Как и любое изделие, универсальные и специализированные безналадочные приспособления подвергаются воздействиям, ведущим к износу деталей, причем, в наибольшей степени установочные и зажимные элементы. От этих элементов в значительной степени зависит точность полученных размеров. В настоящее время на предприятиях используется значительное количество импортной оснастки, запасные детали на которую перестали поставлять. Отечественная продукция также требует ремонта. Простой оборудования из-за отсутствия приспособления или брак, связанный с его износом, ведут к убыткам и недопустимы.

Универсальные и специализированные наладочные приспособления имеют сменные наладки, которые подбираются под конкретную деталь или группу деталей. Чем больше таких сменных элементов, тем больше технологических возможностей мы получаем.

Специальная оснастка разрабатывается под конкретную деталь с учетом условий производства.

В большинстве случаев на предприятии имеется все необходимое, чтобы изготовить детали оснастки, не затрачивая времени и средств на логистику. Для этого необходима разработка полного комплекта конструкторской и технологической документации

Рассмотрим пример создания конструкторской документации на приспособление «Скальчатый кондуктор» с использованием САПР.

Кондукторы – станочные приспособления, позволяющие избежать увода сверла при обработке отверстий, в том числе, нетехнологичных. Они также дают возможность избавиться от процедуры разметки и повысить точность изделия. Скальчатые кондукторы – это приспособления, имеющие подъемную кондукторную плиту, которая может выступать как зажимной элемент и являться сменной наладкой, в которой в необходимые позиции устанавливаются кондукторные втулки.

Порядок эксплуатации кондуктора следующий:

1. Кондуктор в сборе устанавливают на столе вертикально-сверлильного станка.
2. Обрабатываемую деталь устанавливают на плите в специальной подставке.
3. Кондукторную плиту опускают по скальчатым направляющим и производят зажим детали.
4. Производят сверление отверстий через кондукторные втулки.
5. Кондукторную плиту поднимают, высвобождая готовую деталь.

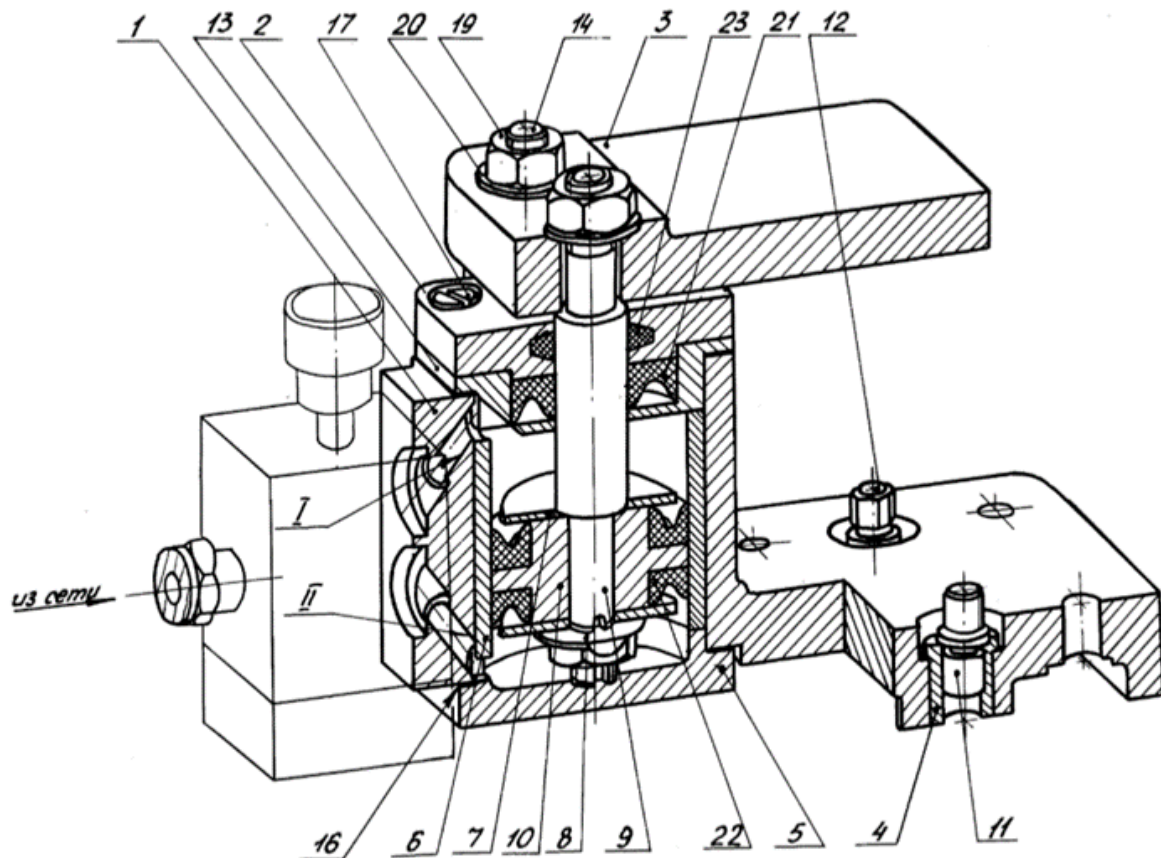


Рисунок 1 – Скальчатый кондуктор

Работа кондуктора скальчатого происходит следующим образом. Сжатый воздух из сети через распределительный кран направляется в отверстия или II корпуса 1. Кран, для крепления которого в корпусе 1 предназначены отверстия М8, распределяет давление и направление подачи воздуха. При верхнем положении поршня 10 кондукторная плита 3 вместе со скалками 14 и 15 поднимается и на базовую поверхность устанавливается

обрабатываемая деталь. При нижнем положении поршня кондукторная плита 3 опускается и прижимает деталь к базовой поверхности. Через втулки, расположенные в кондукторной плите, производится сверление отверстий в детали [1].

Исходными данными для разработки трехмерной модели приспособления и комплекта электронной конструкторской документации могут служить результаты измерений деталей, сканирования, бумажные чертежи и нормативная документация.

Порядок проектирования:

1. Создание твердотельных моделей деталей.
2. Создание ассоциативных чертежей деталей.
3. Поиск стандартных изделий в библиотеках.
4. Создание сборки.
5. Создание сборочного чертежа.
6. Создание спецификации. [2]

В нашем случае была разработана постоянная часть скальчатого кондуктора с использованием САПР Компас-3D.

Результатом работы являются:

1. трехмерные модели и чертежи деталей;
2. сборка (рис. 2);
3. сборочный чертеж (рис. 3);
4. спецификация.

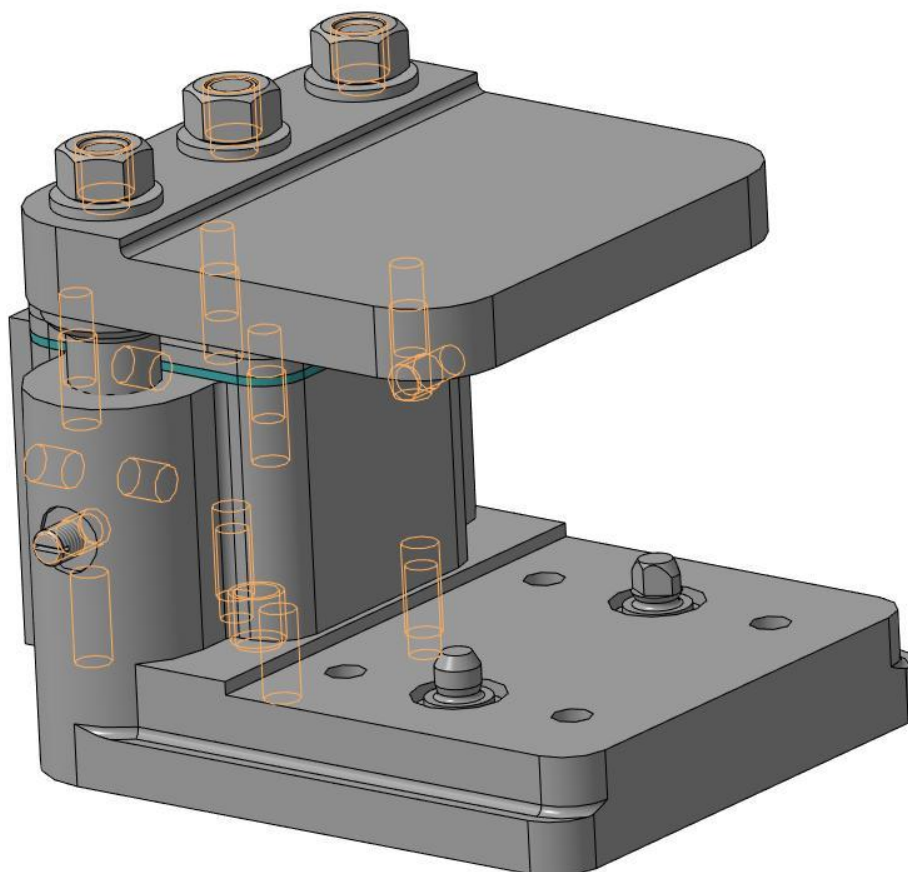


Рисунок 2 – Трехмерная модель сборки

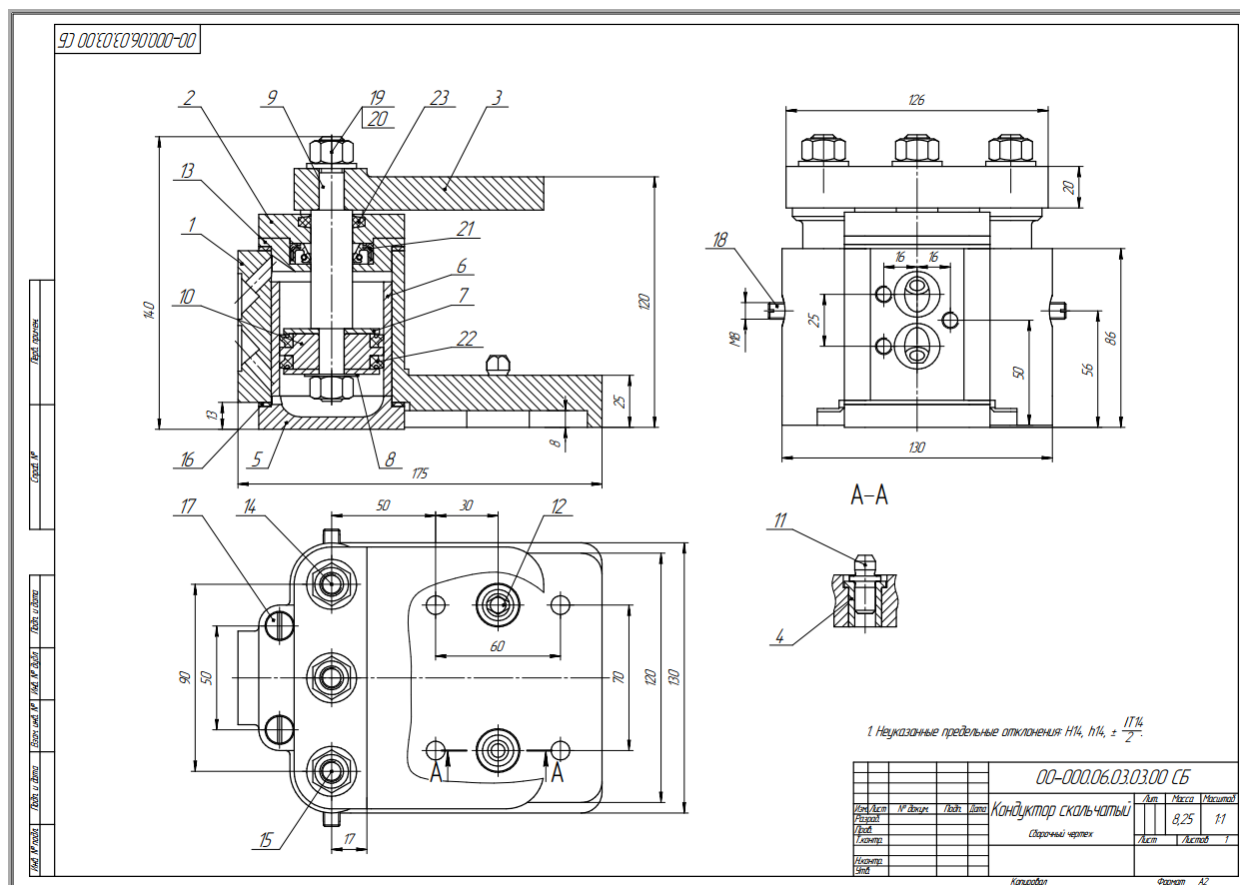


Рисунок 3 – Сборочный чертеж

На сегодняшний день использование САПР существенно сокращает объем работ. Библиотеки стандартных изделий позволяют подобрать детали в соответствии с отечественными стандартами [3]. Также продукты Аскон имеют основные инструменты программного обеспечения для анализа методом конечных элементов, что поможет проверить изделие на различные нагрузки. Очень существенным преимуществом является наличие САМ системы, позволяющей создать управляющие программы по трехмерной модели для изготовления деталей на станке с ЧПУ. Эти принципы также хорошо согласуются с методами бережливого производства и возможностями минимизации отходов и повышения производительности.

Библиографический список

1. ГОСТ 16889-71 Кондукторы скальчатые консольные с пневматическим зажимом. Конструкция (с Изменениями N 1, 2) М.: ИПК Издательство стандартов, 1999 год
2. Иванов В.А. Автоматизированное проектирование станочных приспособлений. / В.А. Иванов, Я.В. Багрий // Автоматизированное проектирование в машиностроении – 2014. – № 2. с. 129-133.
3. Рыбаков, А. В. Возможности процессов проектирования машиностроительных изделий на основе компьютерных баз знаний (на примере станочных приспособлений) / А. В. Рыбаков, С. А. Евдокимов, А. А. Краснов // Вестник СТАНКИН. – 2015. – № 2. с. 83-88.

© Судеревский Е. С., Каранаев М. О., Баринев Г. К., 2022

УДК 658.512.26

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПОСТРОЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ

К. Г. Иванов

Научный руководитель – А. А. Федорова*

Чувашский государственный университет имени И. Н. Ульянова
Российская Федерация, 428034, г. Чебоксары, ул. Спиридона Михайлова, 3

*E-mail: e_a_a@mail.ru

В данной статье говорится о выборе оптимального метода построения 3D-модели в олимпиадах и конкурсах по САПР и о основных факторах, влияющих на скорость и качество построения.

Ключевые слова: 3D-моделирование, Solid Edge, САПР, олимпиада, CAD-система.

CHOOSING THE OPTIMAL METHOD FOR BUILDING A 3D MODEL

K. G. Ivanov

Scientific supervisor – A. A. Fedorova

I. N. Ulyanov Chuvash State University
Russian Federation, 428034, Cheboksary, Spiridona Mikhaylova street, 3

*E-mail: e_a_a@mail.ru

This article talks about choosing the optimal method for constructing a 3D model in CAD Olympiads and competitions and about the main factors affecting the speed and quality of construction.

Keywords: 3D-modeling, Solid Edge, Cad system, olympiad, contest.

Олимпиады и конкурсы служат для оценки нестандартного подхода к решению задач и нацелены на выявление лучших в своей области. Конкурсы по САПР-системам способствуют развитию у обучающихся навыков и умений владения методами и средствами САПР, а также ускоренному формированию у обучающихся САПР-ориентированных компетенций на высоком профессиональном уровне [1].

Различают большое количество конкурсов и олимпиад различного уровня проводимых с применением САПР-систем [2]. Самый важный и основной тип конкурсного задания по САПР, без которого не обходится почти не одно конкурсное задание – построение 3D-модели, от которой зависят уже другие задания (к примеру, построение чертежа и создание сборочной единицы) [3]. Также следует отметить, что чаще всего уровень сложности задания подбирается в условия количества времени, за которое практически невозможно выполнить конкурсное задание, следовательно, немалую роль кроме качества играет скорость выполнения задания. Целью работы является выбор оптимального метода построения 3D-модели, для решения которой были поставлены задачи выделения основных факторов, влияющих на скорость и качество построения и их практического применения на одном из конкурсных заданий.

При выполнении конкурсных заданий по построению 3D-модели были выделены следующие основные факторы, влияющие на скорость и качество построения.

- 1 Выбор последовательности построения. На данном этапе важно не экономить время, т.к. спонтанный выбор построения первого элемента может привести к

потери связей между элементами и соответственно появлению лишних размеров, не имеющих на чертеже (наличие лишних размеров оценивается не во всех видах конкурсных заданий по 3D-моделированию, но необходим для оценивания качества модели). Обычно в первую очередь выполняется основной (обычно крупный) элемент, к которому привязаны остальные элементы. При выборе последовательности построения необходимо учитывать сразу и второй фактор. Важно при построении модели – не делать все элементы за одну операцию, а разделить их на несколько, например, выдавливание основного тела, затем отверстий и скруглений, т.к. это позволяет упростить эскиз и легко корректировать элементы при обнаружении ошибки.

- 2 Выбор способа построения элемента. Данный критерий тесно взаимосвязан с первым и зависит от конфигурации детали. Включает в себя многоуровневый способ (постепенное создание детали – поэтапное добавление элементов), производственный способ – повторение изготовления детали из заготовки, путем удаления элементов и комбинированный способ, представляющий комбинированную последовательность вышеуказанных. На данном этапе важно обратить внимание на габаритные размеры детали, заданы ли они, т.к. их наличие обычно требует выполнения первого элемента в виде заготовки.
- 3 Выбор инструмента построения элемента. САПР имеют готовые решения для выполнения определенной конфигурации детали и их нужно максимально учитывать при построении для сокращения скорости построения, например, инструмент, позволяющий быстро выполнить сферу, ребро жесткости.

В качестве практического применения вышеуказанных факторов было выбрано задание, которое выдавалось на Республиканском конкурсе по направлению «3D-моделирование» в САПР в 2022 году (рисунок 1).

Задание состояло из двух этапов (время выполнения – 1,5 часа):

- построение 3D-модели;
- построение на основе выполненной модели чертежа.

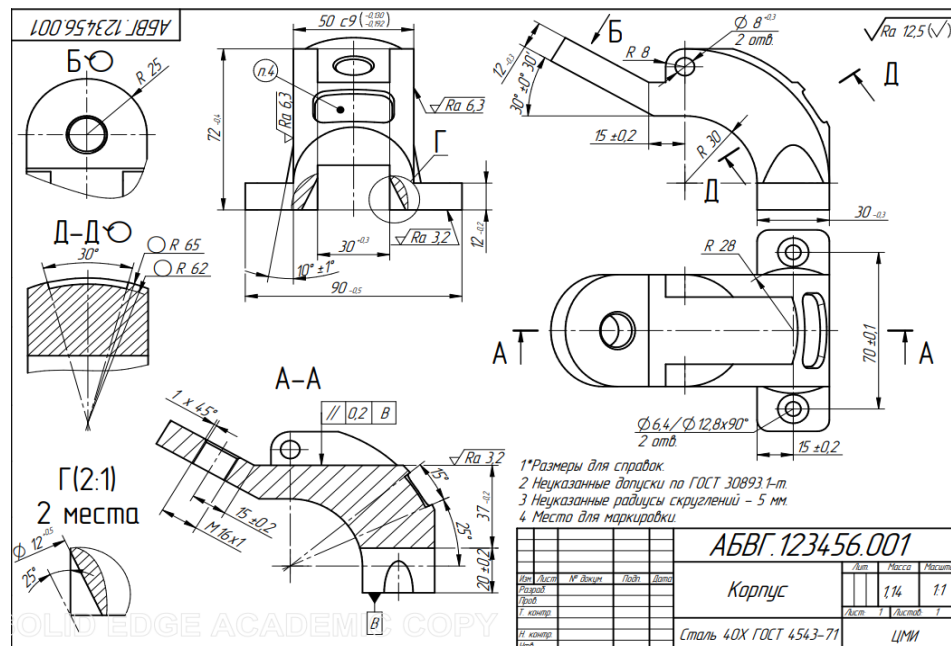


Рисунок 1 – Задание на Республиканском конкурсе по направлению «3D-моделирование»

Был рассмотрен только этап построения 3D-модели.

Проанализировав чертеж, можно сделать выводы, что лучше выбрать многоуровневый способ, выбрав за основной элемент – четверть диска, изображенный на главном виде и

имеющий сечение с элементом сферы, показанном в разрезе Д-Д, с последующим присоединением к этому элементу остальных элементов, представляющих собой элементы крепления. При этом можно отметить, что не заданы габаритных размеров в двух направлениях, что не требует выполнения сразу всего контура детали. Уже затем использовать производственный способ, для выполнения элементов, показанных в разрезе Д-Д и виде Г, а также скруглений и отверстий. Применение производственного способа вначале данном случае не рационально, которые потребует выполнение большого количества дополнительных действий.

Далее приведен пример анализа выполнения отдельного элемента детали. Например, элемент «Ушко», указанный на рисунке 2, можно построить двумя методами:

1. Построить эскиз на фронтальной плоскости и выполнить операцию «Выдавливание», затем удалить лишние грани и добавить скругления.
2. Задать наклонную плоскость и уже на ней начертить эскиз, после чего операцией «Выдавливание» построить элемент и удалить ненужные грани.

В нашем случае при построении вторым методом тратится в 2 раза больше времени, чем первым.

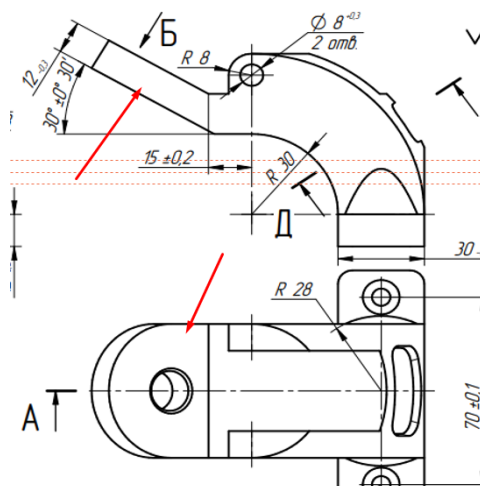


Рисунок 2. Элемент «Ушко»

Подводя итоги, можно сказать, что в олимпиадах и конкурсах по САПР немалую роль играет скорость выполнения работы, а также самым важным этапом данных состязаний является построение 3D-модели нежели чертеж. В статье были приведены факторы, влияющих на скорость и качество построения.

Библиографический список

1. Штерензон В. А. Профессиональные конкурсы и олимпиады как инновационная форма САПР-компетентностной подготовки бакалавров // Преподаватель XXI век. – 2017. – №. 4-1. – С. 65-78.
2. Иванов К.Г., Федорова А.А. Сравнение конкурсных заданий с использованием САД-систем // Молодежь и наука. Материалы международной научно-практической конференции старшеклассников, студентов и аспирантов. – 2022. – Т.2. – С.37-40.
3. Архив заданий Всероссийских/Международных студенческих олимпиад. <http://olimp.omgto.ru/olimp/arxiv-zadaniy-vserossijskixmezhdunarodnyx-studencheskixolimpiad/> (Дата обращения: 19.09.2022).

УДК 004.94

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ САМ СИСТЕМ КОМПАС 3D МОДУЛЬ ЧПУ, MASTERCAM И SOLIDCAM

А. В. Казамаров, Д. В. Карпухин
Научный руководитель – Е. С. Коккарева*

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Петровский колледж», 198095, г. Санкт-Петербург, Балтийская улица, дом 35

*E-mail: e.kokkareva@petrocollege.ru

История САМ систем берет начало начало в 70-х годах XX-го века. От простейших программ для автоматизированного черчения они прошли путь до современных комплексных систем. На сегодняшний день рынок САМ систем прогрессивно развивается и имеет большую конкуренцию среди производителей. Вопрос выбора САМ систем для решения конкретных производственных задач очень важен в сфере машиностроения.

Ключевые слова: САМ, автоматизация, цифровые технологии, геометрическая модель.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CAM SYSTEMS COMPASS 3D CNC MODULE, MASTERCAM AND SOLIDCAM

A. V. Kazamarov, D. V. Karpukhin
Scientific supervisor – E. S. Kokkareva*

St. Petersburg State Budgetary Professional Educational Institution "Petrovsky College", St. Petersburg,
Baltiyskaya 35, 198095, Russian Federation

*E-mail: e.kokkareva@petrocollege.ru

The history of CAM systems dates back to the beginning in the 70s of the XX century. From the simplest programs for automated drawing, they have gone all the way to modern complex systems. Today, the market of CAM systems is progressively developing and has great competition among manufacturers. The issue of choosing CAM systems for solving specific production tasks is very important in the field of mechanical engineering.

Keywords: CAD, automation, digital technologies, geometric model

Потребности современного общества в новейших технических разработках и высокопроизводительных технологиях требуют качественного выполнения проектных работ высокой сложности и внедрения их в производство в максимально короткие сроки. Это обуславливает совершенствование и активное внедрение САПР в большинстве отраслей народного хозяйства.

Наблюдается все более явное разделение данных систем по классам, что является положительным явлением, так как автоматизация для различных предприятий должна отличаться. В настоящее время рынок САПР предлагает большой выбор систем, различающихся по степени автоматизации проектных процессов, по охвату проектно-технологической и производственной сферы предприятия, по функциональности и стоимости.[1]

Термин САМ (Computer Aided Manufacturing) применяется для определения систем автоматизированной подготовки производства и также программных средств подготовки информации для станков с ЧПУ. В настоящее время САМ системы являются одними из

самым востребованных в условиях автоматизации производства. Они облегчают работу программиста, и сокращают время на написание УП. САМ системы отлично показывают себя в единичном и серийном производствах сложных деталей.

САМ системы осуществляют не только проектирование технологических процессов и получить текст программы синтеза программ, но и отследить траекторию инструмента, определить основное время обработки. Верификация программы осуществляется при использовании визуализации. В случае ошибок и столкновений на экране появляется сообщение с указанием на кадр, содержащий ошибку. Также данные системы позволяют быстро переписать программу на другую стойку ЧПУ и внести изменения в процесс обработки при изменении модели детали.

Выбор САМ систем является сложной задачей, так как для различных предприятий приоритетные критерии оценки будут отличаться, но существуют и общие параметры. Как правило, опытные пользователи отдают предпочтение знакомому и привычному программному обеспечению. Чтобы избежать необъективной оценки, авторами были выбраны САМ системы, с которыми полностью отсутствовал опыт работы.

Управляющая программа писалась на деталь, представленную на рис. 1.

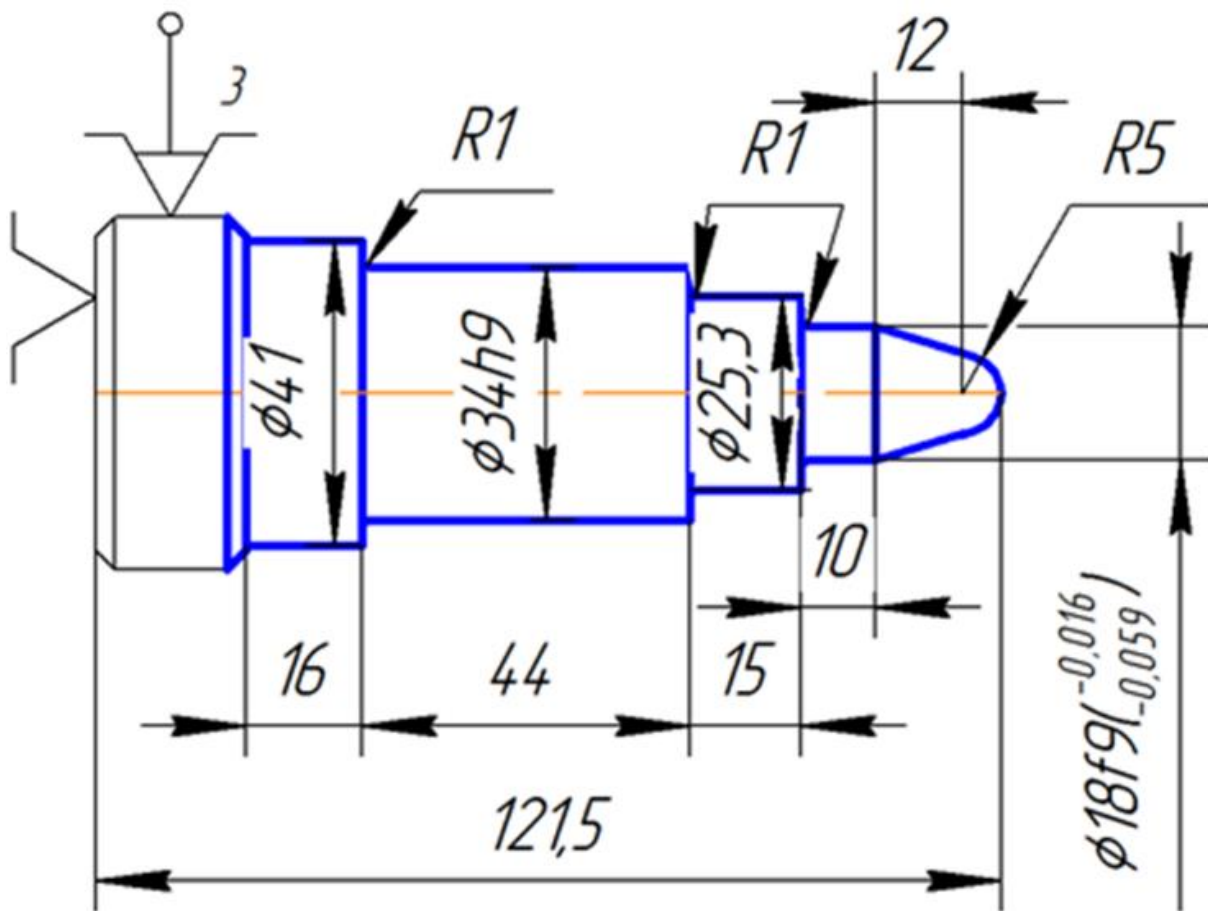


Рисунок 1 – Эскиз детали

В нашей работе проведен сравнительный анализ:

- Компас 3D Модуль ЧПУ;
- MasterCAM;
- SolidCAM.

Данные системы достаточно распространены на предприятиях Санкт-Петербурга и поэтому их сравнение будет достаточно актуальным. Результаты анализа по 10 критериям представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа [2, 3]

Название САМ системы	Ascon Компас 3D Модуль ЧПУ	MasterCAM	SolidCAM
Простота используемого интерфейса	+	+	+
Простота создания 3D модели	+	-	+
Удобство моделирования обработки	-	+	+
Визуализация обработки	+	+	+
Подбор оборудования для обработки	+	+	+
Возможность автоматизированного расчета режимов резания	+	+	+
Цена	Завышена	Завышена	Средняя
Разрешение импорта 3D моделей	SolidWorks, Autodesk Inventor, Solid Edge, Creo, NX, Catia, на базе ACIS и Parasolid, станд. трансляторы STEP, IGES, STL	Alibre Design, AutoCAD, Autodesk Inventor, CATIA, Creo, KeyCreator, Rhino, Siemens NX, SOLIDWORKS, SolidEdge, SpaceClaim, на базе ACIS и Parasolid, станд. трансляторы STEP, IGES, STL и VDA.	Unigraphics, Pro/E, Inventor, Solid Edge, Cadkey, на базе ACIS и Parasolid, станд. трансляторы STEP, IGES, STL и VDA.
4 и 5 осевая обработка	-	+	+
Возможность программирования нескольких установов одновременно	-	+	+

Главным для производства является объективный выбор программного обеспечения, который включает в себя: возможности и соотношение цена/качество.

Исходя из данных таблицы и наблюдений, был сделан вывод, что для импортозамещения и повышения конкурентоспособности и производительности необходимо совершенствовать отечественный программный продукт по следующим направлениям:

- совершенствование интерфейса;
- расширение возможностей импорта 3D моделей
- добавление возможности одновременного программирования нескольких установов;
- добавление 4 и 5 осевой обработки;
- добавление постпроцессоров;
- уменьшения стоимости.

Библиографический список

1. Эдуард Берлинер «Актуальность применения САПР в машиностроении» учеб. Машиностроение – 2020 – С.140.
2. Каталог и гид по выбору CAD/CAM: [Электронный ресурс], 2015-2019. URL: http://planetacam.ru/choice/?PAGEN_2=3
3. Модуль ЧПУ. Токарная обработка [Электронный ресурс] — URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/application/machinery/module-chpu/> (дата обращения: 18.04.2021).

© Казамаев А. В., Карпунин Д. В., 2022

УДК 778.64

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 3D ТЕХНОЛОГИЙ НА ПРИМЕРЕ ОПТИМИЗАЦИИ БЛОКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ КЛАПАНОВ

Д. О. Степанов*, М. Д. Калинин

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.29

*E-mail: stepanov.vvv00@mail.ru

В данной статье рассматривается перспективное решение по оптимизации блока гидравлического клапана с использованием 3D технологий, приведены данные, которые показывают эффективность данной оптимизации.

Ключевые слова: блок гидравлического клапана, 3D технологии, машиностроение, технологии SLM, аддитивные технологии, оптимизация, инновационные технологии.

THE EFFECTIVENESS OF USING 3D TECHNOLOGIES ON THE EXAMPLE OF OPTIMIZING THE HYDRAULIC VALVE BLOCK

D. O. Stepanov*, M. D. Kalinin

St. Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, 195251, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29

*E-mail: stepanov.vvv00@mail.ru

This article discusses a promising solution for optimizing the hydraulic valve block using 3D technologies, and provides data that show the effectiveness of this optimization.

Keywords: hydraulic valve block, 3D technologies, mechanical engineering, SLM technologies, additive technologies, optimization, innovative technologies.

Инновационные технологии металлообработки в промышленной сфере занимают одну из главных позиций, вытесняя устаревшие, но прочно закрепившиеся классические технологии. Технологии 3D-печати, являются драйверами в машиностроении и позволяют сократить как временные, так и материальные издержки.

Аддитивные технологии открывают новые перспективы для промышленных организаций и позволяют воссоздать и реализовать самые необычные и новаторские конструкторские проекты, которые позволят более эффективно использовать рабочее время и материалы изготовления. Аддитивные технологии позволяют существенно снизить массу гидравлических блоков и создать внутренние каналы почти любой формы, однако данные технологии в нынешнее время обходятся дорого.

Селективное лазерное плавление – наиболее распространенная аддитивная технология печати металлами. Данная технология находит применение в различных отраслях, таких как: в авиакосмической, автомобильной и нефтегазовой промышленности, машиностроении, медицине, ювелирном деле, а также в науке.

Для изготовления экономичного и надежного блока гидравлических клапанов, исследовательские центры VTT и Nurmi Cylinders использовали технологию 3D-печати. С

помощью 3D-принтера, удалось обновить и улучшить дизайн, который позволил оптимизировать конструкцию, сократить повторные процессы с целью получения нужного результата и снижение затрат за счёт возможности воспроизводства изделия небольшими партиями.

Изготовленная конструкция нового блока гидроклапанов достигла оптимизации за счёт использования технологии селективного лазерного плавления (SLM). С ещё помощью, удалось достичь экономии материала для изготовления изделия, веса конструкции и её объема. В конечном результате, при совместно работе исследовательских центров, удалось снизить вес изделия на 66% по сравнению с исходной моделью.

Блок клапанов применяется, к примеру, в кранах для регулирования гидравлических цилиндров, работающих под действием давления гидравлической жидкости, поэтому снижение веса конструкции, значительно скажется как на экономических показателях, так и на технико-эксплуатационных.

Так же, благодаря 3D-печати можно оптимизировать внутренние каналы блока клапанов, что позволит сэкономить в первую очередь материал, размеры изделия и решить проблемы утечки, так как будет исключена традиционная технология сверления.

Рассмотрим сам процесс оптимизации блока гидроклапанов. Сначала компании произвели топологическую оптимизацию. Это процесс изменения конструкции, структуры детали и ее варьирующихся параметров при заданном критерии оптимальности с сохранением или улучшением ее функционала. На которой были выявлены недостатки блока гидравлических клапанов (Рисунок 1). Программное обеспечение для топологической оптимизации не строит модель объекта с нуля. В него загружается геометрическая модель изделия, ранее изготовленного другим методом.

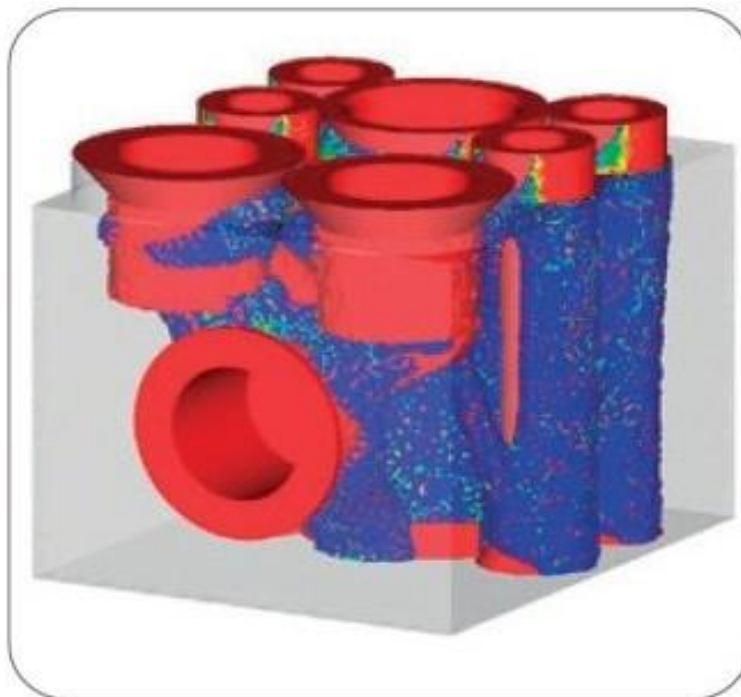


Рисунок 1 - Результат топологической оптимизации.

Далее загружается модель и отмечаются места (зоны), которые не подлежат изменению. Все остальное, что не попало в зоны, но принадлежит детали, является так называемой design space, то есть той зоной, где программа может менять геометрию. После чего, производится работа по исправлению полигональной сетки (Рисунок 2).

Полигональная сетка - представляет собой набор вершин, ребер и граней, которые определяют форму многогранного объекта в трехмерной компьютерной графике.

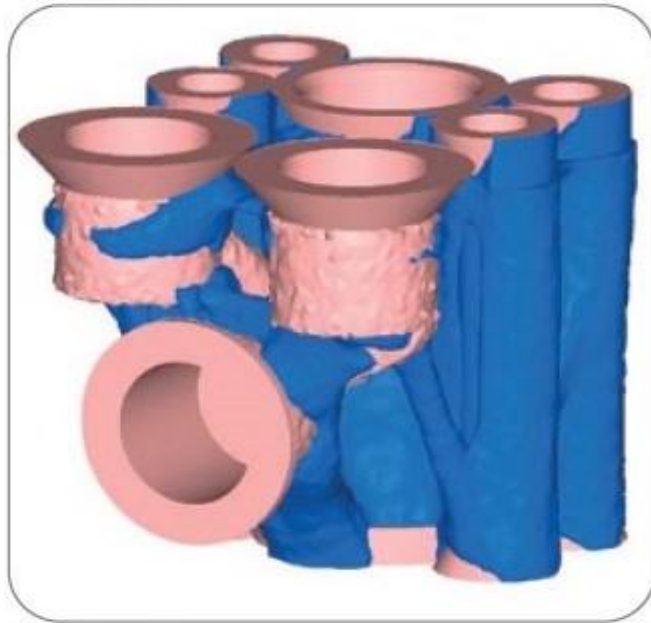


Рисунок 2 = Результат интерпретации и исправления полигональной сетки.

Затем, в соответствии со служебным назначением изделия накладываются нагрузки, которые деталь должна выдерживать, то есть создается силовая схема нагрузок. И далее, на основе заданных параметров, программа начинает создавать новую оптимизированную геометрию. Между двумя неизменными местами для крепления она выстраивает новую модель. Она анализирует напряжение в каждом сечении – выдерживает его сечение или нет. Если не выдерживает, то программа меняет сечение (Рисунок 3).

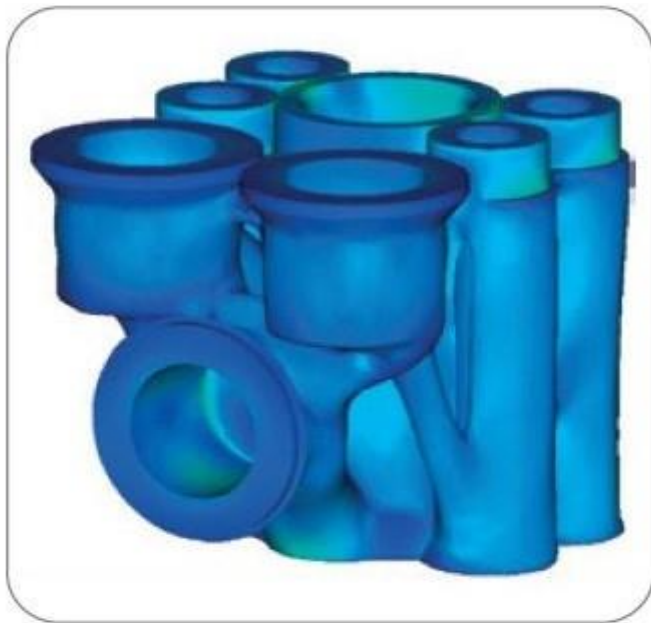


Рисунок 3 - Анализ сглаженной оптимизированной конструкции.

Далее для верификации модель загружается в другое программное обеспечение, в котором она проходит финальную проверку на максимальные деформации, напряжения и пр. Затем геометрия утверждается и может быть передана в производство. При этом программа

умеет оптимизировать геометрию под разные виды производства: под литье, штамповку, ковку или под аддитивное производство (Рисунок 4).



Рисунок 4 - Финальный CAD-файл.

После произведенной работы, можно подвести выводы по использованию аддитивных технологий для оптимизации изделия:

- Блок гидравлических клапанов изготавливается в рамках одного процесса на 3D-принтерах SLM.
- Вес нового блока на 66% меньше оригинальной конструкции.
- Экономия веса, объема и материалов.
- Благодаря инновационному дизайну решена проблема утечки.

По результатам данной статьи, можно сказать, что 3D технологии хорошо показывают себя в машиностроении. С помощью 3D-принтеров, появляется возможность изготовления металлических изделий с большей точностью и повышенной плотностью, по сравнению с устаревшими традиционными технологиями, за счёт воссоздания мелкой зернистой структуры.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://iqb.ru/>
2. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://3dtoday.ru/>
3. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://3d-daily.ru/>

© Степанов Д. О., Калинин М. Д. 2022

УДК 681.6

ОРГАНИЗАЦИЯ "БЕЗЛЮДНОГО" КОММЕРЧЕСКОГО ОСМОТРА ГРУЗОВ ЗА СЧЕТ СОЗДАНИЯ 3D МОДЕЛИ

В. В. Карнакова

Самарский государственный университет путей сообщения (филиал СамГУПС в г. Саратов),
Российская Федерация, 410004 г. Саратов Астраханская 1А.

*E-mail: vika.ice@yandex.ru

Целью данной статьи является внедрение на железнодорожном транспорте 3D технологии для организации «безлюдного» коммерческого осмотра грузов, что в дальнейшем приведет к экономической эффективности и повышению безопасности движения поездов.

Ключевые слова: безопасность движения, коммерческий осмотр, простой вагона, минимизация ошибок, железнодорожный транспорт, транспортировка.

ORGANIZATION OF A "DESERTED" COMMERCIAL CARGO INSPECTION BY CREATING A 3D MODEL

V. V. Karnakova

Samara State University of Railway Transport (branch of SamGUPS in Saratov), Russian Federation,
410004 Saratov Astrakhan 1A.

*E-mail: vika.ice@yandex.ru

The purpose of this article is to introduce 3D technology in railway transport for the organization of "deserted" commercial inspection of goods, which in the future will lead to economic efficiency and improve train safety.

Keywords: traffic safety, commercial inspection, car downtime, error minimization, rail transport, transportation.

Груженные вагоны, которые отправляются со станции, обязательно осматриваются в коммерческом отношении для выявления и устранения коммерческих неисправностей, угрожающих безопасности движения поездов и сохранности грузов. Пункты коммерческого осмотра поездов и вагонов организуются на станциях формирования поездов, станциях смены поездных локомотивов и локомотивных бригад. Работники данных находятся в штате станции и подчиняются начальнику станции. Основными работниками данного пункта являются приемщики поездов от двух до пяти человек в смену. Приемщик поездов – это специалист, который осуществляет коммерческий осмотр вагонов и поездов, а именно зрительно и другими способами определяет пригодность вагона для перевозки и надлежащей сохранности заявленного груза. В настоящее время нельзя определить без выполнения натурного осмотра поезда приемщиками поездов следующих коммерческих неисправностей [1, с.152-193]:

- погрузка груза с нарушением ТУ ЦМ- 943, в том числе несоответствие крепления груза согласованному МТУ, НТУ, эскизу;
- неполное повреждение элементов крепления груза (подкладок, растяжек, сварных швов);

- нарушение правил транспортировки опасных грузов: несоответствие тары и упаковки опасных грузов требованиям ТУ на продукцию, не соответствие нанесенных знаков опасности и номеров ООН требованиям правил перевозки опасных грузов, ГОСТу Р 57479-2017 «Грузы опасные Маркировка»;

- расхождение контрольных знаков на ЗПУ;
- несоответствие ЗПУ перевозочному документу, в т. вид/тип/номер ЗПУ не соответствует перевозочному документу;

- недостаток (срыв) ЗПУ, и других коммерческих неисправностей, согласно Классификатора коммерческих неисправностей грузовых вагонов, утвержденного распоряжением ОАО «РЖД» от 13. 2020 г. № 551р, например, количество нитей проволоочных растяжек и надежность фиксации ими перевозимого груза.

Автоматизированная система коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКОПВ) предназначена для осмотра движущегося грузового подвижного состава и находящихся на нем грузов и контейнеров с последующим сбором, обработкой, хранением и документированием полученной информации. Автоматизированное рабочее место (Видео инспектор) располагается в здании пункта коммерческого осмотра.

АСКОПВ предоставляет следующие функциональные возможности:

- визуальный контроль состояния крыш и бортов вагонов проходящего в зоне наблюдения подвижного состава;

- сохранение с возможность последующего просмотра полученных видеоизображений в ходе проведения коммерческого осмотра; при этом возможен покадровый просмотр, масштабирование в режиме стоп-кадра, просмотр с произвольной скоростью и в любом направлении;

- вывод на экран, сохранение с возможностью последующего просмотра показаний датчиков негабаритности;

- автоматическое определение и отображение на экране значения средней скорости движения вагона, состава;

- звуковая индикация начала состава и негабаритных вагонов;

- создание и вывод на печать справки о составе, в которой отображена вся информация о принятом составе;

- печать на бумажный носитель и запись на диск CD-R/RW (DVD) видеоизображения фрагментов состава из видеоархива;

- взаимодействие с ЕАСАПР М в части приема данных о составе, необходимых для проведения коммерческого осмотра, передачи данных о результатах проведения коммерческого осмотра и о состоянии технических средств;

- контроль состояния датчика вскрытия шкафа АСКОПВ, осуществление видеозаписи и информирование оператора, а также обеспечение последующего доступа к журналу срабатываний.

Все выше перечисленные функции выполняет и отслеживает приемщик груза и багажа. Порой не хватает человеческих возможностей зрения, для детального осмотра вагона. Ошибки сотрудников железнодорожного транспорта всегда критически отражаются на работе, что в дальнейшем может привести к нарушению безопасности движения поездов. Эффективность снижается, что вызывает негативную реакцию клиентов. Большинство ошибок возникает из-за влияния “человеческого фактора”. Ошибки на складе зачастую возникают из-за низкого уровня автоматизации [2, с.25]. Автоматизация — одно из направлений научно-технического прогресса, использующее саморегулирующие технические средства и математические методы с целью освобождения человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов, изделий или информации, либо существенного уменьшения степени этого участия или трудоёмкости выполняемых операций. С помощью автоматизации может происходить «безлюдное производство». Данный термин обозначает что все работы выполняет машины, а не люди. На железнодорожном транспорте необходимо разработать программно-аппаратный

комплекс, который бы позволил создавать в местах погрузки на открытый подвижной состав 3D модель высокого разрешения перевозимого груза, с последующей ее верификацией при прохождении через АСКО ПВ 3D и ППСС, что позволит автоматизировать проведение коммерческого осмотра перевозимого груза [3, с.325]. Также необходимо создание программного обеспечения по централизованному хранению, поиску и верификации 3D моделей перевозимого груза.

Потенциальный эффект от внедрения на полигоне ж/д:

- сокращение времени на осмотр вагонов;
- сокращение простоев транзитного вагона с переработкой и транзитного вагона без переработки;
- сокращение трудоемкости составления планов обработки вагонов за счет автоматизации;
- сокращения потерь от несвоевременной доставки грузов, отцепок неисправных вагонов в коммерческом отношении в пути следования.

Организация безлюдного производства приведёт к минимизации ошибок персонала, стандартизации производственных процессов, улучшению культуры производства. Всё это будет способствовать повышению конкурентоспособности и эффективности производственной деятельности. безлюдной технологии предполагает, что в течение определённого интервала времени человек должен быть максимально освобождён от подготовки, планирования и управления производством, от загрузочно-разгрузочных операций, от транспортирования заготовок, от функций наблюдения, обслуживания, управления и контроля работы оборудования. Автоматизация и робототехника сейчас играют ведущую роль в интенсификации экономики, повышении эффективности производства наряду с использованием передовых технологических процессов и технологического оборудования. Машины также могут быть сконструированы для работы в условиях, с которыми человек не может справиться. Все это приведет к дальнейшей экономической эффективности от сокращения работников железнодорожного транспорта.

Библиографический список

1. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. М.: Юртранс. 2005-544 с.
2. Лавренюк, И.В. Автоматизированные системы управления на железнодорожном транспорте : учеб. пособие / И.В. Лавренюк . – Москва : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. – 242 с. – ISBN 978-5-89035-999-5
3. Голицына, О.Л. Информационные технологии: Учебник / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, Т.Л. Партыка, И.И. Попов. - М.: Форум, ИНФРА-М, 2013. – 608

© Карнакова В. В., 2022

УДК 67.02

АКТУАЛЬНОСТЬ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

О. В. Крашенинникова*

Научный руководитель – В. Г. Сидоров

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: olesya.krash@mail.ru

В данной работе будут рассматриваться преимущества, предоставляемые 3D-печатью работникам машиностроительной отрасли, задачи, которые можно решать с помощью 3D-печати и примеры применения 3D-печати в машиностроении.

Ключевые слова: преимущества 3D-печати, применение 3D-печати в машиностроении, возможности 3D-печати.

THE RELEVANCE OF 3D TECHNOLOGIES IN MECHANICAL ENGINEERING

O. V. Krasheninnikova*

Scientific supervisor – V. G. Sidorov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: olesya.krash@mail.ru

In this paper, we will consider the advantages provided by 3D printing to employees of the machine-building industry, tasks that can be solved using 3D printing and examples of the use of 3D printing in mechanical engineering.

Key words: advantages of 3D printing, application of 3D printing in mechanical engineering, 3D printing capabilities.

После разработки 3D-оборудования стали появляться новые возможности в отрасли машиностроения. В большинстве направлений аддитивные технологии начали быстро отводить на второй план традиционные методы производства.

Именно благодаря внедрению 3D технологий, в машиностроении создаются условия, позволяющие быстро решать разнообразные задачи, а что самое главное эффективно и качественно. Среди которых можно перечислить следующие: создание более современных систем и их элементов; разработка новых прототипов моделей; изготовление новых компонентов, например, моделей или образцов; осуществление ремонта машиностроительной техники; замена старых деталей на новые.

У 3D-печати есть много преимуществ, которые она предоставляет машиностроителям. Во-первых, 3D-печать снижает вероятность возможности допущения ошибок, которые могут быть совершены невнимательным человеком, а иногда даже полностью устраняет их, что в последствии приводит к большей точности и высокому качеству производимых на предприятиях изделий. Во-вторых, 3D-печать сократила сроки производства. Весь процесс может занимать несколько часов, в то время как производство по традиционным методам – недели или месяцы. В-третьих, 3D-печать, с помощью смешивания разных расходных материалов, дает возможность управления над физико-механическими свойствами компонентов и даже целых систем; а также с помощью 3D-оборудования снижается

себестоимость продукции, улучшаются ее параметры, а также улучшаются характеристики многих изделий и их возможности.

Свои возможности и эффективность 3D-оборудование доказало на практике тем, что с помощью них производство более качественных и менее дорогих по себестоимости изделий стало возможным и в машиностроении. Раньше традиционные технологии не могли позволить сделать компоненты, которые имели сложную конфигурацию. Производителям раньше приходилось довольствоваться намного более сложными и дорогими приборами, но при этом не всегда с ожидаемым и качественным результатом. Эту проблему как раз таки и решила 3D-печать, позволив изготавливать детали с различной степенью сложности геометрии [1].

Задач, которые стало возможно решать с помощью современных технологий 3D-печати, со временем становится больше, но это так же зависит и от развития технологий в машиностроении. Прежде всего, новые технологии расширяют возможности для инженеров разработчиков и инженеров машиностроительной отрасли. С помощью нового 3D оборудования на сегодняшний день стало намного проще решать проблемы во время создания образцов для производства, а также изготовления полноценных изделий. Благодаря 3D-печати теперь продукцию можно получать в разы быстрее и на намного более качественнее [2].

Из плюсов 3D-оборудование можно выделить то, что оно может позволить создавать тестовые модели еще до начала серийного производства, а так же осуществлять предварительное тестирование для проверки всех необходимых характеристик, чтобы машиностроители могли заранее заменить возможные дефекты и вовремя устранить их. Новое 3D-оборудование позволяет машиностроителям создавать детали, которые обладают свойствами, необходимыми для обеспечения надежной работы оборудования на предприятиях. 3D-печать позволяет изготавливать изделия, которые сразу будут готовы к эксплуатации, такими изделиями являются детали и запчасти для ремонта, компоненты различных механизмов, или же компоненты различных двигателей.

Примером применения 3D-оборудования является разработка улучшенной системы воздушного охлаждения для двигателя машины. Авиастроение тоже является отраслью, в которой стали широко применяться 3D-принтеры, на данный момент инженеры разрабатывают версию сопла для вытяжной системы из жаростойкого и прочного пластика. После разработки такой детали, производители смогут повысить качество компонентов, при этом уменьшив себестоимость продукции и сократив сроки производства [3].

Можно сделать вывод, что внедрение в машиностроительную отрасль технологии 3D-печати, автоматизация производственных процессов повышает эффективность предприятия и его конкурентоспособность. Благодаря 3D-принтеру существенно облегчается труд работников машиностроительной отрасли потому, что выполнение трудоемких процессов, связанных с производством деталей, постепенно сокращается или становится легче.

Библиографический список

1. Возможности 3D-печати в производстве [Электронный ресурс] / URL: <https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/3d-pechat-i-melkoseriynoe-proizvodstvo/> (дата обращения 20.09.2022).
2. Аддитивные технологии и 3D-сканирование. [Электронный ресурс] / URL: <https://additiv-tech.ru/publications/additivnye-tehnologii-i-3d-skanirovanie-v-mashinostroenii-7-istoriy-uspeha.html> (дата обращения 21.09.2022).
3. Примеры применения 3D-печати. [Электронный ресурс] / URL: <https://3dtoday.ru/industry/20-primerov-primeneniya-3d-pechati.html> (дата обращения 20.09.2022).

УДК 51-74

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ТАБЛИЧНО-МАТРИЧНОЙ НОРМАЛИЗАЦИИ КРИТЕРИЕВ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА МАТЕРИАЛА КОРПУСА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА С МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫМ ПОКРЫТИЕМ

А. В. Купряшов*, А. В. Пронин
Научный руководитель – И. Я. Шестаков

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: KupryashovAndrey@yandex.ru

С помощью конечно-элементного моделирования и метода таблично-матричной нормализации критериев решена задача выбора оптимального варианта материала корпуса космического аппарата с нанесённым на внешнюю поверхность многофункциональным покрытием.

Ключевые слова: метод конечных элементов, расчёт прочности, численное моделирование, 3D технология.

APPLICATION OF THE METHOD OF TABULAR-MATRIX NORMALIZATION OF CRITERIA FOR THE OPTIMAL CHOICE OF SPACECRAFT BODY MATERIAL WITH APPLIED MULTIFUNCTIONAL COATING

A. V. Kupriashov*, A. V. Pronin
Scientific supervisor - I. Y. Shestakov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: KupryashovAndrey@yandex.ru

With the help of finite element modeling and the method of tabular-matrix normalization of criteria, the problem of choosing the optimal variant of the spacecraft body material with a multifunctional coating applied to the outer surface was solved.

Keywords: finite element method, strength calculation, numerical modeling, 3D technology.

Актуальной задачей в проектировании современной ракетно-космической техники является проблема выбора материала, из которого изготавливается корпус космического аппарата. Необходимо проведение совместного численного исследования устойчивости, прочности и динамического поведения цилиндрических оболочек из ортотропных материалов (композитов), с помощью точных математических моделей механического деформирования, эффективных способов расчета и специального программного обеспечения, а после при помощи математических методов анализа определить наилучший вариант исполнения.

Прочностные расчёты цилиндрических оболочек выполнялись с использованием конечно-элементного анализа. Основой конечно-элементной модели является геометрическая модель - цилиндрическая оболочка (рис. 1 а), конечно-элементная модель которой создана в программном комплексе *Femap with Nastran NX*. Размеры оболочки для всех вариантов исполнения одинаковы: диаметр $d = 1$ м, длина $l = 2$ м, толщина $t = 0,001$ м. На внешней поверхности оболочки смоделирован слой специального защитного

многофункционального покрытия, толщиной 5 мм. Задача решается для случая, когда один край которой жёстко закреплён, а к другому краю прикреплен абсолютно жёсткий диск. На абсолютно жёсткий диск действует сжимающая сила $P=1000 \text{ Н}$. Схема нагружения: оболочка имеет жёсткий элемент, к нему приложена сила P по оси Z (рис. 1 б).

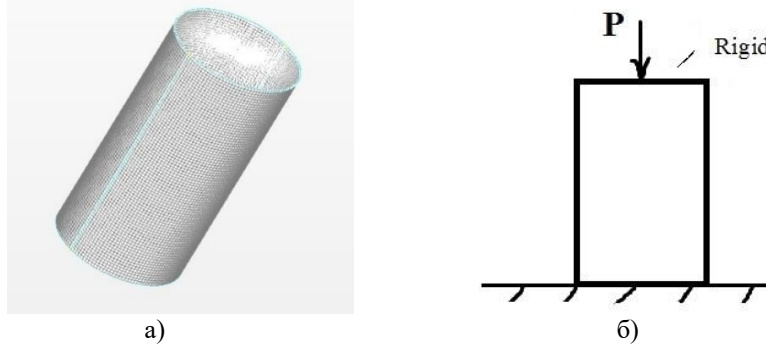


Рисунок 1 – Исходные данные исследования: а) конечно-элементная модель цилиндрической оболочки с граничными условиями; б) схема нагружения

Физико-механические свойства однонаправленных композитов представлены в таблице 1, исходя из источников [1-3].

В табл.1 сведены основные свойства современных материалов композитов [1, 2], используемых для изготовления различных корпусных изделий.

Таблица 1

Свойства однонаправленных композитов

Характеристика	Стеклопластик	Органопластик	Углепластик	Боропластик	Бороалюминий
$E_1, \text{ГПа}$	57	180	72	210	230
$E_2, \text{ГПа}$	9.0	6.2	4.9	19	140
$G_{12}, \text{ГПа}$	5.2	5.0	2.0	6.2	63
μ_{21}	0.26	0.21	0.28	0.21	0.23
$\rho, \text{кг/м}^3$	2100	1500	1380	2000	2640

Здесь E_1 и E_2 – модули упругости соответственно вдоль и поперёк волокон; G_{12} – модуль сдвига, μ – коэффициент Пуассона, ρ – плотность материала.

В данной работе проведены статический и модальный анализы, а также анализ на устойчивость, для определения уровня деформирования.

Результатами линейного статического анализа являются перемещения узлов изделия, реакции в связях, напряжения, деформации и внутренние усилия в элементах модели корпуса. Результатом модального анализа является получение динамических свойств конструкции – собственных частот и форм колебаний.

При осевом сжатии цилиндрическая оболочка может сохранять свою первоначальную цилиндрическую форму лишь при определенных значениях напряжений, меньших так называемого критического напряжения ($P_{кр}$). Определение $P_{кр}$ является основной целью анализа на устойчивость. На рис. 3 представлены результаты исследования.

Результаты исследования значения перемещения узлов и критическое напряжение для каждого материала внесены в сводную табл. 2.

Таблица 2

Верификация результатов исследования

Характеристика	Стеклопластик	Органопластик	Углепластик	Боропластик	Бороалюминий
$t, \text{мм}$	71	103	130	33.5	4.55
$f, \text{Гц}$	39.975	57.352	42.62	63.888	101.942
$l, \text{м} \cdot 10^{-2}$	59.6	69.7	73.2	60.5	53.4
$P_{кр}, \text{кН} \cdot 10^{-1}$	7.13	8.298	3.851	12.285	66.19
$b, \text{мм}$	20.7	14.4	15.6	16.4	15.1

$m, кг$	13.193	9.424	8.67	12.565	16.586
---------	--------	-------	------	--------	--------

Здесь t – значение максимального деформирования при статическом анализе; f – первая частота собственных колебаний; l – величина деформирования при модальном анализе; $P_{кр}$ – критическое напряжение; b – величина деформирования при анализе на устойчивость; m – масса.

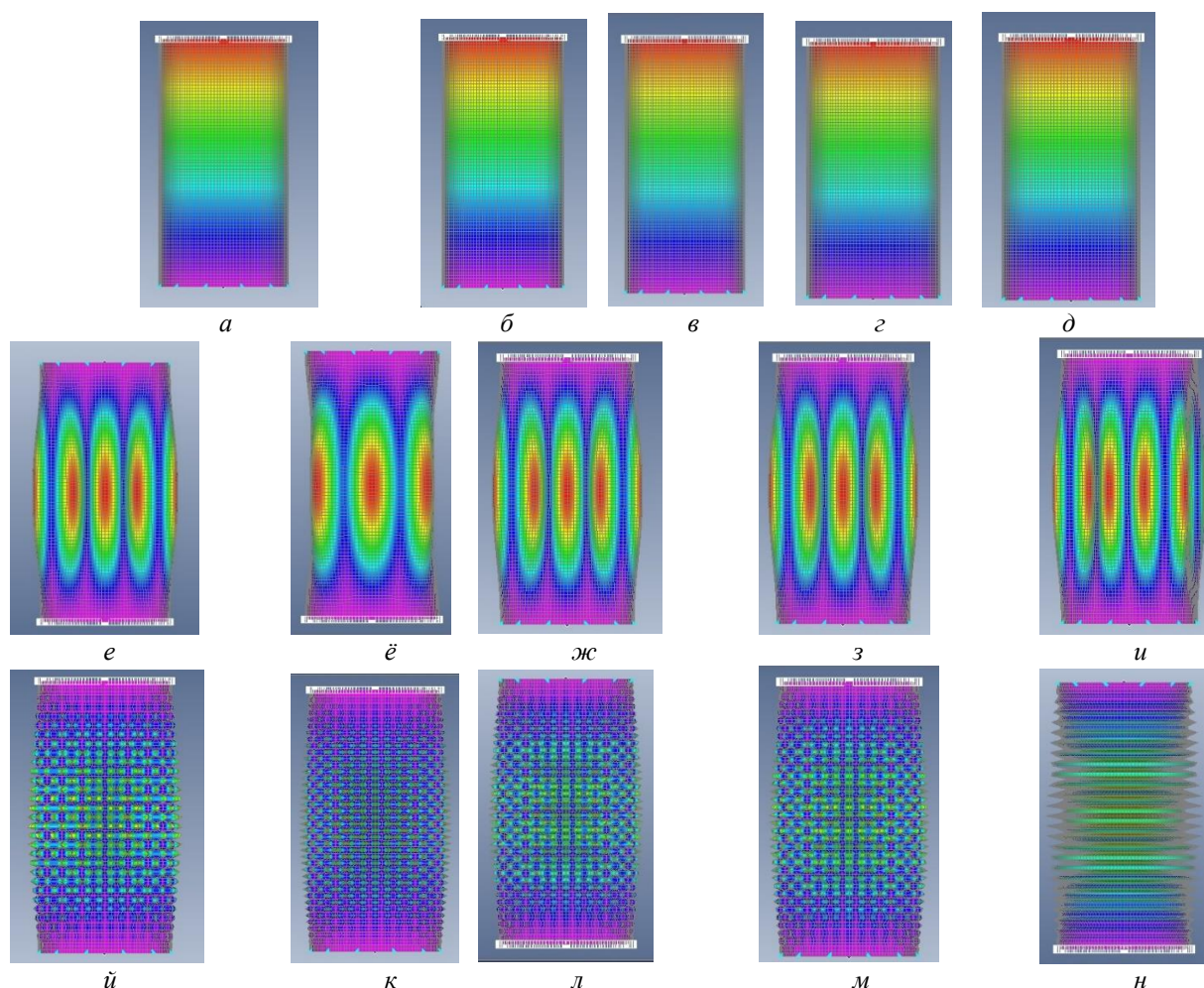


Рисунок 3 – Отображение результатов исследования - Деформированное состояние оболочки при статическом анализе: а – стеклопластик; б – органопластик; в – углепластик; г – боропластик; д – бороалюминий;

Первая форма колебаний оболочки: е - стеклопластик; ё – органопластик; ж – углепластик; з – боропластик; и – бороалюминий; Осесимметричная форма потери устойчивости: й – стеклопластик; к – органопластик; л – углепластик; м – боропластик; н – бороалюминий

Построим графики зависимости значений перемещений, критического напряжения, частот собственных колебаний и массы для разных материалов исполнения композитной цилиндрической обечайки (рис. 4).

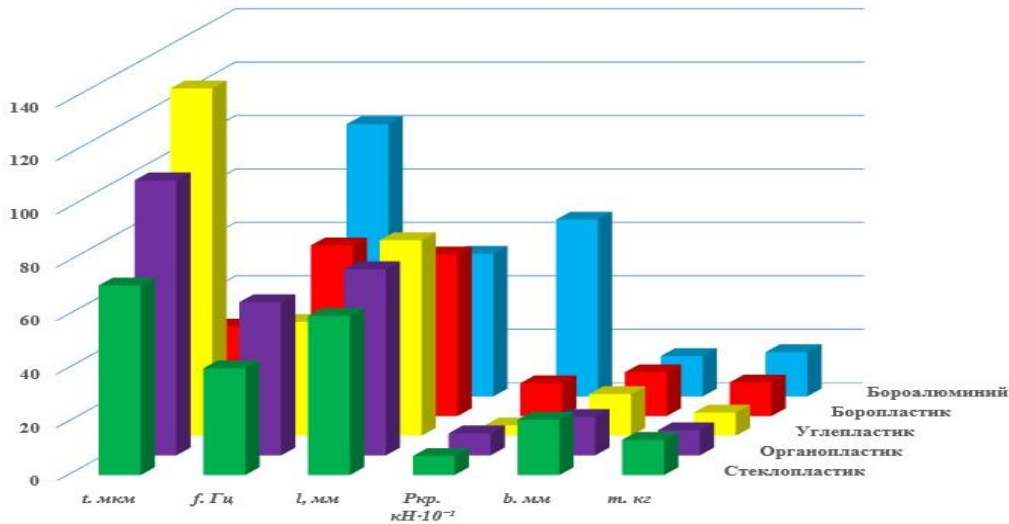


Рисунок 4 – График зависимостей для разных материалов композитной цилиндрической обечайки

График представленный на рис. 4 наглядно показывает, что аналитическим (гистограммным) методом практически невозможно решить поставленную задачу. Поэтому для определения оптимального материала исполнения цилиндрической композитной оболочки необходимо применять математический метод таблично-матричной нормализации критериев. Суть метода сводится к последовательности процедур, с помощью которой все критерии приводятся к единому, безразмерному масштабу измерений [4].

Обозначим U_{ij} оценку i -й альтернативы по j -му критерию. Пусть оценки альтернатив по критериям имеют различные размерности. Введём обозначение $\hat{U}_j = \max_i(U_{ij})$ – максимальное значение j -го критерия по каждой альтернативе, а $\check{U}_j = \min_i(U_{ij})$ – минимальное значение j -го критерия по альтернативам. Тем самым, вводятся нормализованные оценки альтернатив по критериям.

В случае максимизации критериев из каждого элемента столбца матрицы U_{ij} вычитается минимальный элемент данного столбца и результат делится на разницу между максимальным и минимальными элементами этого столбца:

$$u_{ij} = \frac{U_{ij} - \check{U}_j}{\hat{U}_j - \check{U}_j} \quad (1)$$

В случае минимизации критериев нормализованные оценки рассчитываются:

$$u_{ij} = \frac{\hat{U}_j - U_{ij}}{\hat{U}_j - \check{U}_j} \quad (2)$$

В результате нормализации ведётся максимизация или минимизация критерия, альтернатива, имеющая наилучший индекс показателя по любому критерию, получает оценку 1, наименее имеет оценку 0, а остальные альтернативы имеют промежуточные оценки от 0 до 1 пропорционально их ценности между показателями наилучшей и наихудшей альтернатив [4]. Функции полезности каждой альтернативы F_i с нормализованными показателями ценности определяются по формуле:

$$F_i = \sum_{j=1}^k u_{ij} \cdot W_j \quad (3)$$

где W_j – веса критериев, $i=1, 2, \dots, n$.

Выбирается та альтернатива, для которой функция полезности максимальна.

Вес критериев определим относительно важности при выборе требований, предъявляемых к тонкостенным цилиндрическим оболочкам в ракетно-космической области, на основе работ [1, 3] и занесём данные в табл. 3. Важнейшую роль в выборе композиционного материала в ракетно-космической отрасли играет масса конструкции ($W=10$) [3].

Таблица 3

Значение веса критериев		
№	Критерии	Вес W_j
1	t	5
2	f	6
3	l	2
4	$P_{кр}$	8
5	b	3
6	m	10

Исходные данные для анализа представлены в табл. 4. Данные имеют разные размерности, поэтому необходимо провести нормализацию.

Таблица 4

Исходные данные для выбора оптимального варианта исполнения						
Материал	Критерии (матрица U_{ij})					
	t , мкм	f , Гц	l , мм	$P_{кр}$, кН·10 ⁻¹	b , мм	масса, кг
Стеклопластик	71	39.975	59.6	7.13	20.7	13.1933
Органопластик	103	57.352	69.7	8.298	14.4	9.424
Углепластик	130	42.62	73.2	3.851	15.6	8.67
Боропластик	33.5	63.888	60.5	12.285	16.4	12.565
Бороалюминий	4.55	101.942	53.4	66.19	15.1	16.586
ВЕС	5	6	2	8	3	10

Самый важный критерий (масса) минимизируется (1). Поэтому от максимального элемента каждого столбца матрицы выигрышей отнимаем каждый элемент этого столбца и делим данное число на разность между максимальным и минимальным элементами столбца. Второй критерий (значение максимального деформирования при статическом анализе) максимизируется, поэтому проводим обратные итерации (2). И так для каждого критерия. В результате получим матрица рисков, которая оформлена в виде табл. 5.

Таблица 5

Матрица рисков						
Материал	Нормализованные критерии (матрица u_{ij})					
	t , мкм	f , Гц	l , мм	$P_{кр}$, кН·10 ⁻¹	b , мм	масса, кг
Стеклопластик (I)	0.470	0.000	0.687	0.053	0.000	0.429
Органопластик (II)	0.215	0.280	0.177	0.071	1.000	0.905
Углепластик (III)	0.000	0.043	0.000	0.000	0.810	1.000
Боропластик (IV)	0.769	0.386	0.641	0.135	0.683	0.508
Бороалюминий (V)	1.000	1.000	1.000	1.000	0.889	0.000

Теперь можно вычислить функции полезности по каждой альтернативе (3). В результате, рассчитанные с учетом весов функции полезности равны:

$$F_I = 8.432 ; F_{II} = 15.73 ; F_{III} = 12.685 ; F_{IV} = 15.654 ; F_V = 23.667 .$$

В результате анализа видно, что альтернатива V: изготовление цилиндрической оболочки из композитного материала – бороалюминий наилучшая, так как ее функция полезности максимальна.

Проведённые исследования позволяют разработать и спроектировать необходимую конструкцию корпуса космического аппарата. Материалы исследования могут быть

внедрены при разработке новой космической техники, с целью повышения весовой эффективности космического аппарата, его эксплуатационных показателей и надёжности.

Библиографический список

1. Бондалетова Л.И. Полимерные композиционные материалы (часть 1): учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013 – 118 с.
2. Скворцов Ю.В. Механика композиционных материалов: конспект лекций / Самарский гос. аэрокосмич. ун-т. Самара, 2013. 94 с.
3. Малыхин В.И. Математические методы принятия решений: учебное пособие / В.И. Малыхин, С.И. Моисеев. Воронеж: ВФ МГЭИ, 2009. 102 с.
4. Межин В.С. Практика применения модальных испытаний для целей верификации конечно-элементных моделей конструкций изделий ракетно-космической техники / В.С. Межин, В.В. Обухов. Королёв: Космическая техника и технологии. 2014. №1. с. 86-91.

© Купряшов А. В., Пронин, А. В., 2022

УДК 658.512.26

ОСОБЕННОСТИ НАЛОЖЕНИЯ СВЯЗЕЙ И ОГРАНИЧЕНИЙ В ЭСКИЗЕ РАЗЛИЧНЫХ САПР

А. В. Лебедев

Научный руководитель - А. А. Федорова

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Российская Федерация, 428015,
Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский пр-т, д. 15
E-mail: yutyrit@inbox.ru

В статье рассматриваются особенности наложения связей и ограничений в эскизе различных САПР. Авторами выделены основные виды связей и ограничений, их применение в различных САПР.

Ключевые слова: Связи, САПР, Наложения, Ограничения.

FEATURES OF APPLICATION OF RELATIONSHIPS AND LIMITATIONS IN THE SKETCH OF VARIOUS CAD

A. V. Lebedev

Scientific adviser - A. A. Fedorova

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Russian Federation, 428015, Chuvash Republic,
Cheboksary, Moskovsky Ave, 15
*E-mail: yutyrit@inbox.ru

The article discusses the features of imposing links and restrictions in the sketch of various CAD systems. The authors identified the main types of links and restrictions, their application in various CAD systems.

Keywords: Links, CAD, Overlays, Constraints.

Наложение геометрических ограничений – это способ работы с недоопределенными моделями, контурами, эскизами [1]. Это дает возможность параметризовать размеры и легко корректировать модели при необходимости внесения корректировок изготавливаемой продукции. Применение САПР имеет важную роль в современных машиностроительных предприятиях, и при этом каждое из них имеет свои положительные и отрицательные стороны [2]. Предприятия используют САПР трех уровней: верхний, средний и нижний [3]. Примером нижнего уровня является КОМПАС-3D, AutoCad, среднего – Solid Edge, IronCad и верхнего – NX, Catia. Часто работнику предприятия необходимо работать в нескольких САПР или переходить на другое ПО, например, при импортозамещении. Целью работы является сравнение особенности наложения связей и ограничений в эскизе различных САПР для оценки быстрого перехода пользователя с одного ПО на другое. Были поставлены задачи: рассмотреть связи (ограничения) в среде эскизирования САПР трех уровней: Solid Edge, NX и КОМПАС-3D, затем найти отличия в связях, рассматриваемых САПР и привести особенности наложения связей (ограничений) на примере.

На рисунках 1 – 3 показаны типы ограничений, применяемых в КОМПАС-3D, Solid Edge и NX.

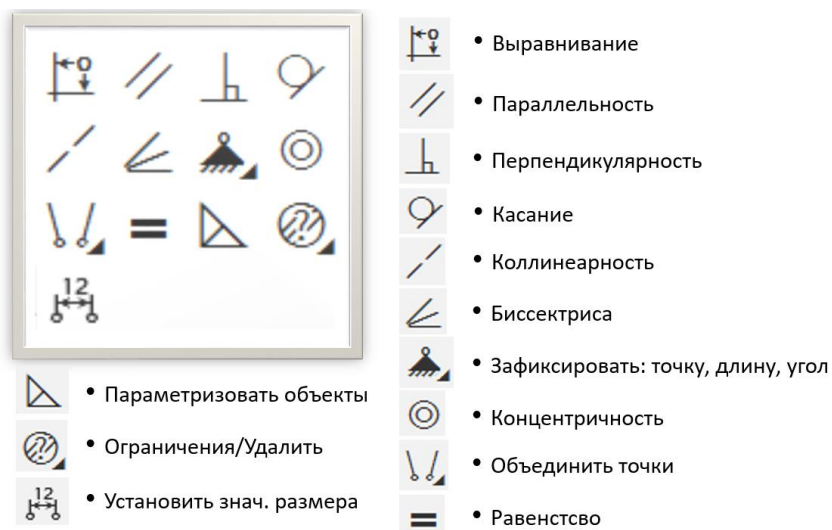


Рисунок 4 – Связи в КОМПАС-3D

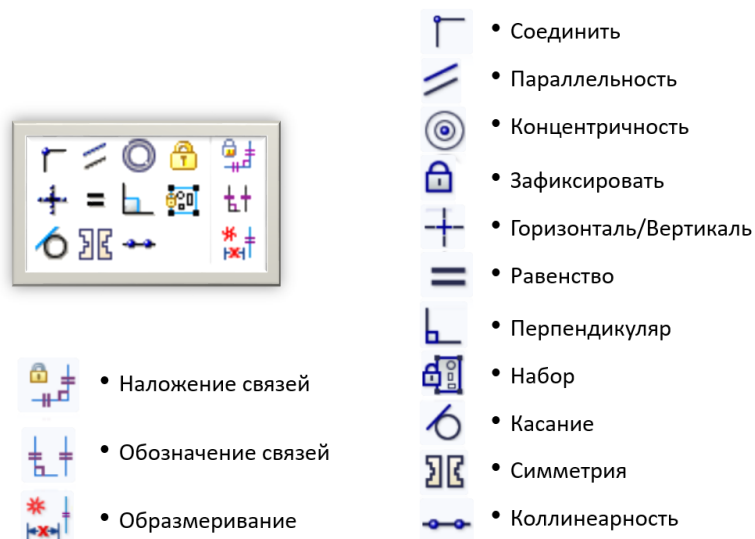


Рисунок 2 – Связи в Solid Edge

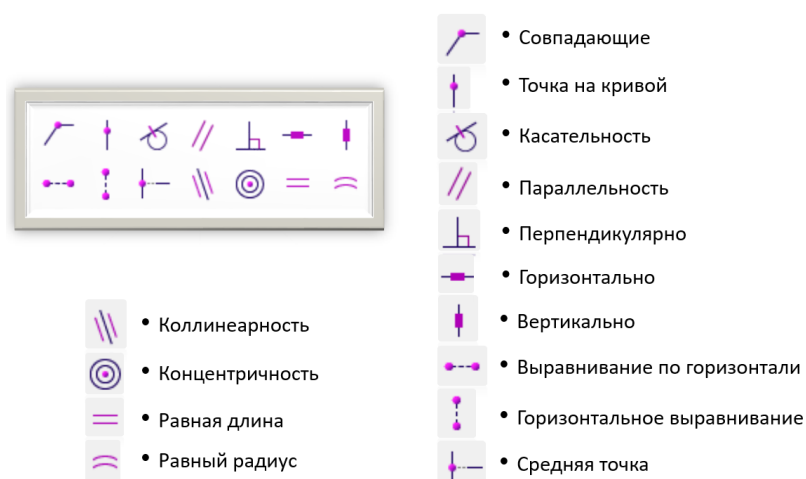


Рисунок 3 – Связи в NX

Проведя анализ ограничений в различных САПР были выделены следующие особенности:

- Ограничения “Равенство” в SOLID EDGE и в КОМПАС-3D схожи (включает в себя равенство как прямолинейных, так и криволинейных объектов, в то время как в NX,

оно состоит из двух частей (для прямолинейных объектов – “Равная длина”, для криволинейных – “Равный радиус”).

- Связи “Горизонтально”, “Вертикально”, “Выравнивание по горизонтали”, “Вертикальное выравнивание” в NX накладываются отдельно, в то время как в SOLID EDGE и КОМПАС-3D для этого используется ограничение “Горизонталь/Вертикаль” (SOLID EDGE) и “Выравнивание” (КОМПАС-3D), объединяющее вышеперечисленные связи.
- Связь “Биссектриса” (создание вспомогательной прямой в качестве биссектрисы) и “Параметризовать” объекты, позволяющей создавать зависимости между ними, есть только в КОМПАС-3D (Рисунок 4).
-

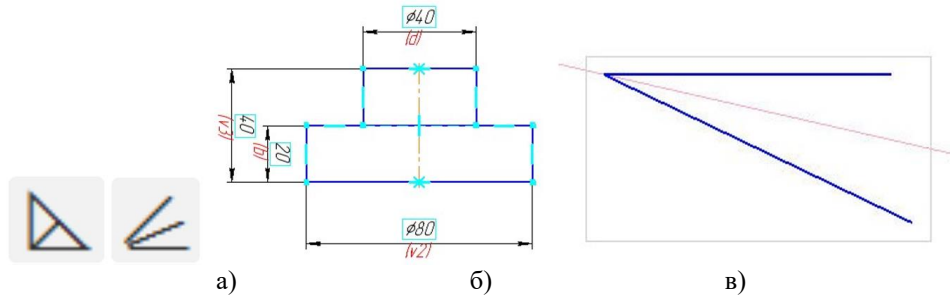


Рисунок 4: а) – Иконки связей “Параметризовать” и “Биссектриса” в КОМПАС-3D, б) – пример использования связи “Параметризовать” в КОМПАС-3D, в) – пример использования связи “Биссектриса” в КОМПАС-3D

- Функция “Симметрия” (делает объекты равными и равноудаленными от оси симметрии) присутствует как связь только в SOLID EDGE, а в КОМПАС-3D есть возможность сделать две точки равноудаленными с помощью “Симметрия двух точек”.

Затем для сравнения был выполнен одинаковый эскиз в рассматриваемых САПР, при этом были выделены некоторые особенности.

- Для Solid Edge в синхронной модели характерно подкрашивание замкнутой области, изменение цвета геометрии при полной фиксации эскиза (при включении соответствующей команды) (Рисунок 5).

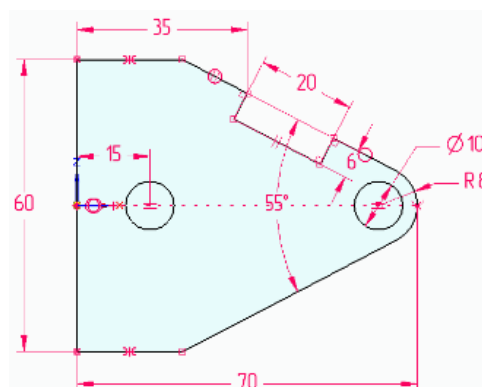


Рисунок 5 – Пример эскиза, выполненного в Solid Edge

- Для NX характерно отсутствие неактивных размеров при полной фиксации эскиза, а также необходимость использования других связей вместо связи “Симметрия” (Рисунок 6). Имеются связи, не встречающиеся в КОМПАС-3D и Solid Edge, например, такие как “Точка на цепочке”, “Постоянный угол”.

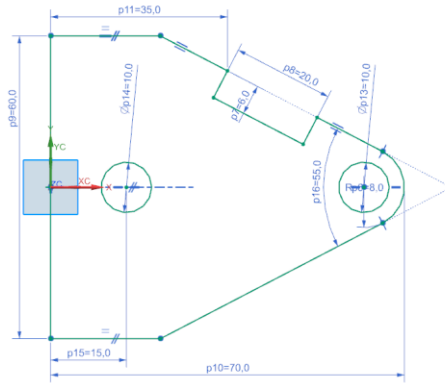


Рисунок 6 – Пример эскиза, выполненного в NX

- Для Компас-3D была выделена особенность исключения отображения степеней подвижности (отображаемых в виде стрелок в подвижных точках) при полной фиксации эскиза (Рисунок 7). А также в основном наложение связей и размеров на точки, а не на линии.

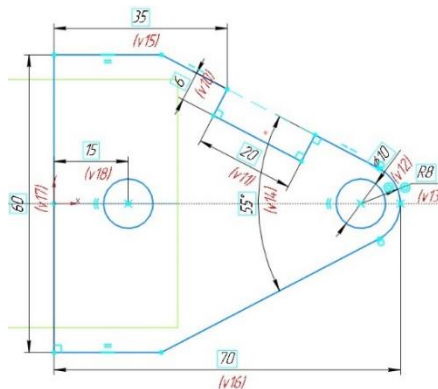


Рисунок 7 – Пример эскиза, выполненного в КОМПАС-3D

У каждого САПР есть некоторые особенности наложения ограничений, проявляющиеся при проектировании различных изделий, но в целом набор связей идентичен. Следовательно, пользователь может легко адаптироваться к любой системе, будь то САПР верхнего или нижнего уровня. Было подмечено, что для САПР верхнего уровня характерна конкретизация и большое разнообразие связей, не встречающихся в САПР среднего и нижнего уровней, а для САПР же нижнего уровня, отличительной особенностью является наложение связей и размеров в основном на характерные точки.

Библиографический список

1. Копорушкин П. А. Проблемы расчета систем уравнений недоопределенных параметрических моделей //Современные проблемы теории машин. – 2016. – №. 4-2. – С. 34-36.
2. Митрофанов А. Н. Сравнительный анализ систем автоматизированного проектирования изделий машиностроения //Дневник науки. – 2020. – №. 9. – С. 13-13.
3. Большаков В. П., Бочков А. Л., Чагина А. В. Информационная среда для обучения пользователей САПР геометрическому моделированию //Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2013. – №. 4. – С. 99-106.

© Лебедев А. В., 2022

УДК 21474

ТРЕХМЕРНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ КОНСТРУИРОВАНИЯ МОДЕЛИ В КАЖДОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЕ

А. Ш. Липинский, М. И. Цыганков

Научные руководители - Е. Н. Ступаков, И. Е. Мельникова

КГА ПОУ «Ачинский техникум нефти и газа имени Е. А. Демьяненко»

Российская Федерация, 662150, г. Ачинск, ул. Дружбы Народов, 8

*E-mail mie-kip@mail.ru

Самым важным критерием, которое свидетельствует в пользу нововведений, является то, что можно выявить свои таланты еще в процессе обучения, поскольку предлагаемая система дает нам возможность разработать и внедрить 3D фотографии, 3D видеоролики и 3D приложения.

Ключевые слова: 3d моделирование, трехмерное изображение, инженерные направления, технологии будущего.

THREE-DIMENSIONAL IMAGE OF MODEL CONSTRUCTION IN EACH PRODUCTION SPHERE

A. Sh. Lipinsky, M. I. Tsygankov

Scientific advisers E. N. Stupakov, I. E. Melnikova

KGA POU "Achinsk College of Oil and Gas named after E. A. Demyanenko"

Russian Federation, 662150, Achinsk, Druzhby Narodov st., 8

E-mail mie-kip@mail.ru

The most important criterion that testifies in favor of innovation is that it is possible to reveal our talents during the learning process, since the proposed system allows us to develop and implement 3D photos, 3D videos and 3D applications.

Key words: 3d modeling, three-dimensional image, engineering directions, future technologies.

3d моделирование – трехмерное изображение любого предмета, активно применяется в конструировании будущей модели, практически в каждой производственной сфере. Начиная от простейших изделий до сложных многовекторных макетов.

3D-технологии позволяют нам студентам вникать в образовательный процесс более эффективно и визуально-объемно. Применение 3D-контента на лекциях дает нам возможность наглядно осваивать программу, которая способствует "погружению" в тему изучаемого предмета в ходе урока и позволяет мобильно переходить от целой структуры к отдельным ее элементам, от сложного к простому и наоборот.

3D технология существенно совершенствует процесс обучения для получения углубленных, новых знаний для нас студентов, получаемых специальность инженерных направлений.

Дополненная реальность и ее широкие возможности

помогают вовлечь нас в научную и исследовательскую работу, делает процесс обучения интересным и понятным;

- многократно повышает знания в этой области;
- стимулируют деятельность творчества каждого из нас;

Примеры применения 3D технологий:

- Написание 3D проектов, исследовательских работ

Самым важным критерием, которое свидетельствует в пользу нововведений, является то, что мы студенты сможем выявить свои таланты еще в процессе обучения, поскольку предлагаемая система дает нам возможность разработать и внедрить 3D фотографии, 3D видеоролики и 3D приложения. Уже в стенах учебного заведения будут получены навыки работы с новейшими технологиями, которые пригодятся нам в будущем. Это уникальный и, несомненно, востребованный в будущем жизненный опыт. За такими технологиями будущее».

Новые возможности появились после разработки и внедрения 3D-оборудования и в нефтеперерабатывающей отрасли.

Пока еще не везде, но в целом ряде направлений аддитивные технологии начали быстро вытеснять традиционные методы производства. В нефтеперерабатывающей отрасли 3D-печать создает условия, позволяющие решать самые разные задачи эффективно, быстро и качественно. Среди этих задачи можно отметить следующие:

- разработка прототипов и изготовление новых компонентов и агрегатов (концепт-модели, тестовые образцы) технологических процессов и оборудования;
- создание более современных систем и/или их элементов;
- производство ремонта и/или замены старых элементов автоматики.

Промышленное 3D-моделирование

С развитием современных передовых технологий появилось более совершенное программное обеспечение в области электроники, систем обработки баз данных и навигационных координат, и теперь рисование проектов, схем, чертежей и графиков можно выполнять на электронных устройствах, экономя массу времени при создании проектов и 3D макетов. Это позволило сэкономить много времени при создании проектов и трехмерных макетов.

Наиболее распространенным материалом является пенопласт, но можно также использовать пластик, гипс, дерево и металлический порошок. В наши дни технологии 3D-моделирования используются производственными компаниями. Это экономит время, материалы и деньги при инженерном проектировании изделий, особенно когда речь идет об исправлении ошибок в линейном проектировании, где не учтены все нюансы, особенно для сложных сборочных единиц, таких как очистные сооружения или конструкции тяжелых автомобилей.

Передняя ось в сборе

3D-модель, построенная на профессиональной видеокарте, такой как Quadro, визуально максимально приближена к конечному продукту, реалистична и высоко детализирована. Можно легко вносить пошаговые изменения, например, изменять размеры и поверхности, удалять или добавлять детали и перестраивать окружение. Программное обеспечение для дизайна и проектирования (широко используются Blender, SolidWorks, 3dsmax и T-Flex) предоставляет разработчикам и дизайнерам инструменты и шаблоны с полезными функциями, ускоряющими полет творческой фантазии. Он полностью совместим с любым другим программным обеспечением, включая программное обеспечение для станков и программное обеспечение для расчетов. Это экономит ресурсы и время, упрощает работу дизайнера и повышает производительность.

Промышленный дизайн требует не только владения широким спектром программного обеспечения, но и понимания процедур, связанных с производством продукта, и глубокого знания его характеристик. Промышленный дизайн играет важную роль в производственном цикле. На этом этапе проект превращается из эскиза или рисунка в конечный, хотя и пока еще виртуальный, продукт. На этом этапе учитываются все нюансы, связанные с

дальнейшим изготовлением, сборкой и эксплуатацией моделируемого объекта: для улучшения 3D-модели определяется толщина внутренних стенок детали, количество и расположение ребер жесткости в полости детали, определяется тип самого изделия, предварительная прочность расчеты и т.д. для разработки оптимальной формы. С одной стороны, это должно экономить материал, а с другой - сделать конструкцию более прочной. Промышленный дизайн может включать еще одну серию предварительных испытаний, а также работу с поверхностями и компонентами устройства. На этом этапе, искусственно поместив испытуемый объект в реальные условия эксплуатации, можно выявить слабые места испытуемого объекта и принять различные меры по их устранению. Этот метод намного дешевле, чем создание прототипа и его последующее тестирование.

В наше время компьютерные технологии играют важную роль во всех видах деятельности, особенно в промышленности. Поэтому 3D-моделирование является популярной услугой, которая предлагает клиентам множество преимуществ. Эта опция помогает превратить "мертвый" эскиз в реальный продукт, который можно осмотреть со всех сторон.

Абстракция позволяет оценить элементы, устранить возможные ошибки, улучшить дизайн и спокойно оценить продукт перед запуском в производство. Каждая деталь воспроизводится в соответствии со спецификацией клиента. Такая тщательность позволяет клиенту улучшить его и получить более прибыльное и эффективное производство. 3D-моделирование также активно используется в презентации. В конце концов, то, что можно увидеть и потрогать своими глазами, убедительнее, чем простой рисунок. Это решение часто используется для привлечения инвесторов, поскольку позволяет им оценить компоненты до их окончательной доработки. В последние годы стали популярны презентации новых продуктов, на которых части продукта моделируются виртуально. Причиной такой популярности является эффективность демонстрации и возможность показать все преимущества нового продукта.

В последние годы, особенно в нефтеперерабатывающей и химической промышленности, все большее число специалистов отказываются от испытаний на реальном оборудовании в пользу компьютерных имитационных испытаний. Основными преимуществами такого подхода являются значительная экономия средств и возможность расчета улучшенных конструкций оборудования на начальном этапе проектирования, что позволяет ускорить разработку всех компонентов процесса и получить при этом более корректные результаты.

Использование систем трехмерного проектирования для детального проектирования оборудования сегодня кажется очевидным, но опыт показывает, что в отраслях, где автоматизированное проектирование очень эффективно, оно является лишь перечнем вспомогательных инструментов для применения. Одна крупная компания заявила, что программные услуги на ее производственных площадках, позволяющие проектировать поведение людей, участвующих в сборочном цикле, используются другими компаниями для подготовки своих следующих моделей к производству. В частности, им удалось снизить риск травмирования производственных инженеров-сборщиков, токарей и фрезеровщиков, улучшить эргономику промежуточных сборочных операций, снизить вероятность остановки сборочной линии из-за задержек на отдельных рабочих местах и, в конечном итоге, обеспечить лучшие условия для производства высококачественной продукции. 3D-моделирование также уже по своей сути используется в судостроении, ракетостроении, навигационных системах и даже в пищевой промышленности.

Библиографический список

1. Осипова И.В. Об использовании кейс-метода в системе образования // Наука и образование: новое время. научно-методический журнал. – 2017.- № 2(3). – С.42-45.

2. Салахов Р. Ф., Салахова Р. И., Гаптраупова З. Н. Возможности 3D-печати в образовательном процессе // Филологические науки. Вопросы теории и практики. – 2017. – №6-2 (72). – С. 196-198.
3. Сябренко А. П., Тынченко В. С. Использование технологии 3D-печати в образовательном процессе ВУЗа // Развитие современного образования: теория, методика и практика. — 2016. -№1 (6). – С. 244-247.
4. Скапцов Е. В. Использование технологий 3d-моделирования в учебном процессе военно-инженерных ВУЗов // Национальная ассоциация ученых. – М.: ООО «Евразийское Научное Содружество». – 2015. -№ 15-1 (15). – С. 52-54.

© Липинский А. Ш., Цыганков М. И., 2022

УДК 67.05

ТЕХНИЧЕСКИЕ УЛУЧШЕНИЯ FDM 3D-ПРИНТЕРА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИЕ 3D-ПЕЧАТЬ ВОСКОМ

Д. А. Родионов*

Научный руководитель – Н. В. Зенкин

Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана,
248000, ул. Баженова, 2, Калуга, Калужская обл., Российская Федерация

*E-mail: d_rodionov99@mail.ru

В данном исследовании предложены рекомендации по модернизации FDM 3D-принтера для обеспечения точной и бесперебойной печати 3D-моделей филаментом WAX3D для последующего литья по газифицируемым моделям.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, газифицируемые модели, литье, воск.

FDM 3D PRINTER TECHNICAL IMPROVEMENTS TO ENSURE 3D WAX PRINTING

D. A. Rodionov*

Scientific adviser - N. V. Zenkin

Kaluga branch of Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, 248000, st. Bazhenova, 2,
Kaluga, Kaluga region, Russian Federation

*E-mail: d_rodionov99@mail.ru

This study proposes recommendations for upgrading an FDM 3D printer to ensure accurate and uninterrupted printing of 3D models with WAX3D filament for subsequent casting on gasified models.

Key words: additive technologies, 3D printing, gasified models, casting, wax.

Основная функция экструдера, обеспечение равномерного выдавливания расплавленного пластика для формирования слоев 3D модели. На процесс экструзии влияет множество факторов: температура сопла, качество внутренней поверхности отверстий, точность пластмассового прутка, степень его чистоты. Однако эти факторы в основном относятся к твердым полимерам.

В настоящей статье за основной материал моделей выбран WAX3D - воск для печати на 3D-принтерах по технологии FDM для последующего литья из металлов по выплавляемым моделям. При этом необходимо использовать следующие рекомендации при печати филаментом WAX3D:

1) При печати модельным воском из-за его эластичности рекомендуется использовать «Direct» систему экструзии – экструзионный двигатель размещается непосредственно над горячей частью. Такое расположение сводит к минимуму расстояние от зубчатой передачи до хотэнда и обеспечивает более надежную 3D-печать гибкой нитью.

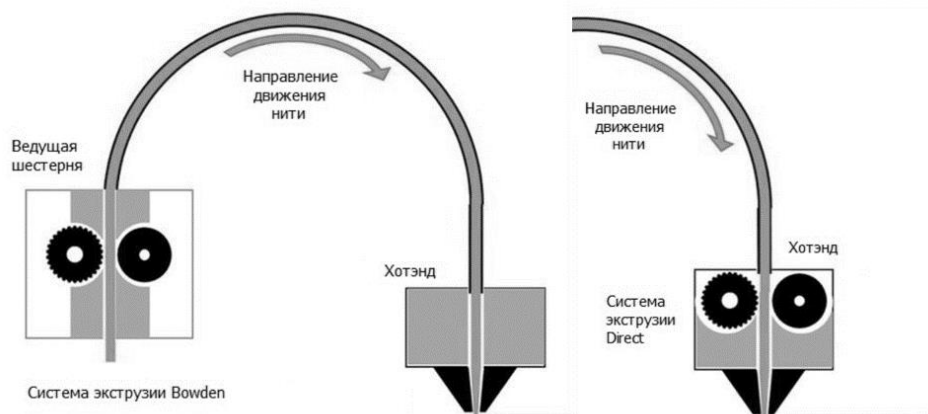


Рисунок 1 – «Bowden» и «Direct» системы экструзии

2) Гибкие материалы в основном имеют плавную термомеханическую кривую (для WAX3D представлена на рисунке 2) поэтому при печати часто происходит проблема «пробок» в хотэнде.

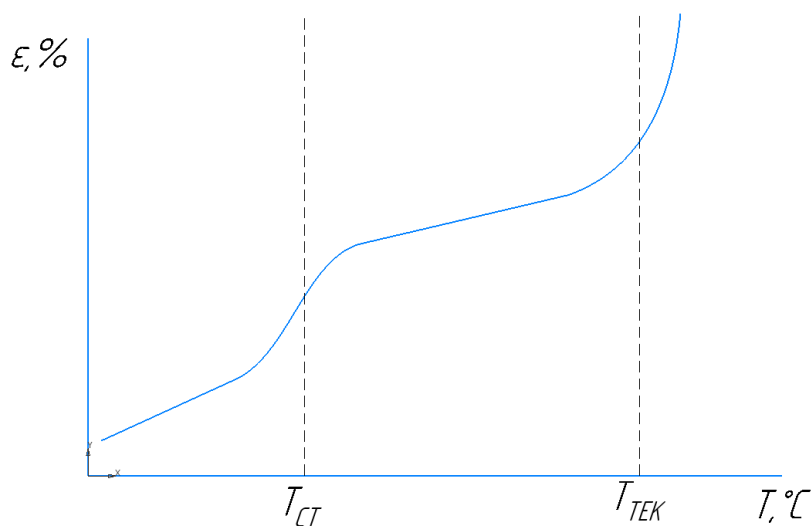


Рисунок 2 - Термомеханическая кривая для материала WAX3D

Это происходит при большой длине греющей части термобарьера. Пруток, находясь на этой длине нагревается и переходит в жидкое состояние тем самым прилипая к стенкам экструзионного канала и препятствуя прохождению новой порции филамента, и общая сила этого прилипания зависит от площади контакта пластика и экструзионного канала, что в свою очередь зависит от длины греющей части. Иными словами, нагревательная область должна быть настолько короткой насколько это возможно.

Для решения этой проблемы была разработана модель усовершенствованной версии хотэнда.

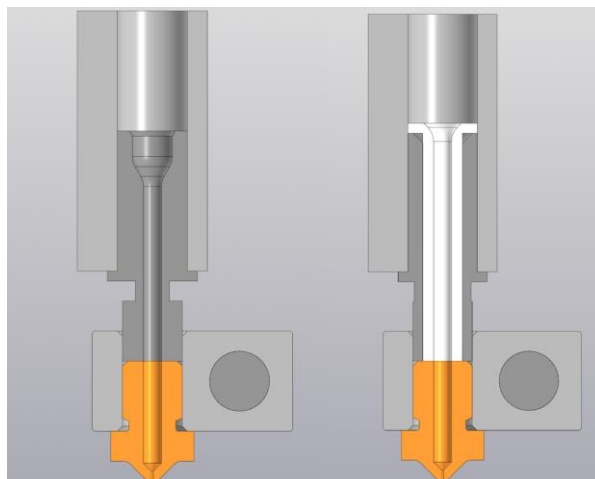


Рисунок 3 – Классическая и усовершенствованная версии хотэнда

В классической версии термобарьер выполнен из легированной стали. Принцип задерживания тепла происходит за счет уменьшения площади сечения. В усовершенствованной версии термобарьер состоит из двух частей тефлоновой трубки и расширенного термобарьера. К преимуществам усовершенствованной версии термобарьера относятся:

1) Низкая теплопроводность. За счет того, что тефлон обладает низкой теплопроводностью ($W=0,25$ Вт/(м*К)) по сравнению с легированной сталью ($W=50$ Вт/(м*К)), длина греющей части минимальна и поэтому образование «пробок» маловероятно. На рисунке показано тепловое распределение в классической и усовершенствованной версии;

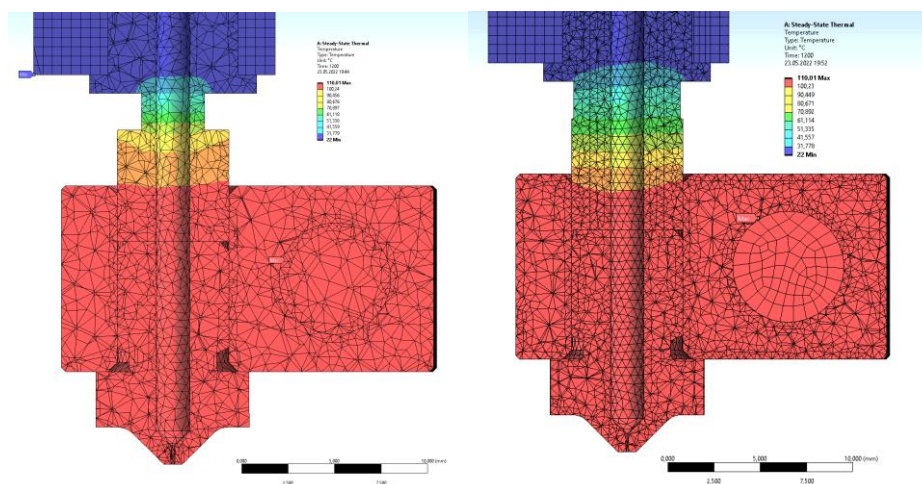


Рисунок 4 – Расчет теплового распределения

2) Низкая шероховатость канала. Тефлон обладает более гладкой поверхностью по сравнению со сталью, что уменьшает силы трения, образуемые между филаментом и экструзионным каналом;

3) Высокая термо- и износостойкость. Благодаря тому, что тефлон термо- и износостойкий материал, в расплавленный филамент не будут поступать лишние элементы и вещества и потребуются более редкая замена тефлоновой трубки из-за износа.

Библиографический список

1. Григорьев, Ю. Д. Методы оптимального планирования эксперимента: линейные модели : учебное пособие / Ю. Д. Григорьев. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-1937-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная

система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/212090> (дата обращения: 03.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Материалы и аддитивные технологии. Современные материалы для аддитивных технологий : учебное пособие / А. А. Попович, В. Ш. Суфияров, Н. Г. Разумов [и др.]. — Санкт-Петербург : СПбГПУ, 2021. — 204 с. — ISBN 978-5-7422-7090-4. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/192885> (дата обращения: 03.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Зарубин, В. С. Математические модели термомеханики : учебное пособие / В. С. Зарубин, Г. Н. Кувыркин. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2002. — 168 с. — ISBN 978-5-9221-0321-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/59316> (дата обращения: 03.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Сметанников, О. Ю. Термомеханика полимерных материалов в условиях релаксационного перехода / О. Ю. Сметанников, Н. А. Труфанов, И. Н. Шардаков. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. — 172 с. — ISBN 978-5-9221-1163-8. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/50290> (дата обращения: 03.06.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

© Родионов Д. А., 2022

УДК 621.365.511

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ НАГРЕВЕ КОЛЬЦЕВОЙ ЗАГОТОВКИ ИНДУКЦИОННЫМ СПОСОБОМ

В. А. Скорик*

Самарский государственный технический университет
Российская Федерация, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

*E-mail: 21vlad.sk12@gmail.com

Описана модель индукционной установки и методика расчета процесса нагрева кольцевой заготовки средствами конечно-элементной программы Comsol. Представлены некоторые результаты численного моделирования.

Ключевые слова: индукция, нагрев, моделирование, температура, кольцо.

APPLICATION OF CONTROL SYSTEMS WHEN HEATING A RING BLANK

V. A. Skorik*

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya St., Samara, 443100, Russian Federation

*E-mail: 21vlad.sk12@gmail.com

A model of an induction plant and a method for calculating the process of heating a ring blank using the Comsol finite element program are described. Some results of numerical simulation are presented.

Key words: induction, heating, simulation, temperature, ring.

Кольца большого диаметра широко используются в машиностроении. Наиболее частое их применение можно встретить в подшипниковых кольцах, кольцевых профилях авиационных двигателей, соединений крупных машиностроительных узлов, бандажей колесных пар локомотивов.

Производить такие кольца выгодно методом раскатки кольцевых заготовок, поскольку обеспечивается повышение точности геометрической формы кольца за счет уменьшения разностенности и овальности. Форма сечения раскатанной поковки приближается к форме сечения готовой детали, снижаются припуски и напуски [1].

Горячая раскатка повышает податливость материала, снижает создаваемые внутренние напряжения, что позволяет при последующей токарной обработке не происходить перерезанию волокон металла. Данная технология значительно улучшает качество готовых изделий, их износостойкость и срок службы.

Нагрев предполагается использовать индукционный, положительные качества которого широко известны, в их числе: компактные размеры, концентрация больших мощностей, обеспечение достижения высоких температур и высокой производительности, высокий уровень ремонтпригодности. Индукционный нагрев обеспечивает равномерный и точный нагрев при высоких КПД, скоростях нагрева и производительности.

Нагрев перед пластической деформацией, такой как раскатка, заключается в создании определенного распределения температуры во всем объеме загрузки с отклонениями от заданной температуры не более допустимой величины [2]. В данной работе отклонение было принято $\pm 10\%$. С учетом принятого отклонения, возьмем среднее значение $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и тогда

диапазон рабочих температур составит 900-1000 °С, что соответствует технологии производства на ведущих предприятиях в этой области. Данное температурное распределение соответствует более равномерному распределению температуры по заготовке, а, соответственно, и лучшего процессу раскатки за счет избавления от возможных лишних напряжений и изменений в структуре материала.

В настоящей статье приводятся результаты исследования нагрева кольцевой заготовки с применением систем регулирования. Заготовка осуществляет вращательное движение вдоль своей оси, в то время как ее нагревают два щелевых индуктора.

Для моделирования исследуемого процесса использована программа Comsol предназначенная для расчета тепловых и электромагнитных полей. Моделирование производилось по методике, описанной в [3].

Была построена трехмерная модель и проведена серия вычислительных экспериментов для условий, указанных в таблице 1.

Таблица 1

Условия экспериментов				
Диаметр	Ширина	Высота	Материал	Скорость вращения
1000 мм	70 мм	112 мм	ШХ15	0.15 м/с

Общий вид в плоскости ху заготовки в установке представлен на рисунке 1.

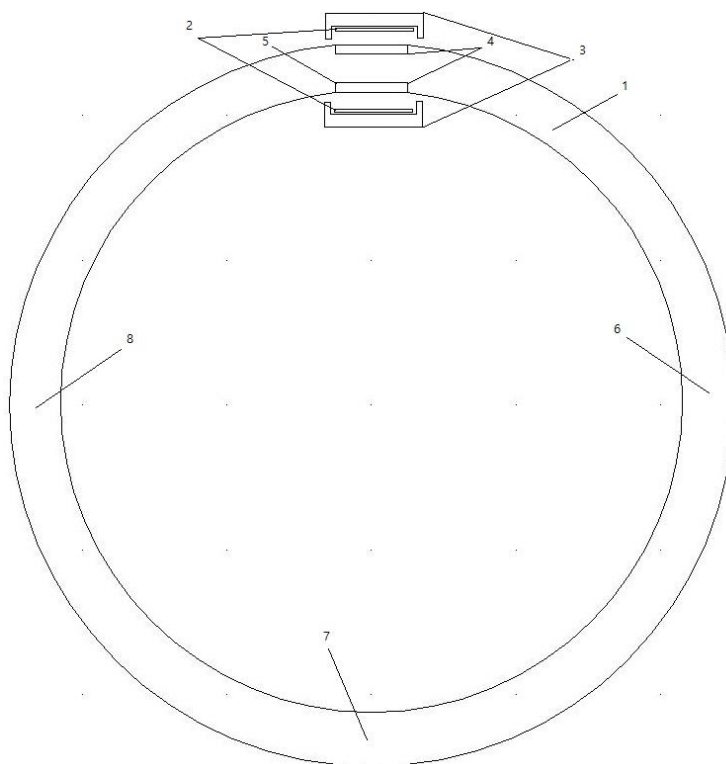


Рисунок 1 - Общий вид в плоскости ху

Где 1 – кольцевая заготовка

2 – индуктор

3 – магнитопровод

4 – глубина проникновения

5 – контролируемая точка в зоне глубины проникновения

6,7,8 – контролируемые точки в центре заготовки

При расположении щелевых индукторов с внутренней и внешней стороны кольца, распределение температур по времени происходит по следующему графику изменения, представленному на рисунке 2.

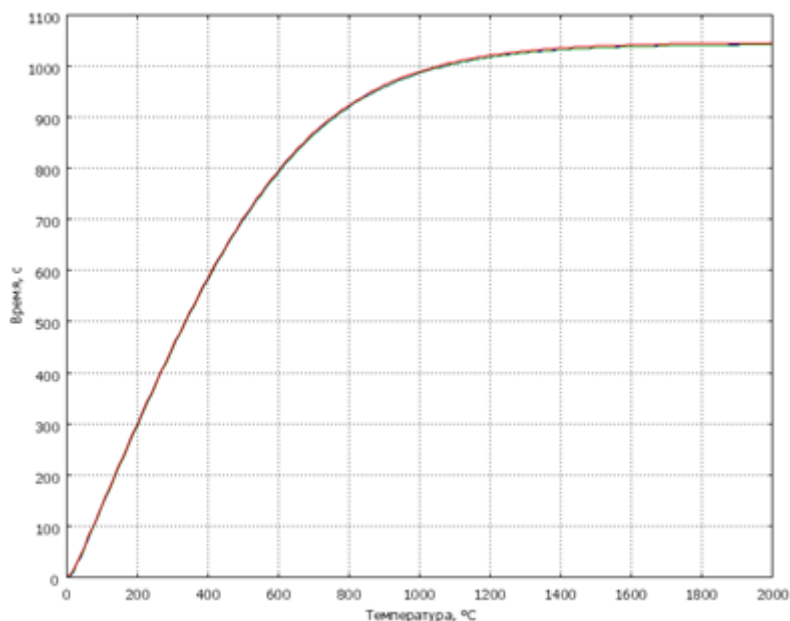


Рисунок 2 - Распределение температуры при постоянном нагреве

При введении прямоугольной системы управления (методом включения и отключения), можно добиться 3 кругов раскатки за время работы установки до 1500 с и получить температуру в контролируемых точках кольца, представленную на рисунке 3.

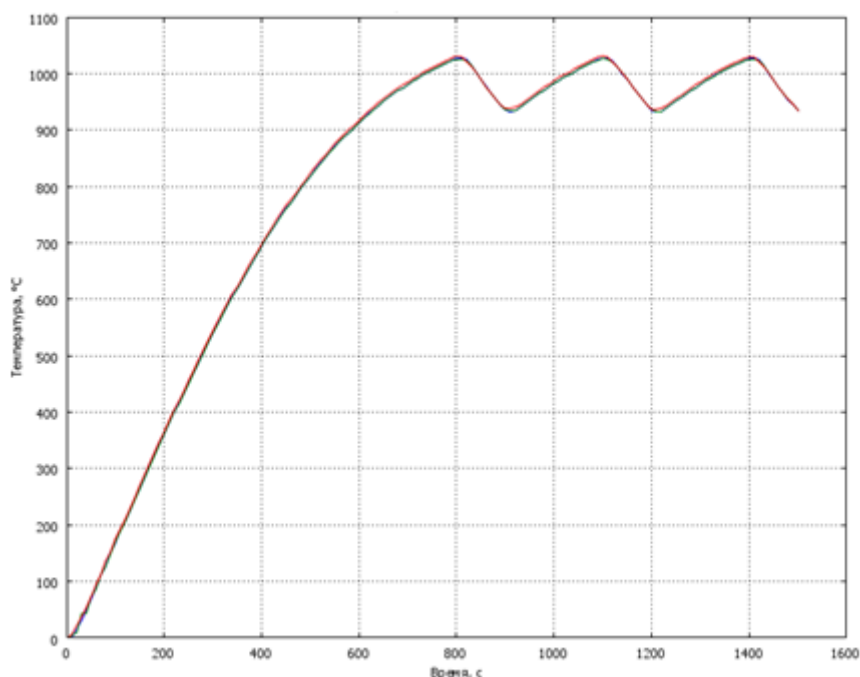


Рисунок 3 – Распределение температуры с применением прямоугольной системой регулирования

Это даст возможность, не выходя за пределы допустимых значений температур, разгрузить как сам материал заготовки, так и систему в целом.

Если воспользоваться не собственноручно заданной системой, а системой автоматического управления, задав условием поддержание температуры на уровне 1000 °C в точке 5 (рис. 1), то можно добиться еще более равномерного распределения температуры по точкам 6, 7 и 8 (рис. 1), представленный на рисунке 4.

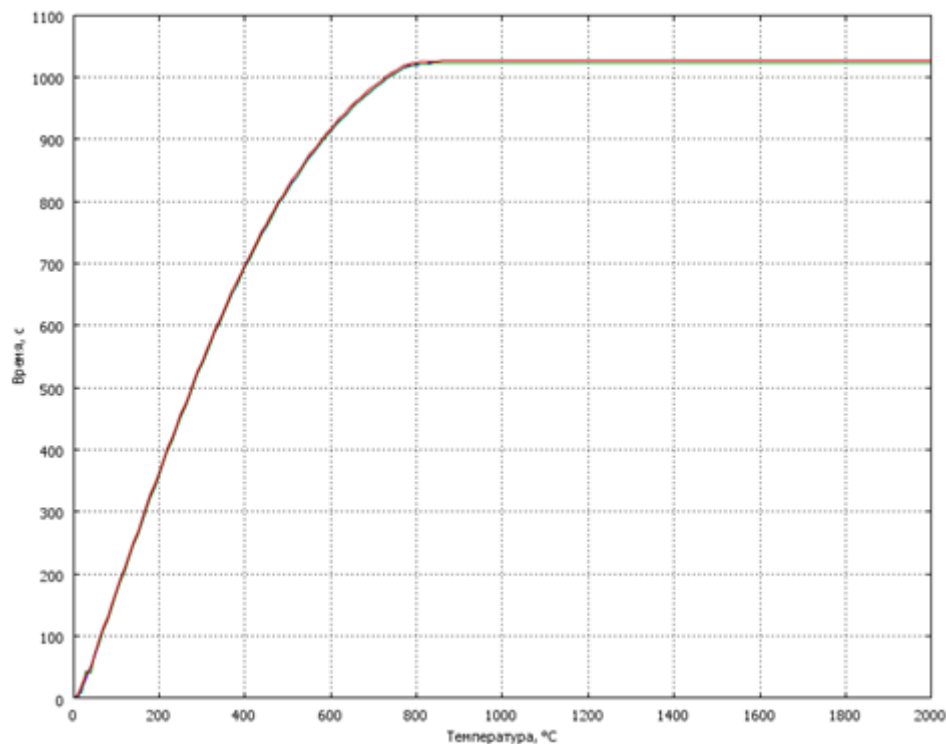


Рисунок 4 - Распределение температуры с применением системы автоматического регулирования

3D технологии позволили спроектировать и оценить работу системы регулирования.

В ходе данного исследования были рассмотрены варианты нагрева кольцевой заготовки без и с различными системами управления, были выявлены их преимущества и оценены итоговые температурные распределения по всей заготовке.

Так как для данного нагрева потребовалась излишне большая мощность в размере 160 кВт, то требуются дальнейшие исследования по ее реализации или снижению, в планах имеются варианты для рассмотрения, такие как: увеличение количества индукторов, которые будут обеспечивать подогрев; применение экранирования; уменьшение габаритов исследуемой заготовки.

Библиографический список:

1. Моисеев В.Б. Технологические процессы машиностроительного производства: учебник / В.Б. Моисеев, К.Р. Таранцева, А.Г. Схиртладзе. – М. : Инфра-М, 2019. – 218 с.
2. Рогов В.А. Материаловедение и технология конструкционных материалов. Штамповочное и литейное производство: учебное пособие / В.А. Рогов, Г.Г. Позняк. – М. : Юрайт, 2019. – 319 с.
3. Базаров А.А. Моделирование электромагнитных, тепловых и гидравлических процессов в системах индукционного нагрева: учебное пособие / А.А. Базаров. – Самара : Самарский государственный технический университет, 2019. – 304 с.

© Скорик В. А., 2022

УДК 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ CAD СИСТЕМ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗАХВАТНО-СРЕЗАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА

А. А. Соболева*, В. О. Цубикс, С. Н. Долматов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: ansob_1209@mail.ru

Лесозаготовительная отрасль является механизированной, проектирование новых запчастей и модернизация существующих является актуальной задачей. В статье рассмотрен упрощенный вариант проектирования захватно-срезающего устройства валочно-пакетирующей машины.

Ключевые слова: CAD, валочно-пакетирующая машина, захватно-срезающее устройство, лесная промышленность, проектирование.

APPLICATION OF CAD SYSTEMS IN DESIGN OF GRIP-CUTTING DEVICE

A. A. Soboleva, V. O. Tsubiks, S. N. Dolmatov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: ansob_1209@mail.ru

The logging industry is mechanized, designing new parts and upgrading existing ones is an urgent task. The article considers a simplified version of the design of the gripping-cutting device of a feller-packing machine.

Key words: CAD, feller-packing machine, gripper-cutting device, timber industry, design.

Введение.

Лесная промышленность представляет собой совокупность мероприятий, связанных с добычей, заготовкой и обработкой древесного сырья.

Во всем процессе лесозаготовки немаловажную роль играет специализированная техника и оборудование. Например различные харвестеры, форвардеры, ВПМ, и станки необходимые для обработки сырья. За счет морального устаревания техники и необходимости модернизации прибегают к работе связанной с проектированием и расчетом конструктивных особенностей отдельных элементов.

Машиностроение — вид производственной деятельности, которая специализируется на проектировании, и производстве, обслуживании различных машин, технологического оборудования и их деталей. Производственная деятельность начинается с проектирования будущего изделия, для этого существуют различные, CAD системы.

CAD — представляет собой программный пакет для проектирования, двухмерных чертежей и трехмерных объектов с детализацией их особенностей и возможностью получения полного комплекта конструкторско-проектной документации [1].

Цель исследования: демонстрация возможностей проектирования упрощенной модели захватно-срезающего устройства с применением автоматизированной программы.

Задачи исследования:

1. Обзор навесного срезающего оборудования для лесозаготовительной техники.
2. Проектирование цифровой модели ЗСУ (захватно-срезающее устройство) с помощью цифрового инструмента.

Валочно-пакетирующая машина (ВПМ) – это специализированная лесозаготовительная техника, предназначенная для спиливания стволов деревьев и укладки их пачками. Такое оборудование используется в комплексе с другой спецтехникой и выступает начальным звеном процесса валки леса [2].

Как правило на ВПМ монтируется оборудование, конструкция которых несколько отличается друг от друга в следствии поставленных задач. ЗСУ существует в однорычажном и двурычажном варианте исполнения. Однорычажный вариант отличается простотой конструкции и низким условиям содержания, а двурычажный способствует полному удержанию древесины, но при этом если устройство работает с помощью двух гидроцилиндров, то оно считается габаритным.

Особое внимание уделяется гидравлике, поскольку технические характеристики гидравлической системы машины, должны обеспечивать максимально эффективное использование ЗСУ. При неправильной настройке системы может случиться проскальзывание дерева в процессе его захвата, что является недопустимым, поскольку создается ситуация повышенной опасности. Проскальзывание может случиться, например, при недостаточном давлении в системе. Также есть риск брака лесного ресурса при избыточном давлении, оказанном на него.

Для примера на рисунке 1 представлено захватно-срезающее устройство с накопителем и пильной цепью к машине ЛП-19А.

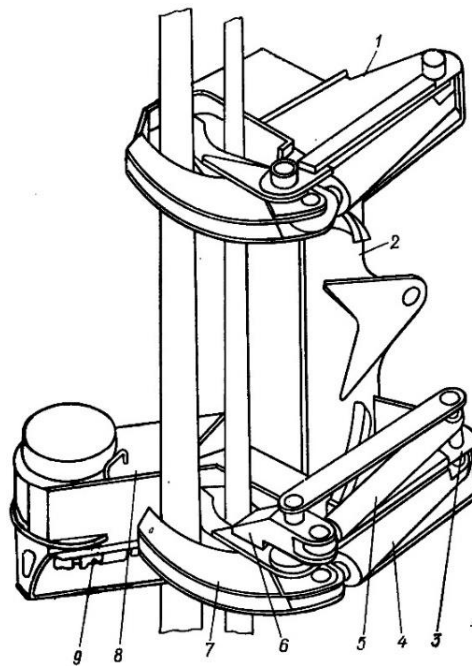


Рисунок 1 – ЗСУ ЛП19А

1—верхняя опорная призма; 2 — стойка; 3 — нижняя опорная призма; 4—гидроцилиндр захвата основных крюков; 5 — гидроцилиндр захвата дополнительных крюков; 6 — вспомогательный крюк; 7 — основной крюк; 8 — ограждение гидромотора; 9 — механизм срезания; 10 — пильная цепь

Технология работы.

Технологический цикл при срезании и укладке дерева машинами ЛП-19 складывается из следующих приемов: наводки захватно-срезающего устройства, зажима, натяжения, срезания, подтягивания дерева, поворота платформы с деревом, укладки его, порожнего поворота платформы и переезда машины со стоянки на стоянку.

Наводка ЗСУ к дереву осуществляется в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Захват дерева происходит с помощью зажимов на определённой высоте. Чтобы легче было срезать дерево, ствол натягивают вверх. Далее дерево срезается.

Поворот платформы с деревом производится на вылете 4...6 м. В процессе поворота машинист должен следить за положением дерева, не допуская чрезмерного его наклона, сцепления с кронами стоящих деревьев и касания захватно-срезающим устройством пней, валежника и других препятствий.

Укладка пачки заключается в установке манипулятора в плоскости оси пачки, корректировке вылета манипулятора, опрокидывании дерева вершиной «от себя» и сбрасывании его в пачку.

Дерево сбрасывается в пачку в результате открывания зажимных рычагов.

Проектирование ЗСУ.

При проектировании ЗСУ учитывается множество факторов, первоначально создается компоновочная схема и определяется в каких условиях будет работать устройство и какие задачи стоят перед ним. Например, учитывается диаметр дерева, скорость пиления и надвигания режущего элемента. Режущий элемент может быть, как цепным, так и дисковым.

Для наглядного примера применения вспомогательных CAD программ в проектировании было смоделировано захватно-срезающее устройство валочно-пакетирующей машины с циркулярной пилой в инженерном пакете «Компас 3Д».

Цифровое моделирование происходит поэтапно с помощью доступных инструментов. Для начала создается эскиз первоначальной отдельной детали, рисунок 1-а, эскиз создается с учетом всем необходимых технически требований, за каждой линией закреплён свой размер.

После создания эскиза с ним проводят манипуляцию выдавливания, рисунок 1-б, выдавливается изделие на заданную толщину. После операции выдавливания получается трехмерный объект заданной формы, который может быть отредактирован далее, рисунок 1-в.

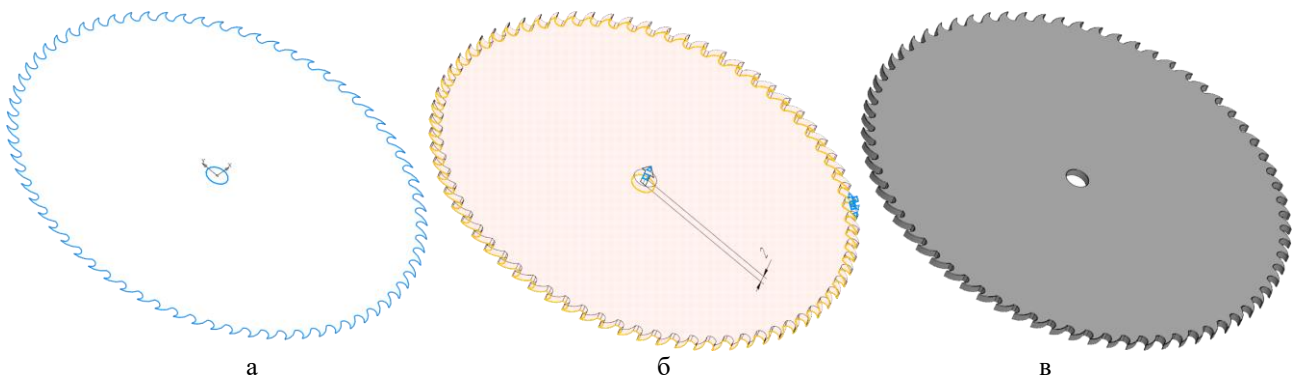


Рисунок 2 – Процесс проектирования циркулярного диска для ЗСУ

Для дальнейшего построения сборочной модели ЗСУ необходимо спроектировать каждый элемент отдельно. У разных деталей свой метод построения и набор необходимых инструментов. Проектировщику зачастую приходится создавать свои комбинации использования цифровых инструментов.

После проектирования всех необходимых деталей, а именно корпуса, на котором размещены захватные рычаги с опорной призмой, осуществляется их сборка с применением таких инструментов и команд как, «добавление детали», «фиксация», «совпадение» и по необходимости «переместить компонент».

Сборка – это модель изделия, состоящая из нескольких деталей с заданным взаимным положением.

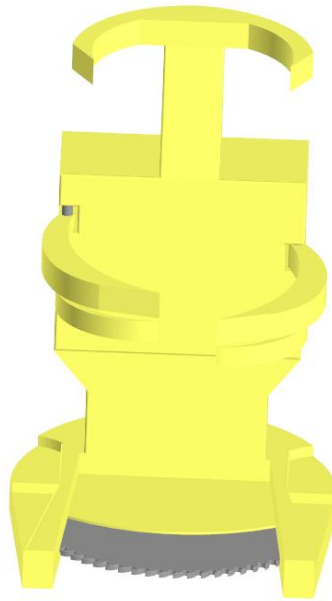


Рисунок 3 – Сборочная модель ЗСУ

Выводы.

Факт использования цифровых технологий в процессе проектирования лесозаготовительного оборудования является положительным, поскольку взаимодействие специалиста с персональным компьютером экономит время относительно специалиста, работающего с классическими чертежными инструментами. Цифровое вычисление способствует точному отображению будущего изделия и его расчету на необходимое количество материала. Автоматизация в промышленном масштабе способствует экономии денежных средств. Также появляется возможность оперативного прототипирования. Но важно понимать, что функционал программ ограничен и поэтому они постоянно обновляются и видоизменяются.

Библиографический список

1. Системы: CAD, CAM, CAE применение, классификация. [электронный ресурс] URL: <https://stankiexpert.ru/tehnologii/cad-cam-cae-sistemy.html>.
2. Chernik, K. N. Modern market of manipulator type machines for felling trees / K. N. Chernik // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : Сборник статей Международной научно-практической конференции, Красноярск, 26 ноября 2021 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2022. – Р. 372-374. – EDN FNBRJX.
3. Цубикс В.О., Долматов С.Н. «Применение cae программ в лесной промышленности на примере топологической оптимизации рычага клещевого грейфера.» // Лесозаготовка и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции - Красноярск: СибГУ им. М.Ф. Решетнёва, 2021.-313 с.
4. Долматов, С. Н. Совершенствование конструкции гидроманипуляторов лесных машин методами топологической оптимизации / С. Н. Долматов, П. Г. Колесников // Хвойные бореальной зоны. – 2020. – Т. 38. – № 1-2. – С. 60-65.
5. Dolmatov, S & Kolesnikov, P. (2020). Topological optimization by designing structural elements of logging machine manipulators. Journal of Physics: Conference Series. 1515. 042003. 10.1088/1742-6596/1515/4/042003.

© Соболева А. А., Цубикс В. О., Долматов С. Н., 2022

УДК 517.97

3D МОДЕЛЬ ЗУБЧАТОГО ЗАЦЕПЛЕНИЯ С УПРОЧНЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Р. Р. Усманова*

Академия гражданской защиты МЧС России
Российская Федерация, 141435, г. Химки, ул. Соколовская 1
*E-mail: regina_ugatu@inbox.ru

В конечном элементном пакете ANSY разработана 3D модель зубчатого зацепления с эвольвентным контуром зуба, позволяющая рассчитывать характеристики упругого контакта и контактные напряжения в основании зубьев. С ее помощью были проанализированы особенности распределения контактных давлений в зубчатых зацеплениях с цементированными и не цементированными поверхностями контакта. Установлено, что процесс цементации снижает контактные напряжения и позволяет повысить износостойкость зубьев.

Ключевые слова: зубчатое колесо; контактные напряжения; износостойкость; Ansys; эвольвентные зубья; трехмерное моделирование; расчетная сетка; цементация

3D MODEL OF GEARING WITH A HARDENED SURFACE IN THE ANSYS SOFTWARE PACKAGE

R. R. Usmanova*

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia
1, Sokolovskaja Av., Khimki, 141435, Russian Federation
*E-mail: regina_ugatu@inbox.ru

In the ANSYS finite element package, a 3D model of gear engagement with an involute tooth contour in the end section has been developed, which allows calculating the characteristics of elastic contact and contact stresses at the base of the teeth. With its help, the features of the distribution of contact pressures in gears with cemented and non-cemented contact surfaces were analyzed. It has been established that the cementation process reduces contact stresses and increases the wear resistance of the teeth.

Keywords: gear wheel; contact stresses; wear resistance; Ansys; involute teeth; three-dimensional modeling; computational grid; cementation

1. Постановка проблемы и ее актуальность

Зубчатые передачи являются наиболее распространенными типами механических зубчатых колес. Они широко используются в различных отраслях промышленного производства. Сфера их применения очень обширна. Редкое устройство, механизм или агрегат, использующий в своей работе вращательное движение, не имеет в своем составе того или иного типа зубчатого подвижного соединения [1]. Анализ моделируемой трансмиссии проводился в Ansys CAD. САПР-моделирование с использованием ANSYS проходит следующие этапы: построение геометрической модели, выбор типа конечных элементов, построение конечно-элементной сетки, задание свойств материала, выбор типа анализа, применение нагрузок, установка граничных условий, подсчет и анализ результатов [2, 3]. Основным преимуществом данного программного продукта является избежание

дорогостоящих и длительных циклов разработки типа «проектирование – производство – тестирование» [4]. В программе Ansys были назначены необходимые ограничения, начальные и граничные условия, а также выбран оптимальный размер сетки конечных объемов. В качестве входных данных в программе Ansys были установлены следующие параметры: стандартная гравитация земли (с учетом силы тяжести), сила (с учетом действующих нагрузок от зубьев), момент (крутящий момент), нагрузка на подшипник (учет подшипника), фиксированное вращение (с учетом фиксации зубчатого колеса). Конечно, элемент сетки генерировался программой автоматически, только ручная работа выполнялась в критических областях детали.

Актуальной задачей моделирования является анализ напряженно-деформированного состояния зубчатой передачи с учетом максимально допустимых значений напряжений. Расчетная сетка была построена в сеточном генераторе ANSYS ICEM CFD. Сетка содержит 1 247 542 гексаэдрических элемента. Сетка строилась равномерной по радиусу и неравномерной по осевой координате, неравномерность задавалась законом геометрической прогрессии, убывающей к центру колеса и возрастающей ближе к эвольвентным поверхностям зубьев. Знаменатели геометрических прогрессий подбирались таким образом, чтобы в области высоких напряжений сетка была как можно гуще [5].

Общий вид расчетной области показан на рисунке 1.

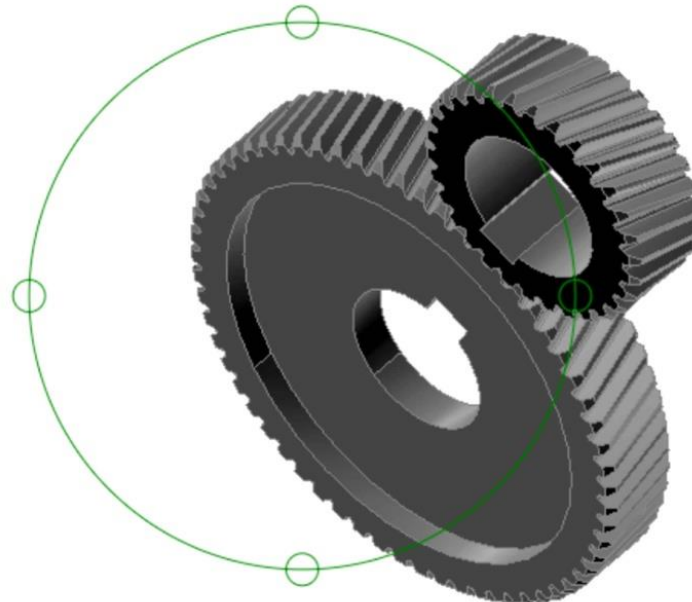
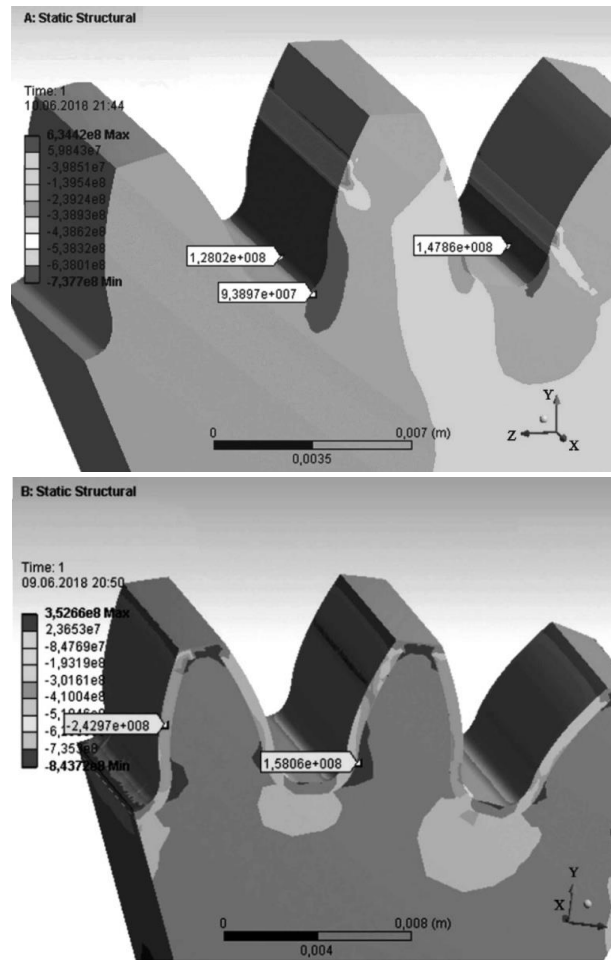


Рисунок 1 – 3D модель зубчатого колеса, выполненная в САПР Unigraphics (NX)

Целью работы являлся сравнительный анализ контактных напряжений, полученных по известным методикам и в программном комплексе ANSYS.

2. Визуализация результатов расчета и их анализ

Результаты исследований были получены в виде характерных картин распределения контактных напряжений по поверхности зубьев. На рисунках показаны полученные напряжения для цементированных (рисунок 2, а) и нецементированных (рисунок 2, в) зубьев. Установлено, что цементация рабочих поверхностей зубьев устраняет растягивающие напряжения и увеличивает зону контакта. Однако сжимающие напряжения сохраняются на поверхности ножек зубьев даже при высоких нагрузках. Оптимальность конструкции зубчатой передачи для заданной нагрузки можно оценить по степени равномерности распределения напряжений в объеме детали. Чем более равномерно распределены напряжения, тем более оптимальной можно считать конструкцию. Зона растягивающих напряжений увеличивается и смещается вглубь конструкции с увеличением глубины цементации.



a – нецементированный зуб; *б* – зуб с цементацией на глубину 0,5 мм
Рисунок 2 – Картина напряженно-деформированного состояния зубьев

3. Выводы

Таким образом, цементация зубчатой передачи позволила уменьшить контактные напряжения и повысить износостойкость зубьев. Предложенный подход предоставляет возможности для правильного решения задач анализа контактного взаимодействия и напряженно-деформированного состояния зубчатых передач при их проектировании, выборе материала, режимах термообработки, а также при определении предельных режимов работы.

Библиографический список

1. Иванов М.Н., Феногенов В.А. Детали машин: Учебник для машиностроительных вузов. - М.: Высш. школа, 2007. 408 с.
2. Александров В. М, Ромализ В. Л. Контактные задачи в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1986. 472 с.
3. Каплун Л.Д. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство/ Л.Д. Каплун, И.М. Марозов, К.Р. Олфирыва// М.: ВНИИМП, 2003. 272 с.
4. Басов В.А. ANSYS и LMS Virtual Lab./ В.А. Басов// Геометрическое моделирование. М.: ДМК пресс, 2016. 710 с.
5. Моделирование и оптимизация конструктивных параметров газопромывателя/ Р.Р. Усманова, Г.Е. Заиков //Энциклопедия инженера химика. 2013. №6. С. 45-49 .

© Усманова Р. Р., 2022

УДК 62-522.7

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ СТОЛА УДАРНОЙ МАШИНЫ СТЕНДА МНОГОКРАТНЫХ УДАРОВ С ПОМОЩЬЮ 3D ТЕХНОЛОГИЙ

Н. Д. Чамара*, Д. С. Штрекер
Научный руководитель – В. А. Дьяченко

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Российская Федерация, Россия, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29
*E-mail: chamara.nd@edu.spbstu.ru

В статье описана конструкция автоматизированного стенда многократных ударов СМУ2000 и вариант её улучшения. На основании конструктивных направлений модернизации с помощью системы компьютерного 3D-моделирования произведена оценка рациональности модернизаций посредством расчета собственных частот.

Ударный стенд, автоматизированное оборудование, собственные частоты, компьютерное моделирование.

MODERNIZATION OF THE DESIGN OF THE TABLE OF THE IMPACT MACHINE OF THE STAND OF MULTIPLE IMPACTS WITH THE HELP OF 3D TECHNOLOGIES

N. D. Chamara*, D. S. Shtreker
Scientific supervisor – V. A. Dyachenko

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University
The Russian Federation, Russia, 195251, St. Petersburg, Politechnicheskaya str., 29
*E-mail: chamara.nd@edu.spbstu.ru

The article describes the design of the automated SMU 2000 multiple impact stand and a variant of its improvement. Based on the constructive directions of modernization using a 3D computer modeling system, the rationality of modernization was evaluated by calculating natural frequencies.

Shock stand, automated equipment, natural frequencies, computer modeling.

На сегодняшний день информационные технологии получили достаточно широкое развитие и применение. Один из видов таких технологий — 3D-технологии — затронули и сферу машиностроения и приборостроения. В результате чего были изобретены и получили распространение системы автоматизированного проектирования (САПР), которые стали применяться не только для подготовки конструкторско-технологической документации, но и для оценки предлагаемых конструкторских решений.

В Высшей школе автоматизации и робототехники СПбПУ была сконструирован и внедрен автоматизированный стенд многократных ударов СМУ2000, необходимый для воспроизведения ударных механических воздействий с целью проведения ресурсных испытаний [1].

Автоматизированный стенд многократного действия предназначен для проведения исследований, целью которых является проверка возможностей изделия переносить разрушающие воздействия в поле многократных нормированных ударных ускорений и выполнять свои заданные функции после из воздействия. В процессе проведения таких испытаний с исследуемым изделием производится цикл из $10^3 - 10^4$ ударов с каждой из трех

сторон с заданной частотой и длительностью ударного импульса не более 15мс. На рисунке 1 представлен внешний вид ударной машины стенда СМУ2000 и её компоновочная схема ударной машины модернизируемого стенда.

В состав ударной машины входят следующие элементы: акселерометр 1, расположенный на ударном столе 2; исследуемое изделие закрепляется к столу, который ориентируется на направляющих 4 относительно формирователя ударных импульсов 9 (крепится на наковальню 10), а также относительно инерционного блока 12 и пневмоприводов 5. Стол, управляемый электрическим блоком 6 и аппаратурой привода 11, устанавливается на парковочных упорах 3. Удар возникает посредством удара бойка 8, расположенного внизу стола, о формирователь. Для снижения нагрузок на фундамент применяется пневмоподушка 13 и амортизатор 7.

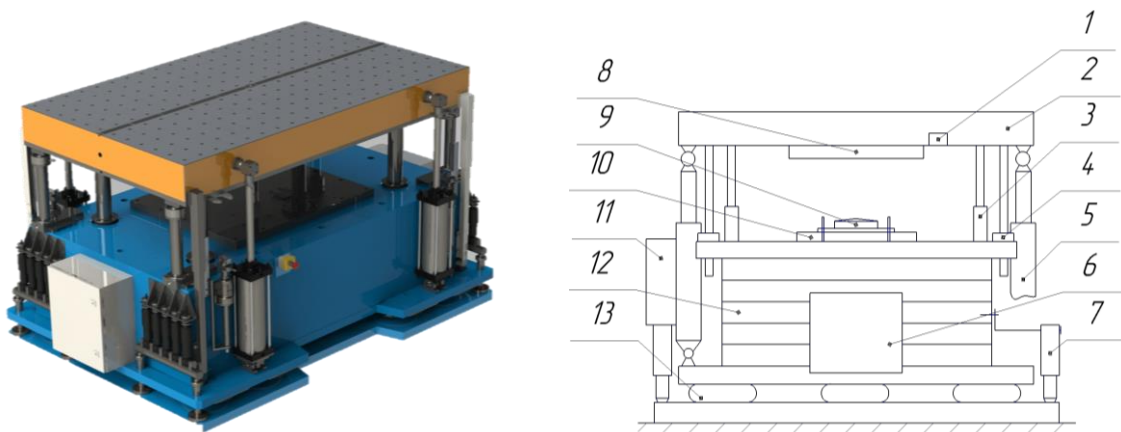


Рисунок 1 – Внешний вид ударной машины стенда СМУ2000 и её компоновочная схема

Несмотря на то, что разработкой конструкций и рабочих параметров ударного испытательного оборудования занимаются не одно десятилетие, работы по исследованию и моделированию влияния конструктивных параметров на параметры испытаний на ударных стендах остаются нужными и актуальными.

Таким образом было решено усовершенствовать конструкцию ударной машины стенда СМУ2000 внося конструктивные модернизации, а именно изменения в конструкции крепления и установки направляющих ударного стола. В связи с тем, что собственная частота стола влияет на форму ударного импульса [2], следует разместить направляющие так, чтобы они были закреплены жестко на инерционном блоке. Вертикальное перемещение обуславливается наличием в конструкции стола отверстий, с помощью которых стол подвижно устанавливается на направляющие.

Существующая система тел «ударный стол – исследуемое изделие» имеет отличия от идеальной системы тел с одной степенью подвижности. В связи с этим, реальные конструктивные элементы стенда образуют сложную механическую систему, у которой имеется свой ряд собственных частот.

Во время периодических ударов элементы стенда могут возбуждаться на собственной механической частоте, при этом рабочий диапазон будет определяться низшей из всех частот – f_0 [2]. В связи с этим, в момент проведения испытаний возможны искажения ударного импульса.

Таким образом, собственные частоты (в частности, 1-я собственная частота) конструкции ударной машины испытательного стенда являются одним из факторов, влияющих на форму, длительность (τ), а также пиковое ускорение (A) ударного импульса, которое необходимо учитывать при измерении параметров удара (производится по ГОСТ 8.049–73).

Для определения первой (низшей) собственной частоты в расчетах [2] предлагается пользоваться неравенством:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C}{m}} \geq \frac{X}{\tau}, \quad (1)$$

где C – жесткость системы элементов ударного стола,
 m – суммарная масса конструкции ударного стола,
 X – величина, характеризующая форму кривой процесса,
 τ – длительность удара.

Так как наиболее оптимальным для стендов многократных ударов является воспроизведение импульсов простой (полусинусоидальной) формы, то величину, характеризующую форму кривой процесса принимают $X=0,8$. Величина X определяется из справочника [2]. Тогда возможно упростить выражение (1) и получаем неравенство:

$$f_0 \cdot \tau \geq 0,8. \quad (2)$$

Выполнение вышеописанного неравенства (2) позволяет снизить искажения формы ударного импульса, возникающего в реальной системе тел «ударный стол – исследуемое изделие».

Наиболее рациональным для определения собственных частот ударного стола существующего стенда СМУ2000 является применение компьютерного 3D-моделирования в среде SOLIDWORKS Simulation, предназначенной для проведения расчетов и анализа деталей, и полностью внедренной в рабочую среду SOLIDWORKS. На основании компьютерного 3D-моделирования конструкции стола, представленной на рисунке 2, произведен расчёт и анализ собственных частот. Отметим также, что стол имеет полую конструкцию.

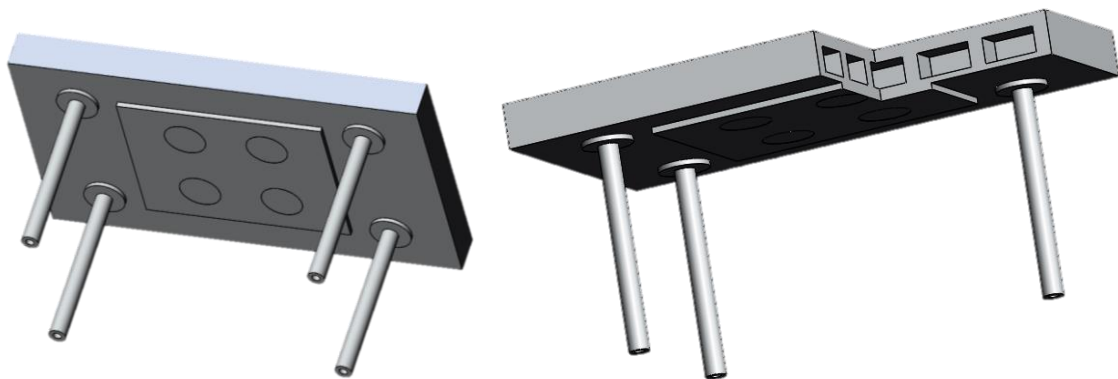


Рисунок 2 – 3D-модель конструкции стола стенда СМУ2000

Производимое моделирование и вычисления осуществляются методом конечных элементов, наиболее подходящим для исследования CAD-моделей и дающим возможность предопределить поведение деталей и сборок в условиях реальной эксплуатации. Полученные результаты частотного анализа ударного стола существующего стенда представлены на рисунке 3.

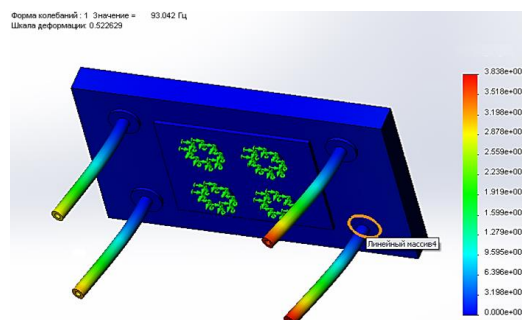


Рисунок 3 – Результаты расчета собственных частот стола автоматизированного стенда СМУ2000

Проводя анализ полученных значений, можно сделать вывод, что собственные частота составляет 93,04 Гц, а деформации, возникающие в результате собственных колебаний, могут достигать 38,4 мм.

Расчет собственных частот для конструкции их нескольких элементов – математическая задача непростая и трудоёмкая. Для оценки верности полученных значений можно воспользоваться приближенным решением по методу Релея–Ритца [3].

Собственные частоты прямоугольного стола со сторонами a и b , а также толщиной h можно рассчитать по формуле, представленной далее.

$$f_0 = \frac{k_m \cdot k_b \cdot C \cdot h}{a^2} \cdot 10^4, \quad (3)$$

где k_m – поправочный коэффициент на материал стола (для алюминиевого сплава (Д16Т) принимается равным 0.95),

k_b – поправочный коэффициент на массу стола:

h – толщина ударного стола,

a – величина наибольшей стороны стола,

C – коэффициент, зависящий от материала, характеристик и отношения размеров (сторон) ударного стола (b/a).

Для оценочных расчетов оптимальных параметров собственных частот существующей системы элементов конструкции ударного стола коэффициент C возможно рассчитать следующим образом [4]:

$$C = \frac{\theta}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot g}{12 \cdot (1 - \gamma^2) \cdot \rho}}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости материала стола,

γ – коэффициент Пуассона,

ρ – плотность материала стола,

θ – коэффициент, зависящий от способа крепления стола.

Таким образом, анализируя результаты расчета собственных частот стола автоматизированного стенда СМУ2000, наиболее подвержены к возникновению собственных частот такие элементы конструкции как направляющие.

На основании определенных ранее собственных частот применим предложенные конструктивные модернизации, а именно расположим направляющие так, чтоб они были жестко зафиксированы на инерционном блоке, а в столе предусмотрены отверстия для установки стола на направляющие. Также снизим вес конструкции исключением из нее стального бойка.

Кроме того, для повышения собственной частоты возможно модернизировать конструкцию самого стола, уменьшив тем самым его вес, при это сохранив полезную площадь, необходимую для закрепления исследуемого изделия. Полученная конструкция стола ударной машины модернизированного автоматизированного стенда представлена на рисунке 4.

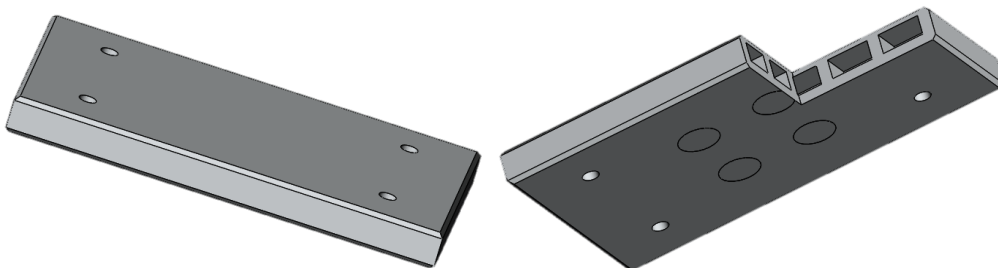


Рисунок 4 – 3D-модель конструкции стола модернизированного стенда (из конструкции исключен стальной боек, направляющие закреплены на инерционном блоке)

Аналогичным образом произведём расчет собственных частот рассматриваемой конструкции. Полученный результат представлен далее на рисунке 5. Стоит отметить, что для получения точного результата применяется более мелкая сетка разбиения по методу конечных элементов.

Полученные результаты частотного анализа позволяют сделать вывод, что деформации конструкции уменьшились и составили 7,46 мм, при этом первая собственная частота модернизируемой конструкции увеличилась в 1,96 раз и составила 181,98 Гц. Масса стола при этом уменьшилась в 1,324 раза.

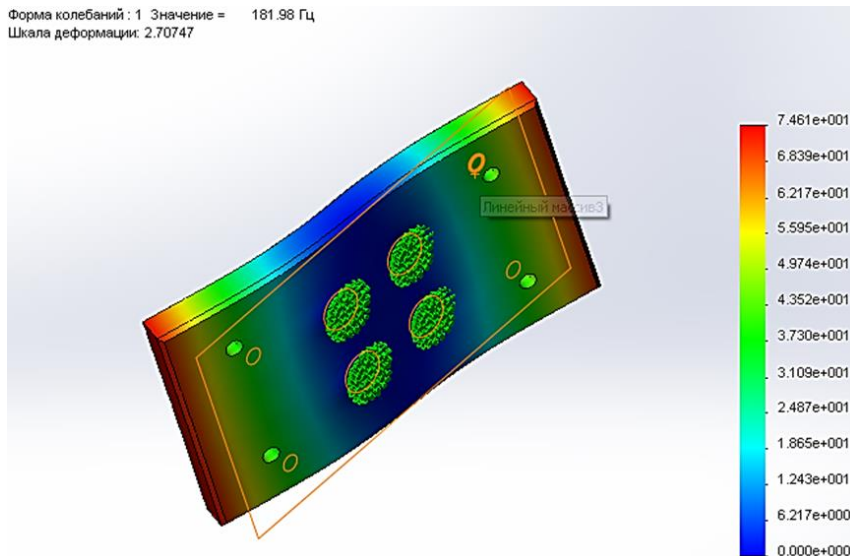


Рисунок 5 – Результаты расчета собственных частот стола модернизированного стенда

На основании результатов расчета, полученных посредством 3D технологий, можно сделать вывод, что проведение изменений в конструкции автоматизированного стенда, а именно изменение закрепления направляющих на инерционном блоке, исключение стального бойка, а также снижение массы самого стола, приводит к облегчению конструкции, и тем самым помогает увеличить собственные частоты. Благодаря данным модернизациям удаётся улучшить резонансные значения для частотного параметра, значит, позволяет минимизировать искажения в форме удара при многократных испытаниях.

Библиографический список

1. Васильев А.К. Разработка и исследование испытательных стендов многократных ударов: дисс. ... канд. техн. наук: 05.02.05 / А.К. Васильев. СПб., 2021 – 132 с.
2. Бегларян В.Х. Механические испытания приборов и аппаратов / В.Х. Бегларян. – М.: Машиностроение, 1980 – 225 с.
3. Батуев, Г.С. Инженерные методы исследования ударных процессов / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков, А.К. Ефремов [и др.]. – 2-е изд., перераб. – М.: Машиностроение, 1977 – 240 с.
4. Пустобаев М.В. Методика испытаний бортовой аппаратуры космических аппаратов на стойкость к ударным воздействиям от срабатывания пиросредств: дисс. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / М.В. Пустобаев. М., 2015 – 145 с.

© Чамара Н. Д., Штрекер Д. С., 2022

УДК 621

КАМЕРА СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ РАКЕТЫ, ИЗГОТОВЛЕННАЯ МЕТОДОМ 3D ПЕЧАТИ (DMLS)

Е. Д. Чуева, Е. А. Федорова*

Научный руководитель – В. Г. Сидоров

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31,

*E-mail: bioomkat@mail.ru

В статье рассмотрен один из методов 3D-печати на примере изготовления одной из самых тяжёлых и дорогостоящих частей двигателя ракеты – камеры сгорания. Аддитивные технологии позволяют по-новому взглянуть на модернизацию космической промышленности в эпоху активного изучения космоса в целом.

Ключевые слова: 3D-печать, 3D- технологии, метод DMLS, метод SLS.

THE COMBUSTION CHAMBER OF THE ROCKET ENGINE, MADE BY 3D PRINTING (DMLS)

E. D. Chueva, E. A. Fedorova*

Scientific supervisor – V. G. Sidorov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology 31, Krasnoyarsky Rabochy Av.,
Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation,

*E-mail: bioomkat@mail.ru

The article considers one of the methods of 3D printing on the example of manufacturing one of the heaviest and most expensive parts of a rocket engine - the combustion chamber. Additive technologies allow us to take a fresh look at the modernization of the space industry in the era of active space exploration in general.

Keywords: 3D printing, 3D technologies, DMLS method, SLS method.

В современном мире 3D-технологии имеют огромное значение, их применяют во многих областях: медицина, архитектура, дизайн, маркетинг, промышленность, аэрокосмическое производство и т.д. Рынок аддитивных технологий демонстрирует рост, востребованность и развитие возможностей. Так теперь под фразой «3D-печать» можно представить не только простую фигурку из пластика, но и технически-сложную деталь из металла.

Одним из немногих методов 3D-печати, способным создать изделие из металла, является метод DMLS (Direct Metal Laser Sintering) - прямое лазерное спекание металла. Для этого метода используют порошковую металлургию, где под давлением и с температурой ниже температуры плавления порошка (металлического) образуется заготовка.

Метод DMLS произошёл в 90-х годах от более раннего метода SLS (селективного лазерного спекания). Разница этих методов в том, что прямое металлическое лазерное спекание (DMLS) работает с металлическими сплавами или смеси металлов, поскольку он не плавит металлический порошок. В то время как технология SLS лучше всего работает с чистыми металлами, т.к. нагревает металл сильнее.

Процессы этих двух методов идентичны. DMLS следует основной последовательности процессов для большинства технологий 3D-печати. Сначала принтеру подается код от 3D-модели, который позволяет начать создание физического изделия. В бункер принтера насыпают металлический порошок, после порошок нагревают до необходимой температуры. В принтере используется инертный газ, который защищает нагретый порошок и детали при сборке. Сборка начинается с нанесения тонкого слоя металлического порошка на платформу для сборки. Затем лазер начинает свой путь для этого слоя, выборочно спекая порошок в твердое вещество. В результате последовательность дозирования слоя и спекания продолжается до завершения детали. После того как деталь остыла, окружающий сыпучий металлический порошок удаляется из принтера (рисунок 1). Последние шаги включают удаление поддержки.



Рисунок 1 – 3D принтер EOS M 270

Технология DMLS имеет некоторые достоинства по сравнению с традиционными методами. Самым очевидным можно назвать возможность быстрого изготовления геометрически сложных деталей без необходимости механической обработки. Производство в большинстве своем безотходно, что выгодно отличает эту технологию от субтрактивных технологий. Технология позволяет создавать несколько деталей одновременно, а широкий ассортимент материалов позволяет создать эти детали практически для чего угодно. Стали, нержавеющие стали, алюминий, титан, никелевые сплавы, хром-кобальтовые сплавы, драгоценные металлы - подобное разнообразие можно использовать в печати как в чистом виде, так и со сплавами, не влияя на свойства материала. Даже смеси порошков (например, алюминия и нейлона) могут быть успешно напечатаны. Металлический порошок, который не спекается и не расплавляется, можно использовать повторно. Построение моделей занимает порядка нескольких часов, что несоизмеримо более выгодно, чем литейный процесс, который может занимать до нескольких месяцев с учетом полного производственного цикла. С другой стороны, детали, произведенные лазерным спеканием, не обладают монолитностью, они являются пористыми по отношению к расплавленной металлической части, а потому не достигают тех же показателей прочности, что и отлитые образцы, или детали, произведенные субтрактивными методами. Так же большинство принтеров DMLS имеют относительно небольшие объемы сборки.

Метод DMLS позволяет создать сложные геометрические детали, а также снизить вес, при этом сохранив прочность и долговечность конструкции. Благодаря таким плюсам метод прямого лазерного спекания металла начали использовать в космической отрасли.

Жидкостный ракетный двигатель (ЖРД), как следует из названия, работает на жидком топливе, которое в камере сгорания превращается в реактивную газовую струю, создающую тягу. Камера сгорания состоит из двух основных частей, самой камеры и сопла. В камеру поступает горючее и окислитель через форсунки. Для защиты от нагрева в частях камеры с малыми тепловыми нагрузками (например, выходных участков сопел с большими степенями расширения) используется радиационное охлаждение, а сами стенки камеры изготавливаются из жаропонижающих материалов. А на участках с более высокими тепловыми нагрузками, такими как камера сгорания и горловина сопла, используется абляционное охлаждение.

После прохождения камеры, смесь горючего и окислителя попадает в дозвуковую сужающуюся часть сопла, где смесь ускоряется до местной скорости звука. А следом поток попадает в расширяющийся участок сопла и разгоняется до сверхзвуковой скорости. Сама камера сгорания является одной из самых дорогостоящих частей всего ракетного двигателя, производство которой занимает долгое время. Ко всему прочему, камера сгорания ЖРД имеет внушающую массу, и при традиционном производстве деталей из жаропрочных материалов масса исходной заготовки может в десятки раз превышать массу готового изделия.

В поисках решения данных проблем специалисты пришли к изготовлению ЖРД с помощью 3D-печати. Типичный размер области построения существующих установок составляет 250x250x250мм. Камера сгорания — один из ключевых элементов жидкостного ракетного двигателя, работающих при экстремально высоких температурах.

Первые огневые испытания 3D-печатной камеры сгорания прошли в США, в центре космических полетов NASA имени Джорджа Маршалла. Полученные данные позволят оптимизировать конструкцию дорабатываемого двигателя. Первые испытания M10 в сборке предварительно намечены на конец текущего года. Сертификационные наземные испытания запланированы на 2024 год, а с 2025 года двигатели начнут устанавливать на ракеты-носители Vega.

В независимости от всех плюсов, преимуществ, удобства печати камер сгорания существуют некоторые факторы, влияющие на качество печати. К примеру, дефект, называемый «коробление», происходит из-за перехода материала из одного состояния в другое и изменения температур, материал начинает уменьшаться в объеме. Этот процесс проходит неравномерно — сначала остывают края, а только затем центральная часть. Из-за этого возникают внутренние напряжения, которые отрывают края или ломают деталь. Так же существует возможность перекоса. Данный дефект чаще всего связан с механической частью принтера (путь фактический не сходится с тем, что был заложен в машину). Еще существуют дефекты, связанные с электронной моделью. Причиной может служить человеческий фактор. Пропущенный слой, несоблюдение осей, недоэкструзия, провисания: эти и еще многие дефекты могут случаться при работе с печатью на 3D-принтерах.

С 2014 года компания SpaceX занималась модифицированием своей космической капсулы Dragon. Одним из самых заметных отличий новых ракетных двигателей является то, что его камера сгорания создана на основе 3D-печати, при использовании метода DMLS. Материалом для камеры сгорания послужил инконель, жаростойкий хромоникелевый сплав. Испытание новой камеры сгорания прошло успешно, и уже 3 марта 2019 года к международной космической станции пристыковался корабль, оборудованный системой спасения из восьми двигателей, напечатанных на 3D-принтерах.

Таким образом, можно сделать вывод, что метод DMLS уже является неотъемлемой частью прогресса и развития в сфере космической промышленности. Более того, как следует из вышеизложенного, 3D-печать в настоящий момент используется в компаниях, занимающихся постройкой ракетных двигателей. Метод DMLS позволяет облегчить как саму конструкцию, так и процесс ее изготовления. Однако минусы технологии требуют постоянной доработки и изучения, в связи с чем, вывод, сделанный в данной работе, может быть использован для дальнейшего анализа рассматриваемого вопроса. В настоящий момент

приоритетным остается усовершенствование печати с помощью технологии DMLS, учитывающей существующие особенности.

Библиографический список

1. Аддитивные технологии для авиакосмической техники [Электронный ресурс] URL: <https://www.3dpulse.ru/news/zhurnal-additivnye-tehnologii/additivnye-tehnologii-dlya-aviakosmicheskoi-tehniki/> (дата обращения: 16.09.2022).
2. Журнал «Аддитивные технологии» №3-2022
3. Космонавтика: Энциклопедия / Гл. ред. В. П. Глушко; Редколлегия: В. П. Бармин, К. Д. Бушуев, В. С. Верещетин и др. — М.: Сов. энциклопедия, 1985. — 528 с., ил., 29 л. ил.
4. Отработка конструктивных и технологических решений для изготовления опытных образцов внутренней оболочки камеры сгорания многофункционального жидкостного ракетного двигателя с использованием аддитивных технологий [Электронный ресурс] URL: <https://www.energia.ru/ktt/archive/2017/01-2017/01-04.pdf> (дата обращения: 16.09.2022).
5. Энциклопедия 3D-печати [Электронный ресурс] URL: <https://3dtoday.ru/wiki> (дата обращения: 16.09.2022).

© Чуева Е. Д., Федорова Е. А., 2022

APPLICATION OF CAD SYSTEMS IN FORESTRY MACHINE-BUILDING

K. N. Chernik

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: Kristi.Blueberry@yandex.ru

This paper examines the possibilities of using computer-aided design systems in forestry machine-building, which reduce the time required to introduce new products, as well as have a significant impact on production technology, allowing to improve the quality and reliability of products, thereby increasing their competitiveness.

Keywords: design, CAD-systems, Compass 3D, SolidWorks, timber machine.

ПРИМЕНЕНИЕ CAD-СИСТЕМ В ЛЕСНОМ МАШИНОСТРОЕНИИ

К. Н. Черник

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: Kristi.Blueberry@yandex.ru

В данной работе рассматриваются возможности применения систем автоматизированного проектирования в лесном машиностроении, которые позволяют сократить срок внедрения новых изделий, а также оказывают существенное влияние на технологию производства, позволяя повысить качество и надежность выпускаемой продукции, повышая, тем самым, ее конкурентоспособность.

Ключевые слова: проектирование, CAD-системы, Компас 3D, SolidWorks, лесная машина.

Forest machines are a complex of specialized machines, vehicles and modular units designed to mechanize various labor-intensive technological processes, during the harvesting and transportation of wood. The creation of a new forest machine is a complex multi-stage process, including the justification of the need to create a machine, research and development work.

An analysis of scientific and technical literature shows that today the process of developing logging production depends on the use of increasingly effective means of organizing on the basis of scientific and technological progress. Engineering enterprises are faced with the task of increasing the volume of production of forest machines, reducing the design time and reducing the cost of them, while creating safe and competitive equipment. However, the process of creating a new forest machine is a laborious, long and expensive stage, since its field tests are carried out. Therefore, in order to reduce the volume of expensive field tests, virtual experiments are being introduced that significantly speed up and reduce the cost of developing a forest machine [1-8].

The implementation of the virtual experiment occurs with the introduction into production of computer modeling methods using computer-aided design (CAD) systems. CAD is a complex information complex designed to automate design, it is this CAD system that allows engineers of various profiles to carry out projects to create new forest equipment. Such technologies are used together with automated design (engineering analysis) and automated production [1, 2].

Currently, computer-aided design systems such as Compass 3D, SolidWorks, AutoCAD, T-Flex, MATLAB, MathCad and Ansys are widely used in leading engineering, research and development enterprises. Let's take a closer look at what each CAD system is for and what design engineers can do. The Compass 3D software system automates design work in terms of 3D modeling, this program is primarily designed for the design of parts, assemblies, modeling of kinematics of their work and industrial design. The process of modeling the dynamics of forest machine structures is carried out in MathCad and Ansys systems. The MathCad design dynamics calculation is based on an explicit and subsequent numerical solution of differential equations using the algorithms built into MathCad. This approach is often applied in practice to simulate the interaction of the forest machine with the subject of work. The multidisciplinary CAD package Ansys and SolidWorks, based on the use of the finite element method, allows you to assess the dynamics of structures (without explicitly writing differential equations), analyze the strength and fatigue life of structures [2, 3].

Note that in practice, when designing forest machines, the task of developing the kinematics of individual mechanisms is often encountered. Using the Compass 3D software package, you can solve such a problem, since the CAD system at the early stages of design allows you to check the assemblage of the mechanism, find its final kinematic characteristics, determine unacceptable contacts between responsible parts and implement the synthesis of the kinematically movable 3D model assembly [4].

Using the MATLAB software package, you can determine the dynamic loading of logging machines. To do this, the Symbolic Math Toolbox built-in symbolic calculation package is used, which allows you to determine the dynamic parameters of the technological equipment of forest machines by solving differential equations of the 4th degree, in a wider specified range of variations in the parameters of the dynamic system [5].

Using the T-Flex CAD system parameterization tools, you can generate 3D models of forest machine structural elements, such as a manipulator, and define the dimensions of the boom section and the handle of the process equipment on the load capacity of the machine, as well as make a controlled functional 3D model of the manipulator, which allows you to analyze the kinematic characteristics of the machine.

It is known that dynamic loads, to a large extent exceeding the static value, act on the chassis of the sorting truck, in conditions of movement on forest roads and public roads. This kind of load is due to the elastic and damping characteristics of the suspension and tires, as well as the values of irregularities of the movement surfaces. Using MathCad engineering calculations, design engineers can simulate the vertical dynamics of the truck movement and use the data obtained during the calculation for subsequent modeling of the stress-strain state of the chassis parts of the truck, assessing its strength and fatigue life. You can also use the Ansys software to simulate the stress-strain state of a prefabricated structure.

In recent years, research related to the assessment of the strength and fatigue life of elements of metal structures of logging machines has become of particular importance for domestic machine-building plants. To do this, use various elements of the MathCad, SolidWorks and Ansys systems.

So, for example, in work [4], a strength analysis of the technological equipment of the logging machine in the SolidWorks program was carried out. The authors, using the COSMOSWorks application to SolidWorks, solve the problems of the mechanics of a deformable solid by finite element method. In this case, SolidWorks allows you to determine not only the correctness of the selected sections of the process equipment design, but you can also see how the design geometry affects the stress distribution.

Based on 3D models developed in CAD systems, you can get physical models - this is called prototyping. Prototyping is a required step in the development of any new product. Creating a high-quality prototype that is as similar as possible to the future product is a very difficult task. We have to solve the problem of accurate repetition of the geometric shape, assemblability, appearance and search for materials that are as similar as possible to the specified ones. [6, 7].

Based on the considered possibilities of using computer-aided design systems in forestry engineering, it can be concluded that their implementation can reduce the cycle of product creation (by 2 times), reduce the material consumption of the product (by 25%), reduce production costs (by 20%), increase product quality and competitiveness of the manufacturer. The use of CAD systems allows you to solve the problems of style design, product appearance design and parallel aggregate product development.

Библиографический список

1. Poletaykin V. F., Kolesnikov P.G. *Kombinirovannyye manipulyatory lesosechnykh i lesotransportnykh mashin. Dinamika elementov konstruktssii* [Combined manipulators of logging and timber transport machines. Structural Element Dynamics]. Krasnoyarsk, SibGTU, 2014. 167 p.
2. Aleksandrov V.A., Shol' N.R. *Konstruirovaniye i raschet mashin i oborudovaniya dlya lesosechnykh rabot i nizhnikh skladov* [Design and calculation of machinery and equipment for logging works and lower warehouses]. St. Petersburg: Publishing House "Lan," 2010. 256 p.
3. Vatulin Ya. S. , Kozlov M. N. ,Potakhov D. A. ,Potakhov E. A. *Issledovanie dinamiki raboty gruzopod"emnykh mashin sredstvami SolidWorks* [SolidWorks Load Lifting Machine Dynamics Study]. St. Petersburg: PGUPS, 2017. 24 p.
4. Chernik D.V, Eske Z.L. Hardness analysis of logging machine process equipment in solidworks program .*Conifers of the boreal area*. 2019, Vol. XXXVII, No. 1, P. 79–83 (in Russian).
5. Demyanchik A.Ya. , Shol' N.R. Study of dynamic loading of the logging machine manipulator in different modes of use based on MATLAB. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Current problems of the forest complex], 2007. no 20, pp. 30-33. (in Russian).
6. Kolesnikov P.G., Peshkov A.A., Gordeev M.P. Prototyping in the design of forest loaders *Mekhaniki XXI veku*. 2017, no. 16, pp.126-128. (in Russian).
7. Chernik D. V., Kazantsev R. V. Physical simulation of a universal logging machine *Coniferous boreal zone*, 2020, Vol. XXXVIII (3-4) pp. 183-188 (in Russian).

© Черник К. Н., 2022

УДК 681

ПОДГОТОВКА 3D ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ 3D ТЕХНОЛОГИИ

М. А. Шкловец*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: shklovets@mail.sibsau.ru

Рассматривается последовательность подготовки оборудования для 3D печати и параметры, которые необходимо настроить для получения качественного изделия.

Ключевые слова: 3D печать, 3D принтер, калибровка

PREPARATION OF 3D EQUIPMENT FOR IMPROVING THE QUALITY OF MANUFACTURING IN MECHANICAL ENGINEERING USING 3D TECHNOLOGY

M. A. Shklovets*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: shklovets@mail.sibsau.ru

The sequence of preparation of equipment for 3D printing and the parameters that need to be configured to obtain a quality product are considered.

Key words: 3D printing, 3D printer, calibration

Научно-практические задачи.

Большинство разработанных компьютерных 3D моделей реализуются в виде прототипов или экспериментальных образцов перед принятием решения об их дальнейшем производстве.

Существуют несколько вариантов реализации этих образцов, и одним из них является 3D печать. Наиболее доступной является 3D печать с использованием полимеров. Для получения качественного результата, использованное оборудование должно быть откалибровано, а параметры процесса печати должны быть оптимизированы под материал и исходный образец.

Стоит принять во внимание, что качественная печать - это баланс между несколькими параметрами процесса печати (скорость печати, температура печати и т.д.). Так же на качество получаемого изделия влияет правильная сборка и калибровка компонентов самого принтера.

Для стабильной работы 3D-принтера и получения качественных изделий пользователю необходимо периодически проводить калибровку устройства и корректировку параметров процесса печати.

Основными частями 3D принтера в большинстве исполнений являются следующие узлы:

1. Рабочий стол.
2. Экструдер (печатающая головка).
3. Система охлаждения.
4. Приводы осей.

Процесс калибровки выполняется в определённом порядке:

1. Рабочий стол.
2. Приводы осей.
3. Экструдер (печатающая головка).
4. Система охлаждения.

Калибровка рабочего стола.

Основная причина плохой адгезии пластика к столу - это неверно откалиброванный стол. Печатаемая нить первого слоя должна наполовину вдавливаться в стол и создавать монолитное покрытие с едва заметными бороздками между линиями.

Самый простой и популярный метод – с использованием листа бумаги. Кроме этого понадобится нагреть стол и сопло до рабочих температур. Сначала необходимо предварительно настроить высоту стола относительно сопла. Используя регулировочные устройства стола, установите расстояние от сопла до стола около 2мм. В программе настройки принтера задайте это расстояние как исходное. После этого перейдите в параметра настроек точек стола. Положите лист бумаги на стол, и используя регулировочные механизмы стола уменьшайте зазор между столом и листом бумаги до тех пор, пока лист бумаги не станет возможным передвигать с заметным усилием. Необходимо провести эту процедуру для всех контрольных точек. После этого необходимо зафиксировать в программе настройки принтера как исходные. Эта процедура повторяется до тех пор, пока во всех контрольных точках усилие сдвига бумаги станет одинаковым. После каждого цикла настроек необходимо фиксировать полученные результаты как исходные.

Тонкая калибровки стола производится посредством распечатки тестовой однослойной модели при низкой скорости печати и максимальном покрытии стола. В процессе печати используя механизма регулировки стола необходимо добиться равномерной укладки линий без зазоров и бугров между ними.

Калибровку температуры рабочего стола необходимо проводить в условиях, которые как можно больше соответствуют условиям печати (при наличии корпуса закрывается дверь принтера и надевается крышка). Данная процедура проводится при помощи регулятора, который позволяет задать и поддерживать стабильную температуру стола во время работы. Температура рабочего стола настраивается в зависимости от типа применяемого пластика и обычно лежит в пределах 60-90°C. Более точные параметры температуры получают при распечатки тестового образца.

Калибровка приводов осей.

Калибровка приводов осей производится в программе настройки принтера. Для получения необходимых данных необходимо выяснить количество шагов двигателя привода на один оборот и шаг резьбы винтового привода или диаметры шкивов и шаг ремня. После получения этих данных производится расчёт количества шагов двигателей привода для смещения координат на 1 мм.

Полученные данные заносятся в настройки принтера и сохраняются как исходные.

Калибровка экструдера.

Предварительно выполняются расчеты для получения калибровочных данные экструдера (Е). Чтобы их рассчитать сначала нужно нагреть сопло до рабочей температуры (например до 80°C) и выдавить нить длиной 100 или 200 мм (на выбор). После того как нить вышла полностью, необходимо измерить ее длину. У нас вместо 100 мм вышло 90. Считаем по пропорции 90 — 80; 100 — Е. Получается следующий расчет: $E = 100 \times 80 / 90 = 88,9$ и результат записывается в настройки принтера и сохраняются как исходные.

Калибровка экструдера производится посредством распечатки тестового образца. В файле образца или в программе управления принтером параметры печати настраиваются таким образом, чтобы при печати образца температура экструдера менялась с заранее выбранным шагом по высоте печати на заранее выбранную температуру. После распечатки образца выбирается слой, в котором имеется минимальное количество дефектов. Для более

точной настройки распечатка повторяется с более мелким шагом, но уже для температуры, для которой было минимум дефектов. [1, 2]

Настройка охлаждения образца.

При печати детали пластик разогревается до температуры плавления и выдавливается через сопло экструдера. При этом головка экструдера разглаживает верхний слой по модели. Если размеры этого слоя маленькие по сравнению с размерами самой головки, то головка постоянно находится над распечатываемой областью. Это приводит к тому, что уже распечатанная часть начинает плавиться и создавать дефекты. Для устранения этой проблемы используется охлаждение.

Достаточно простой способ организовать охлаждение — использовать программы управления принтером и настроек печати образца. В этом случае не требует никаких изменений в принтере. Идея состоит в том, чтобы при распечатке слоев с маленькими размерами на время отводить печатающую головку в сторону, чтобы дать модели остыть.

Однако, часто бывает недостаточно программного охлаждения, поэтому во многих принтерах имеется специальный вентилятор, который охлаждает распечатываемую модель. Чтобы улучшить качество печати, не модифицируя принтер можно поставить внешний вентилятор и направить его в сторону печатаемой модели. Недостатком этого является необходимость ручного управления включением и выключением вентилятора и невозможность точно контролировать силу и направление обдува. Более совершенный вариант — подключить вентилятор к электронике для управления силой обдува и сделать воздуховод для формирования нужного направления потока.

К сожалению, даже этот способ не лишён недостатков, так как обдув будет охлаждать стол и экструдер и, кроме этого, качество охлаждения распечатываемого образца будет сильно зависеть от его аэродинамических свойств, а это в итоге приводит к тому, что при сложных образцах охлаждение подбирается опытным путём.

Основными параметры процесса печати являются:

1. Скорость печати.
2. Толщина слоя.

Настройки параметров печати определяются требуемыми параметрами качества получаемого образца, временем печати и типом пластика. К сожалению, в большинстве случаев это требует тестовой печати для подстройки параметров относительно заданных по умолчанию

В результате вышесказанного, можно сделать вывод, что для получения качественных изделий с применением 3D технологий требуется достаточно длительный и трудоёмкий процесс подготовки оборудования. [3]

Библиографический список

1. Сайт компании VEKTORUS – магазин 3D оборудования [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://vektorus.ru/blog>, свободный. – Яз. Рус.
2. Имитационное моделирование и цифровое производство с использованием 3D-сканеров и 3D-принтеров при проектировании и изготовлении сложных деталей ракетно-космической техники : учебное пособие / Д. В. Сорокин, Л. А. Бабкина, В. А. Нестеров [и др.]. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2017. — 90 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/147500> (дата обращения: 21.09.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Сайт компании TEXHO3D- магазин 3D принтеров [Электронный ресурс] – Режим доступа <https://3dpt.ru/blogs/support/>, свободный. – Яз. Рус.

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ УСТРОЙСТВА ТОЧНОГО ВЫСЕВА В КОМПАС 3D

Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. В. Черник*, М. Д. Калинин

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: dionisu2@mail.ru

В статье приведено описание этапов моделирования устройства точного высева для выращивания семян в закрытой корневой системе в отечественной системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3D.

Ключевые слова: сеялка, устройство точного высева, КОМПАС 3D, моделирование.

DEVELOPMENT OF 3D MODEL OF PRECISE SEEDING DEVICE IN KOMPAS 3D

E. V. Avdeeva, N. L. Rovnykh, D. V. Chernik*, M. D. Kalinin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: dionisu2@mail.ru

The article describes the stages of modeling an accurate seeding device for growing seedlings in a closed root system in the domestic COMPAS 3D computer-aided design system.

Keywords: seeder, precision seeding device, COMPASS 3D, modeling.

За основу конструкции устройства точного высева взята компоновка сеялки шведской компании ВСС АВ [1]. Спроектированная сеялка точного высева рассчитана для использования в тепличных комплексах для выращивания семян с закрытой корневой системой. Конструкция сеялки позволяет, засеивать три ряда кассеты Плантек 81Ф размерами 9х9 ячеек 385х385 мм, или отечественных кассет РКЛ-81 производства ООО «АГРОПЛАСТ» Татарстан.

Рабочий орган устройства точного высева представляет собой полый вал с выполненными в нем отверстиями для захвата семян (рис. 1). Вал представляет собой полую трубу с последовательным рядом 27 отверстий диаметром 0,35мм для захвата семян с помощью разряжения внутри трубы для одновременного засева трех рядов по девять ячеек. С торцов трубы закреплены ступицы, одна из которых является заглушкой и имеет посадку под радиальный подшипниковый узел, закрепленный к корпусу сеялки, обеспечивающий радиальную и осевую фиксацию вала. Моделирование деталей рабочего органа в программе КОМПАС 3D осуществлялось в основном с помощью инструмента «Элемент выдавливания», отверстия на валу моделировались с помощью инструмента «Вырезать выдавливанием».

После захвата семян, вал поворачивается на 180° к сборщику, в это время сбрасывается вакуум внутри полого вала, подается избыточное давление, семена падают в отверстия Сборщика и по распределяющим трубкам опускаются вниз к трем рядам выходных трубок, попадая в подвижные сопла (рис. 2). В сеялке от сборщика идет три вида трубок: прямые, загнутые под 25° и 35°. Моделирование деталей рабочего органа в программе КОМПАС 3D осуществлялось в основном с помощью инструмента «Элемент

вращения», распределяющие трубки выполнены с помощью инструмента «Элемент по траектории» [2].

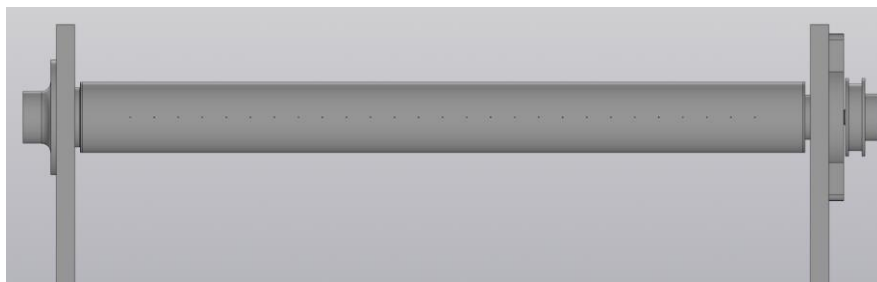


Рис.1. Рабочий орган сеялки

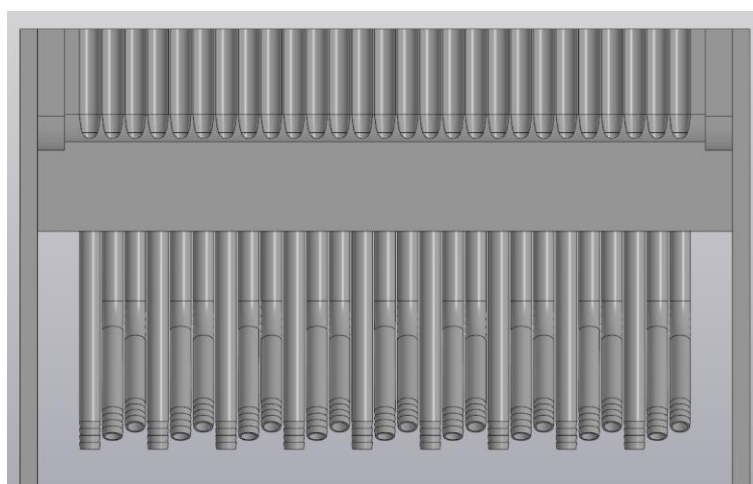


Рис. 2. Сборщик семян и распределяющие трубки

При проектировании сеялки, модель изображена на рис. 3, в расчет бралась возможность установки на линии точного высева трех сеялок последовательно на одно, или на два кассета-места для одновременного высева семян в кассету размером РКЛ-81 (9x9) ячеек, или РКЛ-100 (10x10), или РКЛ-121 (11x11).



Рис. 3. Модель сеялки

Конструкция устройства разрабатывалась с использованием средств объемного моделирования. Построена 3D модель, благодаря чему получена возможность проверки взаимного расположения деталей и узлов, возможность автоматизированного построения чертежей.

На основе 3D модели были разработаны ассоциативные чертежи устройства точного высева.

Проект «Разработка импортозамещающего комплекса оборудования точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой, оптимизация параметров модульной теплицы для условий лесничеств Красноярского края», № 2022030508374 поддержан Красноярским краевым фондом науки.

Библиографический список

1. BCC. Plant the planet. URL: <https://www.bccab.com/ru/2021/06/15/latvias-state-forests-started-their-new-nursery-in-mezvidi/> Текст: электронный.
2. Горелов, В. Н. Принципы построения 3D-моделей корпусных деталей в системе КОМПАС-3D / В. Н. Горелов, И. А. Кокорев // Перспективное развитие науки, техники и технологий : Материалы 3-й Международной научно-практической конференции: в 3 томах, Курск, 18 октября 2013 года / Ответственный редактор Горохов А.А.. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2013. – С. 321-324. – EDN THDVGD.
3. Черник, К. Н. Трехмерное моделирование деталей элементов конструкции манипулятора в t-Flex CAD / К. Н. Черник, Д. В. Черник // 3D технологии в решении научно-практических задач : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 19 мая 2021 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 124-127. – EDN BHZQFG.

© Авдеева Е. В., Ровных Н. Л., Черник Д. В., Калинин М. Д., 2022

УДК 004.9

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ 3D МОДЕЛИ КАРКАСА ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В SOLIDWORKS

Д. В. Черник*, Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, А. И. Августин

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: dionisu2@mail.ru

В данной публикации проведен прочностной анализ трёхмерной модели каркаса теплицы для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой в специализированной программе SOLIDWORKS, основанной на методе конечных элементов.

Ключевые слова: теплица, SOLIDWORKS, прочность конструкции, каркас.

STRENGTH ANALYSIS OF 3D MODEL OF GREENHOUSE FRAMEWORK FOR GROWING SEEDLINGS WITH CLOSED ROOT SYSTEM IN SOLIDWORKS

D. V. Chernik*, E. V. Avdeeva, N. L. Rovnykh, A. Yu. Karnaukhov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: dionisu2@mail.ru

In this publication, a strength analysis of a three-dimensional model of a greenhouse frame for growing seedlings with a closed root system was carried out in a specialized SOLIDWORKS program based on the finite element method.

Keywords: greenhouse, SOLIDWORKS, structural strength, frame.

SOLIDWORKS представляет собой параметрическую систему создания моделей твердых тел, состоящих из элементов. SOLIDWORKS Simulation - приложение к SOLIDWORKS, предназначенное для решения задач механики деформируемого твердого тела методом конечных элементов. Программа использует геометрическую модель детали или сборки SolidWorks для формирования расчетной модели. Интеграция с SOLIDWORKS дает возможность минимизировать операции, связанные со специфическими особенностями конечно-элементной аппроксимации. Назначение граничных условий производится в привязке к геометрической модели. Такими же особенностями обладают и процедуры представления результатов [1].

Модель каркаса теплицы разрабатывалась в программе КОМПАС 3D и была импортирована в SOLIDWORKS через файл разрешения SAT - 3D-модель, сохраненная в формате геометрического моделирования ACIS. Название формата расшифровывается как Standard ACIS Text - Стандартный текст ACIS [2].

Прочностной анализ нагрузок и напряжений в элементах конструкции теплицы для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой под действием внешних и нагрузок, и собственного веса в SOLIDWORKS осуществляется в следующей последовательности [3]:

- 1) создание статического исследования (рис. 1);

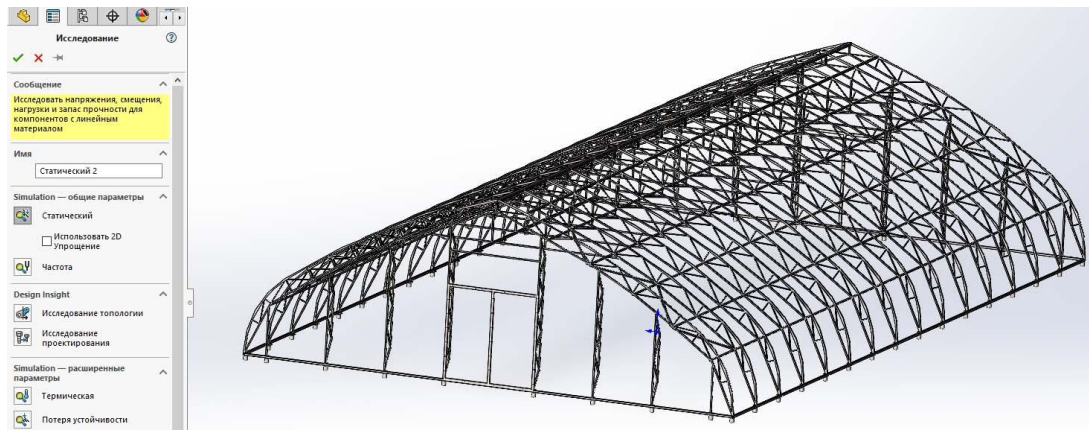


Рис.1 – Создание статического исследования

2) задание материала элементов модели теплицы с помощью инструментов редактирования материала (рис.2);

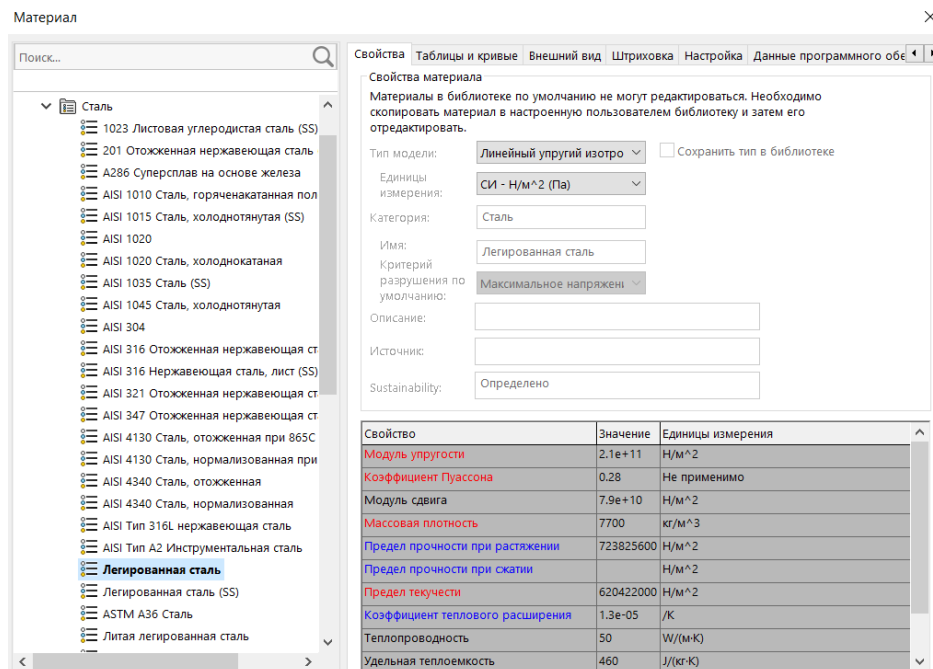


Рис. 2 – Задание материала элементов исследуемой модели

3) наложение внешних связей, ограничивающих перемещение модели элементов конструкции теплицы в пространстве (рис. 3);

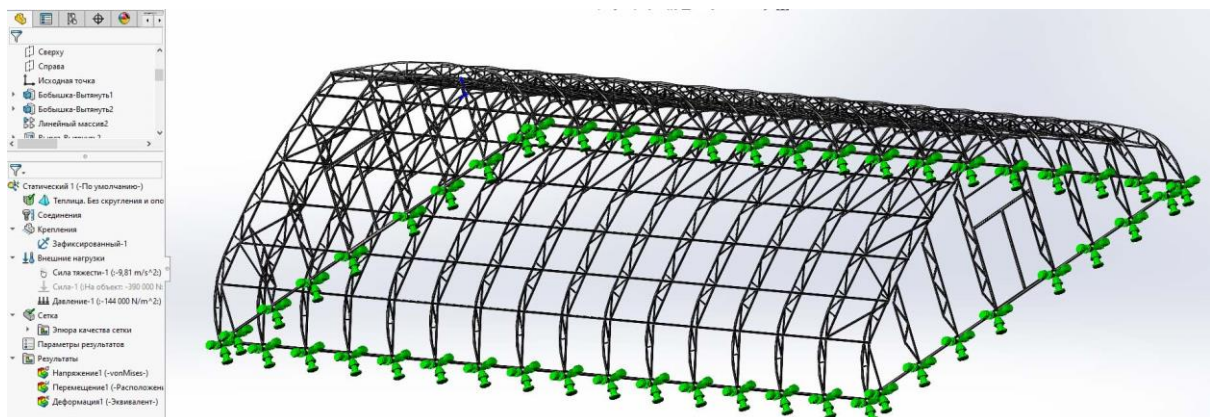


Рис. 3 – Наложение внешних связей на исследуемую модель

4) наложение внешних нагрузок и силы тяжести на элементы модели теплицы согласно расчетам на снеговую и ветровую нагрузки (рис. 4);

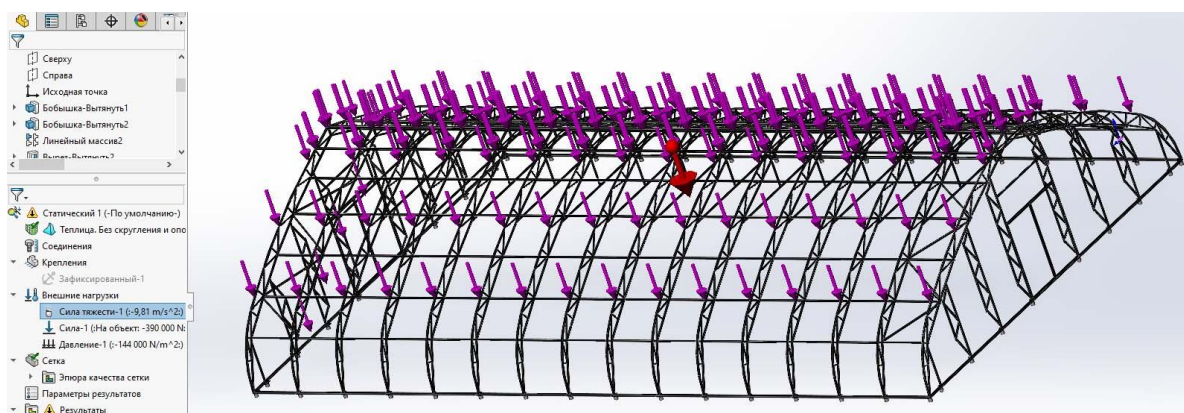


Рис. 4 – Наложение внешних нагрузок и силы тяжести на исследуемую модель

5) создание сетки модели (рис. 5);

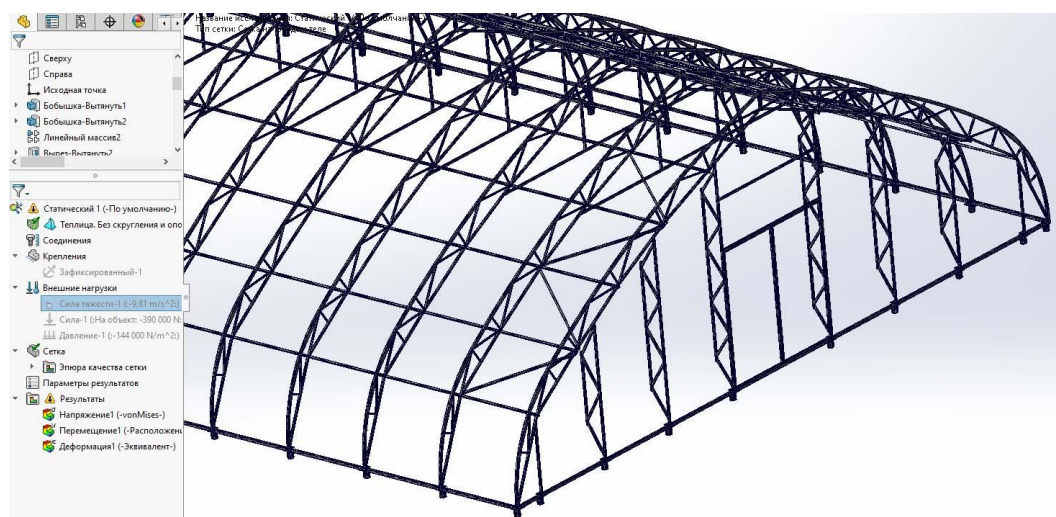


Рис. 5 – Создание сетки исследуемой модели

6) запуск анализа исследования;

7) оценка прочности исследуемой модели на основе полученных результатов в виде цветных эпюр (рис. 6);

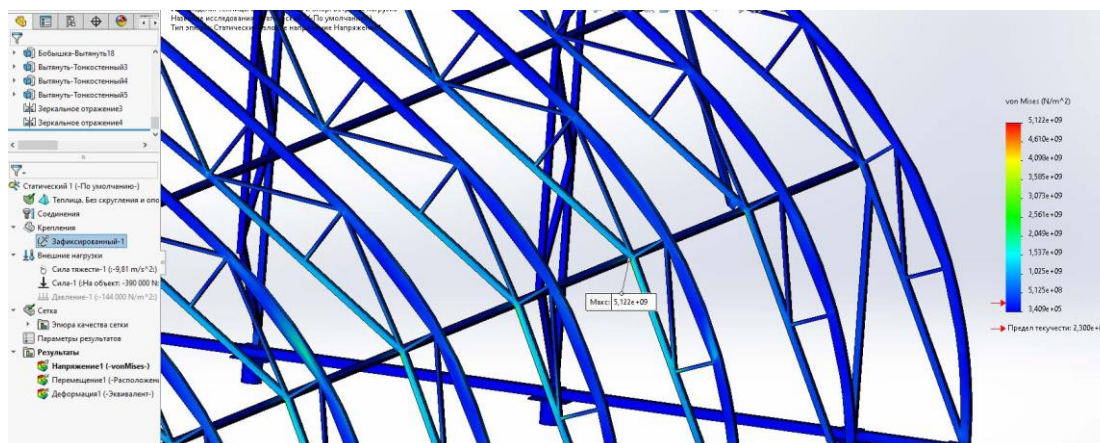


Рис. 6 – Эпюры напряжений исследуемой модели

8) в случае превышения допустимых напряжений в элементах исследуемой конструкции провести оптимизацию геометрии модели арки. Провести анализ полученных результатов в соответствии с пунктами 1-7 данного алгоритма.

Максимальные напряжения, возникающие на каркасе теплицы под приложенной нагрузкой равны 5122 МПа, что в 20 раз превышает допустимые напряжения (250 МПа). Пятно максимальной концентрации напряжений находится на сгибе внутреннего пояса с боковой стороны седьмой арки. Это объясняется тем, что арки, расположенные ближе к середине конструкции теплицы, испытывают наибольшие напряжения, так как не имеют дополнительных опор внутри конструкции. Необходимо провести мероприятия по оптимизации конструкции, которые позволят улучшить прочностные характеристики каркаса теплицы и выполнить повторный анализ.

Проект «Разработка импортозамещающего комплекса оборудования точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой, оптимизация параметров модульной теплицы для условий лесничеств Красноярского края», № 2022030508374 поддержан Красноярским краевым фондом науки.

Библиографический список

1. Алямовский, А. А. SOLIDWORKS Simulation и FloEFD. Практика, методология, идеология / А. А. Алямовский. — Москва : ДМК Пресс, 2018. — 658 с. — ISBN 978-5-97060-646-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/131715> (дата обращения: 23.05.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Лахов, А. Я. Транслятор геометрических моделей геодезических оболочек ARCHICAD - SAT формат / А. Я. Лахов, В. А. Свирежев // Труды научной конференции 16-го Российского архитектурно-строительного форума : Доклады секций семинара, Нижний Новгород, 15–18 мая 2018 года. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, 2018. – С. 7-10. – EDN YQMUNB.

3. Черник, Д. В. Прочностной анализ технологического оборудования лесозаготовительной машины в программе SOLIDWORKS / Д. В. Черник, З. Л. Еске // Хвойные бореальной зоны. – 2019. – Т. 37. – № 1. – С. 79-83. – EDN VVZERV.

© Черник Д. В., Авдеева Е. В., Ровных Н. Л., Авгутин А. И., 2022

УДК 004.9

РАЗРАБОТКА 3D МОДЕЛИ КАРКАСА ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В КОМПАС 3D

Д. В. Черник*, Е. В. Авдеева, Н. Л. Ровных, Д. Е. Шпагин

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: dionisu2@mail.ru

В статье приведено описание этапов моделирования каркаса теплицы для выращивания сеянцев в закрытой корневой системе в отечественной системе автоматизированного проектирования КОМПАС 3D.

Ключевые слова: теплица, КОМПАС 3D, моделирование, каркас.

DEVELOPMENT OF 3D MODEL OF GREENHOUSE FRAME FOR GROWING SEEDLINGS WITH CLOSED ROOT SYSTEM IN KOMPAS 3D

D. V. Chernik*, E. V. Avdeeva, N. L. Rovnykh, D. E. Shpagin

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: dionisu2@mail.ru

The article describes the stages of modeling the frame of a greenhouse for growing seedlings in a closed root system in the domestic KOMPAS 3D computer-aided design system.

Keywords: greenhouse, KOMPAS 3D, modeling, frame.

На сегодняшний день для решения конструкторских задач с последующим формированием конструкторской документации применяются современные средства автоматизированного проектирования (САПР) [1]. Одной из таких САПР является программа «КОМПАС 3D», российская импортонезависимая система трехмерного проектирования, ставшая стандартом для тысяч предприятий и сотен тысяч профессиональных пользователей.

КОМПАС-3D широко используется для проектирования изделий основного и вспомогательного производств в таких отраслях промышленности, как машиностроение (транспортное, сельскохозяйственное, энергетическое, нефтегазовое, химическое и т.д.), приборостроение, авиастроение, судостроение, станкостроение, вагоностроение, металлургия, промышленное и гражданское строительство, товары народного потребления и т. д. [2].

По конструктивным особенностям теплицы разделяют на однозвенные (ангарные) и многозвенные (блочные); по числу скатов кровли – на односкатные, двускатные и многоскатные. По типу основных несущих конструкций различают каркасные и бескаркасные теплицы. Каркасные бывают рамные, стоечнобалочные, арочные, сводчатые (куполообразные), вантовые (подвешенные на тросах) и комбинированные; бескаркасные – панельные, воздухоопорные и комбинированные [3].

В настоящее время многие промышленные теплицы имеют арочную форму и активно используются для выращивания растений для лесовосстановления, в том числе с закрытой

корневой системой (ЗКС). Теплица состоит из следующих основных элементов конструкции: фундамент, несущая конструкция (стены, стойки) и кровля [3].

Моделирование каркаса теплицы в программе КОМПАС 3D осуществлялось в несколько этапов:

- 1) создание эскизов арок торцевых и рядовых конструкций теплицы во фрагменте программы;
- 2) разработка 3D моделей элементов конструкции арок торцевых и рядовых конструкций теплицы на основе эскизов;
- 3) моделирование продольных связей теплицы;
- 4) разработка 3D моделей форточек;
- 5) моделирование ворот;
- 6) сборка теплицы.

Создание эскизов арок торцевых и рядовых конструкций теплицы во фрагменте программы осуществлялось на основе предварительных расчётов параметров теплицы для выполнения поставленных задач по выращиванию семян в ЗКС (рис. 1).

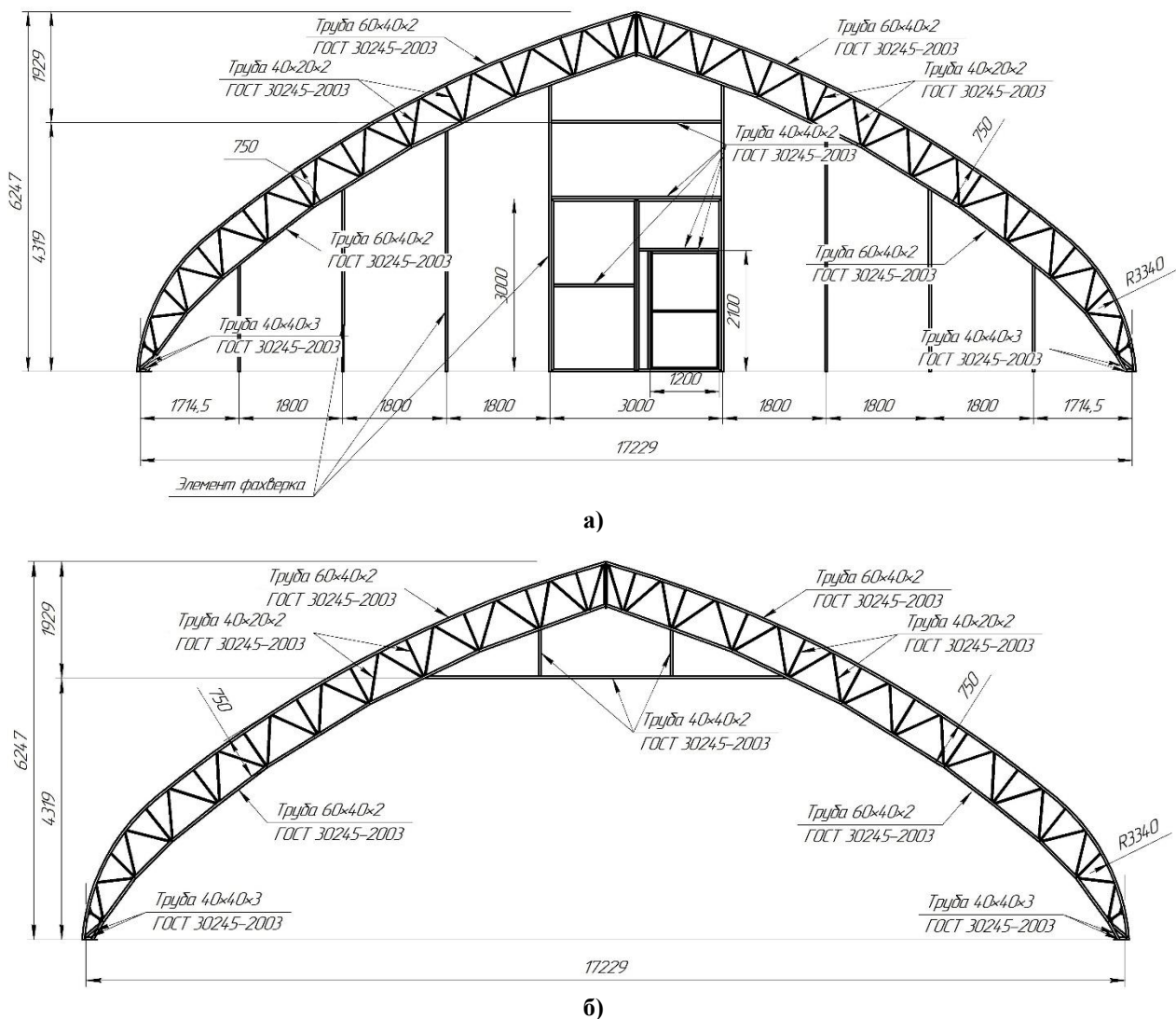


Рис. 1. Эскизы арок теплицы для выращивания семян в ЗКС:
а) торцевых конструкций; б) рядовых конструкций

Разработка 3D моделей элементов конструкции арок торцевых и рядовых конструкций теплицы осуществлялось на основе ранее созданных эскизов с использованием

операций твердотельного моделирования, далее арки собирались в сборочные единицы (рис. 2).

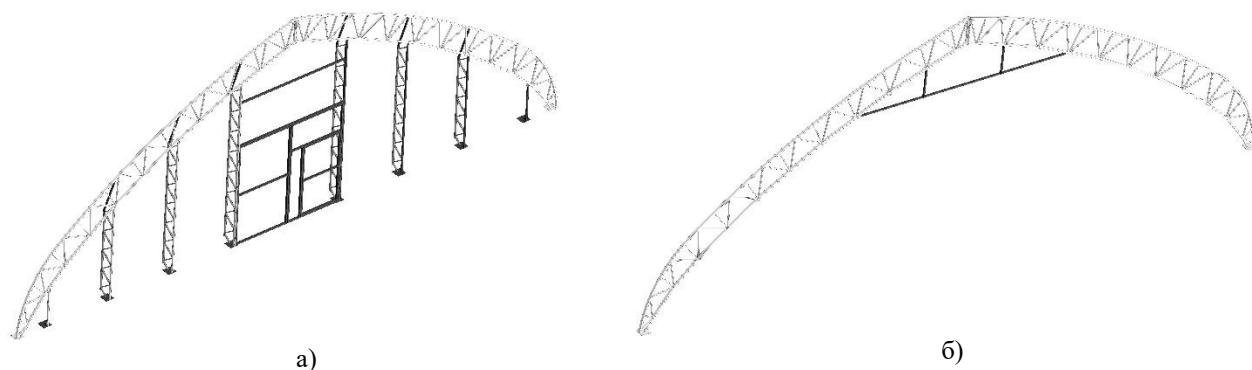


Рис. 2. 3D модели арок теплицы для выращивания сеянцев в ЗКС:
а) торцевых конструкций; б) рядовых конструкций

Моделирование продольных связей теплицы выполнено с помощью операции выдавливания. В сечении тела задан эскиз профиля согласно типовым размерам по ГОСТ 30245-2003. Проушина моделировалась аналогичным образом, далее создавалась сборочная единица связи. Остальные элементы конструкции теплицы моделировались по вышеописанному принципу (рис. 3).

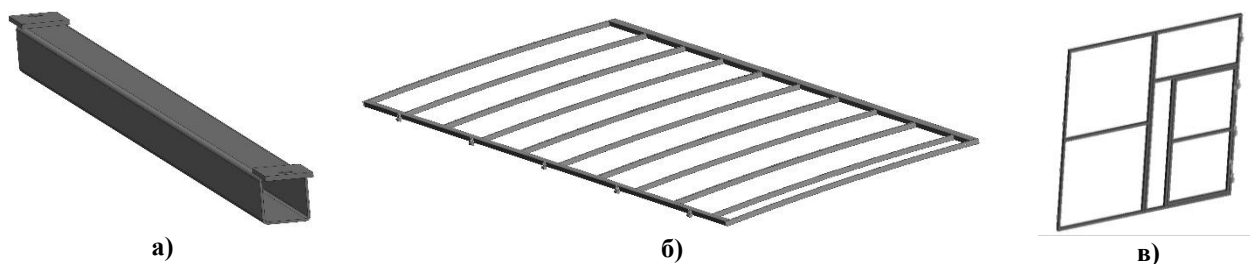


Рис. 3. Трехмерные модели элементов конструкции теплицы:
а) продольная связь; б) форточка; в) ворота

Сборка теплицы осуществлялась с помощью инструментов раздела «Размещение компонентов», в частности инструментами: «Совпадение», «Соосность», «На расстоянии». В результате сборки получена 3D модель теплицы, разработанной для выращивания сеянцев в закрытой корневой системе (рис. 4).

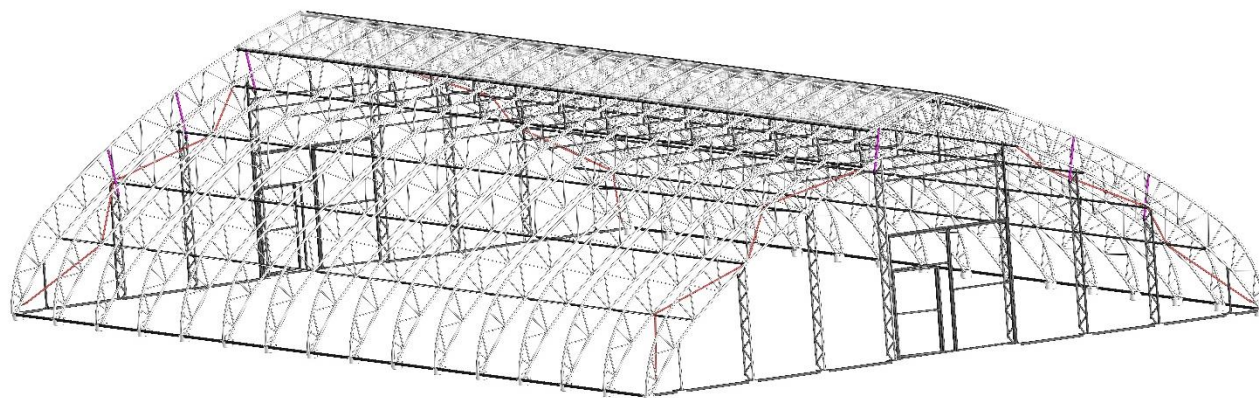


Рис. 4. Модель теплицы для выращивания сеянцев в ЗКС

Полученные 3D модели использовались для формирования конструкторской документации с применением известных приемов создания ассоциативных чертежей по твердотельным моделям деталей и сборочных единиц.

Проект «Разработка импортозамещающего комплекса оборудования точного высева семян для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой, оптимизация параметров модульной теплицы для условий лесничеств Красноярского края», № 2022030508374 поддержан Красноярским краевым фондом науки.

Библиографический список

1. Черник, К. Н. Трехмерное моделирование деталей элементов конструкции манипулятора в t-Flex CAD / К. Н. Черник, Д. В. Черник // 3D технологии в решении научно-практических задач : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 19 мая 2021 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 124-127.
2. Знакомство с КОМПАС 3D / [Электронный ресурс] // КОМПАС-3D: О программе : [сайт]. — URL: <https://kompas.ru/kompas-3d/about/#about> (дата обращения: 04.08.2022).
3. Войтюк, М. М., Сураева, Е. А., Горячева, А. В. Справочник актуализированных методических материалов по технологическому проектированию парников, теплиц, тепличных комбинатов и селекционных комплексов [Текст] / М. М. Войтюк, Е. А. Сураева, А. В. Горячева — . — Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2017 — 212 с.

© Черник Д. В., Авдеева Е. В., Ровных Н. Л., Шпагин Д. Е., 2022

УДК 712.4

ПОСТРОЕНИЕ ТРЁХМЕРНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ НА ПРИМЕРЕ ТЕМАТИЧЕСКОЙ РАСТИТЕЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ

Е. И. Беляева*, Е. П. Хазова

Научный руководитель – Е. П. Хазова

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
Российская Федерация, 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

*E-mail: b.elena.iv@mail.ru

В статье описаны преимущества применения компьютерных программ для создания 3D моделей растительных композиций. Рассмотрен принцип создания тематической композиции в ландшафтном строительстве и приведен пример построения трёхмерной модели в программе Realtime Landscaping Architect.

Ключевые слова: растительная композиция, тематическая композиция, пейзажный стиль, видовая точка, визуализация.

CONSTRUCTION OF A THREE-DIMENSIONAL COMPUTER MODEL ON THE EXAMPLE OF A THEMATIC PLANT COMPOSITION

E. I. Belyaeva*, E. P. Khazova

Scientific supervisor – E. P. Khazova

FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov»,
8, Timiriazeva St., Voronezh, 394087, Russian Federation

*E-mail: b.elena.iv@mail.ru

The article describes the advantages of using computer programs to create 3D models of plant compositions. The principle of creating a thematic composition in landscape construction is considered and an example of building a three - dimensional model in the program is given Realtime Landscaping Architect.

Keywords: plant composition, thematic composition, landscape style, view point, visualization.

Садово-парковое и ландшафтное строительство тесно связано с проявлением творческой мысли от момента ее возникновения до стадии полной реализации. Описание возникшей идеи словами не дает полного представления о задуманном, а порой и вовсе искажается воображениями слушателей. Для правильной передачи задуманного проекта требуется его визуализация. На детальную прорисовку вручную каждого растения, каждой видовой точки, уходит большое количество времени. В настоящее время решению этой проблемы способствует применение компьютерной графики. Такие компьютерные программы как Sierra Land Designer 3D, Professional Landscape Design Software, Punch Home Design, «НАШ САД» (различные версии), DynaSCAPE Professional, Landscaping and Deck Designer, Realtime Landscaping Architect, SketchUp, FloorPlan 3D, ArchiCad, позволяют построить трёхмерную модель проектируемого ландшафта, настроить и выделить наиболее эффектные видовые точки, оценить единство и выдержку стиливого решения всего объекта в целом. Современные графические программы содержат целую базу различных растений,

которые можно использовать в проектах. Программы позволяют создавать три-четыре варианта решения одного участка за относительно небольшой период времени [1].

С использованием компьютерных программ можно создавать различные виды цветников подбирать правильный ассортимент растений с учётом их высоты, периода цветения и условий произрастания. Также применение данных компьютерных программ позволяет создавать отдельные композиции, ландшафтные группы из зелёных насаждений, которые легко можно вписать в существующий ландшафт и оценить визуально, как это будет выглядеть в общей массе выбранного объекта. Отдельные программы позволяют увидеть созданную композицию в разные времена года, что позволяет избежать ошибок и спроектировать круглогодично декоративную композицию. Грамотно подобранное озеленение участка помогает скрыть недостатки ландшафта, подчеркнуть достоинства и украсить его, придав индивидуальность [2]. В дизайне зелёных насаждений можно широко проявить свою фантазию и художественный вкус. Предлагаем рассмотреть преимущества построения трёхмерной компьютерной модели в ландшафтном строительстве на примере создания тематической композиции.

Тематическая композиция – это композиция, посвященная какой-либо теме. Зачастую в таких композициях применяются тематические растения, которые задают стиль, сезонность, цвет, яркость, форму, высоту остальным компонентам композиции [3, 4]. Тема рассматриваемой композиции – уголок старинного русского сада. Основная идея создания данной композиции – создать атмосферу старинного русского сада, в котором, устроившись в тени на скамейке, можно предаться чтению любимой книги. Тематика такого сада актуальна в настоящее время, так как большую популярность набирают «библиотеки» под открытым небом. В скверах, бульварах устанавливают шкафы, в которые люди могут принести свои книги и выбрать новую книгу для себя. Кроме того, русские классики всегда значительную часть своих произведений посвящали описанию природы. Такие сады вдохновляют на творчество.

Представленная в данной работе композиция выполнена в пейзажном стиле [5, 6]. Характерными чертами такого стиля является естественное расположение растений и минимальное вмешательство человека в природный ландшафт. Основу такого сада создают тематические, традиционные для нашей местности растения – берёзы, липы, рябины, черёмухи. Классический ассортимент однолетних растений – астра, георгина, матрикария, подсолнечник декоративный, львиный зев, космея, лаватера, мальва, маттиола, флокс Друммонда, алиссум. Перечень выбранных для композиции растений [7, 8] представлен в таблице 1. Растения в работе подобраны с учетом их требований к влажности почвы, составу, отношению к температуре воздуха, свету. В данной композиции основную роль играет Чубушник Лемуана «Очарование» и Чубушник непахучий – редкий сорт без характерного аромата, но зато с интересными декоративными свойствами. Для добавления ярких красок в композиции используется Сирень обыкновенная «Утро России» и Барбарис Тунберга «Роуз глоу».

Покрытие дорожек играет важную роль в создании ландшафтных композиций, поэтому тип покрытия и материал обычно соответствуют особенностям ландшафтной архитектуры (рельефа и насаждений), общей композиции объекта и функциональному назначению соответствующих элементов планировки [9]. В качестве покрытия для дорожки в представленной композиции применяется натуральный камень – златолит рваный серебристый. Данный материал сверхпрочный, имеет высокий предел сжатия и растяжения, морозостоек и устойчив к воздействию агрессивной среды. Из малых архитектурных форм предусмотрена установка скамьи со спинкой, выполненная из дерева и окрашенная в белый цвет.

Моделирование тематической композиции выполнено в программе Realtime Landscaping Architect (рисунки 1-3). Представление архитектурного проекта в виртуальной реальности является эффектным и наглядным.

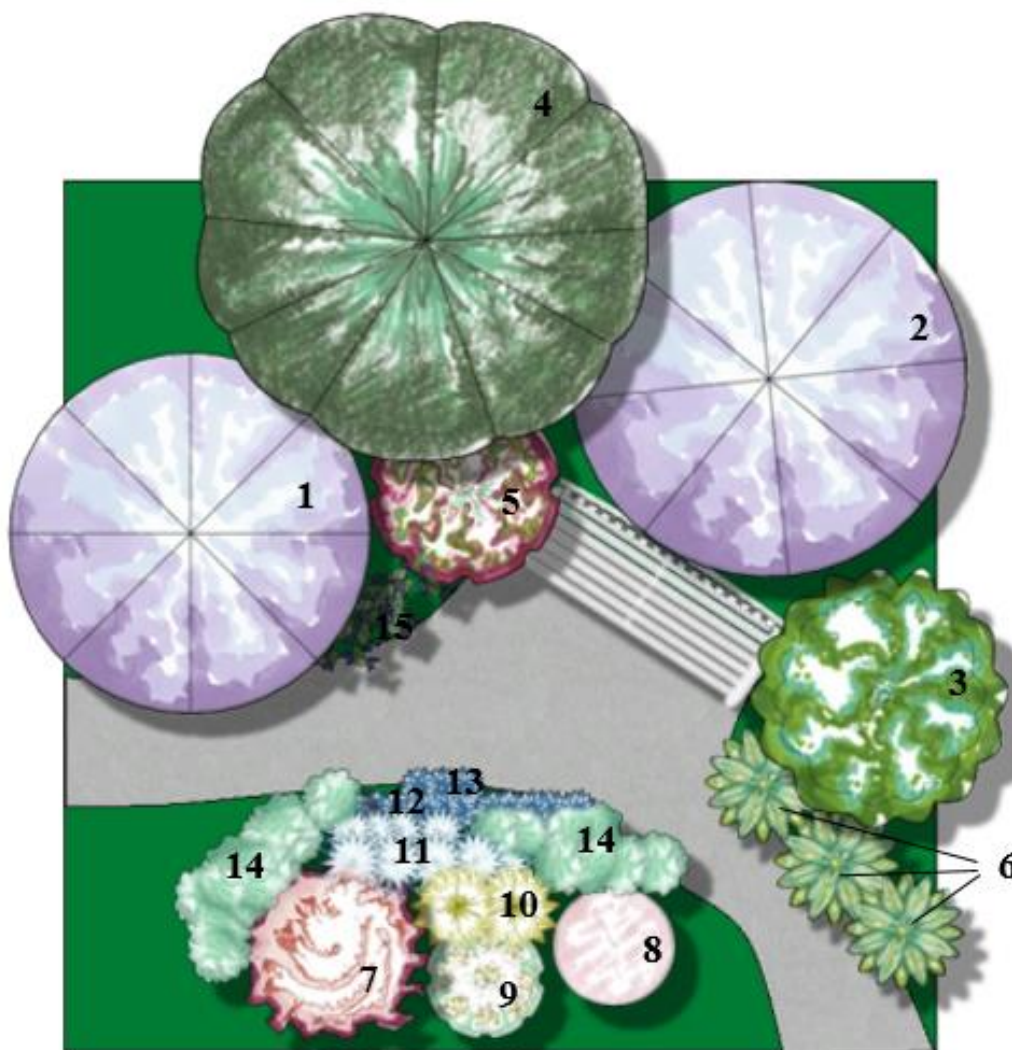


Рисунок 1 – План композиции (вид сверху)

Таблица 1

Перечень используемых в тематической композиции растений

№ п/п	Наименование	Количество, шт.
1	Чубушник Лемуана «Очарование»	1
2	Чубушник непахучий «Inodorus»	1
3	Сирень обыкновенная «Утро России»	1
4	Береза повислая «Юнги» (Youngii)	1
5	Барбарис Тунберга «Роза глоу»	1
6	Хоста вздутая «Ауреомакулата»	3
7	Пион молочноцветковый «Ред мэдрик»	1
8	Пион молочноцветковый «Белый лебедь»	1
9	Люпин многолистный «Принцесса Юлианна»	3
10	Рудбекия блестящая «Gold Strum»	16
11	Нивяник великолепный «Alaska»	30
12	Примула обыкновенная «Вирджиния» (Virginia)	11
13	Примула Зибольда «Паго-Паго» (Pago-Pago)	10
14	Алиссум среднерослый «Big Gem»	18
15	Космея дваждыперистая «Sea Shells» (Морские ракушки)	10



Рисунок 2 – Общий вид на тематическую композицию



Рисунок 3 – Цветочное оформление тематической композиции

Библиографический список

1. Орлов, А. С. Ландшафтный дизайн на компьютере / А. М. Орлов. – «Питер», 2008. – 240 с. – ISBN: 978-5-388-00051-4
2. Гениевская, И. А. Композиционное решение территории сквера с элементами природного ландшафта применительно к условиям г. Воронежа / И. А. Гениевская, Е. П.

Хазова // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сборник статей международной научно-практической конференции, Красноярск, 26 ноября 2021 г. – Красноярск : ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнёва», 2022. – С. 32-34. – *Библиогр.: с. 34 (3 назв.)*.

3. Кобозева, Е. А. Тематическая концепция как основа ландшафтного проектирования (на примере малого сада) / Е. А. Кобозева // Студенческая наука – взгляд в будущее : материалы XVI Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 24–26 марта 2021 г. – Красноярск : КрасГАУ, 2021. – С. 92-95. – *Библиогр.: с. 95 (2 назв.)*.

4. Мезенина, Я. В. Некоторые аспекты проектирования тематического сада / Я. В. Мезенина, А. А. Матросова, О. М. Ступакова // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика : сборник статей XXIV Международной научно-практической конференции, Пенза, 30 марта 2021 г. – Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2021. – С. 156-158. – *Библиогр.: с. 158 (2 назв.)*.

5. Максименко А. П. Ландшафтное проектирование / А. П. Максименко. – «Лань», 2022. – 384 с. – ISBN 978-5-8114-8325-9

6. Седлицкас, Д. А. Стили проектирования объектов ландшафтной архитектуры / Д. А. Седлицкас // Материалы международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В. Г. Шухова, Белгород, 30 апреля – 20 мая 2021 г. – Белгород : БГТУ, 2021. – С. 494-500. – *Библиогр.: с. 500 (5 назв.)*.

7. Баженов, Ю. А. Декоративные деревья и кустарники. Иллюстрированный справочник / Ю. А. Баженов, А. Б. Лысков, А. Ю. Сапелин. – Фитон XXI, 2017. – 240 с. – ISBN: 978-5-906171-02-3

8. Бочкова, И. Ю. Создаём красивый цветник / И. Ю. Бочкова. – Фитон XXI, 2017. – 264 с. – ISBN 978-5-906811-26-4

9. Теодоронский, В. С. Строительство и содержание объектов ландшафтной архитектуры / В. С. Теодоронский, Е. Д. Сабо, В. А. Фролова. – Москва, 2019. – 397 с. – *Библиогр.: с. 397 (11 назв.)*. – ISBN 978-5-534-07340-9

© Беляева Е. И., Хазова Е. П., 2022

УДК 004.94

ВИЗУАЛЬНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ПЕТРОПАВЛОВСКОЙ ЦЕРКВИ В СЕЛЕ ВИРМА, РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ

А. А. Соловьева*, Н. Г. Иршинский
Научный руководитель – Е. И. Ратькова

Петрозаводский государственный университет
Российская Федерация, 185910, г. Петрозаводск, ул. Ленина, 33
*E-mail: anya.299@mail.ru

Как мы знаем, используемые приемы документирования не соответствуют современному развитию информационных технологий. Статья посвящена новым способам документирования и съемки памятников деревянного зодчества для сохранения культурного наследия.

Ключевые слова: Архитектурные памятники, фотограмметрия, 3D моделирование, реконструкция.

VISUAL RECONSTRUCTION OF THE PETER AND PAUL CHURCH IN THE VILLAGE OF VIRMA, REPUBLIC OF KARELIA

A. A. Soloveva*, N. G. Irshinskiy
Scientific supervisor – E. I. Ratjkova

Petrozavodsk State University
Russian Federation, 185910, Petrozavodsk, st. Lenina, 33
*E-mail: anya.299@mail.ru

As we know, the documentation techniques we use aren't up to date with the development of information technology. The article focuses on new ways of documenting and photographing wooden architecture monuments to preserve cultural heritage.

Key words: Architectural monuments, photogrammetry, 3D modeling, reconstruction.

Одной из проблем научного общества является сохранение памятников архитектуры деревянного зодчества. Архитектурные памятники несут в себе не только историю технологий строительства, но и культуру, самобытность народа и ценную информацию о православной вере.

Как мы знаем, деревянные памятники сильнее подвержены разрушению, чем другие объекты культурного наследия. Это связано с особенностью древесины, как материала. Древесина подвержена гниению при высокой влажности воздуха, а такая среда является естественной для возникновения грибков или плесени.

Основные проблемы прошлых исследований – это низкая производительность труда, (как мы знаем, преимущественно ручной труд), недостаток качественной техники и информации. Технологии не стоят на месте, в современном мире уже появились новые способы и приемы документирования и съемки для сохранения и реконструкции памятников деревянного зодчества. Один из таких способов – фотограмметрия, где с помощью фотографий объекта возможно создать его точную 3D модель.

В нашем исследовании для создания 3D модели путем фотограмметрии был выбран программный пакет Agisoft Metashape. Программа позволяет автономно обработать

собранный фотоматериал и сгенерировать трехмерную пространственную модель [1]. Это поможет сохранить вид архитектурного памятника для дальнейших исследований или реконструкций объекта.

Для получения материала в августе 2022 г. студентами Петрозаводского государственного университета при поддержке главы Республики Карелия была произведена экспедиция на Север Карелии, по итогам которой были выявлены утраченные памятники и изучено состояние сохранившихся объектов культурного наследия. Одним из изученных памятников архитектуры стала церковь Петра и Павла в селе Вирма.

Вирма – историческое поселение, расположенное на одноименной реке. Село находится в Беломорском районе республики Карелия. Из истории известно, что на замену саамам, которые ушли на север, в Вирму пришли карелы, а позже эту территорию стали заселять новгородцы. Об этом свидетельствует «Данная Моисея Федоровича с женою и детьми Соловецкому монастырю на участок в реке Вирме и рыбную ловлю в реке Шизне» 1459 -1469 гг. (основание датировки – годы игуменства Ионы) [2]. Основным промыслом местных жителей была охота на морского зверя, это вызвано географическим местоположением (вблизи Белого моря).

Петропавловская церковь находится на въезде в село, она возвышается над левым берегом реки Вирмы, позади сельской улицы, перед пологой скалой. Ее общая площадь составляет 1022 кв.м. Церковь имеет кубоватое покрытие, которое расширяется к основанию, и пять крупных глав луковичной формы, одна из которых находится в центре, а другие – на ребрах объекта, все они крыты осиновой чешуей. Имеется два крыльца (на юге и севере) каркасного типа, трапезная покрыта двухскатной стропильной кровлей, она выполнена из бруса «в лапу». Окна очерчивают обычные рамочные наличники, которые сделаны из профилированной доски [3].

Петропавловская церковь – памятник Федерального значения по Постановлению Совета Министров РСФСР от 30.08.1960 г. №1327 (номер регистрации Госреестре: 101510288510006). В ходе экспедиции было выявлено, что этот памятник деревянного зодчества находится в хорошем состоянии, но требуется реконструкция креста.

На рисунке 1 видно, как с центральной главы луковичной формы обрушился крест. Предположительно, это связано с гниением древесины.



Рисунок 5 – Фото глав Петропавловской церкви в селе Вирма.

Была проведена съемка с помощью беспилотного летательного аппарата DJI MINI 2. Собранный фотоматериал был обработан в программе Agisoft Metashape. В начале было создано разреженное облако точек, где программа автономно искала схожие точки на

фотографиях, а в итоге – тайловая модель [4] Петропавловской церкви (рисунок 2). На модели детально видны все конструктивные особенности объекта, а также его состояние.

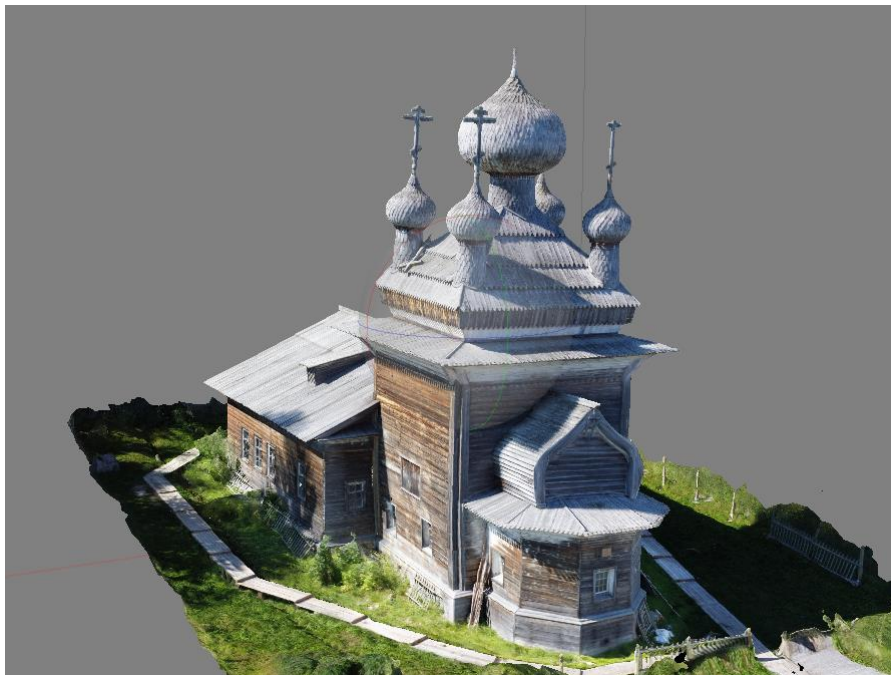


Рисунок 6 – Тайловая модель Петропавловской церкви в селе Вирма.

С помощью 3D модели мы можем сохранить архитектуру памятников деревянного зодчества для будущих поколений, а также в случае утраты элементов строения при несчастных случаях возможно детально восстановить их. Также 3D модели можно использовать для виртуальных музеев, чтобы люди из других стран могли детально рассмотреть памятники культурного наследия.

Таким образом, современный подход к изучению памятников деревянного зодчества может успешно реализоваться при помощи фотограмметрического метода, который позволяет автономно воссоздать трехмерную модель любого объекта, учитывая его конструктивные особенности.

Исследования, описанные в данной работе, были проведены в рамках реализации Программы поддержки НИОКР студентов и аспирантов ПетрГУ, финансируемой Правительством Республики Карелия.

Библиографический список

1. Роhini С.С., Видья Р. Международный архив фотограмметрии. Дистанционное зондирование и пространственно-информационные науки. Ч. 5. – Великобритания, 2010. – 293 с.
2. DrevLit.ru : библиотека древних рукописей. – Москва, сор. 2008 – 2022. – URL : <https://drevlit.ru/index.php> (дата обращения: 19.09.2022). – Текст : электронный.
3. Орфинский, В. П. Деревянное зодчество Карелии / В. П. Орфинский ; Карел. орг. союза архитекторов СССР. - Л. : Изд-во лит. по стр-ву, 1972. – 119 с.
4. Безменов В.М. Фотограмметрия. Построение и уравнивание аналитической фототриангуляции. Учебно-методическое пособие для физического факультета. – Казань, 2009. – 5 с

© Соловьева А. А., Иршинский Н. Г., 2022

УДК 004.92

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕШЕНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ В АРХИТЕКТУРЕ

А. А. Шемонаева*, А. А. Зеленина
Научный руководитель – М. Ю. Шыырап

Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики
Российская Федерация, 630009 г. Новосибирск, ул. Гурьевская, 51
*E-mail: shemonaevaanna.a@gmail.com

Были проанализированы методы использования технологий в реставрации архитектурных памятников и приложений цифровых двойников зданий в строительстве. На примере реализации проекта ЦКП “СКИФ” была структурирована коллекция инструментов, подходящая для осуществления таких задач.

Ключевые слова: BIM-технологии, реставрация памятника архитектуры, цифровые двойники, 3D-технологии, ЦКП “СКИФ”.

RESEARCH OF SOFTWARE OF 3D TECHNOLOGIES IN SOLVING SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROBLEMS IN ARCHITECTURE

A. A. Shemonaeva*, A. A. Zelenina
Scientific supervisor – M. Y. Shyyrap

Siberian State University of Telecommunications and Informatics
51 Guryevskaya str., Novosibirsk, 630009, Russian Federation
*E-mail: shemonaevaanna.a@gmail.com

The methods of using technologies in the restoration of architectural monuments and applications of digital counterparts of buildings in construction were analyzed. For the example of the implementation of the project of the CCU “SRPS”, a collection of tools suitable for the implementation of such tasks was structured.

Keywords: BIM technologies, architectural monument restoration, digital doubles, 3D technologies, CCU “SRPS”.

Одной из актуальных тем для изучения в настоящее время является исследование программного обеспечения 3D-технологий в решении научно-практических задач в архитектуре. В своей статье мы рассматриваем возможные пути использования таких технологий, а также комплексы инструментальных средств для их практического применения.

Одним из способов применения технологий трехмерного моделирования в архитектуре стала реставрация. К понятию *реставрация памятника архитектуры* — относят процесс восстановления утраченных и обновления подлинных частей исторического здания с учетом его прошлого и аутентичности. Процесс реставрации весьма времязатратный и сложный. Нередко происходит так, что восстанавливать первоначальный облик не только элементов, а иногда и целых зданий, приходится по историческим фотографиям. Такой способ может привести к расхождению между историческим обликом и отреставрированным зданием. Современные технологии, а в частности и 3D-моделирование, позволяют значительно снизить шанс отклонения внешнего вида здания от оригинала, упростить процесс восстановления утраченных элементов и как следствие ускорить процесс реставрации [3].

В чем же преимущество применения современных технологий в процессе реставрации. 3D-модель здания позволяет оценить масштаб будущей реставрационной работы, а также заранее рассчитать затраты как временных, так и материальных ресурсов. Помимо этого, создание информационной модели, памятника архитектуры позволяет скорректировать возможные расхождения с первоначальным видом еще до начала реставрационных работ, что снижает ресурсозатратность в процессе создания проекта.

Некоторые проекты в данной сфере уже получили свою реализацию. Например, при реставрации Успенского собора Тульского кремля для восстановления подлинной резьбы по ее сохранившимся частям была сделана трехмерная модель, что ускорило процесс реставрации. Также ярким примером ускорения процесса реставрации является работа над статусами собора парижской богородицы. Для восстановления утраченных горгулий Нотр-Дама было предложено множество проектов, одним из которых стал проект нидерландской компании CONCR3DE. Процесс создания копии Strix – одной из самых знаменитых горгулий Нотр-Дама – занял менее суток.

Помимо реставрации, общий процесс цифровизации и внедрения интернет вещей (IoT - англ. internet of things) послужил развитию технологий, связанных с цифровыми двойниками зданий и внедрению BIM-технологий (Building Information Modeling - информационное моделирование зданий) [4]. Цифровые двойники зданий представляют собой систему записи состояния здания и всех его обслуживаемых составляющих с их состоянием в реальном времени. Концепция цифровых двойников предлагается как новое технологическое достижение для поддержки процессов проектирования, строительства и дальнейшей эксплуатации построенных объектов.

Под понятием цифрового двойника подразумевается полная цифровая копия физических процессов копируемого, с дальнейшим использованием полученной информации для различных целей [4]. Цифровой двойник здания создается с помощью BIM-технологий, соответственно, предполагает точную копию как самой постройки, так и различных систем, представленных внутри здания: горячее и холодное водоснабжение, канализационная система, система пожарной безопасности и т.д. Модель здания со всеми внутренними системами рассматривается как одно целое, связанное с базой данных посредством различных параметров. Таким образом, изменение любых элементов повлияет на связанные с данными элементами параметры: чертежи, визуализации, спецификации и т.д.

Концепция цифровых двойников зданий получила свою популярность в среде строительства около 2016 года, после утверждения перечня поручений для создания информационно-правовой базы по государственному заказу. После, в 2018 году поступило поручение Президента РФ Путина В. В. №Пр-1235 от 19.07.2018 о переходе к управлению жизненным циклом объекта капитального строительства на основе технологии информационного моделирования. В 2020 году принят и опубликован 16 ГОСТ, 6 СП. и ГОСТ Р 21.101-2020, также введен термин “Информационная модель” в градостроительный кодекс [2].

Появление цифровых двойников уменьшает трудозатраты на обслуживание здания, позволяет на ранних этапах произвести оценку планируемой постройки и произвести решение, опираясь на полученные данные в программе. С 1 января 2022 года начал действовать ГОСТ Р 57 700.37-2021, в котором указан стандарт по созданию цифровых двойников в области строительства. При внедрении цифровых двойников решаются следующие задачи: предугадывание сценария движения людей, их запросов на температуру и влажность в помещении, внедрение робототехнических технологий, снижение рисков трудозатрат и финансовых затрат на проект, что позволяет повысить прибыльность бизнеса и его конкурентоспособность. Также цифровая модель здания позволяет своевременно реагировать в случае чрезвычайных ситуаций, направляя предсказания по поводу области эвакуации и алгоритма спасения людей, в связи с источником ЧС.

Существует реальный пример возможностей BIM-технологий при проектировании Центра коллективного пользования “Сибирского кольцевого источника фотонов” (ЦКП

“СКИФ”). Исходя из названия центра, можно заранее понять о том, что для коллективного пользования будут использованы технологии, которые позволят из разных точек России осуществлять управление и наблюдение за процессами центра. Данный проект послужил катализатором разработки и введения в действие ранее описанного *ГОСТ Р 57 700.37-2021* [2].

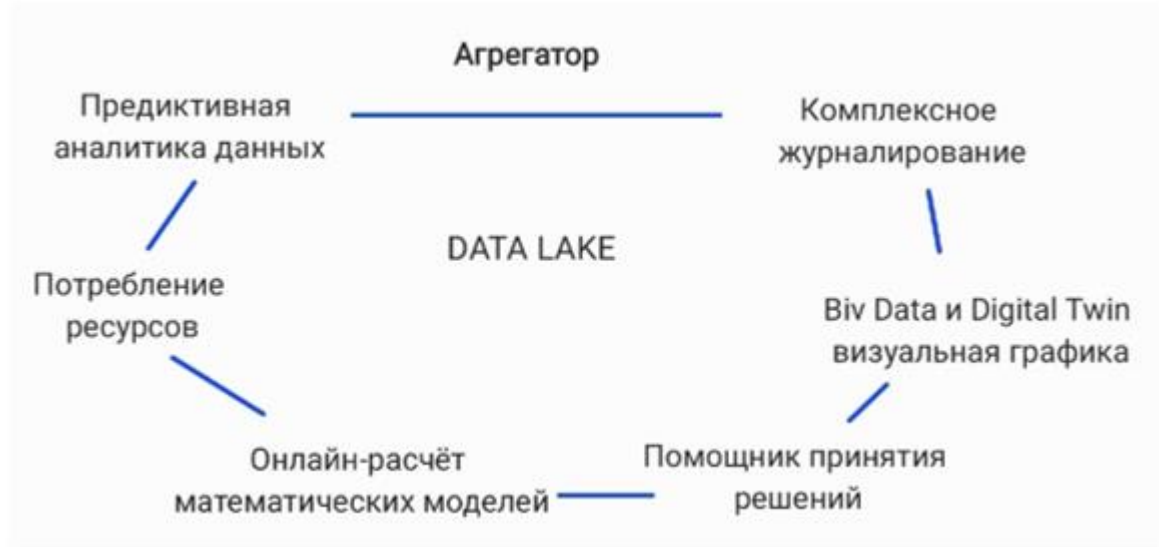


Рисунок 1 – Схема коллекции инструментов

Главной составляющей информационной модели ЦКП “СКИФ” является агрегатор, который собирает информацию с разных источников: анализирует энергопотребление, производит online-расчет математических моделей, содержит базу данных, которая объединяет исследования и наблюдения, полученные в процессе эксплуатации и строительства. В целом, агрегатор представляет собой так называемое озеро данных (Data Lake), в котором представлены не только структурированные данные в виде строк и колонок, но и полуструктурированные, неструктурированные (сообщения, схемы, pdf-файлы) и бинарные данные с изображениями, медиа файлами и 3d-моделями. Таким образом, агрегатор сохраняет в себе данные о самой модели станции СКИФа, ее инфраструктуре и ускорителе.

Рассмотрим отдельные составляющие, начиная с инфраструктуры. Под данным понятием подразумевается совокупность систем управления, обеспечивающих деятельность. Среди таких систем: численные модели (Ansys), их комплексное обслуживание, имитационное моделирование, которое осуществляется с помощью российской программы AnyLogic. Также инфраструктура содержит программный пакет для мониторинга, общего анализа собранной информации, дальнейшей разработки и обеспечения работы - SCADA-систему. А также Pilot-BIM - клиент-серверную систему информационного моделирования для управления данными и коллективной экспертизы модели, в роли которой выступает следующий компонент озера данных - 3d-модель станции.

В качестве системы автоматизированного проектирования 3d-модели станции взята Siemens NX. Одним из преимуществ системы является функция многоуровневой проверки в процессе программирования, а также функции имитационного моделирования, т.е. возможность исследования, где существующая модель заменяется точной копией, с процессами которой проводятся различные эксперименты для получения информации о работе. Промышленные или VR-тренажеры выполнены на базе Unity, Unreal Engine, Custom, что позволяет в виртуальной среде воссоздать организацию процесса производства работ. Возможности программного пакета SCADA осуществляется на базе программной среды для разработки и запуска систем управления для научных и экспериментальных разработок EPICS. Все это позволяет многократно сократить расходы на строительство и эксплуатацию

будущего ЦКП “СКИФ”, а также открывает дистанционный доступ к проведению экспериментов для научных деятелей.

Таблица 1

Программное обеспечение, используемое при создании информационной модели	
Инфраструктура	Ansys, AnyLogic, EPICS
3D-модель	Siemens NX, Unity, Unreal Engine, Custom

Создание BIM-модели упрощает коммуникацию между специалистами, задействованными в проекте так как дает общий доступ к просмотру информации об объекте. Проектирование трехмерных моделей позволяет снизить затраты на строительство, сроки согласования, а также риск возможных ошибок на любой стадии реализации. В свою очередь использование информационных моделей зданий дает возможность отражения актуальной модели и получение быстрого доступа к любым данным о здании. Благодаря проведенному анализу, мы обозначили преимущества использования методов и средств 3D технологий в широком перечне архитектурных задач, включающем в себя и реставрацию культурного наследия, и создание новейшего высокотехнологичного научного центра. А также выделили программно-аппаратные комплексы и инфраструктурные решения, которые позволяют обеспечивать такие процессы.

Библиографический список

1. Анаев, А. М. Применение адаптивных технологий в реставрации архитектурного наследия / А. М. Анаев. — Текст : непосредственный // Молодой исследователь Дона. — 2020. — № 3(24). — С. 180-182.
2. Каталог ГОСТ, ГОСТ Р — национальные стандарты РФ. — Текст : электронный // Российский институт стандартизации : [сайт]. — URL: <https://www.gostinfo.ru/catalog/gostlist/> (дата обращения: 19.09.2022).
3. Сарсенгалиев, М. Е. Современные 3D-технологии в архитектуре и строительстве / М. Е. Сарсенгалиев. — Текст : непосредственный // «Молодой учёный». — 2022. — № 17(412). — С. 45-48.
4. Digital Twins in Built Environments: An Investigation of the Characteristics, Applications, and Challenges / Shahzad Muhammad, T. S. Muhammad, Douglas Dean, Kassem Mohamad. — Текст : непосредственный // Buildings. — 2022. — № 12(2). — С. 120.

© Шемонаева А. А., Зеленина А. А., 2022

УДК 004.02

МЕТОД SPH КАК ЭФФЕКТИВНОЕ СРЕДСТВО ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ ЛАВИНЫ

А. П. Алешин

Научный руководитель – С. М. Аракелян

Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых
Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

*E-mail: sorkaz909@gmail.com

В статье обсуждаются различные варианты динамики процессов сходов лавин и проблемы, возникающие в результате их моделирования. Приведен перечень таких подходов. Представляется вычислительный метод SPH, реализующий задачи динамики перемещения селевого потока.

Ключевые слова: снежная лавина, метод SPH, численное моделирование, дифференциальные гиперболические уравнения, динамика.

METHOD OF SPH AS EFFECTIVE MEANS FOR REALISING NUMERICAL SIMULATION OF AVALANCHE MOTION PROCESS

A.P. Aleshin

Scientific director – S. M. Arakelyan

Vladimir state university named after A. G. and N. G. Stoletovs
Russian Federation, 600000, Vladimir, st. Gorky, 87

*E-mail: sorkaz909@gmail.com

The article discusses various options for the dynamics of avalanche processes and the problems arising from their modeling. A list of such approaches is given. A computational method SPH is presented, which implements the problems of the dynamics of the movement of the mudflow.

Keywords: snow avalanche, SPH method, numerical modeling, differential hyperbolic equations, dynamics.

В настоящее время при рассмотрении селевых катастрофических явлений, главным математическим средством, которое позволяет в полном объеме выполнить численное моделирование, является система гиперболических дифференциальных уравнений Сен-Венана. Анализ процесса с использованием уравнения мелкой воды второго порядка продемонстрировал свою практическую значимость и высокую арифметическую результативность для некоторых, не сложных событий, связанных с массовым обвалом снега. Тут представляется двухэтапный комбинированный метод численного моделирования. На его первом этапе дискретная система элементов состояния селевого потока распространяется по ячейкам заранее сформированной вычислительной сетки и после этого реализуется методами SPH (Smoothed particle hydrodynamics – Гидродинамика сглаженных частиц) задача переноса для каждой объекта. На втором этапе приобретенные данным способом свойства переноса применяется для вычислений координат и параметров объектов.

Выполнение численного моделирования в рассматриваемом процессе сводится к разработке компьютерной модели, которая в свою очередь, демонстрирует динамику движения снежной лавины по некоторому руслу горного массива, при этом структура

жидкости обладает свойствами не поддающимся сжатию и малым коэффициентом вязкости. Впервые данное сравнение между селевым потоком в русле открытого типа и лавиной в виде гидрофитной массы предложил А. Вельми. Для численного представления обычно применяются уравнения Сен-Венана первого порядка. В данной ситуации не рассматривается процесс, связанный с внутренним трением (параметром вязкости материи), а также главные эффекты, которые оказывают влияние на внешние границы селевого потока. Однако именно вязкая структура снежного покрова определяет динамику перемещения лавины в трехмерном пространстве. Внедрение данного фактора при допущении гипотезы о распределении гидростатического давления, интегрирование уравнений движения по вертикальной координате с учетом характеристик дифференцирования интеграла с зависящими от параметров его пределами (закон Лейбница) приводит к соответствующей системе гиперболических уравнений в частных производных. При ее создании принимается в расчет дисперсия вертикального распределения скорости и неровность ландшафта окрестности спуска селевого потока [1].

При данном подходе динамика в пространстве и времени определяется горизонтальными параметрами скорости, которые не зависят от вертикальной скорости. В качестве основной модели снежного потока выступает сползающая по ландшафту окрестности пленка тонкого определенного материала. Перемещение жидкостных масс соответствует структуре вычислительной схеме «крестообразный вид» при запрете движения через уголки некоторых компонентов схемы. В реальных обстоятельствах, движение во многом зависит от ландшафта местности. Для такого рода ситуаций, эффективным инструментом является разработанная имитационно-вспомогательная модель процесса. В пределах такого типа моделей устанавливаются специфические закономерности, которые другими средствами не выявляются. К примеру, между площадью лавины и ее длительностью [2]. Такие виды моделей подобны компьютерным симуляторам, в процессе работы на которых оттачиваются различные стратегические исходы исследуемого процесса. В качестве основного материала, который моделирует снежную лавину, выступает песочная горка. Стратегия динамики заключается в следующем: убавление на 2 единицы песка в ячейке-доноре происходит в тот момент, когда в двух других смежных ячейках ($k+1$, $x-1$) и ($k+1$, $x+1$) осуществляется увеличение песка на одну единицу. Этот вид стратегии отвечает за пересыпание песка вниз по склону. В дополнении к этому, предлагается открытость нижнего края области рассмотрения, т.е. при попадании песчинок в самую нижнюю часть склона она удаляется из системы. При данном подходе начальные сведения необходимо «подкорректировать» под параметры модели. К тому же информационная модель становится непригодной для перемещения по сложному ландшафту, который имеет на одном и том же уровне несколько глубоких впадин. На рисунке 1 продемонстрирована динамическая модель процесса движения снежной лавины по рельефному склону

Для решения дифференциальных гиперболических уравнений Сен-Венана в частных производных, применяется вычислительный метод моделирования SPH. Реализация данного метода заключается в следующем. Основными компонентами рассматриваемого явления выступают элементарные частицы многомерного пространства. Его прогрессивная динамика описывается определенными уравнениями процесса, в которые подставляются интерполяционные числовые характеристики физического состояния среды (плотность среды и составные части вектора скорости).

Сложность реализации классического метода заключается в установлении определенных граничных условий в области сглаживания при конструировании выражений интерполяционного вида. Иначе говоря, числовые параметры ближайших частиц, которые применяются при интерполяции свойств, других отдельных частиц. Но главная проблема заключается в поиске и определении свойств пограничных частиц (точек). Для выполнения данной вычислительной процедуры расходуются огромные вычислительные средства. В конечном итоге, количество операционных действий для сортировки пограничных частиц пропорционально квадрату частиц отбора. Выделенную в тексте статьи проблематику можно

решить без особых усилий, в том случае, если на каждом итерационном этапе частицы будут размещаться в предварительно заданных ячейках вычислительной схемы. Тогда пограничными точками являются компоненты смежных ячеек. После этого приобретенные результаты применяются для вычислений параметров частиц [3].

Основываясь на данных, полученных в ходе вычислительного эксперимента, нашим научным коллективом был сделан вывод о наличии некоторой диффузии в перемещающихся массах селевого потока. К тому же прослеживается некоторая динамика несбалансированного движения верхнего слоя снежной лавины: он сходит со значительным опозданием от общей массы. В определенном смысле, рассматриваемый процесс указывает на параметр вертикальной скорости, который в данной ситуации, имеет не нулевое числовое значение.

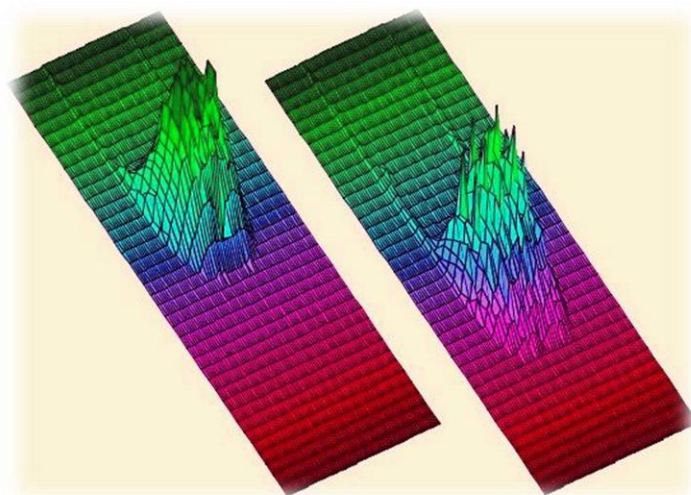


Рисунок 1 – динамика перемещения снежной лавины за некоторые временные диапазоны (события 1, 2)

Библиографический список

1. Лебедев О.М. Математическое моделирование поведения снежной массы на горном склоне / О.М. Лебедев // Вестник ВГТУ. – 2011. – Т. 7. – №4. – С.115 - 117.
2. Матвиенко В.С. Практический метод расчета устойчивости снежной толщи с учетом ее вязкого трения / В.С. Матвиенко // Повышение работоспособности железных и автомобильных дорог в сложных природных условиях. – Новосибирск. – 2001. – С. 45-53.
3. Соловьёв А.С. Моделирование поведения снежной массы на горном склоне / А.С. Соловьёв // X международная научно-практическая конференция «Пожарная безопасность - 2011»: сборник материалов. - Украина, Харьков. – 2011. – С. 284 – 285.

© Алешин А. П., 2022

УДК 004.02

ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ DEBRIS ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СЕЛЕВОГО ПОТОКА

А. П. Алешин

Научный руководитель – С. М. Аракелян

Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых
Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

*E-mail: sorkaz909@gmail.com

В статье приведена структура, принципы и результаты моделирования взаимодействия обломков DEBRIS, которые представляет собой трехмерную численную модель движения масс. Мы применили модель обломков для тематических исследований катастрофических событий в ключевых районах Центрального Кавказа

Ключевые слова: селевой поток, инструмент, моделирование, DEBRIS, обломки.

THE DEBRIS SOFTWARE TOOL FOR MODELING THE PROCESS OF MUDFLOW MOVEMENT

A. P. Aleshin

Scientific director – S. M. Arakelyan, doctor of physics and mathematics, professor

Vladimir state university named after A. G. and N. G. Stoletovs
Russian Federation, 600000, Vladimir, st. Gorky, 87

*E-mail: sorkaz909@gmail.com

The article presents the structure, principles and results of modeling the interaction of DEBRIS fragments, which is a three-dimensional numerical model of mass motion. We applied the wreckage model for case studies of catastrophic events in key areas of the Central Caucasus

Keywords: mudflow, tool, modeling, DEBRIS, debris.

В данной научной статье описываются фундаментальные принципы конструирования и результаты создания 3D-модели перемещения селевого потока в программном симуляторе DEBRIS на примере стихийных событий, которые произошли в границах Центрального Кавказа.

Рассматриваемая модель перемещения селевой жидкости в программном симуляторе, которая опирается на численное решение дифференциального уравнения перемещения материальной точки, сформированного в согласованности со вторым законом Ньютона. Схождение селевого потока в этом случае является дискретным и отображается в виде некоторых траекторий перемещений, которые состоят из определенного множества частиц предельно небольшого размера [1]. Компоненты в сформированной модели рассматриваются в виде определенных точек материи. В том случае, если абстрактно представить модель, то можно понять, что динамика перемещения жидкостной массы в ней имитируется перемещением потока зерен в объемной форме. Зерна вступают в упругий контакт между собой, в том числе и с граничными условиями лотка испытывая при этом воздействие трения [2].

При осуществлении процесса связанного с численным моделированием движения ледника Колка была спроектирована компьютерная модель ландшафта верхней области бассейна гидрофитного источника [3].

В процессе моделирования за основные физические числовые параметры рассматриваемого объекта были взяты следующие данные: средние значения габаритов каждого элемента ледника – 10 метров, плотность материальной структуры объекта 1000 кг/м^3 , перечень коэффициентов: трения (сухого – 0,05 и вязкого – 40 т/м), упругости 60 ГПа. Для пород, которые находятся в горной местности, были приняты аналогичные числовые характеристики, только единственное изменение связано с плотностью материала оно стало 2600 кг/м^3 . В качестве результата моделирования представлен процесс перемещения селевого потока с выходом жидкостной массы через левый край ледника, а также с выходом жидкости на поверхность при расщеплении потока на две ветви [4]. К тому же, в данной модели показано перемещение каменно-жидкостной массы вниз по склону рельефа с периодическими всплесками на ее границах, удовлетворяющие показателям реального наблюдения. На рисунке 1 также приведено необычное создание аккумулятивных толщ в котловане ледника в некоторых чертах, в результате полевых исследований. В общем, численное моделирование с применением программного средства DEBRIS дает возможность в полном объеме реализовать процесс разрушительного явления. Дискретный характер исследуемой модели предоставляет проконтролировать динамику и траекторию перемещения элементов селевого потока. Использование модели к описанию перемещения сплошных сред, например, гидрофитных истоков, требует предельного уменьшения размеров частиц и, соответственно, существенного увеличения времени работы модели [5].



Рисунок 1. Параметрические показатели моделирования движения ледяного объекта на территории с использованием модели DEBRIS.

Библиографический список

1. Божинский А.Н. Математическая модель катастрофического селевого потока 2000 г. в г. Тырнаузе / А.Н. Божинский // Вести Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 2004.– №5. – С.22 - 27.

2. Громов В.А. Опыт определения максимального селевого выброса в бассейне р. Куллумкол-Су (Кб АССР) / В.А. Громов // Проблемы противоселевых мероприятий. – 1984. – С. 209 – 2015.
3. Запороженко Э.В. Необычный сель на р. Куллумкол-Су / Э.В. Запороженко // Метрология и гидрология. – 1985. – №12. – С.102 – 108.
4. Матвиенко В.С. Практический метод расчета устойчивости снежной толщи с учетом ее вязкого трения / В.С. Матвиенко // Повышение работоспособности железных и автомобильных дорог в сложных природных условиях. – Новосибирск. – 2001. – С. 45-53.
5. Соловьёв А.С. Моделирование поведения снежной массы на горном склоне / А.С. Соловьёв // X международная научно-практическая конференция «Пожарная безопасность - 2011»: сборник материалов. - Украина, Харьков. – 2011. – С. 284 – 285.

© Алешин А. П., 2022

УДК 004.02

УРАВНЕНИЯ НАВЬЕ-СТОКСА, КАК ОСНОВНОЕ СРЕДСТВО ПОМОГАЮЩЕЕ СМОДЕЛИРОВАТЬ ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО ПОТОКА

А. П. Алешин

Научный руководитель – С. М. Аракелян

Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых
Российская Федерация, 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

*E-mail: sorkaz909@gmail.com

В статье продемонстрирована технология вычисления цунами оползневой вида на базе полностью неявного метода решения полных трехмерных уравнений Навье-Стокса, описывающих многофазные течения. Оползень моделируется отдельной фазой со своей вязкостью и плотностью.

Ключевые слова: оползень, цунами, моделирование, ЛОГОС, уравнения.

THE NAVIER-STOKES EQUATIONS, AS THE MAIN DEVICE HELPING TO SIMULATE THE PROCESS OF MOVEMENT OF A LANDSLIDE FLOW

A. P. Aleshin

Scientific director – S. M. Arakelyan

Vladimir state university named after A. G. and N. G. Stoletovs
Russian Federation, 600000, Vladimir, st. Gorky, 87

*E-mail: sorkaz909@gmail.com

The article demonstrates the technology of calculating a landslide-type tsunami based on a completely implicit method for solving complete three-dimensional Navier-Stokes equations describing multiphase flows. The landslide is modeled as a separate phase with its own viscosity and density.

Keywords: andslide, tsunami, modeling, LOGOS, equations.

Рассмотрим систему корреляционного вида «воздух-вода» как совокупность двух несжимаемых сред, разделенных границей раздела. Будем использовать односкоростное приближение, в котором уравнение неразрывности и уравнение сохранения импульса едины как для воды, так и для воздуха, и решаются для результирующей среды, свойства которой линейным образом зависят от объемной доли. Такой подход достаточно распространен и дает хорошие результаты при решении задач со свободной поверхностью, в том числе и для волн цунами. В рамках этого приближения движение данной системы описывается уравнениями Навье-Стокса, включающими уравнения неразрывности, сохранения импульса, а также уравнением для объемных долей фаз (Рисунок 1) [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} \sum_k \alpha^{(k)} \rho^{(k)} \mathbf{u} = -\nabla \cdot \sum_k (\alpha^{(k)} \rho^{(k)} \mathbf{u} \mathbf{u}) + \nabla \cdot \sum_k (\alpha^{(k)} \mu^{(k)} \nabla \mathbf{u}) - \nabla p + \sum_k \alpha^{(k)} \rho^{(k)} \mathbf{g} \\ \frac{\partial}{\partial t} \alpha^{(k)} \rho^{(k)} + \nabla \cdot (\alpha^{(k)} \rho^{(k)} \mathbf{u}) = 0 \end{array} \right.$$

Рисунок 1 – Система уравнений Навье-Стокса.

здесь u – трехмерный вектор скорости, $\rho(k)$ – плотность фазы k , и $\alpha(k)$ – ее объемная доля, p – давление, $\mu(k)$ – молекулярная вязкость фазы k , g – ускорение свободного падения. Эта система осуществляется прямолинейно без применения среднего по Рейнольдсу и последующего замыкания моделью турбулентности. Это дает возможность реализовывать беспорядочные структуры, минимальный размер которых определяется массивным разрешением [1].

Представленная методика реализована в пакете программ ЛОГОС — программном продукте, предназначенном для решения сопряженных трехмерных задач конвективного теплопереноса, аэродинамики и гидродинамики на параллельных ЭВМ.

Оползневая жидкостная масса начинает перемещаться по поверхности, которая находится под определенным углом наклона с изначально заданной скоростью 4 м/с. В момент осуществления эксперимента измеряется скорость погружения оползня в гидрофитный источник, а также высота уровня воды в совокупности точек, которые определил мареограф, находившиеся как на поверхности воды, так и к искусственным стенкам с целью определения захода воды.

Для компьютерного моделирования применялся числовой массив, который состоял из 10 миллионов ячеек. В области месторождения экзогенного явления и рассеивания волны, массив имеет сжатый вид для наиболее корректного описания перемещения оползня и свойств течения. Коэффициенты всех рассмотренных фаз – воды, воздуха, а также оползня отбирались в соответствии с экспериментом. Параметрические показатели уровня воды от нижней точки дна реки 0,6 метра. Масштабы явления составляют 0,8 кубических метров, при этом край, который находится позади на расстоянии 3 метров от краевой поверхности наклонной плоскости [3]. Моделирование выполняется с автоматическим выбором шага по времени в соответствии с заданным числом Куранта равным 1. Иллюстрация погружения потока в гидрофитный источник и растекание его до стенок для всех конфигураций одинакова и показана на рисунке 2.

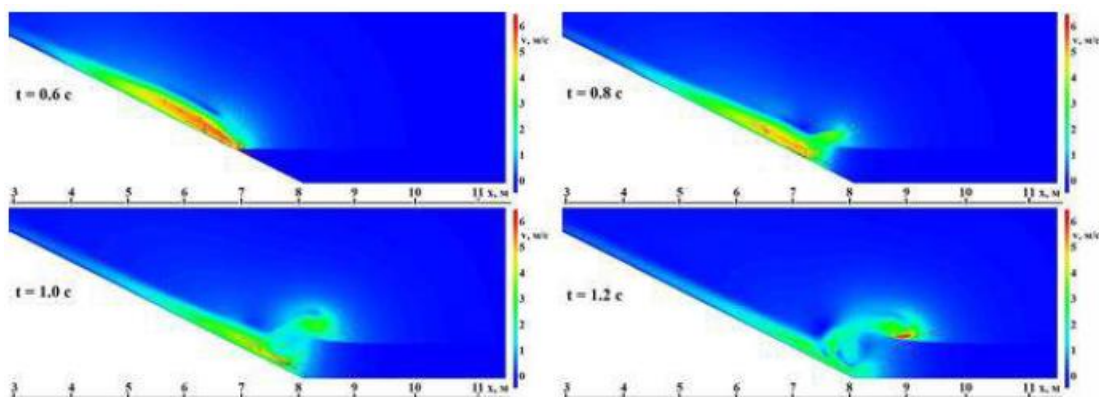


Рисунок 2 – Скорость среды в периодические временные интервалы.

Данная иллюстрация демонстрирует, что на этапе погружения оползня в толщи воды ($t = 0,6$ с.), явление имеет скорость равной 6 м/с, что положительно влияет на эксперимент. Предельная скорость перемещения среды проявляется для гидрофитной фазы в период захлестывания водного гребня ($t = 1,2$ с.) и превосходит значение 6 м/с. Модель перераспределения скоростей дает возможность видеть возмущения и помехи в воздушной среде. Во время захлестывания волна формируют амплитуду около 0,5 м, что фактически равносильно уровню воды в пуле (рис. 3).

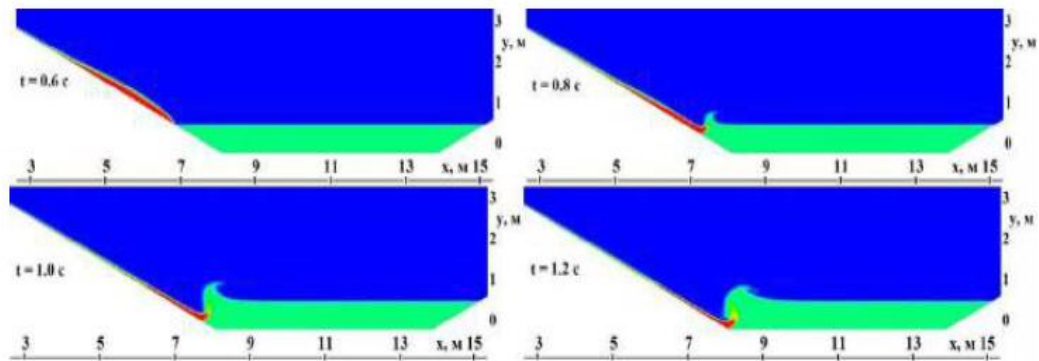


Рисунок 3 – Варьирование гидрофитных показателей в пуле в некоторые периодические интервалы.

Впоследствии обрушения первой волны, оползень еще продолжает смещение по дну гидрофитного пула. Затем в процессе схода большей части его массы за 2 секунды, формируется вторая волна с такой амплитудой, которая в 2 раза меньше. Спустя 4 с. оползень полностью погружается в пул, а по его поверхности цепочкой перемещается две волны. Спустя 6 с., прослеживается динамика захода волны на искусственные «фьорды», при этом их амплитуда одинакова и составляет около 10 см (Рисунок 4).

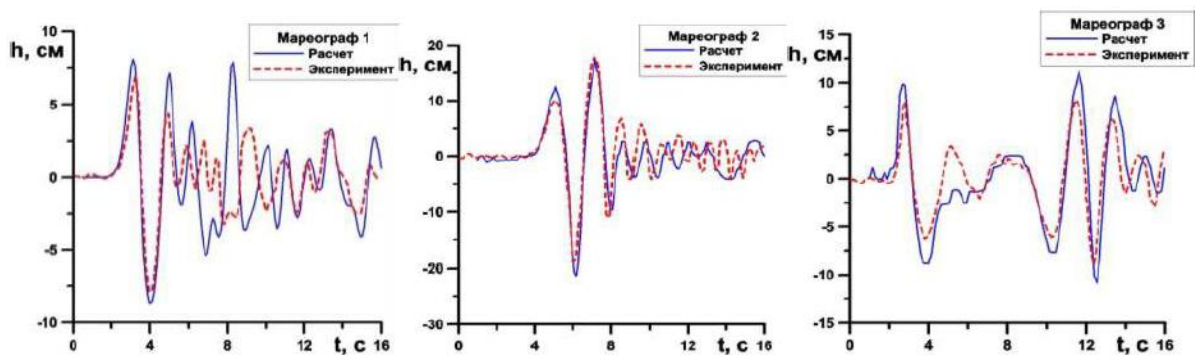


Рисунок 4 – Фиксация приборов для конфигурации 1.

Библиографический список

1. Божинский А. Н. Математическое моделирование крупномасштабных селевых и ледниковых катастроф./ А.Н. Божинский // Материалы гляциологических исследований. – 2005. – С. 13–17.
2. Гусев О.И. Моделирование поверхностных волн, генерируемых подводным оползнем в водохранилище./О.И. Гусев // Вычислительные технологии. – 2013. – т. 18. – № 5. – С. 74 – 90.
3. Козелков А.С Влияние угла входа тела в воду на высоты генерируемых волн./А.С. Козелков // Известия РАН Механика жидкости и газа. – 2016. – № 2. – С. 166 –176.

© Алешин А. П., 2022

УДК 378.162

РАЗВИТИЕ КОНЦЕПЦИИ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г. М. Гринберг*, В. А. Федоров

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика
М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
*E-mail: grinberg_gm@mail.ru

Проведен анализ требований к организации учебной лаборатории аддитивных технологий и факторов, сдерживающих развитие таких лабораторий. Рассмотрены вопросы выбора оборудования, материалов, инструментов и программного обеспечения.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D — печать, учебная лаборатория, организация обучения студентов

DEVELOPMENT OF THE CONCEPT THE EDUCATIONAL LABORATORY OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

G. M. Grinberg*, V. A. Fedorov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
*E-mail: grinberg_gm@mail.ru

The analysis of the requirements for the organization of the educational laboratory of additive technologies and the factors hindering the development of such laboratories was carried out. The issues of choice of equipment, materials, tools and software are considered.

Keywords: additive technologies, 3D printing, educational laboratory, organization of student learning

Высокие технологии с каждым годом все глубже проникают во все сферы деятельности человека. К таким технологиям относятся аддитивные технологии (в разговорной речи для их обозначения часто употребляют термин 3D–печать). Если еще несколько лет назад понятие об аддитивных технологиях для многих людей было чем-то далеким и, в некоторой мере, фантастическим, то сегодня техника для аддитивного производства появляется не только на производственных площадках и в офисах, но и в образовательных, медицинских учреждениях, и даже во многих домах и квартирах.

Особенно заметен прогресс в области машиностроительного производства, где аддитивные технологии за короткий срок перешли из разряда инструментов для прототипирования в разряд инструментов производства весьма ответственных, критически важных деталей и узлов, в том числе, в области ракетостроения [1].

Перед техническими вузами стоит значимая задача подготовки профессиональных кадров, обладающих не только компетенциями использования аддитивных технологий в своей деятельности, но и компетенциями развития их в части разработки новых подходов, способов конструкторской и технологической подготовки производства с применением аддитивных технологий.

Решение этой задачи, по нашему мнению, заключается в целенаправленном использовании для формирования необходимых компетенций обучающихся специально организованных учебных лабораторий аддитивных технологий. Процесс проектирования таких лабораторий характеризуется многовариантностью подходов, многоэтапностью и итерационностью выполнения, необходимостью разрешения возникающих противоречий, что требует разработки концепции лаборатории аддитивных технологий уже на первом этапе ее проектирования.

Слово концепция пришло к нам из латинского языка (от лат. *conceptio* — понимание, система) и буквально переводиться, как – «система понимания». Таким образом, концепция – это комплекс взглядов на что-либо, образующее взаимосвязанную систему. По сути, она представляет собой единый замысел или стратегию, с помощью которой можно решить определенную задачу, достичь поставленной цели. Концепция и план имеют тесную взаимосвязь. Первое – задает направление к поставленной цели, а второе – шаг за шагом прокладывает путь к ее достижению [2].

Главный вопрос, который возникает при разработке концепции учебной лаборатории аддитивных технологий, это вопрос ее оснащения и, в первую очередь, выбора типа 3D–принтера. 3D-принтер — станок с числовым программным управлением, реализующий только аддитивные операции, то есть только добавляющий порции материала к заготовке. Обычно использует метод послойной печати детали [3].

Согласно международному стандарту ISO/ASTM 52900:2021 [4] существует семь основных принципиально различных аддитивных технологий, но практических реализаций существенно больше. Если дополнительно учитывать конструктивные особенности конкретного исполнения 3D–принтеров, то выбор становится весьма затруднительным. Важны также вопросы цены 3D–принтеров и стоимости их эксплуатации, включающей затраты на ремонт, сырье, материалы и инструмент.

Использование в учебной лаборатории принтеров промышленного типа, предназначенных для профессионального применения, нецелесообразно по ряду причин:

- у студентов отсутствует необходимая для работы на таких принтерах квалификация, особенно у студентов-бакалавров;
- промышленные 3D–принтеры, как правило, очень дорогие, их цена начинается от 100 тыс. долларов;
- надлежащее обслуживание промышленных 3D–принтеров требует значительных затрат.

Более подходящими для учебной лаборатории являются настольные 3D-принтеры, оптимизированные для домашнего и офисного использования и имеющие идеальное соотношение функциональности, качества и цены. Такие принтеры просты в использовании и не требуют высокого первоначального уровня навыков. В то же время с повышением квалификации у обучающегося открываются широкие возможности использования имеющихся у принтеров настольного исполнения «тонких» настроек. По мере накопления опыта он сможет распечатывать всё более сложные трёхмерные модели.

Поскольку цена покупки настольных принтеров обычно составляет около 10% по сравнению с принтерами промышленного типа, учебное заведение может приобрести несколько принтеров, что позволит каждому обучающемуся работать непосредственно с принтером более длительное время.

К тому же появляется возможность при организации учебной деятельности использовать фронтальную форму, которая предполагает одновременную одинаковую деятельность для всех студентов учебной группы: преподаватель ставит для всех одинаковые задачи, излагает программный материал, студенты работают над одной проблемой. Преподаватель спрашивает всех, беседует со всеми, контролирует всех, обеспечивая одновременное продвижение студентов в учении [5].

Из имеющихся вариантов настольных 3D – принтеров для оснащения учебных лабораторий аддитивных технологий целесообразно использовать принтеры FDM-

технологии (технология послойного наплавления) как недорогие в покупке и эксплуатации. Принтеры, работающие по технологии FDM, выпускают многие производители. Принтеры неприхотливы, не требовательны в обслуживании и настройке. Немаловажным фактором является наличие запасных частей и широкого спектра используемых материалов.

Хорошим решением будет приобретение для лаборатории FDM принтеров, отличающихся способом подачи материала в экструдер («директ» и «боуден»), с закрытой рабочей зоной. Закрытая рабочая зона позволяет: во-первых, исключить влияния на процесс печати таких внешних факторов, как температура и паразитные воздушные потоки в помещении, во-вторых, принтер с закрытой рабочей зоной является более безопасным в обслуживании.

Дополнительно к принтерам FDM в учебную лабораторию желательно приобрести один или два 3D-принтера, работающих по методу SLA (стереолитографии - отверждение смолы под действием ультрафиолетового излучения). Принтеры этой системы, имеют существенные особенности по способу формирования изделия, позволяют получать более точные изделия и имеют более высокую производительность.

Важное значение для длительного и бесперебойного функционирования лаборатории имеет наличие необходимых расходных материалов. Материалы должны быть доступны как по цене, так и по возможности их своевременного приобретения. Для принтеров FDM выпускается большое количество различных пластиковых нитей — филаментов [6]. Основным классификационным признаком является тип пластика: PLA, ABS, PETG, TPU, TPE, PP, FLEX. Дополнительно каждый тип пластика может быть окрашен в различные цвета, включая «металлизированные» оттенки. В некоторые типы пластиков добавляют наполнитель для придания филаменту определенных свойств. Такими наполнителями могут быть целлюлозные волокна, графитовые волокна, пигменты для эффекта люминесценции, металлический порошок для обеспечения эффекта «металлик». Филаменты типа TPU, TPE, FLEX обладают высокой эластичностью, что расширяет ассортимент изделий, изготавливаемых на 3D-принтере.

Существенным недостатком недорогих филаментов для 3D-печати является отсутствие стандартов качества, один и тот же тип пластика от разных производителей может существенно отличаться по своим физико-техническим характеристикам, что приводит к необходимости заново подбирать технологические параметры 3D-печати при замене филамента. Такая ситуация нежелательна в учебной лаборатории, поэтому считаем целесообразным создание банка данных различных филаментов с указанием их физико-технических характеристик и приемлемых технологических параметров 3D-печати. Такой подход позволит сократить время проведения занятий с обучающимися в учебной лаборатории за счет уменьшения брака во время печати.

Для принтеров SLA в качестве исходного материала используются специальные светочувствительные смолы. В категории недорогих светочувствительных смол так же нет стандартов, однозначно определяющих их физико-технические характеристики и рекомендуемые технологические параметры. Каждый производитель рекомендует использовать смолу определенных марок. Следовательно, рекомендации по созданию банка данных филаментов применимы и для фотополимерных смол.

При 3D-печати часто возникают различного рода дефекты, которые могут быть вызваны рядом причин, в том числе неверно выбранными технологическими параметрами печати [7]. Зачастую дефекты возникают вследствие особенностей печатаемого изделия: длинные «мосты», тонкие внешние стенки, недостаточно прочные поддержки. Предотвращать появление дефектов желательно уже на этапе конструирования. Для этого в учебной лаборатории необходимо иметь образцы дефектов, выполненных в виде рисунков, фотографий, и имеющих подробное описание [8]. Еще лучше иметь натурные образцы изделий 3D-печати с естественными или искусственно созданными дефектами.

Известно, что изделие, напечатанное на 3D-принтере, зачастую не является законченным и уже готовым к применению по назначению. Многочисленные поддержки

нависающих элементов изделия, погрешности в размерах, исправимые дефекты требуют постобработки изделий. Для этих целей в учебной лаборатории необходимо предусмотреть наличие значительного количества слесарного инструмента: дрели с набором сверл и фрез, гратосниматель (удалитель заусенцев), набор режущего инструмента, наборы надфилей, плоскогубцев, круглогубцев [9]. Для постобработки изделий из пластика представляет интерес применение специального инструмента со сменными насадками [10].

В случае приобретения для учебной лаборатории 3D-принтеров типа SLA, дополнительно необходимо приобрести ультрафиолетовый светильник для окончательной засветки изделия, ванну и раствор для промывки готового изделия.

Технология 3D-печати требует специального программного обеспечения: программ 3D моделирования и программ - слайсеров. Широко известные программы для автоматизации проектной деятельности, такие как AutoCAD, КОМПАС, SolidWork имеют конвертор, экспортирующий созданные 3D-модели в форматы STL, OBJ или GLTF, пригодные для обработки в программах — слайсерах. Для учебной лаборатории 3D-печати рекомендуется использовать «открытые» программные продукты, распространяемые по лицензии свободного программного обеспечения GNU GPL, такие как OpenCAD, FreeCAD, Maya [11]. Существуют также онлайн ресурсы для 3D конструирования, которые работают через браузер без установки на компьютер пользователя. Одним из таких ресурсов является Tinkercad (tinkercad.com), созданный разработчиками Autodesk для желающих приобщиться к созданию трехмерных моделей. Доступ к платформе бесплатный, требуется регистрация с указанием электронной почты.

Программа-слайсер предназначена для «нарезания» изделия на слои и технологической подготовки 3D – принтера к печати. В программе-слайсере можно задавать сотни различных параметров печати, таких как толщина слоя, толщина стенки, тип и плотность заполнения, температура экструдера, температура стола для печати, необходимость и тип поддержки нависающих частей изделия и еще множество параметров, обеспечивающих необходимое качество готового изделия. Программа-слайсер обычно поставляется вместе с 3D-принтером и может быть открытой или проприетарной. Наиболее известной в настоящий момент открытой программой - слайсером является программа Cura, распространяемая по свободной лицензии GNU GPL. Данный программный продукт часто поставляется в комплекте с 3D-принтерами. При выборе 3D-принтера для учебной лаборатории желательно обращать внимание на возможность использовать «открытую» программу-слайсер, что обеспечит независимость функционирования принтеров от непредвиденных обстоятельств, связанных с деятельностью производителя принтера.

При проектировании лаборатории необходимо уделить внимание вопросам охраны труда инструкторов и обучающихся. Высокие температуры нагрева экструдера, стола, филамента при 3D – печати способствуют испарению составляющих пластика, что может представлять опасность для пользователя и окружающей среды. Исследования, проведенные в условиях близких к натурным, выявили превышение концентрации мелкодисперсной пыли и летучих органических веществ (ЛОВ) допустимых значений для офисов, лабораторий и учебных заведений [12]. Такая ситуация свидетельствует о необходимости организации специальной системы вентиляции рабочих мест в лаборатории аддитивных технологий. При использовании 3D-принтеров с закрытой рабочей зоной возможна вентиляция этой зоны индивидуально у каждого принтера. Следует также ограничить применение в учебной лаборатории филаментов, изготовленных из ABS пластика, которые являются источниками стирола, относимого к канцерогенным ЛОВ.

Проведенный анализ существующих учебных курсов и анкетирование экспертов выявил высокий потенциал и большой интерес к использованию 3D-печати в учебных заведениях [13]. Выявлены основные ограничивающие факторы внедрения 3D печати в образовательные программы. Такими факторами являются: отсутствие консолидированных методологий, относительно высокая стоимость технологии, недостаток квалифицированных преподавателей и лаборантов, которые должны приобрести определенные компетенции,

чтобы внедрить 3D–печать в учебные программы и самостоятельно использовать принтеры и связанные с ними инструменты. Эти навыки носят не только технологический характер, но также включают в себя творческий подход и гибкость для рассмотрения новых способов обучения. Очевидно, что вопросы использования учебной лаборатории аддитивных технологий должны быть тесно связаны с формируемыми компетенциями обучающихся в образовательных программах по различным направлениям подготовки.

Авторы материала — победители конкурса Стипендиальной программы Владимира Потанина 2017/2018, 2018/2019, 2021/2022 годов — выражают благодарность Благотворительному фонду В. Потанина за грантовую поддержку их научно-педагогической деятельности.

Библиографический список

1. Зленко, М. А. Аддитивные технологии в машиностроении: учебное пособие/ М.А. Зленко, М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш. М.: ФГУПНАМИ. 2015 г. 220 с.
2. Что такое концепция [Электронный ресурс]. URL: <https://interesnyefakty.org/chto-takoe-konczepczyia> (дата обращения 10.09.2022).
3. 3D-принтер [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-принтер> (дата обращения 10.09.2022).
4. ISO/ASTM 52900:2021(en) Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary [Электронный ресурс]. URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-astm:52900:ed-2:v1:en> (дата обращения 06.09.2022).
5. Методические рекомендации преподавателям [Электронный ресурс]. URL: <https://gigabaza.ru/doc/76118.html> (дата обращения 06.09.2022).
6. Шкуро, А.Е. Технологии и материалы 3D-печати [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6617/1/Shkuro.pdf>, (дата обращения 06.09.2022).
7. Дефекты 3D-печати [Электронный ресурс]. URL: <http://3dtoday.ru/blogs/leoluch/defects-3d-printing-will-try-to-introduce-a-classification/> (дата обращения 10.09.2022).
8. Проблемы качества 3D-печати [Электронный ресурс]. URL: <https://3dpt.ru/page/faq> (дата обращения 10.09.2022).
9. Постобработка 3D моделей [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtool.ru/stati/postobrabotka-3d-pechatnykh-obektov/> (дата обращения 06.09.2022).
10. Steelmans предлагает универсальный инструмент для обработки 3D-печатных изделий [Электронный ресурс]. URL: http://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/steelmans-offers-a-universal-tool-for-handling-3dprinted-products/?utm_source=5mhMjJThvR& (дата обращения 06.09.2022).
11. Free 3D modeling software [Электронный ресурс]. URL: <https://www.3dsourced.com/rankings/best-free-3d-software/> (дата обращения 06.09.2022).
12. Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments/ Parham Azimi, Dan Zhao, Claire Pouzet, Neil E. Crain, and Brent Stephens/ Environmental Science & Technology 201650 (3), 1260-1268, DOI: 10.1021/acs.est.5b04983
13. D. Assante, G. M. Cennamo and L. Placidi, "3D Printing in Education: an European perspective," 2020 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), 2020, pp. 1133-1138, DOI: 10.1109/EDUCON45650.2020.9125311.

УДК 658.5.011

ПАКЕТНО-УЗЛОВОЙ МЕТОД (ПУМ 4.0) - ОСНОВА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СТРОИТЕЛЬСТВОМ

М. О. Гришин^{1*}, А. В. Шабунин¹, С. С. Балашов²

¹Евразийская Ассоциация практиков прогрессивного пакетирования работ,
Российская Федерация, 190013, г. Санкт-Петербург, ул. Можайская, л. 11, литер А, пом.
12

²Факультет промышленного и гражданского строительства Санкт-Петербургского Государственного
университета путей сообщения Императора Александра I
Российская Федерация, 190031, г. Санкт-Петербург, Московский пр., д. 9
*E-mail: m.grishin@awpcop.com

В статье рассматривается применение методологии «Пакетно-узловой метод 4.0» (ПУМ 4.0) с использованием технологий информационного моделирования (ТИМ) при управлении строительством сложных промышленных объектов.

Ключевые слова: пакетно-узловой метод, технологии информационного моделирования, управление строительством, прогрессивное пакетирование работ

THE PACKAGE-NODAL METHOD (PNM 4.0) – THE BASIS FOR EFFECTIVE USE OF BUILDING INFORMATION MODELLING IN CONSTRUCTION MANAGEMENT

M. O. Grishin^{1*}, A. V. Shabunin¹, S. S. Balashov²

¹Eurasian Association Advanced Work Packaging Community of Practice,
Of.12, 11A, Mozhayskaya str., St.Petersburg, 190013, Russian Federation

²The Faculty of Industrial and Civil Engineering, Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport
University, 9 Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation
*E-mail: m.grishin@awpcop.com

The article discusses the application of the methodology «Package-Nodal Method» (PNM 4.0) for Construction Management of complex industrial projects with using Building Information Modelling (BIM).

Keywords: Package-Nodal Method, Building Information Modelling, Construction Management, Advanced Work Packaging

Современные промышленные, инфраструктурные инвестиционно-строительные проекты характеризуются увеличением технологической сложности проектов, их глобализацией, как с точки зрения расположения объектов, так и со стороны участников строительства, уменьшением сроков возведения проектов, ростом информационных потоков в ходе реализации проектов. При этом строительная индустрия находится в длительном структурном кризисе, происходит отток квалифицированных кадров из отрасли, отстаёт уровень информационной обеспеченности строительства по сравнению с промышленным производством, организационные структуры компаний, особенно российских, не соответствуют стоящим перед ними задачам управления. Всё это приводит к тому, что по данным компании McKinsey [1] один из самых больших мировых секторов экономики, с оборотом более 10 трлн. долларов США, показывает прирост производительности труда в среднем не более 1% в год, значительно отставая от других отраслей экономики.

В РФ ситуация усложняется тем, что организационные структуры по управлению стройкой, методы управления и организационно-технологической подготовки строительства, нормативная база, система подготовки кадров сложились в середине 60-х годов и не претерпели, особенно в подрядных организациях, значительных изменений в настоящее время. Всё эти причины приводят по данным Федеральной службы государственной статистики [2] к значительному падению производительности труда (до 6% за последние 8 лет).

Кроме проблем с производительностью труда в строительной отрасли, в середине 2000-х годов специалистами компаний-участников *Construction Owners of Alberta Association (COOA)* на своих крупных нефтегазовых проектах были произведены исследования по измерению такого параметра, как «tool-time» - времени выполнения рабочими непосредственно строительных операций в течение рабочего дня. Были получены результаты [3], которые показали, что всего лишь 37% своего рабочего времени рабочие создают строительную продукцию, остальное время – это «потери», если использовать терминологию «бережливого строительства»).

Такая ситуация на строительной площадке, естественно, не могла удовлетворить требованиям ни заказчиков, ни подрядчиков, и по инициативе *COOA* и *Construction Industry Institute (CII)* (США) [4] были проведены исследовательские работы по разработке новых методов управления строительством [5], [6], в результате которых была разработана методология *Advanced Work Packaging (AWP)*, которая после апробации на сотнях объектов заказчиками и ЕРС-подрядчиками, была признана в 2015 году «*The Best Practice*» («лучшей практикой») [7], и сейчас широко используется крупными заказчиками: *Shell, ExxonMobil, British Petroleum, Dow Chemical, Eastman Chemical, Linde, Maire Technimont* и др.; ЕРС-подрядчиками, инжиниринговыми и проектными компаниями: *Fluor, Jacobs, Worley Parsons, KBR, Bryden Wood* и др. при реализации строительства промышленных объектов. Во многих случаях обязательное применение методологии *AWP* является контрактным требованием.

В работе [8] рассматривались перспективы использования методологии *Advanced Work Packaging (AWP)* в РФ и были сделаны выводы о необходимости адаптации её к российским условиям. Результатом адаптации и опыта практического применения авторами стала методология «Пакетно-узловой метод 4.0» (ПУМ 4.0), которая отражает современные подходы к управлению строительными проектами с использованием технологий информационного моделирования.

Следует отметить, что методология «Пакетно-узловой метод 4.0» (ПУМ 4.0) представляет собой системотехнический интегрированный подход к управлению строительными проектами, принципы которого были описаны проф. Гусаковым А.А. в [9] с максимальным использованием возможностей технологий информационного моделирования (BIM, Digital Construction), принципов «бережливого строительства», современных методов управления строительными проектами.

Пакетно-узловой метод 4.0 (ПУМ 4.0) - объединённый поток процессов, для которых определяются и выполняются детализированные пакеты работ (строительные, проектные, монтажные, пуско-наладочные, закупочные и другие). Методология включает в себя работы по выполнению работ проекта на различных этапах жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта (ИСП), и которые начинаются с действий на этапе раннего планирования и продолжаются на этапе реализации (рабочее проектирование, закупки, выполнение СМР и ПНР). ПУМ 4.0 обеспечивает основу для повышения продуктивности строительства и снижения сроков реализации ИСП.

В методологии «Пакетно-узловой метод 4.0» (ПУМ 4.0) используются следующие ключевые термины:

1. *Путь строительства (Path of Construction, PoC)* – описание последовательности выполнения работ для оптимального строительства объекта;
2. *Зоны (узлы) строительных работ (Construction Work Area, CWA)* – пространственное разделение работ проекта на рабочие зоны;

3. *Строительно-монтажный пакет работ (Construction Work Package, CWP)* – результат деления CWA на логические и управляемые части (дисциплины рабочего проекта);
4. *Инжиниринговый пакет работ (Engineering Work Package, EWP)* – содержит все инженерно-технологическую документацию, необходимую для выполнения CWP: спецификации, объемы работ, чертежи, данные о поставщиках, проекты производства работ и пр.;
5. *Закупочный пакет работ (Procurement Work Package, PWP)* – содержит все материалы, необходимые для комплектации одного CWP;
6. *Бригадный пакет работ (Installation Work Package, IWP)* – результат деления CWP на более мелкие части, где самым малым элементом является рабочий (бригадный) пакет работ IWP с трудоёмкостью не более 500-1000 чел.-ч. и продолжительностью выполнения 1-2 недели силами одной бригады;
7. *Пуско-наладочный пакет работ (Turnover Work Package, TOP)* – представляет собой подмножество группы отдельных дисциплин рабочих (бригадных) пакетов работ IWP по необходимым для проведения ПНР систем (подсистем).

Пример деления объекта на пакеты с использованием 3d модели показан на рис.1:

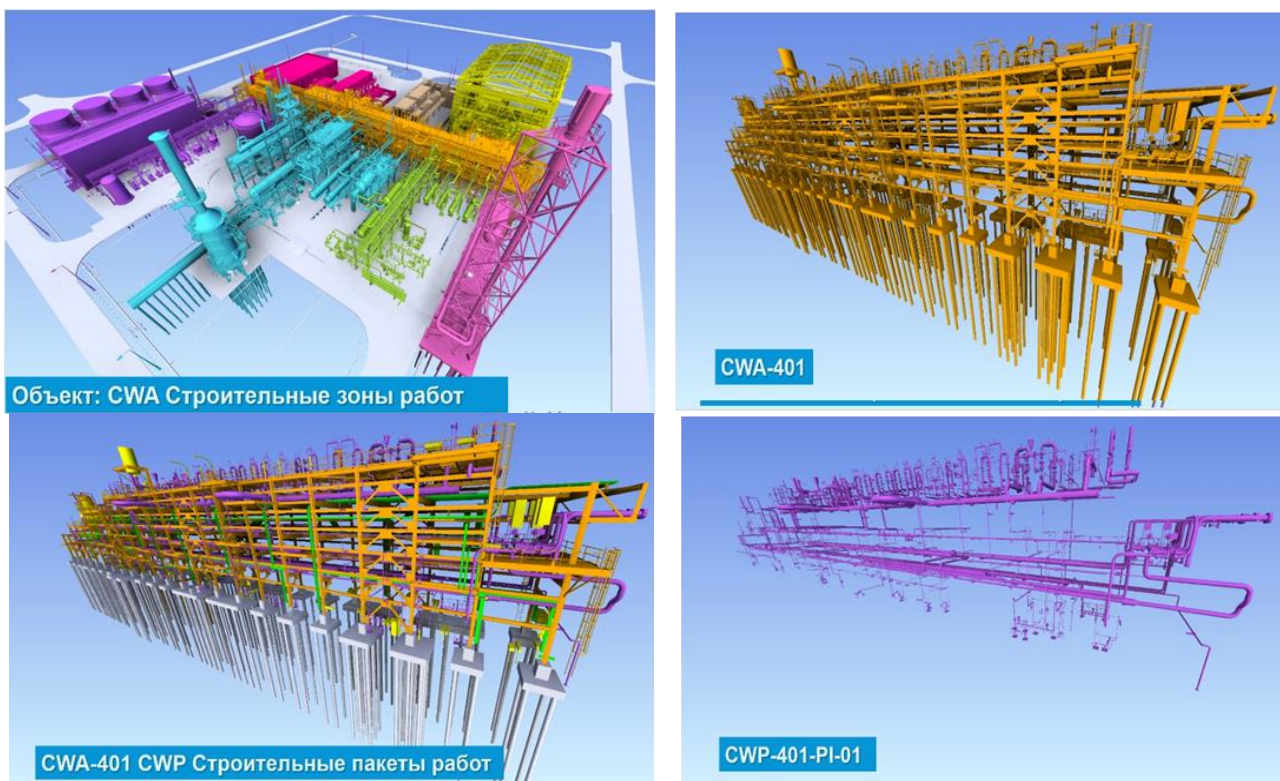


Рис.1 Деление объекта на пакеты с использованием 3d модели (по материалам Autodesk)

Основные принципы методологии «Пакетно-узловой метод 4.0» (ПУМ 4.0) заключаются в следующем:

1. Производится деление всего объекта строительства на отдельные зоны строительства CWA. В дальнейшем производится деление на пуско-наладочные пакеты работ TOP и строительно-монтажные пакеты работ CWP по дисциплинам до уровня бригадных пакетов работ IWP.
2. Создаётся связанная между собой система строительно-монтажных пакетов работ CWP, пуско-наладочных пакетов работ TOP, инжиниринговых пакетов работ EWP и закупочных пакетов работ PWP. Взаимосвязи между различными типами пакетов работ приведены на рис.2:

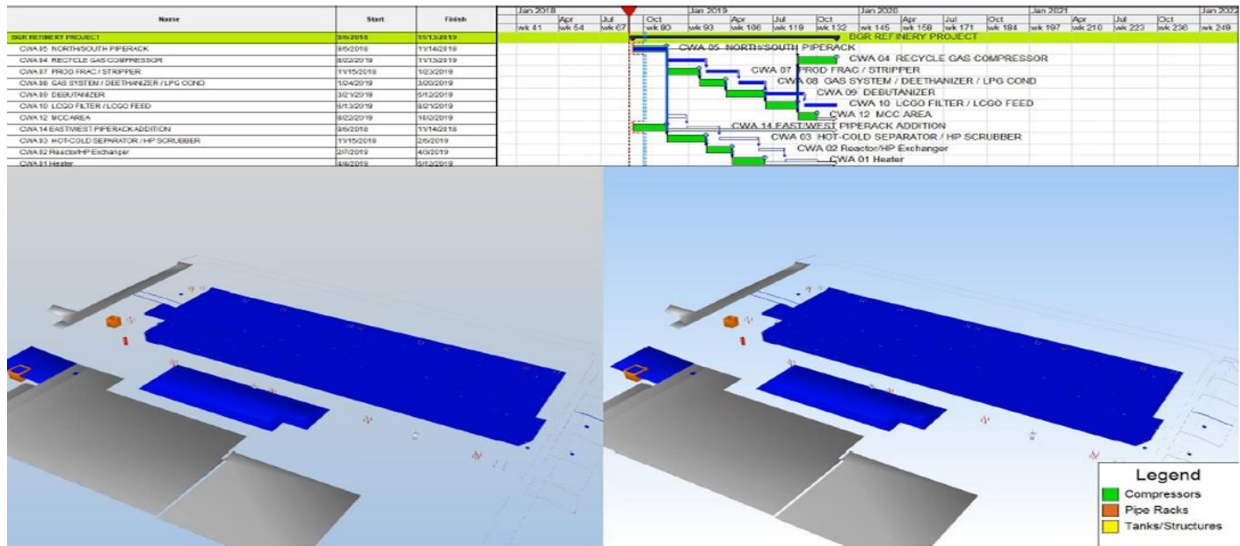


Рис.2 Взаимозависимости между пакетами работ (по материалам Bentley Systems)

Каждый пакет также имеет свой уникальный идентификационный код, который отражает его связь с другими пакетами и таким образом формируется единое информационное пространство проекта.

3. *Определяется Путь строительства РОС.* Схема основных действий при использовании методологии ПУМ 4.0 с учётом применения технологий ТИМ для различных фаз инвестиционно-строительного проекта приведена на рис.3:

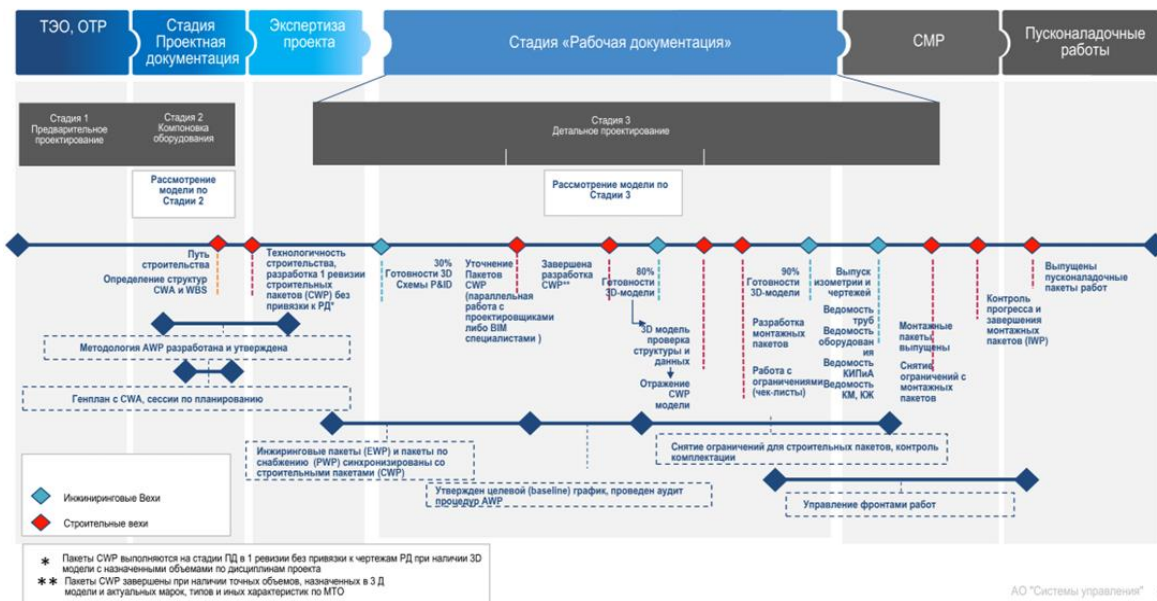


Рис.3 Основные действия при использовании методологии ПУМ 4.0 с применением ТИМ (по материалам ООО «Системы управления - Промэкспертиза»)

4. *Организуется процесс управления ограничениями для всех видов пакетов работ на всех фазах ИСП.* Процессы управления ограничениями и инструменты в виде чек-листов кратко описаны в [10].

Практика применения методологии при управлении проектами с широким использованием 3d моделирования показала её эффективность, в частности, компаниями-членами *Construction Industry Institute (CII)* признаны следующие положительные эффекты при реализации крупных промышленных строительных проектов [7]:

- значительное снижение количества несчастных случаев;
- снижение стоимости строительства (до 10 %);

- снижение затрат на рабочую силу за счёт увеличения «tooltime» более чем на 15%);
- уменьшение объёма переделок;
- повышение предсказуемости проекта по стоимости и графику;
- повышение качества оперативного планирования;
- повышение качества отчетности и анализа ситуации на проекте;
- повышение качества проектных и строительно-монтажных работ.

Опыт применения методологии ПУМ 4.0 с использованием ТИМ при строительстве промышленных объектов в РФ также показывает хорошие результаты, в первую очередь, связанные с повышением качества управления проектами.

Библиографический список

1. Reinventing construction: a route to higher productivity. McKinsey&Company, 2017. URL: <https://www.mckinsey.com/business-functions/operations/our-insights/global-infrastructure-initiative/roundtables/johannesburg-2017-reinventing-construction-through-a-productivity-revolution> (дата обращения: 18.08.2022)
2. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://www.gks.ru> (дата обращения: 15.07.2022).
3. Construction Owners of Alberta Association (COOA) (Canada)/ URL: <https://www.cooa.ab.ca> (дата обращения 18.08 2022)
4. Construction Industry Institute (USA). URL: <https://www.construction-institute.org> (дата обращения: 18.08.2022.)
5. Advanced Work Packaging: Design through Workface Execution. Implementation Resource 272-2, version 3.1, vol.1. USA: Construction Industry Institute and Construction Owners Association of Alberta, 2013. 84 с.
6. Advanced Work Packaging: Implementation Guidelines. Implementation Resource 272-2, version 3.1, vol.2. USA: Construction Industry Institute and Construction Owners Association of Alberta, 2013. 232 с.
7. Making the Case for Advanced Work Packaging as Standard (Best) Practice. Research Summary 319-1. USA: Construction Industry Institute and Construction Owners Association of Alberta, 2015, 48 с.
8. Гришин М.О., Кузнецов К.Ю. Перспективы применения лучшей практики управления строительными проектами Advanced Work Packaging (AWP) в РФ // Современные технологии управления проектами в строительстве: сб. науч. тр. II Всероссийской науч.- практ. конф., 29-30 мая 2020 г. - Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет. – Санкт-Петербург, 2020. – 285 с.
9. Гусаков А. А. Системотехника строительства. М.: Стройиздат, 2-е изд. 1985. 368 с.
10. Гришин М.О. Управление ограничениями в строительных проектах с использованием технологии контрольных списков // Стратегическое управление организациями: современные технологии: сб. науч. тр. науч. и учеб.-практ. конф., 20-21 апреля 2017 г. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. 374 с.

©Гришин М. О., Шабунин М. О., Балашов С. С., 2022

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОИМПУЛЬСНОГО ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ЗЕМЛИ К УРАНУ СО СТАРТОВОЙ ТРЕТЬЕЙ КОСМИЧЕСКОЙ СКОРОСТЬЮ

Н. Ю. Исаченков*

Научный руководитель – Н. И. Перов

Ярославский государственный педагогический университет имени К.Д. Ушинского
Российская Федерация, 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская 108/1

*E-mail: isnickjust@gmail.com

В модели ограниченной плоской круговой задачи семи тел с помощью численного интегрирования в системе компьютерной алгебры «Maple» установлены траектория и время полета космического аппарата от Земли до Урана.

Ключевые слова: Солнечная система, численное интегрирование методом Рунге-Кутты.

MODELING OF A SINGLE-PULSED SPACECRAFT FLIGHT FROM THE EARTH TO URANUS WITH A THIRD STARTING SPACE VELOCITY

N. Y. Isachenkov*

Scientific supervisor – N. I. Perov

Ushinskiy Yaroslavl State Pedagogical University
108/1, Respublikanskaya St., Yaroslavl, 150000, Russian Federation

*E-mail: isnickjust@gmail.com

In the model of the limited plane circular seven-body problem, the trajectory and time of the flight of the spacecraft from the Earth to Uranus are established using numerical integration in the Maple computer algebra system.

Keywords: Solar system, numerical integration by the Runge-Kutta method.

Введение

В данной работе исследуется движение космического аппарата, начинающего движение с поверхности Земли с третьей космической скоростью, в рамках модели ограниченной плоской круговой задачи семи тел «Солнце-Земля-Марс-Юпитер-Сатурн-Уран-тело с ничтожно малой массой» с последовательными тесными сближениями с поверхностью Марса, Юпитера и достижением планеты Уран. Космический аппарат не будет сближаться с поверхностью Сатурна в данной модели, но гравитационное влияние этой планеты учтено. Все расчеты численного интегрирования дифференциального уравнения методом Рунге-Кутты четвертого порядка проведены в системе компьютерной алгебры «Maple».

Основное уравнение

Представим дифференциальное уравнение движения тела с ничтожно малой массой в форме (1) – с одной независимой переменной v_E [1].

$$\left(\frac{d^2\mathbf{r}}{dv_E^2}\right)\omega_E^2 = -\frac{Gm_{Sun}\mathbf{r}}{r^3} - \frac{Gm_E(\mathbf{r}-\mathbf{r}_E)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_E|^3} - \frac{Gm_M(\mathbf{r}-\mathbf{r}_M)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_M|^3} - \frac{Gm_Y(\mathbf{r}-\mathbf{r}_Y)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_Y|^3} - \frac{Gm_S(\mathbf{r}-\mathbf{r}_S)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_S|^3} - \frac{Gm_U(\mathbf{r}-\mathbf{r}_U)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_U|^3}, \quad (1)$$

где: $\mathbf{r}$, $\mathbf{r}_E$, $\mathbf{r}_M$, $\mathbf{r}_Y$, $\mathbf{r}_S$, и $\mathbf{r}_U$ – гелиоцентрические радиус-векторы космического аппарата, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна и Урана, соответственно. m_{Sun} , m_E , m_M , m_Y , m_S , и m_U – массы Солнца, Земли, Марса, Юпитера, Сатурна и Урана, соответственно. v_E – средняя долгота Земли, ω_E – угловая скорость орбитального движения Земли, равномерно вращающейся по круговой орбите вокруг Солнца. Орбиты Марса, Юпитера, Сатурна и Урана также считаем круговыми, а их средние долготы пропорциональны v_E . В данной небесномеханической модели v_M , v_Y , v_S , v_U – средние долготы Марса, Юпитера, Сатурна и Урана, соответственно. G – гравитационная постоянная [2].

Средняя долгота орбиты Земли (v_E) – это угол в радианах, на который повернулась Земля вокруг Солнца после старта космического аппарата относительно своего первоначального положения.

Радиусы Земли, Марса, Юпитера, Сатурна и Урана в астрономических единицах равны соответственно:

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{6371}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.0000425875 \text{ а.е.}, \\ R_M &= \frac{3389.5}{149597888.999} \text{ а.е.} \approx 0.0000226574 \text{ а.е.}, \\ R_Y &= \frac{69911}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.00046732611 \text{ а.е.}, \\ R_S &= \frac{58232}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.00038925683 \text{ а.е.}, \\ R_U &= \frac{25362}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.0001695345 \text{ а.е.} [3]. \end{aligned}$$

Начальные условия, расчеты

Начало отсчета средних долгот рассматриваемых тел совпадает с начальным положением этих тел. Используется следующая система единиц измерений: единица длины соответствует 1 астрономической единице, единица массы равна массе Солнца, единица времени равна 1 звездному году, средние долготы v_E , v_M , v_Y , v_S , v_U измеряются в радианах [4].

dV_{ES3} – начальная скорость космического аппарата, начинающего движение с поверхности Земли, относительно Солнца, представляет из себя сложение скоростей Земли относительно Солнца и космического аппарата относительно Земли. $dV_{ES3} = dV_{ES} + dV_3$, где dV_{ES} – скорость Земли относительно Солнца, равная 29870 м/с, dV_3 – начальная скорость космического аппарата относительно Земли, равная третьей космической скорости для тел, находящихся вблизи поверхности Земли [3].

Вычислим последовательно в международной системе единиц вторую и третью космическую скорости для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, для нашей модели ограниченной плоской круговой задачи семи тел.

$v_2 = \sqrt{\frac{2Gm_E}{R_E}}$, где: v_2 – вторая космическая скорость, G – гравитационная постоянная, m_E – масса Земли, R_E – радиус Земли.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6.6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5.9722 \cdot 10^{24}}{6371 \cdot 10^3}} = 11186.16519734622 \frac{\text{м}}{\text{с}} [5].$$

$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1) \cdot v^2 + v_2^2}$, где: v_3 – третья космическая скорость для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, v_2 – вторая космическая скорость, v – скорость Земли относительно Солнца, равная 29780 м/с [3].

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1) \cdot 29780^2 + 11186.16519734622^2} \approx 16652,01 \frac{\text{м}}{\text{с}} [5].$$

Подберем такие начальные условия средних долгот Земли, Марса, Юпитера, Сатурна и Урана при которых космический аппарат, стартующий с Земли с третьей космической скоростью, долетит до Урана, последовательно сближаясь с поверхностями Марса и Юпитера. Тогда для начальных условий, равных: $v_{E0}=0$ рад., $v_{M0}=0.7324217$ рад., $v_{Y0}=1.81700711$ рад., $v_{S0}=2.1741$ рад., $v_{U0}=3.25878859$ рад., $x_0=1+R_E$ а.е., $y_0=0$ а.е., $dV_{ES}=29780$

м/с, $dV_3=16652,01$ м/с, траектория космического аппарата представлена на рисунке 1. Изменение расстояния между Солнцем и космическим аппаратом (в зависимости от v_E) показано на рисунке 2. Минимальное расстояние между космическим аппаратом и планетами: Марсом, Юпитером, Сатурном, Ураном (в зависимости от v_E) показано на рисунках 3, 4, 5, 6, соответственно.

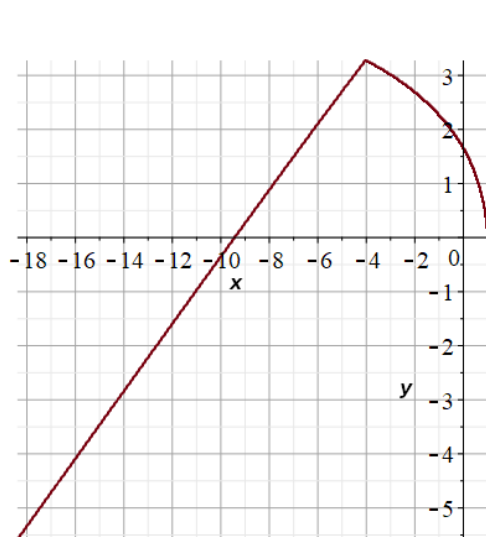


Рисунок 1 – Траектория движения космического аппарата относительно Солнца:

x – значение координаты на горизонтальной оси;
 y – значение координаты на вертикальной оси;
 $v_E=14.9$ рад. – максимальное значение средней долготы Земли.

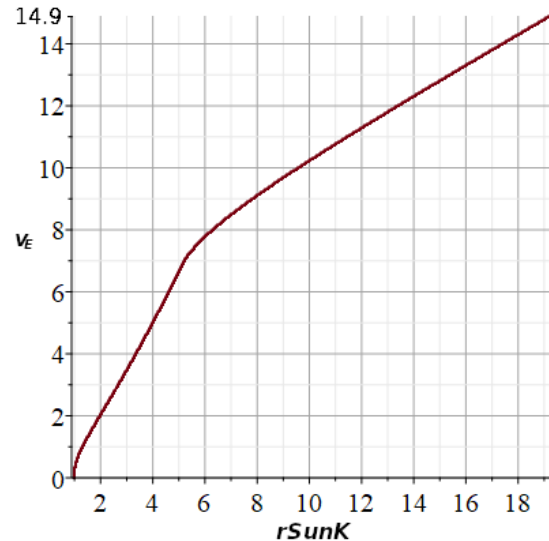


Рисунок 2 – Расстояние между Солнцем и космическим аппаратом в астрономических единицах:

$rSunK$ – значение расстояния;
 $v_E=14.9$ рад. – максимальное значение средней долготы Земли.

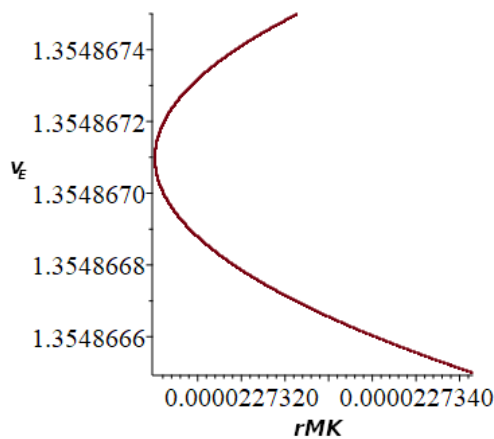


Рисунок 3 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Марсом:
 $rMK \approx 0.000022731$ а.е. – значение расстояния;
 $v_E \approx 1.3548671$ рад. – значение средней долготы Земли.

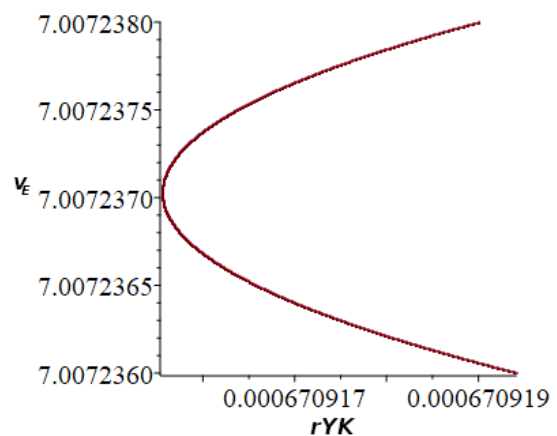


Рисунок 4 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Юпитером:
 $rYK \approx 0.0006709155$ а.е. – значение расстояния;
 $v_E \approx 7.007237$ рад. – значение средней долготы Земли.

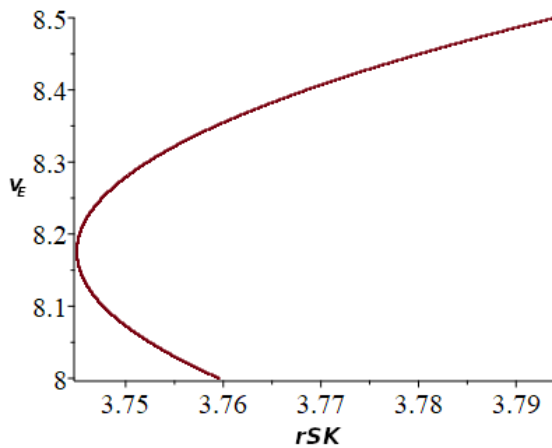


Рисунок 5 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Сатурном:
 $r_{SK} \approx 3.745$ а.е. – значение расстояния;
 $v_E \approx 8.175$ рад. – значение средней долготы Земли.

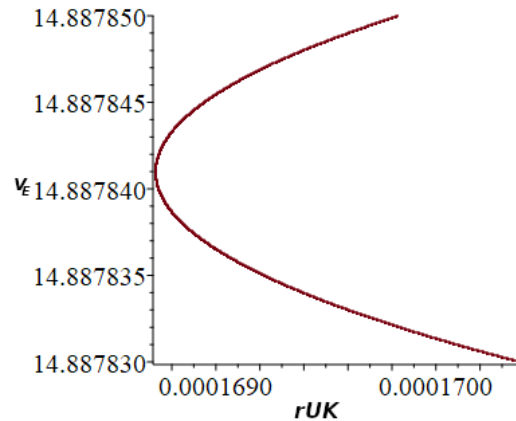


Рисунок 6 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Ураном:
 $r_{UK} \approx 0.0001687$ а.е. – значение расстояния;
 $v_E \approx 14.887841$ рад. – значение средней долготы Земли.

Заключение

На графике видно, что после гравитационного маневра возле Юпитера траектория космического аппарата значительно изменится, так как масса Юпитера слишком велика, а значит его гравитационное воздействие очень сильно. Гравитационные маневры нужны для того, чтобы увеличить скорость космического аппарата без затрат каких-либо ресурсов, изменить траекторию полета космического аппарата, увеличить большую полуось орбиты космического аппарата, а также сократить время полета до конечной точки. Для максимальной пользы необходимо, чтобы космический аппарат сблизился как можно сильнее с поверхностью небесного тела, но не коснулся ее.

Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Ураном немного меньше радиуса этой планеты. Это означает, что космический аппарат совершит посадку на поверхности Урана. Расчет времени одноимпульсного полета космического аппарата от Земли до конечной точки в модели ограниченной плоской круговой задачи семи тел осуществляется по следующей формуле:

$$t = \frac{v_E \cdot T_E}{2\pi} \approx \frac{14.887841 \text{ рад} \cdot 365.2564 \text{ суток}}{2\pi} \approx 865 \text{ суток} \approx 2 \text{ года } 4 \text{ месяца } 15 \text{ дней}.$$

Библиографический список

1. Рой А.Э. Движение по орбитам // Редакция литературы по космическим исследованиям, астрономии и геофизике – Москва. Издательство Мир, 1981. – 544 с.
2. Перов Н.И., Ерохин А.А. Одноимпульсный полет космического аппарата от Земли к Луне и Марсу с возвращением к Земле // Математика и информатика, астрономия и физика, экономика и совершенствование их преподавания. Материалы конференции «Чтения Ушинского» – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2017. – С. 223–228.
3. Параметры планет // National Aeronautics and Space Administration: сайт. URL: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/> (дата обращения 01.08.2022).
4. Перов Н.И. О небесных телах, пересекающих орбиты Марса, Земли и Луны // Математика и информатика, астрономия и физика, экономика и совершенствование их преподавания. Материалы конференции «Чтения Ушинского» – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2017. – С. 211–217.
5. Исаченков Н.Ю. Одноимпульсный полет космического аппарата с третьей космической скоростью от Земли к Юпитеру в рамках задачи шести тел // XXIV

Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета. Материалы конференции. Под общей редакцией Д.А. Погonyшева. – Нижневартковск, 2022. – С. 60–64.

© Исаченков Н. Ю., 2022

УДК 004.942

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОИМПУЛЬСНОГО ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПО ТРАЕКТОРИИ «ЗЕМЛЯ-МАРС-ЮПИТЕР-САТУРН»

Н. Ю. Исаченков*

Научный руководитель – Н. И. Перов

Ярославский государственный педагогический университет имени К.Д. Ушинского
Российская Федерация, 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская 108/1

*E-mail: isnickjust@gmail.com

В модели ограниченной плоской круговой задачи шести тел с помощью численного интегрирования в системе компьютерной алгебры «Maple» установлены траектория и время полета космического аппарата от Земли до Сатурна.

Ключевые слова: Солнечная система, численное интегрирование методом Рунге-Кутты.

MODELING OF A SINGLE-PULSED SPACECRAFT FLIGHT ON THE EARTH-MARS- JUPITER-SATURN TRAJECTORY

N. Y. Isachenkov*

Scientific supervisor – N. I. Perov

Ushinskiy Yaroslavl State Pedagogical University
108/1, Respublikanskaya St., Yaroslavl, 150000, Russian Federation

*E-mail: isnickjust@gmail.com

In the model of the limited plane circular six-body problem, the trajectory and time of the flight of the spacecraft from the Earth to Saturn are established using numerical integration in the Maple computer algebra system.

Keywords: Solar system, numerical integration by the Runge-Kutta method.

Введение

В данной работе исследуется движение космического аппарата, начинающего движение с поверхности Земли с третьей космической скоростью, в рамках модели ограниченной плоской круговой задачи шести тел «Солнце-Земля-Марс-Юпитер-Сатурн-тело с ничтожно малой массой» с последовательными тесными сближениями с поверхностью Марса, Юпитера и достижением планеты Сатурн. Все расчеты численного интегрирования дифференциального уравнения методом Рунге-Кутты четвертого порядка проведены в системе компьютерной алгебры «Maple».

Основное уравнение

Представим дифференциальное уравнение движения тела с ничтожно малой массой в форме (1) – с одной независимой переменной v_E [1].

$$\left(\frac{d^2\mathbf{r}}{dv_E^2}\right)\omega_E^2 = -\frac{Gm_{Sun}\mathbf{r}}{r^3} - \frac{Gm_E(\mathbf{r}-\mathbf{r}_E)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_E|^3} - \frac{Gm_M(\mathbf{r}-\mathbf{r}_M)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_M|^3} - \frac{Gm_Y(\mathbf{r}-\mathbf{r}_Y)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_Y|^3} - \frac{Gm_S(\mathbf{r}-\mathbf{r}_S)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_S|^3}, \quad (1)$$

где: $\mathbf{r}$, $\mathbf{r}_E$, $\mathbf{r}_M$, $\mathbf{r}_Y$ и $\mathbf{r}_S$ – гелиоцентрические радиус-векторы космического аппарата, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна, соответственно. m_{Sun} , m_E , m_M , m_Y и m_S – массы Солнца, Земли, Марса, Юпитера и Сатурна, соответственно. v_E – средняя долгота Земли, ω_E – угловая

скорость орбитального движения Земли, равномерно вращающейся по круговой орбите вокруг Солнца. Орбиты Марса, Юпитера и Сатурна также считаем круговыми, а их средние долготы пропорциональны v_E . В данной небесномеханической модели v_M, v_Y, v_S – средние долготы Марса, Юпитера и Сатурна, соответственно. G – гравитационная постоянная [2].

Средняя долгота орбиты Земли (v_E) – это угол в радианах, на который повернулась Земля вокруг Солнца после старта космического аппарата относительно своего первоначального положения.

Радиусы Земли, Марса, Юпитера и Сатурна в астрономических единицах равны соответственно:

$$\begin{aligned} R_E &= \frac{6371}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.0000425875 \text{ а.е.}, \\ R_M &= \frac{3389.5}{149597888.999} \text{ а.е.} \approx 0.0000226574 \text{ а.е.}, \\ R_Y &= \frac{69911}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.00046732611 \text{ а.е.}, \\ R_S &= \frac{58232}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.00038925683 \text{ а.е.} [3]. \end{aligned}$$

Начальные условия, расчеты

Начало отсчета средних долгот рассматриваемых тел совпадает с начальным положением этих тел. Используется следующая система единиц измерений: единица длины соответствует 1 астрономической единице, единица массы равна массе Солнца, единица времени равна 1 звездному году, средние долготы v_E, v_M, v_Y, v_S измеряются в радианах [4].

dV_{ES3} – начальная скорость космического аппарата, начинающего движение с поверхности Земли, относительно Солнца, представляет из себя сложение скоростей Земли относительно Солнца и космического аппарата относительно Земли. $dV_{ES3} = dV_{ES} + dV_3$, где dV_{ES} – скорость Земли относительно Солнца, равная 29870 м/с, dV_3 – начальная скорость космического аппарата относительно Земли, равная третьей космической скорости для тел, находящихся вблизи поверхности Земли [3].

Вычислим последовательно в международной системе единиц вторую и третью космическую скорости для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, для нашей модели ограниченной плоской круговой задачи шести тел.

$v_2 = \sqrt{\frac{2Gm_E}{R_E}}$, где: v_2 – вторая космическая скорость, G – гравитационная постоянная, m_E – масса Земли, R_E – радиус Земли.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6.6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5.9722 \cdot 10^{24}}{6371 \cdot 10^3}} = 11186.16519734622 \frac{\text{м}}{\text{с}} [5].$$

$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1) \cdot v_2^2 + v^2}$, где: v_3 – третья космическая скорость для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, v_2 – вторая космическая скорость, v – скорость Земли относительно Солнца, равная 29780 м/с [3].

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1) \cdot 29780^2 + 11186.16519734622^2} \approx 16652,01 \frac{\text{м}}{\text{с}} [5].$$

Подберем такие начальные условия средних долгот Земли, Марса, Юпитера и Сатурна при которых космический аппарат, стартующий с Земли с третьей космической скоростью, долетит до Сатурна, последовательно сближаясь с поверхностями Марса и Юпитера. Тогда для начальных условий, равных: $v_{E0}=0$ рад., $v_{M0}=0.7324219$ рад., $v_{Y0}=1.817071$ рад., $v_{S0}=2.361753$ рад., $x_0=1+R_E$ а.е., $y_0=0$ а.е., $dV_{ES}=29780$ м/с, $dV_3=16652,01$ м/с, траектория космического аппарата представлена на рисунке 1. Изменение расстояния между Солнцем и космическим аппаратом (в зависимости от v_E) показано на рисунке 2. Минимальное расстояние между космическим аппаратом и планетами: Марсом, Юпитером, Сатурном (в зависимости от v_E) показано на рисунках 3, 4, 5, соответственно.

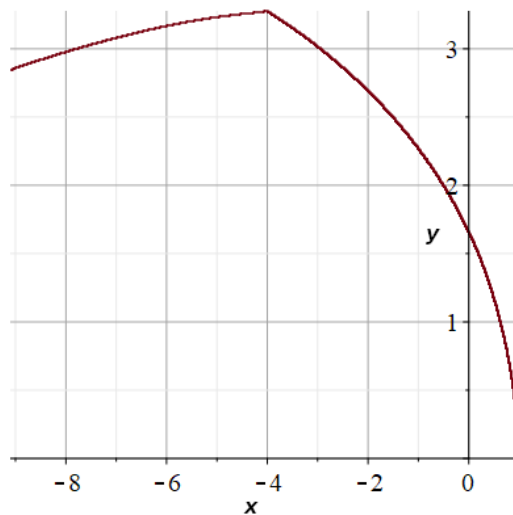


Рисунок 1 – Траектория движения космического аппарата относительно Солнца:
 x – значение координаты на горизонтальной оси; y – значение координаты на вертикальной оси; $v_E=14.06$ рад. – максимальное значение средней долготы Земли.

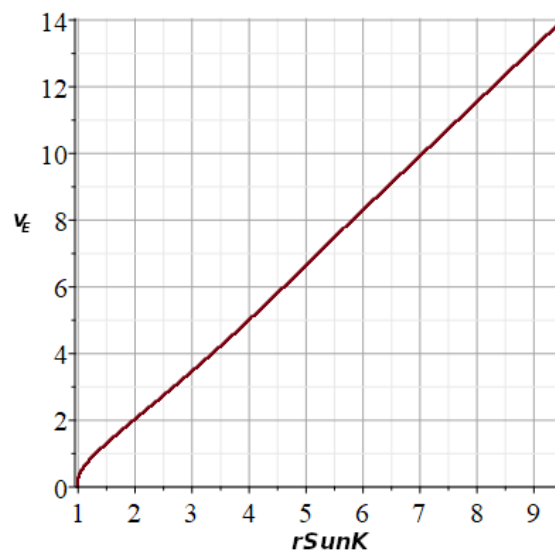


Рисунок 2 – Расстояние между Солнцем и космическим аппаратом в астрономических единицах:
 $rSunK$ – значение расстояния; $v_E=14.06$ рад. – максимальное значение средней долготы Земли.

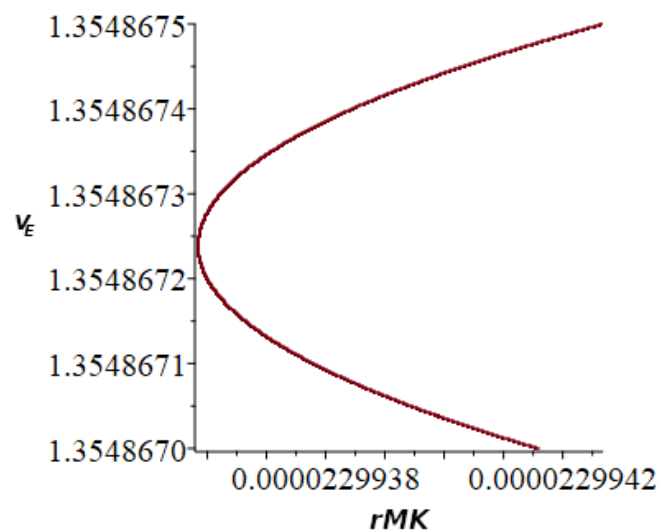


Рисунок 3 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Марсом:

$r_{MK} \approx 0.0000229936$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 1.3548671$ рад. – значение средней долготы Земли.

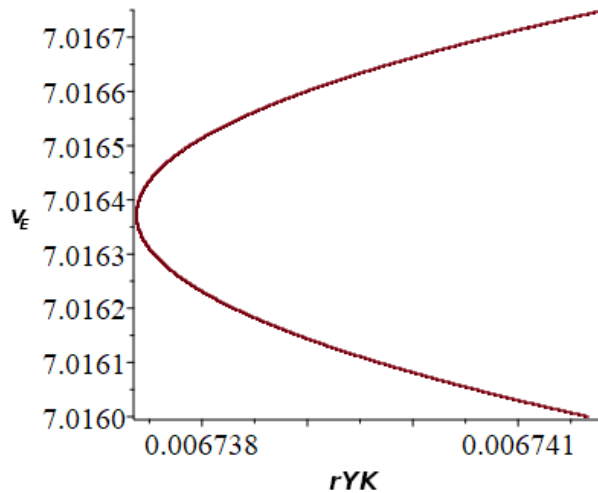


Рисунок 4 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Юпитером:
 $r_{YK} \approx 0.00067375$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 7.01635$ рад. – значение средней долготы Земли.

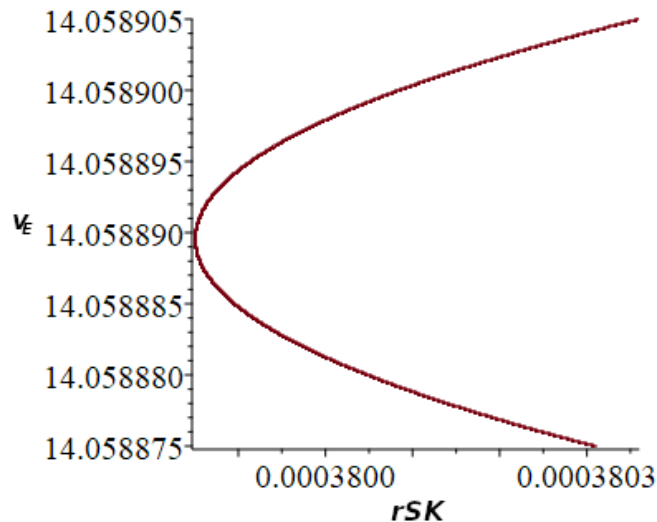


Рисунок 5 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Сатурном:
 $r_{SK} \approx 0.00037985$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 14.05889$ рад. – значение средней долготы Земли.

Заключение

На графике видно, что после гравитационного маневра возле Юпитера траектория космического аппарата достаточно значительно изменится, так как масса Юпитера слишком велика, а значит его гравитационное воздействие очень сильно. Гравитационные маневры нужны для того, чтобы увеличить скорость космического аппарата без затрат каких-либо ресурсов, изменить траекторию полета космического аппарата, увеличить большую полуось орбиты космического аппарата, а также сократить время полета до конечной точки. Для максимальной пользы необходимо, чтобы космический аппарат сблизился как можно сильнее с поверхностью небесного тела, но не коснулся ее.

Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Сатурном немного меньше радиуса этой планеты. Это означает, что космический аппарат совершит посадку на поверхности Сатурна.

Расчет времени одноимпульсного полета космического аппарата от Земли до конечной точки в модели ограниченной плоской круговой задачи шести тел осуществляется по следующей формуле:

$$t = \frac{v_E \cdot T_E}{2 \cdot \pi} \approx \frac{14.05889 \text{ рад} \cdot 365.2564 \text{ суток}}{2 \cdot \pi} \approx 817 \text{ суток} \approx 2 \text{ года } 2 \text{ месяца } 27 \text{ дней}.$$

Библиографический список

1. Рой А.Э. Движение по орбитам // Редакция литературы по космическим исследованиям, астрономии и геофизике – Москва. Издательство Мир, 1981. – 544 с.
2. Перов Н.И., Ерохин А.А. Одноимпульсный полет космического аппарата от Земли к Луне и Марсу с возвращением к Земле // Математика и информатика, астрономия и физика, экономика и совершенствование их преподавания. Материалы конференции «Чтения Ушинского» – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2017. – С. 223–228.
3. Параметры планет // National Aeronautics and Space Administration: сайт. URL: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/> (дата обращения 01.08.2022).
4. Перов Н.И. О небесных телах, пересекающих орбиты Марса, Земли и Луны // Математика и информатика, астрономия и физика, экономика и совершенствование их преподавания. Материалы конференции «Чтения Ушинского» – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2017. – С. 211–217.
5. Исаченков Н.Ю. Одноимпульсный полет космического аппарата с третьей космической скоростью от Земли к Юпитеру в рамках задачи шести тел // XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета. Материалы конференции. Под общей редакцией Д.А. Погonyшева. – Нижневартковск, 2022. – С. 60–64.

© Исаченков Н. Ю., 2022

УДК 004.942

СРАВНЕНИЕ ДВУХ СМОДЕЛИРОВАННЫХ ОДНОИМПУЛЬСНЫХ ПОЛЕТОВ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ЗЕМЛИ К ВЕНЕРЕ С ГРАВИТАЦИОННЫМ МАНЕВРОМ ВОЗЛЕ ЛУНЫ

Н. Ю. Исаченков*

Научный руководитель – Н. И. Перов

Ярославский государственный педагогический университет имени К.Д. Ушинского
Российская Федерация, 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская 108/1

*E-mail: isnickjust@gmail.com

В двух моделях ограниченных плоских круговых задачах пяти тел с помощью численного интегрирования в системе компьютерной алгебры «Maple» сравниваются начальные условия и время полета космического аппарата от Земли до Венеры.

Ключевые слова: Солнечная система, численное интегрирование методом Рунге-Кутты.

COMPARISON OF TWO MODELED SINGLE-PULSE SPACECRAFT FLIGHTS FROM THE EARTH TO VENUS WITH A GRAVITATIONAL MANEUVER NEAR THE MOON

N. Y. Isachenkov*

Scientific supervisor – N. I. Perov

Ushinskiy Yaroslavl State Pedagogical University
108/1, Respublikanskaya St., Yaroslavl, 150000, Russian Federation

*E-mail: isnickjust@gmail.com

In the models of limited planar circular problems of five bodies, numerical integration in the computer algebra system «Maple» compares the initial conditions and the time of the flight of the spacecraft from the Earth to Venus.

Keywords: Solar system, numerical integration by the Runge-Kutta method.

Введение

В данной работе моделируются и сравниваются два одноимпульсных полета космического аппарата от Земли к Венере с гравитационным маневром возле Луны. Оба одноимпульсных полета рассматриваются в рамках модели ограниченной плоской круговой задачи пяти тел «Тело с ничтожно малой массой – Солнце – Земля – Луна – Венера». Отличия в моделях заключаются в начальной скорости космического аппарата и в начальных положениях небесных тел, а именно Луны и Венеры. Начальные координаты космического аппарата, Солнца и Земли не отличаются в обоих одноимпульсных полетах. В первой модели подобраны начальные положения Луны, Венеры и минимально возможная начальная скорость космического аппарата, а во втором одноимпульсном полете вычисляется третья космическая скорость для тел, находящихся вблизи поверхности Земли. Для второй модели подбираются только начальные положения Луны и Венеры.

Целью работы является сравнение двух смоделированных одноимпульсных полетов от Земли до Венеры в ограниченной плоской круговой задаче пяти тел.

Для обоих полетов задается одинаковое дифференциальное уравнение движения космического аппарата, он же тело с ничтожно малой массой. Все расчеты численного

интегрирования дифференциального уравнения методом Рунге-Кутты четвертого порядка проведены в системе компьютерной алгебры «Maple».

Основное уравнение

Представим дифференциальное уравнение движения тела с ничтожно малой массой в форме (1) – с одной независимой переменной v_E [1].

$$\left(\frac{d^2 \mathbf{r}}{dv_E^2}\right) \omega_E^2 = -\frac{Gm_S \mathbf{r}}{r^3} - \frac{Gm_E(\mathbf{r}-\mathbf{r}_E)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_E|^3} - \frac{Gm_{Moon}(\mathbf{r}-\mathbf{r}_E-\mathbf{r}_{EMoon})}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_E-\mathbf{r}_{EMoon}|^3} - \frac{Gm_V(\mathbf{r}-\mathbf{r}_V)}{|\mathbf{r}-\mathbf{r}_V|^3}. \quad (1)$$

Здесь $\mathbf{r}$, $\mathbf{r}_E$ и $\mathbf{r}_V$ – гелиоцентрические радиус-векторы космического аппарата, Земли и Венеры, соответственно. $\mathbf{r}_{EMoon}$ – геоцентрический радиус-вектор Луны. m_S , m_E , m_{Moon} и m_V – массы Солнца, Земли, Луны и Венеры, соответственно. v_E – средняя долгота Земли, ω_E – угловая скорость орбитального движения Земли, равномерно вращающейся по круговой орбите вокруг Солнца. Орбиты Луны и Венеры также считаем круговыми, а их средние долготы пропорциональны v_E . В данной небесномеханической модели v_{Moon} , v_V – средние долготы Луны и Венеры, соответственно. G – гравитационная постоянная [2].

Средняя долгота орбиты Земли (v_E) – это угол в радианах, на который повернулась Земля вокруг Солнца после старта космического аппарата относительно своего первоначального положения.

Радиусы Земли, Луны и Венеры в астрономических единицах равны соответственно:

$$R_E = \frac{6371}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.0000425875 \text{ а.е.},$$

$$R_{Moon} = \frac{1737.4}{149597888.999} \text{ а.е.} \approx 0.0000116138 \text{ а.е.},$$

$$R_V = \frac{6051.8}{149597888.9} \text{ а.е.} \approx 0.000004045378 \text{ а.е.} [3].$$

Начальные условия, расчеты

Начало отсчета средних долгот рассматриваемых тел совпадает с начальным положением этих тел. Используется следующая система единиц измерений: единица длины соответствует 1 астрономической единице, единица массы равна массе Солнца, единица времени равна 1 звездному году, средние долготы v_E , v_{Moon} , v_V измеряются в радианах [4].

dV_{ESmin} – минимально возможная начальная скорость космического аппарата, начинающего движение с поверхности Земли и достигающего Венеры, относительно Солнца. Она представляет из себя сложение скоростей Земли относительно Солнца и космического аппарата относительно Земли. $dV_{ESmin} = dV_{ES} + dV_{min}$, где dV_{ES} – скорость Земли относительно Солнца, dV_{min} – минимально возможная начальная скорость космического аппарата относительно Земли.

dV_{ES3} – начальная скорость космического аппарата, начинающего движение с поверхности Земли и достигающего поверхности Венеры, относительно Солнца, представляет из себя сложение скоростей Земли относительно Солнца и космического аппарата относительно Земли. $dV_{ES3} = dV_{ES} + dV_3$, где dV_3 – начальная скорость космического аппарата относительно Земли, равная третьей космической скорости для тел, находящихся вблизи поверхности Земли [5].

Для нашей модели ограниченной плоской круговой задачи пяти тел последовательно вычислим в международной системе единиц вторую и третью космическую скорости для тел, находящихся вблизи поверхности Земли.

$v_2 = \sqrt{\frac{2Gm_E}{R_E}}$, где: v_2 – вторая космическая скорость для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, G – гравитационная постоянная, m_E – масса Земли, R_E – радиус Земли.

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 6.6743 \cdot 10^{-11} \cdot 5.9722 \cdot 10^{24}}{6371 \cdot 10^3}} = 11186.16519734622 \frac{\text{м}}{\text{с}} [5].$$

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1) \cdot v^2 + v_2^2}. \quad (2)$$

В формуле (2) v_3 – третья космическая скорость для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, v_2 – вторая космическая скорость, v – скорость Земли относительно Солнца, равная 29780 м/с [3].

$$v_3 = \sqrt{(\sqrt{2} - 1) \cdot 29780^2 + 11186.16519734622^2} \approx 16652,01 \frac{\text{м}}{\text{с}} [5].$$

Подберем такие начальные условия средних долгот Земли, Луны и Венеры, а также минимально возможную стартовую скорость космического аппарата, при которых космический аппарат, стартующий с Земли, с гравитационным маневром возле Луны долетит до Венеры. Тогда для начальных условий, равных: $v_{E0}=0$ рад., $v_{Moon0}=4.40503$ рад., $v_{V0}=5.1237$ рад., $x_0=1$ а.е., $y_0=-R_E$ а.е., $dV_{ES}=29780$ м/с, $dV_{min}=11401$ м/с, где x_0 и y_0 – начальные координаты космического аппарата, траектория космического аппарата представлена на рисунке 1. Минимальное расстояние между космическим аппаратом и небесными телами: Луной и Венерой (в зависимости от v_E) показано на рисунках 2, 3, соответственно [6].

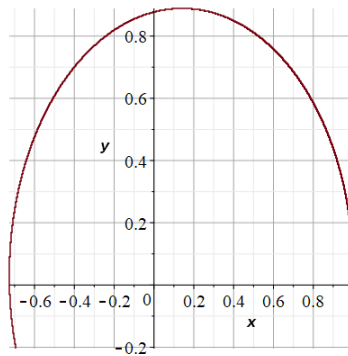


Рисунок 1 – Траектория движения космического аппарата относительно Солнца: x – значение координаты на горизонтальной оси; y – значение координаты на вертикальной оси; $v_E = 2.822$ рад. – максимальное значение средней долготы Земли в данной задаче.

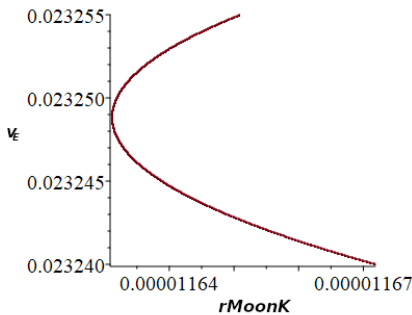


Рисунок 2 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Луной: $r_{MoonK} \approx 0.00001163$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 0.023249$ рад. – значение средней долготы Земли.

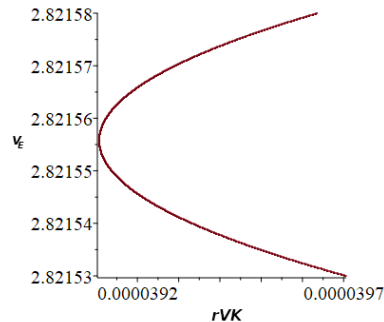


Рисунок 3 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Венерой: $r_{VK} \approx 0.0000391$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 2.821555$ рад. – значение средней долготы Земли.

Расчет времени одноимпульсного полета космического аппарата от Земли до Венеры с минимально возможной скоростью в модели ограниченной плоской круговой задачи пяти тел осуществляется по следующей формуле:

$$t_1 = \frac{v_E \cdot T_E}{2 \cdot \pi} \approx \frac{2.821555 \text{ рад.} \cdot 365.2564 \text{ суток}}{2 \cdot \pi} \approx 164 \text{ суток} \approx 5 \text{ месяцев } 14 \text{ дней.} \quad (3)$$

Теперь подберем такие начальные условия средних долгот Земли, Луны и Венеры, при которых космический аппарат, стартующий с Земли с третьей космической скоростью, долетит до Венеры, сближаясь с поверхностью Луны. Тогда для начальных условий, равных: $v_{E0}=0$ рад., $v_{Moon0}=4.62825$ рад., $v_{V0}=5.5090625$ рад., $x_0=1$ а.е., $y_0=-R_E$ а.е., $dV_{ES}=29780$ м/с,

$dV_3=16652,01$ м/с, траектория космического аппарата представлена на рисунке 4. Минимальное расстояние между космическим аппаратом и небесными телами: Луной и Венерой (в зависимости от v_E) показано на рисунках 5, 6, соответственно.

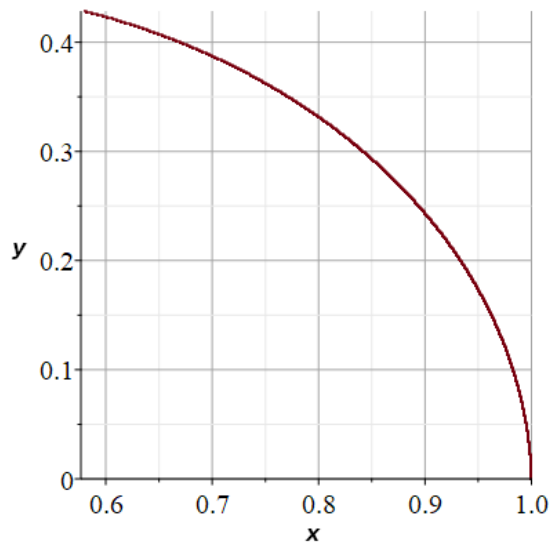


Рисунок 4 – Траектория движения космического аппарата относительно Солнца: x – значение координаты на горизонтальной оси; y – значение координаты на вертикальной оси; $v_E = 0.87$ рад. – максимальное значение средней долготы Земли в данной задаче.

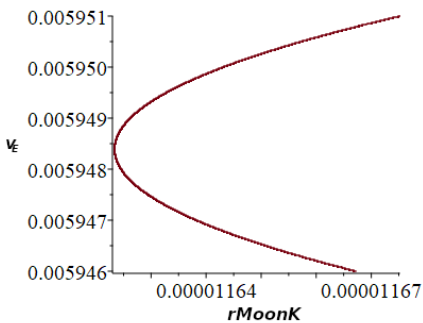


Рисунок 5 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Луной: $r_{MoonK} \approx 0.00001162$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 0.0059485$ рад. – значение средней долготы Земли.

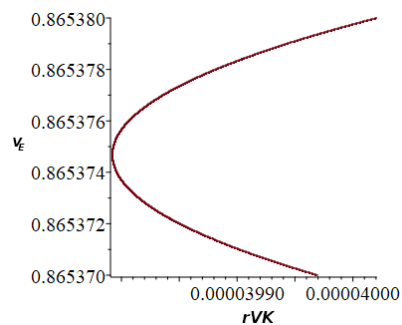


Рисунок 6 – Минимальное расстояние между космическим аппаратом и Венерой: $r_{VK} \approx 0.0000398$ а.е. – значение расстояния; $v_E \approx 0.865375$ рад. – значение средней долготы Земли.

Расчет времени одноимпульсного полета космического аппарата от Земли до Венеры со стартовой третьей космической скоростью в модели ограниченной плоской круговой задачи пяти тел осуществляется по следующей формуле:

$$t_2 = \frac{v_E \cdot T_E}{2 \cdot \pi} \approx \frac{0.865375 \text{ рад} \cdot 365.2564 \text{ суток}}{2 \cdot \pi} \approx 50 \text{ суток} \approx 1 \text{ месяц } 20 \text{ дней.} \quad (4)$$

Гравитационный маневр – это сближение космического аппарата с поверхностью небесного тела на расстояние, примерно равное радиусу небесного тела. Но такое расстояние должно быть строго больше радиуса космического объекта, иначе произойдет столкновение космического аппарата с небесным телом. Гравитационные маневры нужны для того, чтобы увеличить скорость космического аппарата без затрат каких-либо ресурсов, изменить траекторию полета космического аппарата, увеличить большую полуось орбиты космического аппарата, а также сократить время полета космического аппарата до нужной

точки. Для максимальной эффективности необходимо, чтобы космический аппарат сблизился как можно сильнее с поверхностью небесного тела, но не коснулся ее [7].

На рисунках 2 и 5 видно, что космический аппарат максимально сблизится с поверхностью Луны, не касаясь ее, то есть сделает гравитационные маневры. А исходя из рисунков 3 и 6 можно сделать вывод, что минимальное расстояние между космическим аппаратом и Венерой незначительно меньше радиуса данной планеты. Это означает, что космический аппарат совершит посадку на поверхности Венеры.

Заключение

Сравнивая начальные скорости космического аппарата и время одноимпульсных полетов, рассчитанных по формулам (3) и (4), можно сделать следующие выводы:

1. Исходя из того, что чем больше стартовая скорость космического аппарата, тем выше расход ресурсов, затраченных на пуск космического аппарата, выходит, что начало движения с минимально возможной скоростью позволяет сократить финансовые расходы на перелет. Таким образом, старт космического аппарата с третьей космической скоростью для тел, находящихся вблизи поверхности Земли, финансово невыгоден относительно начала движения космического аппарата с минимальной возможной скоростью.

2. Временные отрезки двух смоделированных одноимпульсных полетов отличаются незначительно по космическим меркам. Если полет не предполагает наличия на борту людей, то старт космического аппарата с минимально возможной скоростью все также предпочтителен. Но в случае, если бы на борту космического аппарата находился человек или группа людей, то время сыграло бы наиболее важную роль, и тогда бы старт космического аппарата с третьей космической скоростью от Земли, был бы более выгоден. Но данный случай пока что не применим к полетам на Венеру без возврата на Землю, так как жизнь на «сестре» нашей планеты неблагоприятна для человека.

Библиографический список

1. Рой А.Э. Движение по орбитам // Редакция литературы по космическим исследованиям, астрономии и геофизике – Москва. Издательство Мир, 1981. – 544 с.
2. Перов Н.И., Ерохин А.А. Одноимпульсный полет космического аппарата от Земли к Луне и Марсу с возвращением к Земле // Математика и информатика, астрономия и физика, экономика и совершенствование их преподавания. Материалы конференции «Чтения Ушинского» – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2017. – С. 223–228.
3. Параметры планет // National Aeronautics and Space Administration: сайт. URL: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/> (дата обращения 01.08.2022).
4. Перов Н.И. О небесных телах, пересекающих орбиты Марса, Земли и Луны // Математика и информатика, астрономия и физика, экономика и совершенствование их преподавания. Материалы конференции «Чтения Ушинского» – Ярославль: РИО ЯГПУ, 2017. – С. 211–217.
5. Исаченков Н.Ю. Одноимпульсный полет космического аппарата с третьей космической скоростью от Земли к Юпитеру в рамках задачи шести тел // XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета. Материалы конференции. Под общей редакцией Д.А. Погonyшева. – Нижневартовск, 2022. – С. 60–64.
6. Исаченков Н.Ю. Определение оптимальной траектории и минимальной стартовой скорости космического аппарата при одноимпульсном полете по траектории «Земля-Луна-Венера-Меркурий» // XXIV Всероссийская студенческая научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета. Материалы конференции. Под общей редакцией Д.А. Погonyшева. – Нижневартовск, 2022. – С. 55–59.
7. Воложанин П.А., Калашиников А.С., Кучеренко А.Д. Численный анализ гравитационного взаимодействия трех тел при совершении гравитационного маневра // АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АВИАЦИИ И КОСМОНАВТИКИ. Сборник материалов VII

Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики: в 3 т.
– Красноярск, 2021. – С. 81–83.

© Исаченков Н. Ю., 2022

УДК 630.377.4

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПОГРУЗЧИКА ПЕРЕКИДНОГО ТИПА В SOLIDWORKS

А. А. Коршунова

Научный руководитель - Д. В. Черник*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: dionisu2@mail.ru

В статье представлены результаты решения задач расчета на прочность в программе SOLIDWORKS на трехмерных моделях стрелы и рамы лесопогрузчика перекидного типа

Ключевые слова: прочностной анализ, перекидной погрузчик, SOLIDWORKS

HARDNESS ANALYSIS OF PROCESS EQUIPMENT OF TRANSFER LOADER IN SOLIDWORKS

A. A. Korshunova

Scientific supervisor – D. V. Chernik*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: dionisu2@mail.ru

The article presents the results of solving the problems of strength calculation in the SOLIDWORKS program on three-dimensional models of the boom and frame of the swing type forest loader

Keywords: strength analysis, swing loader, SOLIDWORKS

В программе Solidworks были построены трехмерные модели стрелы и рамы лесопогрузчика ЛТ-65Б. С помощью программного приложения для решения задач расчета на статическую прочность и устойчивость в линейной и нелинейной постановке COSMOSWorks на трехмерных моделях стрелы и рамы лесопогрузчика были наложены следующие ограничения: на стреле – жесткая заделка в местах крепления стрелы к раме технологического оборудования; на раме трактора – жесткая заделка на правой и левой осях задних кареток. Далее конструкции нагружались изгибающим (для стрелы) и крутящим (для рамы) моментами с произвольно заданной величиной. После нагружения конструкций проводилось измерение напряжений (зондирование) в местах расположения тензодатчиков (рисунки 1 и 2). Значения моментов сопротивления в сечении W_i отображены в таблице 1.

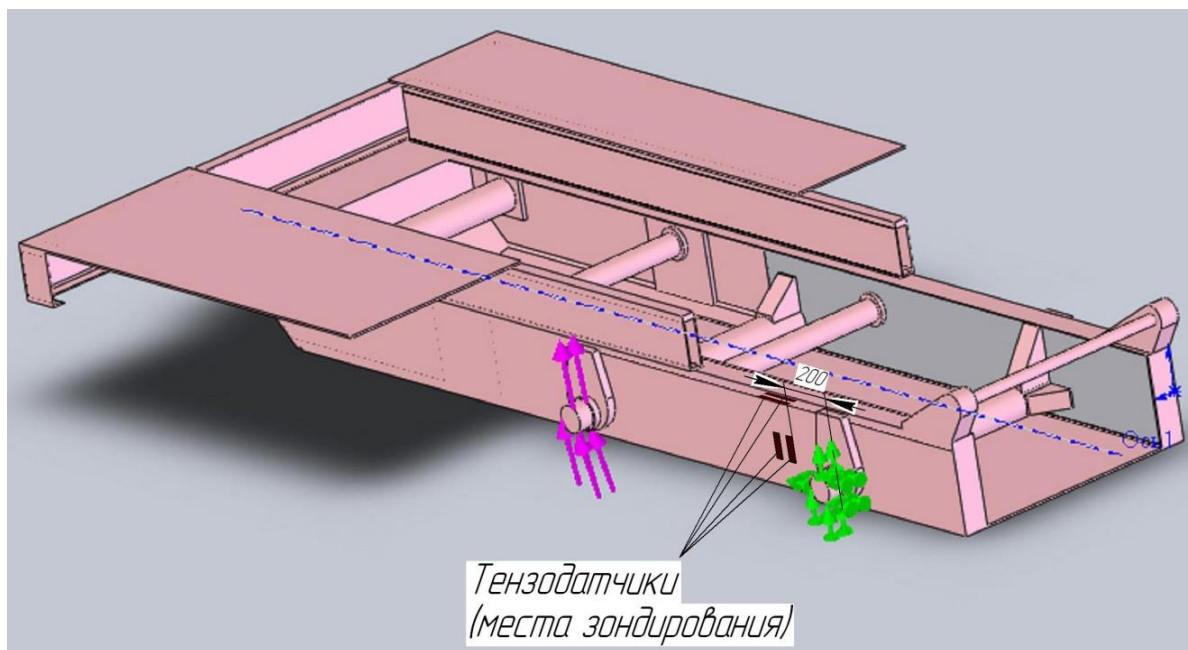


Рисунок 1 – Трехмерная модель рамы трактора ТТ-4М

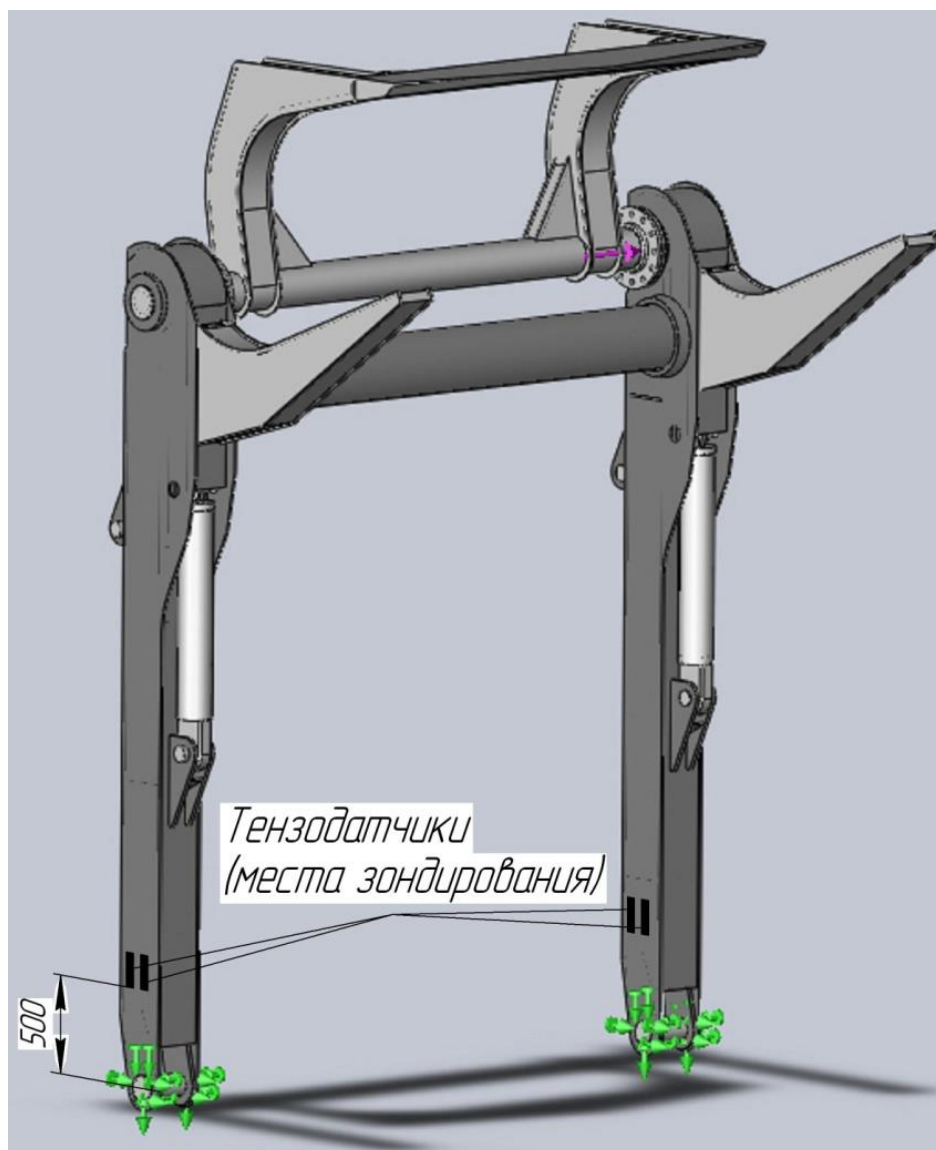


Рисунок 2 – Трехмерная модель стрелы лесопогрузчика ЛТ-65Б

Таблица 1

Значения моментов сопротивления в сечении W_i

Изгибающий момент на стреле, Н·м	28 500
Напряжения на стреле в местах крепления тензодатчиков, Н/м ²	11 500 000
Момент сопротивления в сечении (для стрелы) W_1 , м ³	0,0024783
Крутящий момент на раме базового трактора, Н·м	26 000
Напряжения на раме в местах крепления тензодатчиков, Н/м ²	8 000 000
Момент сопротивления в сечении (для рамы) W_3 , м ³	0,0032500

По результатам проведенного анализа изгибающий момент на стреле составил 28,5 кН, крутящий момент на раме базового трактора составил 26 кН×м. Несмотря на то, что напряжения в конструкции от данных нагрузок не превышают допустимые, необходимо провести оптимизацию технологического оборудования перекидного погрузчика.

Библиографический список

1. SolidWorks 2006 Office Premium [Электронный ресурс]. СПб. : Диск изготовлен ООО «Сигма». Лицензия МПТР ВАФ № 117-542 от 12.11.2003. – 1 электрон, опт. диск (DVD - ROM).
2. Сорокин Д. В. Система автоматизированного проектирования SolidWorks: практикум по курсу «Компьютерная графика» / Д. В. Сорокин, С. И. Ньюкалова, М. А. Бегова – Красноярск : СибГау, 2002. – 101 с.
3. Черник, К. Н. Проверка на прочность стрелы манипулятора лесной машины с помощью программы SOLIDWORKS / К. Н. Черник, Д. В. Черник // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : Сборник статей всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 23 декабря 2020 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 408-410. – EDN FVDBGP.

© Коршунова А. А., 2022

УДК 630.377.4

РАЗРАБОТКА ТВЕРДОТЕЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕКИДНОГО ПОГРУЗЧИКА В SOLIDWORKS

А. А. Коршунова, Д. В. Черник*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева,
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: dionisu2@mail.ru

В публикации описана последовательность создания трёхмерной модели погрузчика перекидного типа в современной системе автоматизированного проектирования SOLIDWORKS

Ключевые слова: 3D-моделирование, перекидной погрузчик, SOLIDWORKS

DEVELOPMENT OF A SOLID-STATE MODEL OF A SWING LOADER IN SOLIDWORKS

A. A. Korshunova, D. V. Chernik*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: dionisu2@mail.ru

The publication describes the sequence of creating a three-dimensional model of a swing-type loader in a modern SOLIDWORKS computer-aided design system

Keywords: 3D modeling, swing loader, SOLIDWORKS

Мир техники и компьютерных программ не стоит на месте, особенно сейчас, когда персональный компьютер стал неотъемлемым компонентом для успешного построения и ведения бизнеса. Одной из важнейших программ в строительной, транспортной, маркетинговой, промышленной и многих других сферах является программа для трехмерного моделирования.

Трехмерное моделирование или 3D-моделирование - это программа для создания трехмерного графического объекта или предмета со своими конструктивными особенностями для более четкого его понимания.

Можно выделить 3 крупные отрасли, которые сегодня невозможно представить без применения трехмерных моделей. Это:

- Индустрия развлечений
- Медицина (хирургия)
- Промышленность [1]

В этой статье мы рассмотрим 3D в промышленности. Ведь современное производство невозможно представить без моделирования продукта компании. Каждую деталь или полноценный объект проще собирать по готовой и продуманной 3D-модели. [2] Наиболее популярными российскими программными продуктами в этой области являются T-FLEX CAD 7.0 фирмы «Топ Системы» и «КОМПАС» (сокращение от «комплекс автоматизированных систем») от компании «Аскон», с возможностями оформления проектной и конструкторской документации [3].

Моделирование перекидного погрузчика

Рассмотрим трехмерное моделирование фронтального погрузчика перекидного типа.

Чтобы проектирование проходило немного легче, разобьем погрузчик на две составляющих: база и перекидной механизм.

До начала непосредственного моделирование перекидного механизма, необходимо знать:

- 1) Размеры базового трактора, на которое будет устанавливаться перекидной механизм
- 2) Для какого рода материалов или объектов предназначен перекидной механизм
- 3) Размеры самого перекидного механизма

Решено использовать в качестве базы погрузчика трактор John Deere 824k и предназначенный для погрузки измельченной древесины и сыпучих тел (рисунок 1).

Сперва смоделируем John Deere 824k по чертежам.

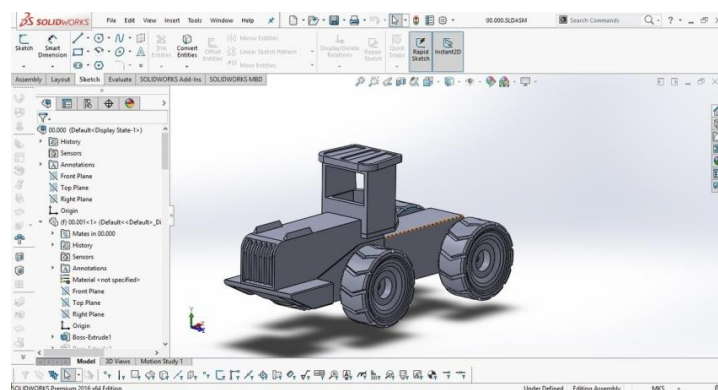


Рисунок 1 - Модель John Deere 824k в сборном виде

Для проектирования перекидного механизма снимаем размеры с уже смоделированного John Deere 824k и строим кинематику механизма (рисунок 2).

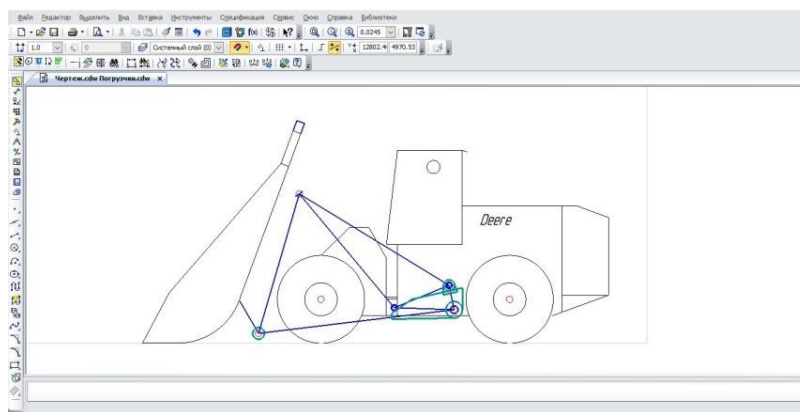


Рисунок 2 - Схема погрузчика

И по имеющимся параметрам строим модель перекидного механизма (рис. 3).

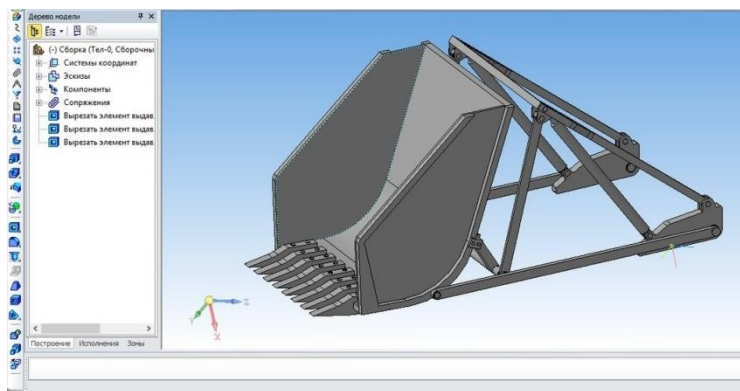


Рис. 3 - Модель перекидного механизма

Остается только соединить механизм и базовый трактор для завершения моделирования. Также, при необходимости, можно добавить цвета в модель для большего представления объекта.

Таким образом создаются трехмерные модели для промышленного производства. Главное понимать, что самый важный параметр при проектировании и моделировании является точность построения объектов.

Библиографические ссылки

1. Electronic textbook statsoft [электронный ресурс]. URL: <https://habrahabr.ru/sandbox/103016/>
2. Electronic textbook statsoft [электронный ресурс]. URL: <https://anrotech.ru/blog/3d-modelirovanie-v-sovremennom-mire/>
3. Землянов Г. С., Ермолаева В. В. 3D-моделирование // Молодой ученый. — 2015. — №11. — С. 186-189.
4. Черник, Д. В. Имитационное физическое моделирование универсальной лесозаготовительной машины / Д. В. Черник, Р. В. Казанцев // Хвойные бореальной зоны. — 2020. — Т. 38. — № 3-4. — С. 183-188. — EDN DFUNZQ.

© Коршунова А. А., 2022

УДК 004.93'11

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ 3D ИГРОВЫХ ДВИЖКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ

А. А. Мамедов

Научный руководитель – А. А. Денисова

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
Российская Федерация, 198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7

*E-mail: alexcrazy42@mail.ru

Цель исследования – изучить опыт создания игровых движков. Определить возможность использования игровых движков в области прикладного моделирования.

Ключевые слова: игровой движок, бросание лучей, моделирование

USING 3D GAME ENGINES FOR SOLVING APPLIED SIMULATION PROBLEMS

A. A. Mamedov

Scientific supervisor – A. A. Denisova

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
Russian Federation, 198035, St. Petersburg, st. Dvinskaya, 5/7

*E-mail: alexcrazy42@mail.ru

Purpose of the study – learn experience in creating game engines. Determine the possibility of using game engines in the field of applied modeling.

Keywords: game engine, ray casting, modeling

В настоящее время наиболее остро стоит вопрос визуализации объектов реального мира с использованием компьютерной графики. Для решения данной задачи наиболее часто применяются 3D игровые движки, воссоздающие «реальный мир» на уровне вычислительной техники. Одной из главных концепций 3D игровых движков является идея «бросания лучей» (Ray Casting).

Метод «бросания лучей» (Ray Casting) – метод создания эффекта 3D-визуализации, основанный на идее «бросания лучей» в области видимости взгляда [3]. Концепция этого метода была впервые использована в компьютерной графике в статье Скотта Рота 1982 года для описания метода рендеринга конструктивных моделей твердотельной геометрии. Метод рендеринга активно использовался в создании видеоигр для визуализации объектов на карте, например, стен.

Одним из главных объектов метода «бросания лучей» является «камера», через которую пользователь будет видеть естественный мир. «Камера» является имитацией человеческого глаза, она не имеет массы, объема, не имеет текстуры. Благодаря «Камере» можно только видеть окружающие предметы. Вторым главным объектом метода является непосредственно сам мир, а вернее способ, с помощью которого он будет задаваться. Для удобства разделения объектов на начальном этапе принято решение отображать мир в виде 2D квадратной сетки, где каждый квадрат – условная единица карты, пользователь для наглядности показан, как окружность (Рисунок 1).

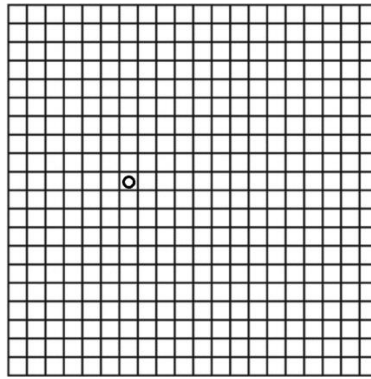


Рисунок 1 – 2D квадратная сетка, описывающая наш мир.

Для создания объектов в окружающем мире примем следующие обозначения: закрашенный квадрат – объект, не закрашенный квадрат – пустота. (Рисунок 2).

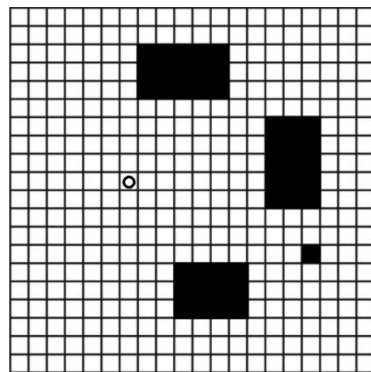


Рисунок 2 – первые добавленные объекты в мир

Главным моментом в данном методе является «бросание лучей», рассмотрим его: «камера» имеет поле зрения – угловое пространство, видимое «камерой», в аналогии с человеком через «камеру» видно определенную область пространства, за пределами которой ничего видно не будет (аналогия с человеческим глазом). Концепция «бросания лучей» заключается в выпуске из камеры невидимых «лучей», которые ищут на своём пути препятствие, они выходят из «камеры» и идут до тех пор, пока не встретят объект, для наглядности лучи изображены голубым цветом (Рисунок 3).

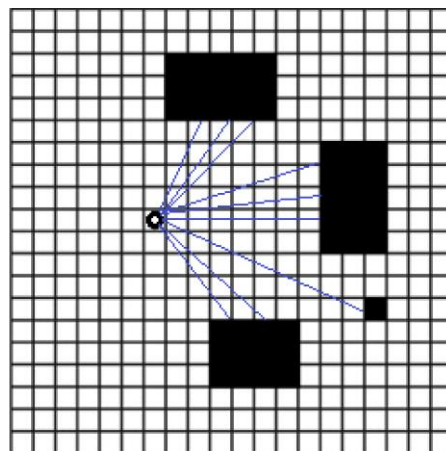


Рисунок 3 – «Бросание лучей» из камеры

«Бросание лучей» позволит перейти от 2D-мира к 3D-миру. Считаем длину каждого луча (в условных единицах естественного мира). Для каждого луча определяется его длина (длина – расстояние от пользователя до объекта в направлении заданного луча в условных

единицах). При выпуске луча возможны две ситуации: столкновение и не столкновение с препятствием. В первом случае луч пересекает препятствие, пройдя заданное расстояние. Во втором случае, луч не встретил на своем пути препятствие. В таком случае считаем, что в заданном направлении препятствия нет. Проводя аналогию с человеческим зрением, можно прийти к выводу, что чем меньше длина луча (чем меньше расстояние до объекта в заданном направлении), тем меньше надо рисовать объект в заданном направлении. Имея длину луча, можно вычислить высоту препятствия относительно размера экрана монитора, на котором будет демонстрироваться работа программного продукта, являющегося целью данного исследования. Установим закономерность изменения относительной высоты объектов при изменении расстояния до них (Рисунок 4).

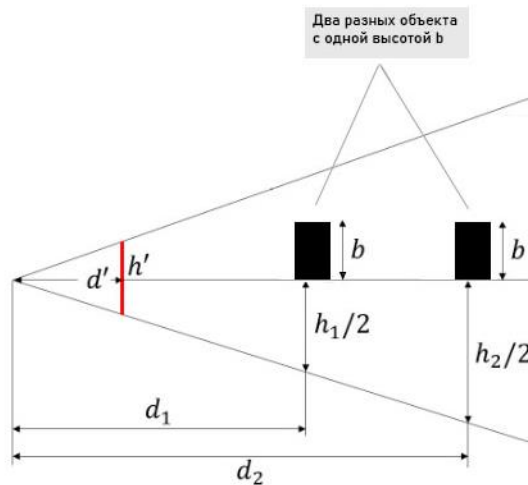


Рисунок 4 – объяснение математической составляющей алгоритма.

Обозначения, принятые на рисунке 4:

b' – относительная высота объекта в окне приложения;

h' – высота окна приложения;

d' – относительное расстояние от «камеры» до окна приложения, где объекты не искажаются;

b – высота объектов 1 и 2 (одинаковая);

d_1, d_2 – расстояние от «камеры» до объектов 1 и 2 соответственно;

h_1, h_2 – радиус обзора.

Тогда, согласно рисунку 4, имеем:

$$\left. \begin{aligned} \frac{b'}{h'} &= \frac{b}{h} \\ \frac{h'}{d'} &= \frac{h_1}{d_1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow b' = \frac{d'}{d} b \quad (1)$$

Для формирования изображения пускаются лучи от наблюдателя в пределах угла обзора. В направлении каждого такого луча считаем расстояние до ближайшего объекта. При этом в окне приложения отображается много вертикальных полос разной высоты. Высота каждой полосы задаётся таким образом, чтобы она была пропорциональна расстоянию до стенки в соответствующем направлении и рассчитывается по формуле (1) [1]. На выходе получаем эффект третьего измерения (Рисунки 5, 6, 7).

В качестве средств реализации метода «бросания лучей» были выбраны язык программирования C++ и кроссплатформенная мультимедийная библиотека SFML, которая

позволяет отображать геометрические примитивы, например, прямоугольники, треугольники, окружности и т.д., а также контролировать нажатие клавиатуры. Данная связка позволит реализовывать метод «бросания лучей», не задумываясь о деталях низкого уровня вычислительной техники.

«Мир» (или же «карта») будет храниться в виде двумерного массива, где элемент 1 обозначает объект, 0 – пустоту. Проводя аналогию, двумерный массив – это 2D квадратная сетка, где 1 – это закрасенная клетка, а 0 – не закрасенная.

При программной реализации данного метода имеем визуализацию, представленную на рисунках 5, 6, 7, при этом чем светлее объект в окне, тем ближе он расположен к наблюдателю.

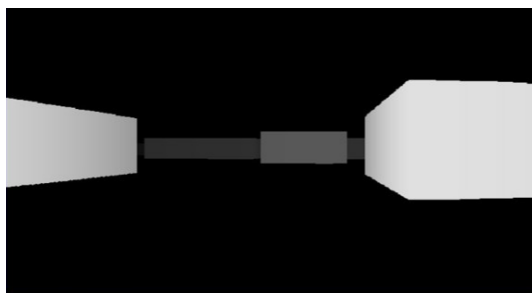


Рисунок 5 – результат разработки программного продукта (вид 1)

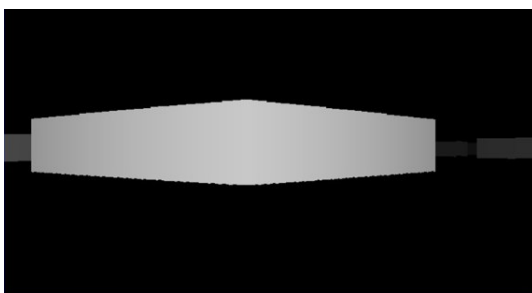


Рисунок 6 – результат разработки программного продукта (вид 2)

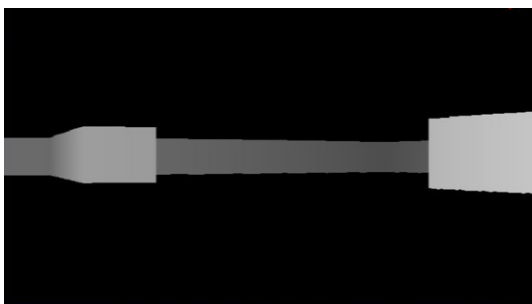


Рисунок 7 – результат разработки программного продукта (вид 3)

Результатом разработки данной программы является 3D симуляция движения пользователя по карте с объектами. Реализовав метод «бросания лучей», был сделан вывод, что данная технология не позволяет решать поставленную задачу визуализации 3D объектов. «Бросание лучей» создает эффект третьего измерения, но это лишь иллюзия: третьего измерения нет. Такой эффект называют «псевдотрёхмерностью»: такой термин применяется к технологиям, графика которых пытается имитировать третье измерение, однако при этом не является трехмерной. В результате изучения алгоритмических основ машинной графики [2], было принято решение расширения функционала метода «бросания лучей» (Ray Casting) до «марша лучей» (Ray Marching). «Марш лучей» (Ray Marching) – метод объемного рендеринга на основе изображений, позволяющий создать 3D объекты. Данный метод в дальнейшем позволит решить задачу, поставленную в работе.

Библиографический список

1. Johns Hopkins. [Ray Casting](#) (англ.). Department of Computer Science. — 10-страничная презентация, сфокусированная на математическом описании рейкастинга.
2. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики. — Мир, 1989
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/Ray_casting

© Мамедов А. А., 2022

УДК 004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ВИРТУАЛЬНОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ЛАБОРАТОРИИ В BLENDER

В. М. Соломатов, В. Ю. Кушнарев

Научные руководители - Т. С. Курпас*, Е. А. Плотникова

Краевое государственное автономное профессиональное образовательное учреждение «Ачинский техникум нефти и газа имени Е.А. Демьяненко», 662155, Красноярский край, г.Ачинск, ул. Дружбы Народов, 8

*E-mail: kurpas_ts@mail.ru

В данной статье представлен опыт проектирования виртуального химического тренажёра в программе Blender. Спроектирован лабораторный стол для студентов специальности 18.02.12 Технология аналитического контроля химических соединений, где можно наблюдать выполнение химических опытов.

Ключевые слова: 3D-технологии, моделирование, виртуальная лаборатория, Blender.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A VIRTUAL CHEMICAL LABORATORY IN BLENDER

V. M. Solomatov, V. Yu. Kushnarev

Scientific advisers - T. S. Kurpas*, E. A. Plotnikova

Regional State Autonomous Vocational Educational Institution "Achinsk Oil and Gas College named after E.A. Demyanenko, 662155, Krasnoyarsk Territory, Achinsk, st. Friendship of Peoples, 8

*E-mail: kurpas_ts@mail.ru

This article presents the experience of designing a virtual chemistry simulator in the Blender program. A laboratory table was designed for students of the specialty 18.02.12 Technology of analytical control of chemical compounds, where you can observe the performance of chemical experiments.

Keywords: 3D technologies, modeling, virtual laboratory, Blender.

Современное образование невозможно представить без интерактивных тренажёров, которые предназначены для организации виртуальных лабораторных работ и проведения опытов. Актуальность темы обусловлена внедрением трехмерной визуализации на уровне профессионального образования, что позволяет развить интерес к предмету и изучить более глубоко взаимодействие между химическими веществами.

Данный проект возник на основе требований федерального государственного образовательного стандарта, предъявляемого к компетенциям будущих выпускников, которые направлены на уверенное владение современными информационными технологиями, а также выполнять трехмерные модели в программе Blender 3D.

В настоящий момент выделяют множество сред для работы с виртуальным миром. В данной работе рассматривается реализация виртуального химического тренажёра в программе Blender. Очень важно, что Blender – это свободное приложение с открытым исходным кодом для создания 3D-контента, доступное во всех основных операционных системах. Данная программа имеет широкий функционал, и доступные инструменты делает приложение популярным и распространённым на всех платформах.

На первом этапе было предложено выполнить трехмерную модель лабораторного стола (рисунок 1), на котором студенты техникума специальности 18.02.12 Технология аналитического контроля химических соединений проводят химические опыты. Научными руководителями было принято решение за основу брать химические реакции, которые изучают на предмете МДК 01.01 Основы аналитической химии и физико-химических методов анализа.

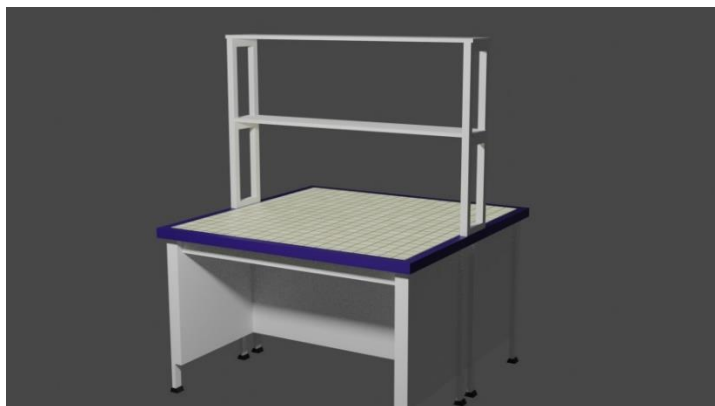


Рисунок 7 - Лабораторный стол

На следующем этапе сформировали атмосферу химической лаборатории, для более реалистичного интерактивного погружения в процесс. Нужно было правильно подобрать пропорции, наложить текстуру и материал, создать окружение, пробирки, в которых находятся вещества, вступающие в реакцию (рисунок 2,3).



Рисунок 8 – Окружение

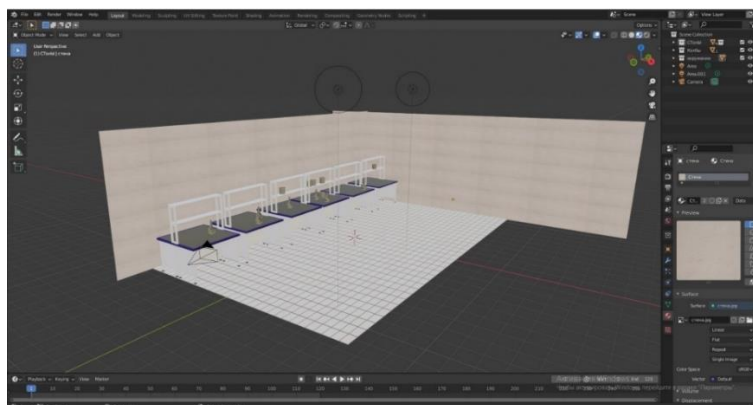


Рисунок 9 - Создание окружения

На последнем этапе создали анимацию веществ, для понимания процесса протекания химической реакции (рисунок 3).

Порядок выполнения химических опытов будет регламентироваться учебной программой, не допуская произвольного смешивания химических реагентов, с целью соблюдения принятых последовательностей выполнения химических опытов.

Технология 3D-моделирования по меркам развития информационных технологий не молода. Но современное молодое поколение Z принуждает использовать современные технологии на профессиональных дисциплинах. В связи с этим, завершающим этапом планируется создать это виртуальный тренажёр по химии, которого так не хватает в учебном заведении. Студенты будут безопасно проводить химические реакции, не будет затрат на реактивы, благодаря наглядным интерактивным опытам они с удовольствием будут запоминать лекции и быстрее понимать сложные темы.

Библиографический список

1. Кронистер Дж. Blender Basics. Classroom Tutorial Book (5-th Edition) v. 2.78 – 2017.
2. Батуева И.А. Разработка виртуальной химической лаборатории [Электронный ресурс] //Молодежная наука в развитии регионов, №1, 2021г. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45556178> (дата обращения 15.09.2022)
3. Виртуальные лаборатории [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://vr-labs.ru/laboratories/inorganic_chemistry/ (дата обращения 13.09.2022)

@ Соломатов В. М., Кушнарв В. Ю., 2022

УДК 517.97

3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS

Р. Р. Усманова*

Академия гражданской защиты МЧС России
Российская Федерация, 141435, г. Химки, ул. Соколовская 1
*E-mail: regina_ugatu@inbox.ru

В статье рассматривается сравнительный анализ контактных напряжений, полученных по известным методикам и в программном комплексе ANSYS на примере трехмерного моделирования зубчатой передачи. Результаты исследований представлены в виде характерной картины распределения контактных напряжений по эвольвентной поверхности зубьев. Установлено, что процесс цементации снижает контактные напряжения и позволяет повысить износостойкость зубьев.

Ключевые слова: зубчатое колесо; контактные напряжения; трансмиссия; Ansys; эвольвентные зубья; трехмерное моделирование; расчетная сетка

3D MODELING OF CONTACT INTERACTION OF GEARS IN THE ANSYS SOFTWARE PACKAGE

R. R. Usmanova*

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia
1, Sokolovskaja Av., Khimki, 141435, Russian Federation
*E-mail: regina_ugatu@inbox.ru

The article considers a comparative analysis of contact stresses obtained by well-known methods and in the ANSYS software package on the example of three-dimensional modeling of a gear transmission. The results of the research are presented in the form of a characteristic picture of the distribution of contact stresses on the involute surface of the teeth. It has been established that the cementation process reduces contact stresses and increases the wear resistance of the teeth.

Keywords: gear wheel; contact stresses; transmission; Ansys; involute teeth; three-dimensional modeling; calculation grid.

Актуальность темы исследования

Необходимость спроектировать и изготовить высококачественные силовые передачи для российских производителей редукторного оборудования, это важная и неотложная задача в современном машиностроении [1]. Данная работа посвящена численному моделированию напряженно-деформированного состояния цилиндрических зубчатых колес с целью изучения возможности снижения возникающих контактных давлений и повышения качества передачи. На сегодняшний день производство зубчатой передачи является лучшим и простым в производстве с использованием современных технологий, таких как САПР. При проектировании зубчатой передачи использовались CAD-системы, такие как Ansys. Это позволило повысить производительность труда, в том числе: снижение сложности проектирования и планирования; сокращение сроков проектирования; снижение затрат на проектирование и изготовление, снижение эксплуатационных расходов; повышение качества и технико-экономического уровня результатов проектирования; - снижение затрат на

полномасштабное моделирование и тестирование [2-4]. Трехмерное моделирование трансмиссии выполнялось с помощью Ansys CAD (ICEM CFD).

Актуальной задачей моделирования является анализ напряженно-деформированного состояния зубчатой передачи с учетом максимально допустимых значений напряжений. Расчетная сетка была построена в сеточном генераторе ANSYS ICEM CFD. Сетка содержит 1 247 542 гексаэдрических элемента. Сетка строилась равномерной по радиусу и неравномерной по осевой координате, неравномерность задавалась законом геометрической прогрессии, убывающей к центру колеса и возрастающей ближе к эвольвентным поверхностям зубьев. Знаменатели геометрических прогрессий подбирались таким образом, чтобы в области высоких напряжений сетка была как можно гуще [5].

Общий вид расчетной области показан на рисунке 1.

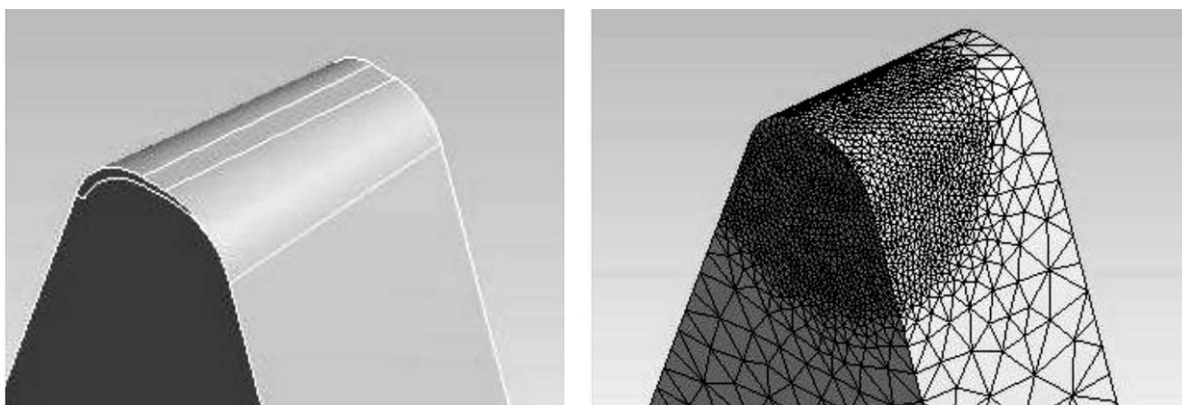


Рис.1 – Расчетная область с конечно-объемной сеткой

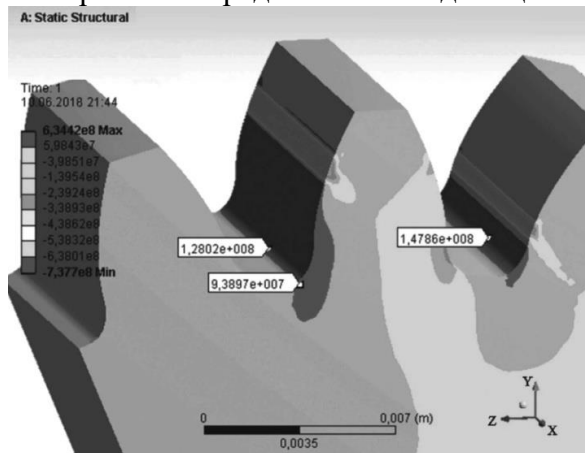
Целью работы являлся сравнительный анализ контактных напряжений, полученных по известным методикам и в программном комплексе ANSYS.

Адаптация первого уровня была выполнена по эвольвентным поверхностям зубьев. С целью получения более точной картины напряженно-деформированного состояния по поверхностной сетке, расчет проводился лишь для фрагмента колеса. Расчет проводился для обычных зубьев и зубьев с упрочненной поверхностью (цементация).

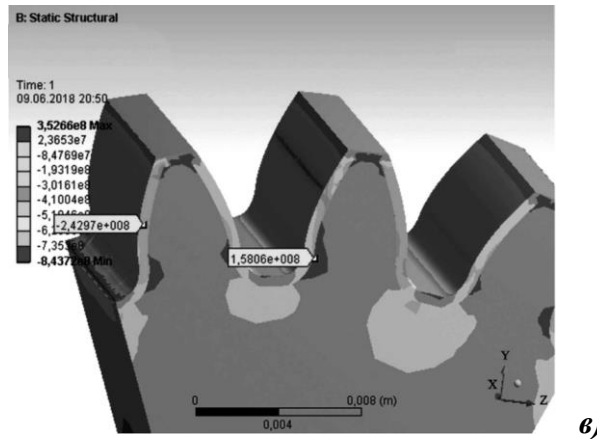
Визуализация результатов расчета и их анализ

Результаты исследований были получены в виде характерных картин распределения контактных напряжений по поверхности зубьев. На рисунках представлены полученные напряжения для цементированных (рисунок 2, а) и нецементированных (рисунок 2, в) зубьев.

Результаты представлены в виде распределения напряжений по объему модели, которые отображались различными цветами (красным – максимальные значения, синим – минимальные). Значения напряжений представлены в единицах системы СИ [6].



а)



а – нецементированный зуб; в – зуб цементацией на глубину 0,5 мм

Рис. 2 – Картина напряженно-деформированного состояния зубьев

Установлено, что цементация рабочих поверхностей зубьев устраняет растягивающие напряжения и увеличивает зону контакта. Однако на поверхности ножек зубьев остаются сжимающие напряжения даже при высоких нагрузках.

Зона растягивающих напряжений увеличивается и смещается вглубь конструкции с ростом глубины цементации. Таким образом, цементация зубчатого колеса позволила снизить напряжения и повысить износостойкость зубьев.

Выводы

Проведено 3D-моделирование контактного взаимодействия зубчатых колес в программном комплексе ANSYS. Установлено, что цементация стали позволяет снизить напряжения и повысить износостойкость зубьев. В результате проведенных исследований видно, что зоны напряженно-деформированного состояния, возникающие в зубчатом колесе, минимальны. Напряжения и нагрузки, возникающие при работе зубчатого колеса, находятся в пределах допустимого предела и имеют запас прочности примерно 55%. Исследование напряжений в программе Ansys позволило получить достоверные и точные результаты напряженно-деформированного состояния, возникающего при эксплуатации зубчатого колеса, а также дало возможность сократить количество опытных образцов в производстве.

Библиографический список

1. Иванов М.Н., Финогенов В.А., Детали машин: Учебник для машиностроительных вузов. - М.: Высш. школа, 2007. 408 с.
2. Александров В. М, Ромалис Б. Л. Контактные задачи в машиностроении. - М.: Машиностроение, 1986. 472 с.
3. Каплун Л.Д. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство/ Л. Д. Каплун, Е.М. Морозов, М.А. Олферьева// М.: ВНИИМП, 2003. 272 с.
4. Басов В.А. ANSYS и LMS Virtual Lab./ В.А. Басов// Геометрическое моделирование. М.: ДМК пресс, 2016. 710 с.
5. Моделирование и оптимизация конструктивных параметров газопромывателя/ Р.Р. Усманова, Г.Е. Заиков //Энциклопедия инженера химика. 2013. №6. С. 45-49 .
6. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учеб, для вузов / МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 10-е изд., пере-раб. - М., 2001. 592 с.
7. Мельников Ф.В. Зубчатые передачи с много парным зацеплением. Учебное пособие. Москва 2019. 60 с

УДК 629.3.01

3D ТЕХНОЛОГИИ ПРИ СОЗДАНИИ МАЛОМОЩНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА (КВАДРОЦИКЛА) С МОТОЦИКЛЕТНОЙ ПОСАДКОЙ ВОДИТЕЛЯ И ПАССАЖИРОВ

Н. В. Далида, Д. В. Скуба

Научный руководитель - Н. М. Филькин

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Российская Федерация, 426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 7

*E-mail: fnm@istu.ru

В статье представлен пример (последовательность выполняемых работ) применения 3D технологии при создании квадроцикла мотоциклетной посадки водителя на базе несущей системы (рамы) из трубчатых профилей.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, квадроцикл, несущая система, рамная конструкция, мотоциклетная посадка водителя.

3D TECHNOLOGIES IN THE CREATION OF A LOW-POWER VEHICLE (ATV) WITH A MOTORCYCLE LANDING OF THE DRIVER AND PASSENGERS

N. V. Dalida, D. V. Skuba

Scientific supervisor - N. M. Filkin

Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov
7 Studentskaya str., Izhevsk, 426069, Russian Federation

*E-mail: fnm@istu.ru

The article presents an example (sequence of work performed) of the application of 3D technology in the creation of an ATV motorcycle driver landing on the basis of a carrier system (frame) of tubular profiles.

Keywords: computer simulation, ATV, load-bearing system, frame structure, motorcycle driver landing.

Разработка и создание квадроцикла на базе рамы из трубчатых профилей определяется компоновкой узлов и агрегатов по критериям эффективной посадки водителя и пассажиров с размещением поворотного узла, багажного отсека или модуля, расположения двигателя и подвесок при ограничениях на габаритные размеры квадроцикла [1]. Моделирование мотоциклетной посадки водителя проводится на основании компоновки условных посадочных точек (точка удержания руля, точка опоры во время сидения и точка опоры на подножку), называемых посадочным треугольником (рис. 1). Требование к координатам посадочных точек – обеспечение эргономичных компоновочных решений.

Конструкция трубчатой рамы должна учитывать дальнейшее совершенствование квадроцикла и создание на ее основе различных моделей мотоцикла, трицикла и багги с минимальными вложениями финансовых средств для обеспечения длительной конкурентоспособности на рынке. Такой подход важен для обеспечения эффективного выпуска машин малой мощности различного потребительского значения с учетом потребностей потребителя (покупателя) и цены продаж.

Моральная актуальность изделия разрабатываемой рамы из трубчатых профилей на

протяжении долгого времени оценивается критериями [2]:

- стоимость рамы, определяемая количеством условно больших, средних и малых деталей в сборке (ранжирование по типу – оригинальные, стандартные и покупные, а также по материалу);
- количество вариантов на модернизацию изделия, например, рис. 2 и 3;
- унификация деталей по выпускаемым моделям;
- трудоемкость при получении деталей (комплексная технологичность);
- материалоемкость, обеспечивающая заданные требования по прочности и жесткости конструкции.

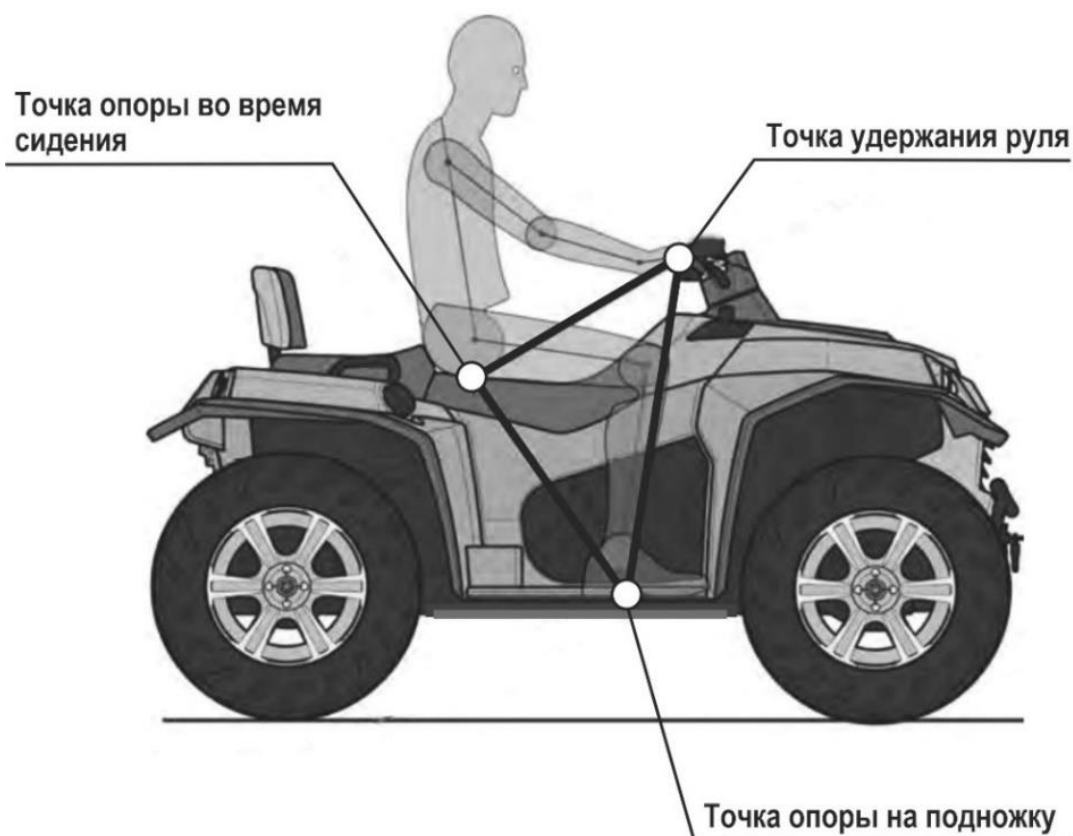


Рисунок 1 – Три посадочные точки для обеспечения эргономичных компоновочных решений



Рисунок 2 – Рама базового квадроцикла с размещением узлов и агрегатов

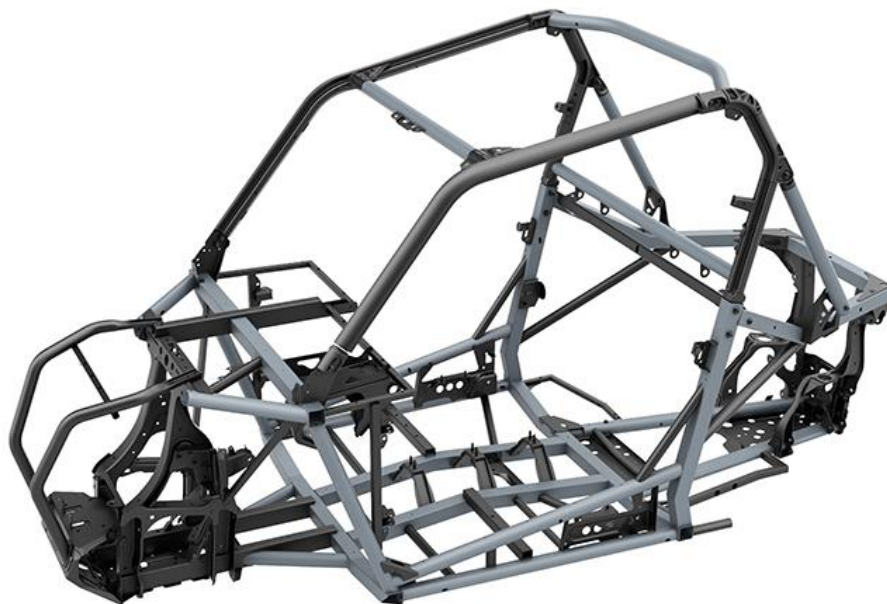


Рисунок 3 – Рама квадроцикла при создании багги

Квадроцикл, как и любая другая машина, состоит из деталей, сборочных единиц, агрегатов и систем. Созданный квадроцикл состоит из следующих основных сборочных единиц: рама квадроцикла, рычаги передних подвесок (верхние и нижние по 2 шт.), маятники задних подвесок (левый и правый), передние и задние ступицы колес (по 2 шт.), вал рулевой, а также узел задней ведущей оси с ведущей звездочкой, тормозным диском и 2-мя подшипниками в обоймах (спецкорпусах) (рис. 4). Компоновка двигателя с узлом, который передает движение на заднюю ось, осуществляется по принципу балансировки весов для всех частей квадроцикла, чтобы во время движения обеспечивалась безопасность и невысокий опрокидывающий момент.

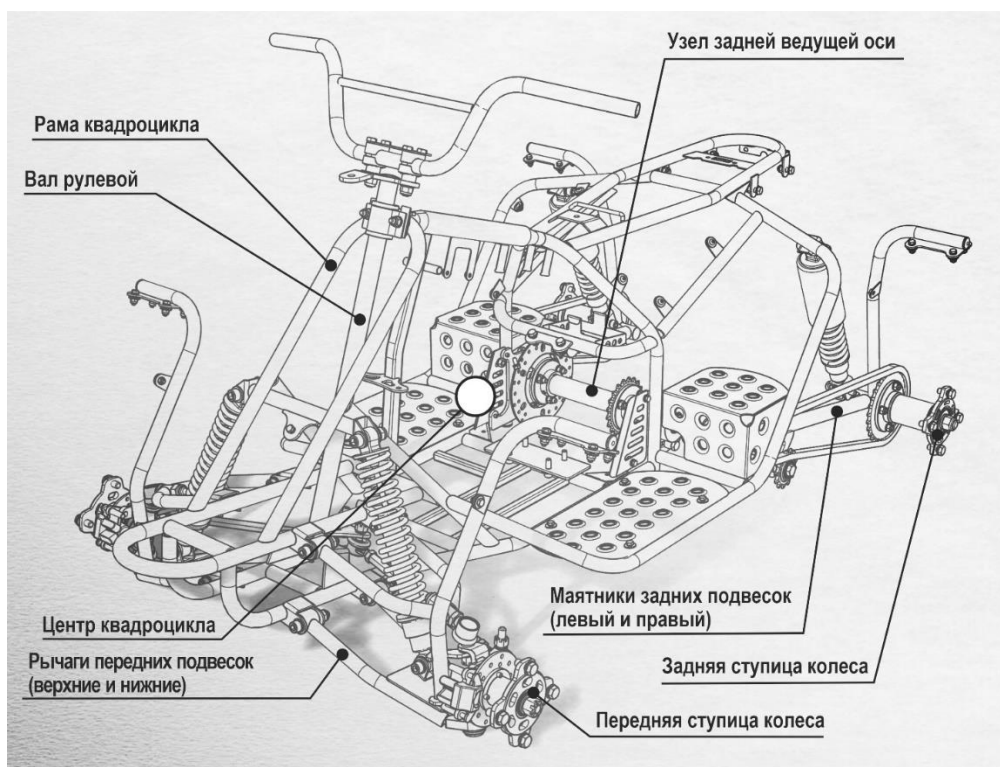


Рисунок 4 – Базовые сборочные единицы квадроцикла

Количество дополнительных навесов на квадроцикл (багажники, лебедки, крюки, сцепки и пр.) определяется хозяйственно-утилитарными потребностями покупателей (рис. 5). Поэтому прочностные свойства рамы, анализируемые методом конечных элементов, должно учитывать данные условия эксплуатации квадроцикла.

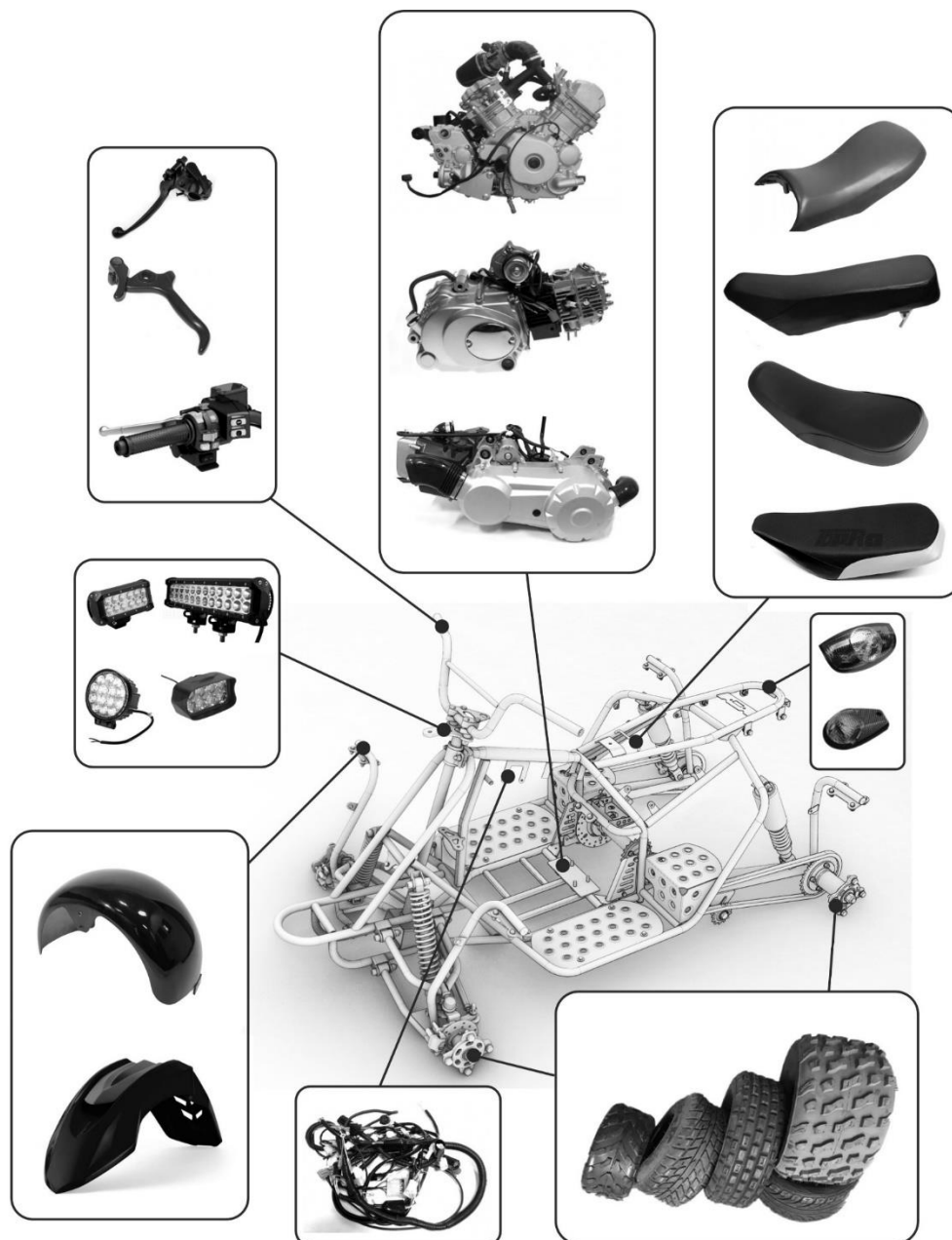


Рисунок 5 – Формирование комплектации квадроцикла по условию требованиям потребителя

Разработанные методические подходы для создания рамы квадроцикла с учетом вышеизложенных критериев позволили разработать эргономичные компоновочные решения, обеспечивающие требования по прочности и жесткости конструкции рамы путем оптимального распределения весовых нагрузок по длине квадрицикла, а также обоснования типа, размеров и материала трубчатого профиля. Принятые конструктивные решения рамы учитывают технологичность сборки и наиболее рациональное количество деталей и сборочных операций. При этом обеспечена рациональная доступность обслуживания и ремонта исполнительных узлов квадроцикла (рис. 6). При создании трехмерных компьютерных геометрических моделей применены методологические основы создания

сложных технических объектов (транспортных средств) на основе кубических форм [3, 4].

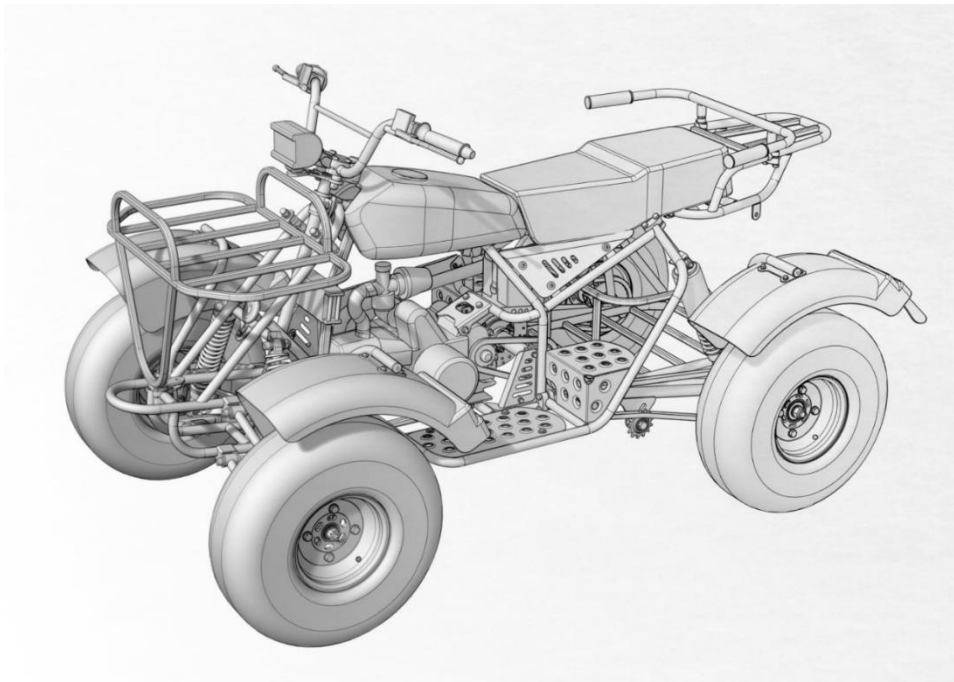


Рисунок 6 – Базовая модель разработанного квадроцикла

Библиографический список

1. Умняшкин, В. А. Автомобили особо малого класса (квадрициклы) с гибридной энергосиловой установкой [Текст] / В. А. Умняшкин, А. Н. Филькина, К. С. Ившин, Д. В. Скуба. – Ижевск: Научно-издательский центр «Регулярная и хаотическая динамика», 2004. – 138 с.
2. Филькин, Н.М. Оптимизация параметров конструкции энергосиловой установки транспортной машины [Текст] : – дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.03 / Филькин Николай Михайлович. – Ижевск: ИжГТУ, 2001. – 430 с.
3. Далида, Н. В. Формообразование при проектировании транспортных средств на базе трехмерных кубических форм [Текст] / Н. В. Далида, Н. М. Филькин // Сборник статей по материалам третьей Всероссийской научно-практической конференции. «Современная наука: актуальные проблемы, достижения и инновации». – Белебей: СамГТУ, 2022. – С. 39-45.
4. Далида, Н. В. Разработка методологических основ создания сложных технических объектов (транспортных средств) на основе кубических форм [Текст] / Н. В. Далида, Д. В. Скуба, Н. М. Филькин // Материалы Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) «Химия. Экология. Урбанистика». – Том 3. – Пермь: ПНИПУ. – 2022 – С. 101-105.

© Далида Н. В., Скуба Д. В., 2022

УДК 004.94

ПРИМЕНЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МЕБЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В. О. Цубикс*, А. А. Соболева
Научный руководитель - С. Н. Долматов

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: vczubiks@mail.ru

Мебельное проектирование является творческим процессом, в котором активно применяются технологии трёхмерного моделирования, а также визуализации. В статье рассмотрен вариант проектирования рабочего стола с помощью CAD системы.

Ключевые слова: Визуализация, мебельное производство, CAD, письменный стол, древесина.

APPLICATION OF THREE-DIMENSIONAL TECHNOLOGIES IN FURNITURE MANUFACTURE

V. O. Tsubiks*, A. A. Soboleva
Scientific adviser - S. N. Dolmatov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: vczubiks@mail.ru

Furniture design is a creative process in which 3D modeling and visualization technologies are actively used. The article considers the option of designing a desktop using a CAD system.

Keywords: Visualization, furniture production, CAD, Schreibtisch, wood.

Мебельное производство является масштабной отраслью, ведь мебель всегда пользуется спросом, за счет этого появляются множество вариантов исполнения одной и той же единицы изделия. Производство мебели зачастую носит индивидуальный характер, за счёт желаний потребителя. Для удобства проектирования, создания конструкторской документации и демонстрации готового продукта путем визуализации в основном применяются цифровые трехмерные технологии.

Целью представленной работы является демонстрация возможностей цифровых программ для обеспечения удобства и оперативности работы специалиста проектировщика.

Задачи работы, следующие:

1. Проектирование и обзор сборочной модели рабочего стола.
2. Визуализация проекта.
3. Выводы.

Мебелью называют совокупность передвижных или встроенных изделий для обстановки жилых и общественных помещений и различных зон пребывания человека [1]. Зачастую мебель производится партиями с минимальными конструкторскими отличиями. За счет разнообразного ассортимента продукции население приобретает заводскую продукцию, но не редки случаи, когда мебель делают под заказ. В обоих вариантах изделие начинает свой путь с процесса идеи и проектирования.

В современном производстве используются цифровые программы, для проектирования, которые позволяют разрабатывать различные дизайны мебели, конструкторскую документацию и необходимые для специалистов чертежи.

Процесс создания мебели происходит поэтапно. Для начала дизайнер проектировщик утверждает проект с заказчиком, после всех утверждений начинается разработка конструкторской документации и чертежей, некоторые решения могут меняться в процессе разработки.

Современный специалист активно пользуется вспомогательными программами, на цифровом рынке представлено множество программ, подходящих для различных творческих задач. Если говорить о продуктах, сконцентрированных на разработке мебели то можно выделить такие цифровые инструменты как, «ОБЪЕМНИК», «Базис-Мебельщик», «3D Suite», «Мебельный салон», «T-FLEX Мебель», «SketchUp», «Астра Конструктор Мебели», «Sawyer», «WOODY», «Компас 3д», «SOLIDWORKS» [2].

После качественной разработки всей конструкторской документации материал передается на производства для дальнейшего изготовления.

Для наглядного примера был спроектирован письменный стол в отечественной CAD системе «Компас 3Д».

В виртуальной среде создавались отдельные элементы изделия в единственном экземпляре с помощью эскизов, а именно столешница, элементы двери, элементы основного корпуса, внутренняя полка и вся крепежная фурнитура.

После производится виртуальная сборка изделия, элементы копируются в необходимых количествах и расставляются на свои места, рисунок 1.

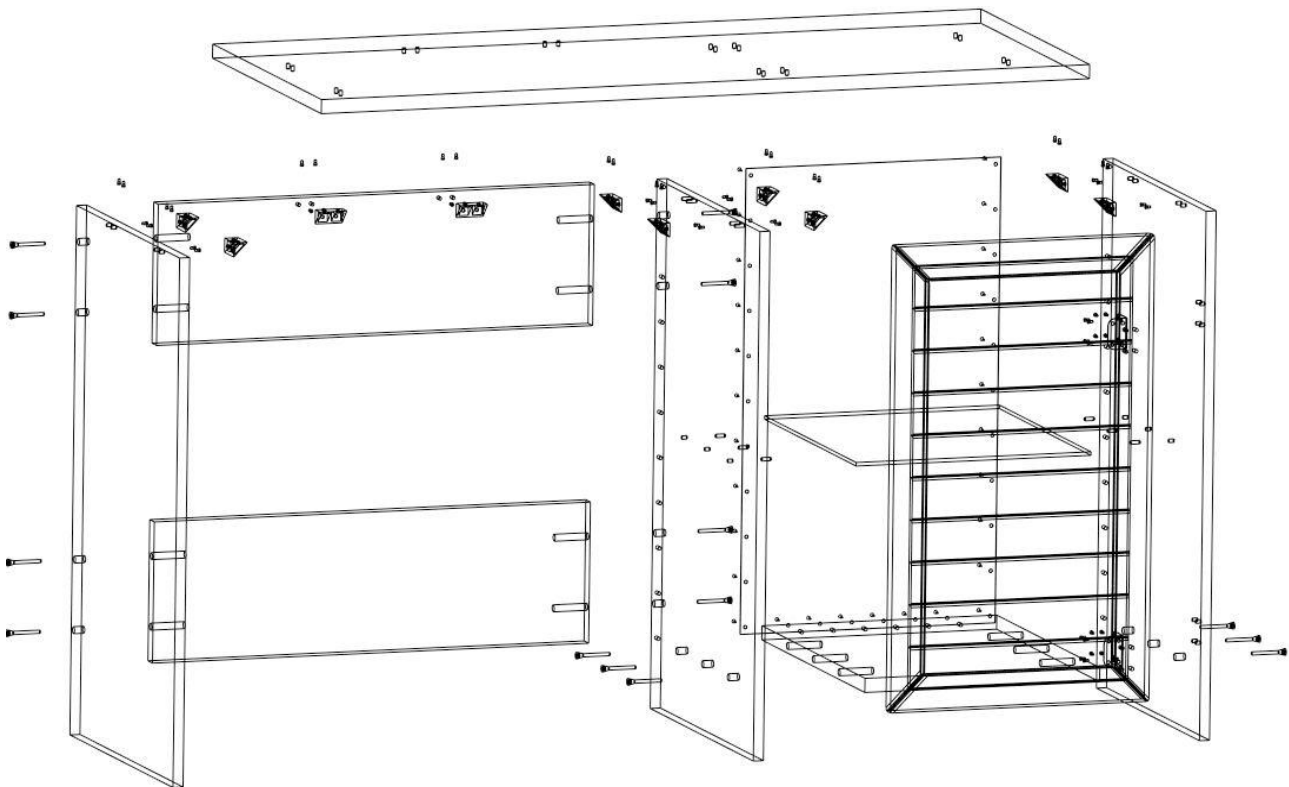


Рисунок 1 – Сборка письменного стола в «Компас 3Д»

Создание отдельных элементов позволяет задавать и изменять их свойства, это позволит оперативно создать необходимые чертежи и спецификацию на проект, также с помощью цифровых инструментов можно разработать пошаговую инструкцию по сборке для потребителя, если это необходимо.

В сборке задействовано 17 единичных элементов, которые в совокупности образуют изделие из 125 элементов. Благодаря отслеживанию каждой детали можно оперативно изменять общее представление о конструкции.

Также на стадии проектирования зачастую появляется необходимость визуализации будущего изделия, визуализация способна наглядно показать, как будет выглядеть готовый объект в той или иной среде [3]. Фотореалистичное представление изделия имеет место быть на презентации продукта, в каталоге или при обсуждении деталей с заказчиком.

Для визуализации существует множество отдельных программных продуктов, но также есть и встроенные плагины для CAD систем, это обеспечивает возможность протекания процесса проектирования в одной виртуальной среде.

Пример визуализации спроектированного стола представлен на рисунке 2 и рисунке 3, каждый отдельный трехмерный элемент наделяется текстурой, имеющей свои свойства.



Рисунок 2 – Визуализация спроектированного стола (вид спереди)



Рисунок 3 – Визуализация спроектированного стола (вид сзади)

Все операции по визуализации проводились в программе «KeyShot 10».

Выводы: Процесс проектирования в производстве мебели является немаловажным этапом, наличие вспомогательных цифровых программ на порядок упрощает работу специалиста. Ведь при помощи них открывается возможность оперативного внедрения изменений в изделие, цифровой расчет конструктивных параметров, и их высокая точность.

Возможность визуализации изделия способствует оценке внедрения изделия в то или иное пространство по различным свойствам. Трехмерные технологии являются интенсивно развивающейся отраслью, программы получают своевременные обновления, что позволяет расширять их функционал при работе. Пример проектирования письменного стола является упрощенной демонстрацией возможностей трехмерных технологий, ведь с помощью мощностных особенностей персональных компьютеров возможно создавать целые фотореалистичные композиции.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс] – URL: <https://veryimportantlot.com/ru/news/blog/chto-takoe-mebel> (дата обращения: 15.08.2022)
2. Демитрова, И. П. Проектирование мебели в SOLIDWORKS / И. П. Демитрова, А. И. Назаров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. – Т. 3. – № 5-4(16-4). – С. 452-455. – DOI 10.12737/16299. – EDN VDQALN.
3. Карпова, Е. П. Фотореалистичная визуализация 3D моделей / Е. П. Карпова, Г. М. Машенцев // Аллея науки. – 2018. – Т. 6. – № 10(26). – С. 1007-1011. – EDN YTRMRN.
4. Лысенкова, С. Н. Программные решения для 3D-моделирования мебели / С. Н. Лысенкова, С. А. Кулиничев // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. – 2019. – № 2(14). – С. 17-21. – EDN QTZSAE.

© Цубикс В. О., Соболева А. А., 2022

УДК 004.94

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТРЕЛЫ МАНИПУЛЯТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ В SOLIDWORKS

К. Н. Черник*, Д. В. Черник

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: Kristi.Blueberry@yandex.ru

В статье приведена оптимизация геометрических параметров элементов конструкции лесного манипулятора в соотношении с массовыми характеристиками. Выполнена модернизация конструкции стрелы манипулятора лесной машины.

Ключевые слова: гидроманипулятор, лесная машина, геометрические параметры.

STUDY OF INFLUENCE OF GEOMETRIC PARAMETERS OF MANIPULATOR BOOM ON STRENGTH CHARACTERISTICS IN SOLIDWORKS

K. N. Chernik*, D. V. Chernik

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: Kristi.Blueberry@yandex.ru

The article provides optimization of geometric parameters of the elements of the structure of the forest manipulator in relation to mass characteristics. The design of the boom of the forest machine manipulator was modernized.

Keywords: hydraulic manipulator, forest machine, geometric parameters.

В последнее время компьютерные технологии активно внедряются в производство на всех этапах, в том числе на этапе проектирования. Актуальность эффективного и быстрого проектирования элементов конструкции лесных машин продиктована современными темпами роста конкуренции технологичных машин на рынке лесозаготовительных машин и оборудования.

Анализ научно-технической литературы показывает, что разработка элементов конструкции манипуляторов лесной машины далеко не всегда бывает эффективной, поскольку мало уделяется внимания оптимизации геометрических параметров конструкции в соотношении с массовыми характеристиками [1,2]. Проанализировав напряжения, возникающие в стреле автомобильного манипулятора МА-100 (рис. 1) с помощью дополнения SolidWorks Simulation, основанного на полном прочностном расчете методом конечных элементов, выяснилось, что вдоль ключевых точек зондирования наблюдается неравномерные, резкие, перепады напряжений. Это в свою очередь пагубно влияет на надежность и долговечность технологического оборудования лесной машины и может привести к досрочному выходу конструкции из строя.

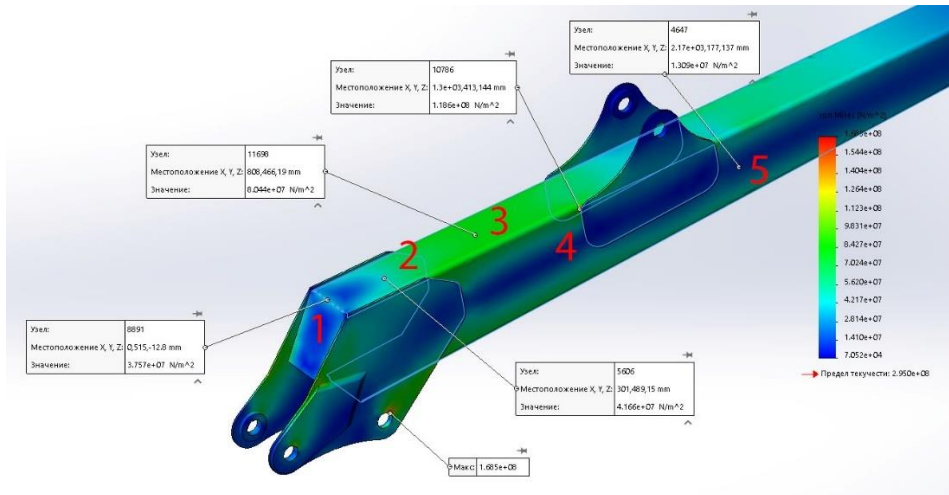


Рис.1. Эпюра напряжений стрелы с точками зондирования напряжений

На основе проведенного анализа была выполнена модернизация конструкции стрелы, при которой плавный переход напряжений в местах крепления проушины гидроцилиндра подъема стрелы и проушины поворота рукояти обеспечивается одной комбинированной конструкцией данных элементов (рис. 2). При этом масса стрелы практически не изменилась [3]. На графике (рис. 3) показаны результаты зондирования напряжений в ключевых точках стрелы до и после модернизации.

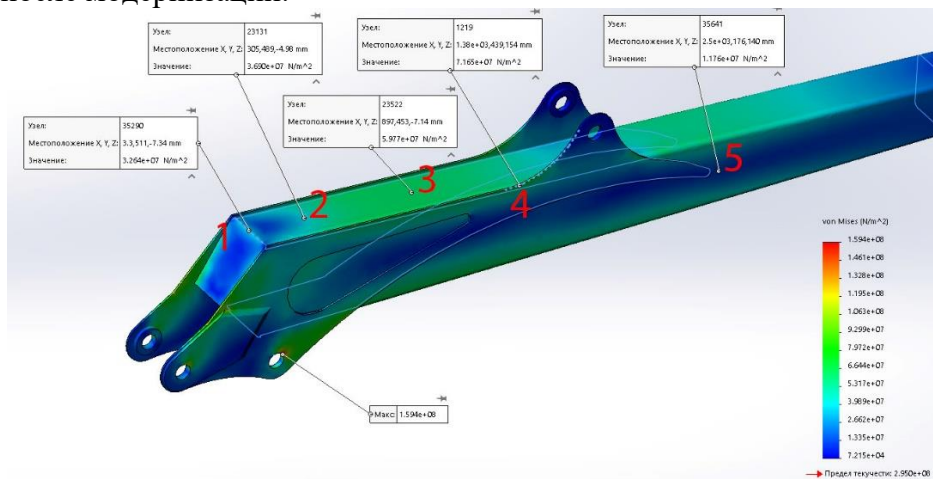


Рис.2. Эпюра напряжений стрелы после модернизации

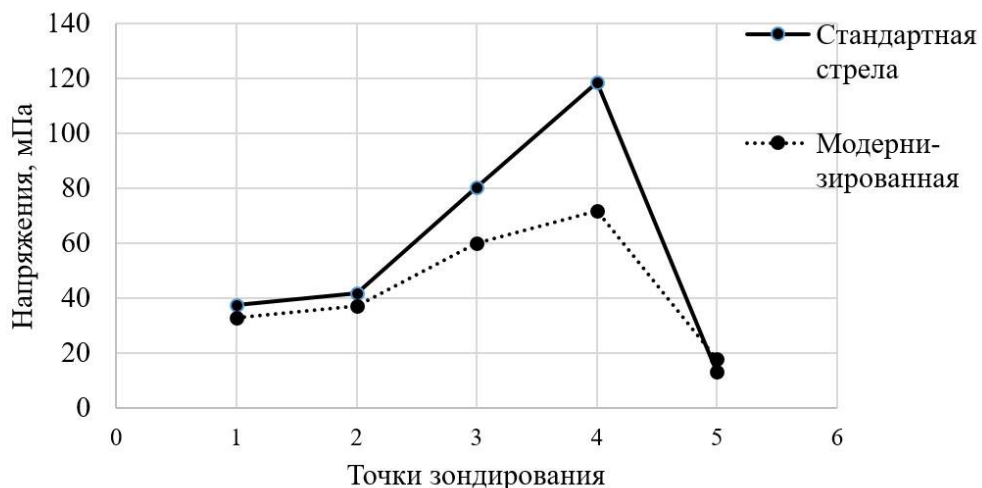


Рис.3. График напряжений в точках зондирования

Результаты исследований сводятся к тому, что кривая напряжений стрелы после модернизации проходит более плавно по зондируемым точкам в сравнении с кривой стрелы до модернизации. За счет плавного перехода геометрии общей конструкции проушин обеспечивается сглаживание резких перепадов напряжений в ключевых точках.

Библиографический список

1. Александров, В. А. Конструирование и расчет машин и оборудования для лесосечных работ и нижних складов : учебник / В. А. Александров, Н. Р. Шоль. 2-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург : Лань, 2012. 256 с
2. Полетайкин, В. Ф. Комбинированные манипуляторы лесосечных и лесотранспортных машин. Динамика элементов конструкции : монография / В. Ф. Полетайкин. Красноярск : СибГТУ, 2014. 167 с.
3. Черник, К.Н. Анализ прочностных характеристик стрелы комбинированного манипулятора в среде SolidWorks / К.Н. Черник, Д.В. Черник // Машиностроение: новые концепции и технологии: Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (23 октября 2020). Красноярск, 2020. С. 207-209.

© Черник К. Н., Черник Д. В., 2022

УДК 621.182:532.556.4:66.074.2

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУЙНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ДЫМОХОДНЫХ ГАЗОВ

М. Д. Калинин*, А. И. Авгутин, И. В. Чумаков, Д. С. Коржов
Научный руководитель – В. Ф. Чумаков

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
*E-mail: mishaka0@mail.ru

ТЭЦ и котельные в Красноярске не оборудованы эффективными фильтрами для очистки выбросов, поэтому для фильтрации разрабатываются струйные аппараты, в которых дымовые частицы улавливаются водой и удаляются из смеси. Для проверки этой идеи нами разработана 3D модель диффузора.

Ключевые слова: 3D моделирование, диффузоры, струйные аппараты, технологии очистки, продукты горения, газожидкостный поток.

3D MODELING OF JET DEVICES FOR CLEANING SMOKE

M. D. Kalinin*, A. I. Avgutin, I. V. Chumakov, D. S. Korzhov
Scientific supervisor – V. F. Chumakov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
*E-mail: mishaka0@mail.ru

Thermal power plants and boiler houses in Krasnoyarsk are not equipped with effective filters for cleaning emissions, therefore, jet devices are being developed for filtration, in which smoke particles are trapped by water and removed from the mixture. To test this idea, we have developed a 3D diffuser model.

3D modeling, diffusers, jet blowers, refinement systems, combustion gases, gas-liquid flow.

Улучшение экологической обстановки в России в значительной степени зависит от повышения качества воздуха, причем существенная часть имеющихся выбросов приходится на угольную генерацию – таково мнение экспертов.

«Угольная генерация не зря считается одной из самых «грязных» для окружающей среды. При сжигании угля на ТЭЦ или в котельных выделяется множество вредных веществ в больших количествах. Это и оксид углерода, и оксид азота, и бензапирен, и диоксид серы, и диоксид азота. Кроме отравляющих воздух газов, в него выбрасывается большое количество твердых фракций – сажа и неорганическая пыль.

ТЭЦ и котельные в Красноярске пока не оборудованы эффективными фильтрами. Электрофильтры дороги, громоздки, и не всегда есть возможность их установки на ТЭЦ. На котельных и промышленных предприятиях их как правило не устанавливают, так как они потребляют значительное количество электроэнергии. Другие типы фильтров обладают низкой степенью очистки, как правило не превышающей 50 %.

Основная задача стоит о том, как снизить выбросы до минимума, не прибегая к слишком большим расходам.

Поэтому планируется создать газожидкостный диффузор в дымовой трубе тепловой электростанции. Газодымовая смесь поступает в струйный аппарат, где смешивается с водой, подаваемой насосом. Затем смесь разделяется на газовую (очищенную от вредных примесей, удаляющуюся в атмосферу) и жидкостную (уходящую на доочистку и повторное использование) фазы. Таким образом осуществляется фильтрация газовых выбросов.

Такая установка может применяться на угольных тепловых электростанциях и котельных, а также частных хозяйствах, использующих угольное или дровяное отопление.

Точные технические параметры и окончательные размеры установки зависят от размеров трубы, необходимой тяги, состава дымовой смеси. Установка имеет цилиндрическую форму и представляет собой струйный аппарат прямой или изогнутой формы. Для трубы высотой 100 метров. Наибольшее сечение 10 метров, наименьшее сечение 7 метров. Диаметр сопла около 6 метров, диаметр входного коллектора около 10 метров, диаметр камеры смешения около 7 метров, диаметр выходного конца около 9 метров, длина не менее 40 метров. Толщина стенок не менее 5 сантиметров [9]. Выбор материалов и необходимость облицовки и дополнительной защиты зависят от условий эксплуатации, качественного и количественного состава дымовой смеси, кислотности золы, температуры внутренней поверхности стенок, температуры точки росы, скорости потока газодымовой смеси, давления в трубе, качества поступающей воды. Установка выполняется из нержавеющей стали, а качестве дополнительной защиты может применяться полимербетонная смесь и водоотталкивающее покрытие в качестве гидроизоляции [13, 14]. Толщина покрытия зависит от конкретных условий эксплуатации.

Также установка должна быть снабжена системой измерения давления. Опытная установка выполняется в масштабе 1:20 из стали марок 304, 316 или 321 [15].

Как показано на рисунке 1: дымовая смесь (1) поступает из камеры сгорания в струйный аппарат, проходя через сопло в камеру смешения, где смешивается с водой (2), поступающей из входного коллектора. После чего газожидкостная смесь поступает в диффузор (3), где разделяется на газ, удаляемый в атмосферу или собираемый для дальнейшего использования [15]. Золы, удаляемый из диффузора и разделяемый впоследствии на твердые частицы и воду, поступающую обратно в установку. В процессе эксплуатации не допускается образование трещин, вмятин, а также других повреждений установки, в связи с чем необходимо точно рассчитать предельное давление дымовой смеси и газожидкостной смеси для конкретной трубы и не допускать его превышения. В процессе эксплуатации возможен ремонт и замена составных частей: камеры смешения, диффузора и других. Необходимо обеспечить постоянный ток воды. Вода нагнетается насосом. В связи с постоянным испарением части воды в атмосферу необходимо обеспечить постоянный приток воды в цикл, что достаточно просто сделать на тепловой электростанции [15].

Сейчас струйные аппараты активно используются в промышленности [1,8], однако не применяются в системах очистки. Аналогов данной системы очистки найти не удалось. Главной идеей является использование воды для очистки дымовой смеси и избавление её от вредных, выбрасываемых в атмосферу, веществ. Данная система значительно проще в эксплуатации и гораздо дешевле электрофильтров, что является главным преимуществом.

Из аналогов можно отметить электрофильтры, применяющиеся на многих ТЭЦ, которые изменяют электрофизические свойства дымовых частиц, но они занимают много места и их установка не всегда возможна из-за конструкционных ограничений, а также они требуют значительных затрат электроэнергии в процессе работы. Также они требуют регулярных работ по очистке и ремонту, дополнительной защиты от коррозии, дополнительной защиты системы золоудаления от высокой температуры, а при их использовании могут происходить потери тепла. Кроме того, могут применяться устройства комплексной очистки, состоящие из сменного фильтра и дымососа [15].

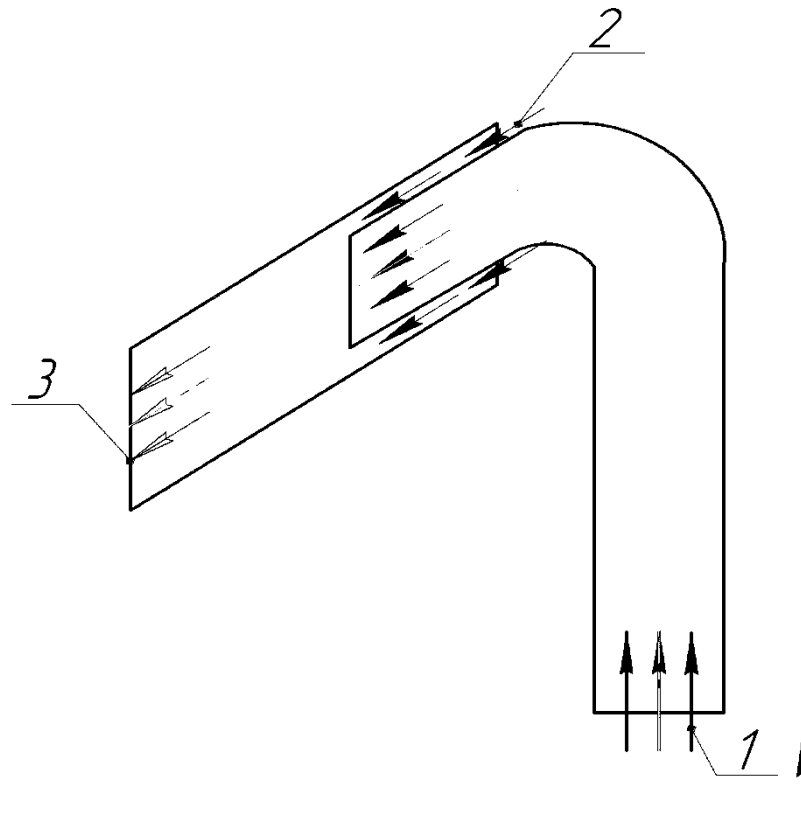


Рисунок 10 – Принципиальное устройство струйного аппарата

В дополнение к рисунку 1, была разработана 3D модель диффузора рисунок 2 (камеры смешения), где происходит смесь распылённой воды и дыма.

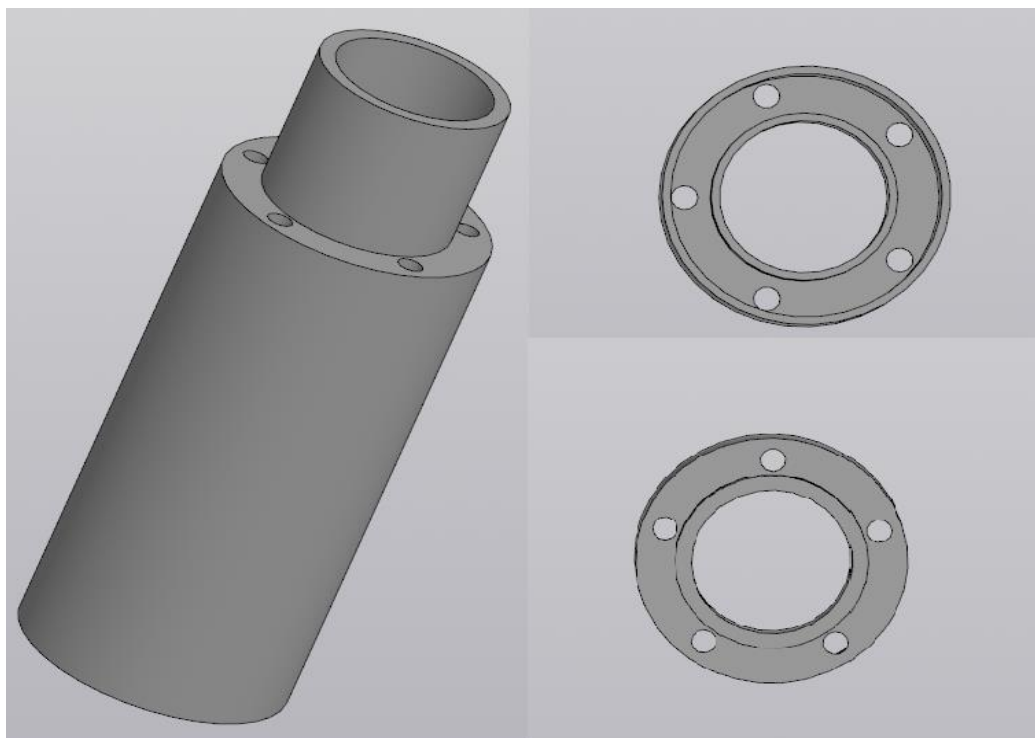


Рисунок 2 – 3D модель диффузора (камеры смешения)

После создания модели и проведения испытаний может быть создан рабочий образец для проверки качества работы. Для проверки работы в реальных условиях можно

использовать установку на небольших котельных. После этого возможно предложение по установке устройства на ТЭЦ.

Библиографический список

1. Акунов В. И. Струйные мельницы. – Москва: Машиностроение, 1967. – 263 с.
2. Базлов Б. И., Валович А. А. Внутриводоструйный транспорт в молочной промышленности. – Москва: Пищевая промышленность, 1970. – 312 с.
3. Берман Л. Д., Ефимочкин Г. И. Эксплуатационные характеристики и расчёт водоструйных эжекторов кондиционных установок. – Москва: издательство ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского, 1965. – 86 с.
4. Дейч М. Е., Зорянкин А. Е. Газодинамика диффузоров и выхлопных патрубков турбомашин. – Москва: Энергия, 1970. – 384 с.
5. Матвиенко П. С. Приточные системы с эжекторными воздухосмесителями. – Киев: Госстройиздат УССР, 1963. – 28 с.
6. Матвиенко П. С., Семенец П. А. Конструкция и некоторые результаты исследования дрожжерастительного аппарата со струйной аэрацией. – Спиртовая и ферментная промышленность, 1975, № 4, с. 12-17.
7. Матвиенко П. С., Стабников В. Н. Струйные аппараты в пищевой промышленности. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 224 с.
8. Росинский В. М. Исследование струйных смешивающих аппаратов для интенсификации технологических процессов свеклосахарного производства. Автореферат канд. дисс. – Киев: КТИПП, 1975. – 33 с.
9. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. – Москва: Госэнергоиздат, 1960. – 208 с.
10. Bethea, R. M. Air Pollution Control Technology. New York: Van Nostrand Reinhold, 1978
11. Brady, J. D., and Legatski L. K. Venturi scrubbers. In P. N. Cheremisinoff and R. A. Young (Eds.), Air Pollution Control and Design Handbook. Part 2. New York: Marcel Dekker, 1977
12. Buonicore, A. J. Wet scrubbers. In L. Theodore and A. J. Buonicore (Eds.), Air Pollution Control Equipment, Design, Selection, Operation and Maintenance. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1982
13. Calvert, S. How to choose a particulate scrubber. Chemical Engineering, 1982 84:133-140.
14. Kelly, J. W. Maintaining venturi-tray scrubbers. Chemical Engineering, 1977
15. Чумаков И.В. Перспективы использования струйных аппаратов для очистки дыма. Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: Сборник статей Международной научно-практической конференции. Издательство: ФГБОУВО "Сиб ГУ им. М.Ф. Решетнева" Красноярск, 2020. – 342-346 с.

© Калинин М. Д., Авгутин А. И., Чумаков И. В., Коржов Д. С., 2022

УДК 620.91

ПРИМЕНЕНИЕ 3D ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

А. И. Якубович*

Научный руководитель – М. В. Кобылкин

Забайкальский государственный университет
Российская Федерация, 672039, г. Чита, ул. Баргузинская, 49

*E-mail: alexander_yakubovich75@mail.ru

Описан процесс разработки и сборки стенда для лабораторных испытаний модели промышленного ветрогенератора горизонтального типа.

Ключевые слова: Ветрогенератор, аддитивные технологии, лабораторный стенд.

Благодарность. Статья выполнена в рамках гранта Совета по научной и инновационной деятельности ЗабГУ № 344-ГР «Разработка конструкции тихоходного ветрогенератора для условий Забайкальского края»

APPLICATION OF 3D TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF WIND TURBINE OPERATING MODES

A. I. Yakubovich*

Scientific supervisor - M. V. Kobylkin

Trans-Baikal State University
49, Barguzinskaya st., Chita, 672039, Russian Federation

*E-mail: alexander_yakubovich75@mail.ru

The process of developing and assembling a stand for laboratory tests a model of an industrial wind turbine of horizontal type is described.

keywords: Wind generator, additive technologies, laboratory stand.

Gratitude. The article was carried out within the framework of the grant of the Council for Scientific and Innovative Activities of Trans-Baikal State University № 344-GR "Design development of a low-speed wind generator for the conditions of the Trans-Baikal Territory"

Одним из выводов дипломной работы «исследование возможности внедрения ВИЭ в структуру АЭК в Забайкальском крае», стало невозможность установки возобновляемых источников энергии таких как СЭС, ВЭС, ГЭС [1, 2, 3]. Для решения проблемы невозможности работы ВЭС, была выдвинута тема «разработка тихоходного ветрогенератора для работы в условиях Забайкальского края».

Конструктивно разработка тихоходного ветрогенератора заключается в разработке направляющего аппарата, перед лопастями рабочего колеса генератора.

Эффективность данного нововведения решено было исследовать методом физического моделирования, который заключается в изучении процессов работы конструкции на лабораторной модели. Для создания модели, были применены аддитивные технологии. Аддитивный метод заключается в процессе создания трехмерных объектов на основании цифровой 3D модели.

Первоочередной задачей испытательного стенда стала его унификация для работы с разными конструкциями рабочего колеса ветрогенератора и направляющего аппарата. Сам стенд представляет из себя аэротрубу, в которой воздушные массы, создаваемые канальным вентилятором, действуют на направляющие лопатки и лопасти ветрогенератора.

Аэротрубой выступила труба диаметром 315мм. А канальный вентилятор установлен ВКОМ 315. Далее началась разработка 3D моделей лопастей.

Лопастей и их профиль были взяты с работающей трехлопастной модели и унифицированы для работы стенда и возможности изменения угла атаки. вследствие невозможности печати на 3D принтере тонкостенных кромок была увеличена площадь лопастей 3D модели после чего слайсер обрезал модель и на выходе получалось изделие которое могло быть установлено в стенд после обработки наждачной бумагой и надфилями для тонкой работы. На рисунках 1, 2 представлена 3D модель и чертеж соответственно. На рисунке 3 печать изделия на 3D принтере.

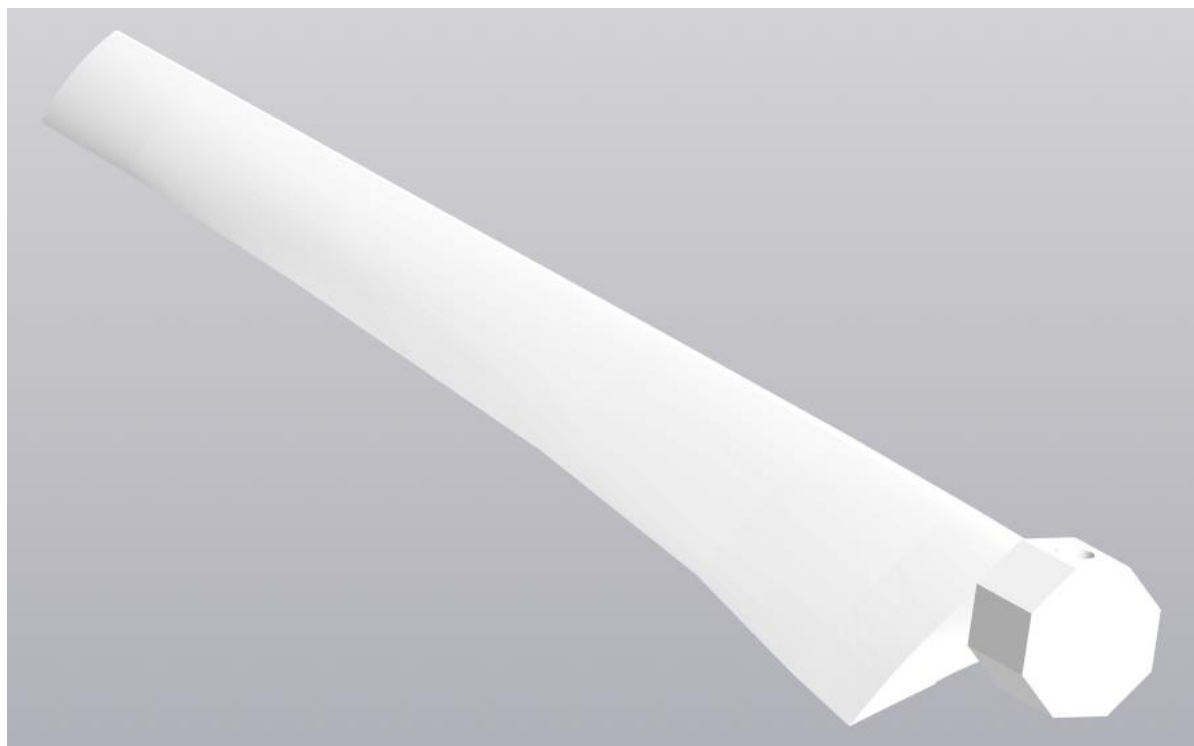


Рисунок 1 – 3D модель лопасти

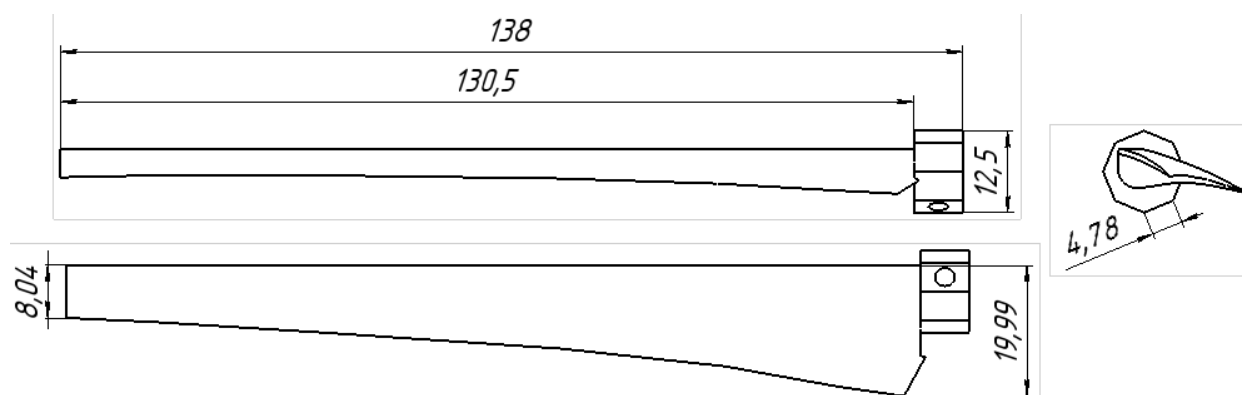


Рисунок 2 – Чертеж лопасти

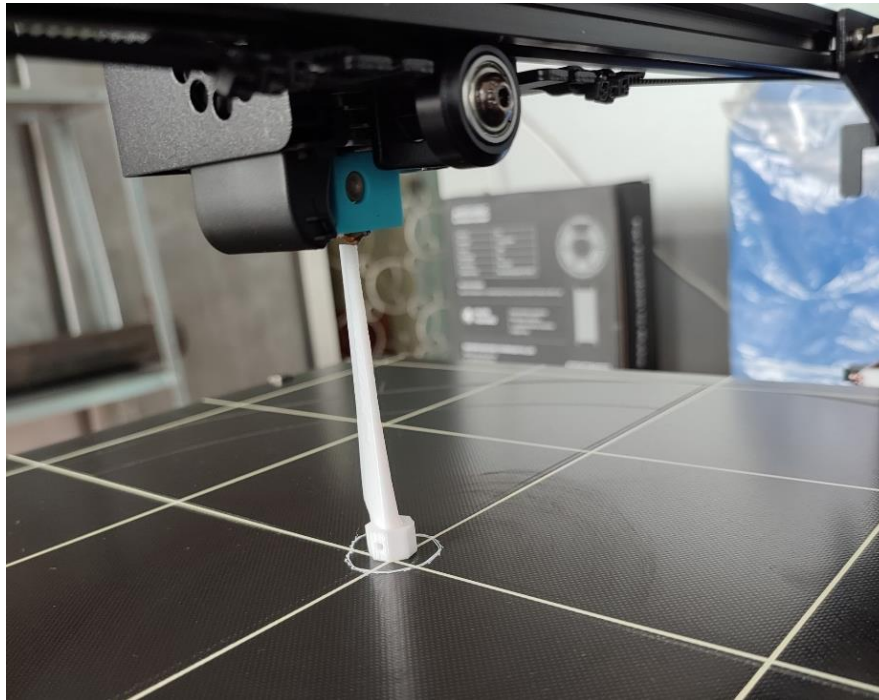


Рисунок 3 – Печать лопасти

Элемент связующий лопасти далее хаб. Был разработан с возможностью изменения угла атаки лопастей. Он представляет из себя изделие, в котором ответные части лопастей вставляются в соответствии с необходимым углом атаки. Далее хаб устанавливался на вал генератора. На рисунках 4, 5 представлен чертеж и 3D модель соответственно.

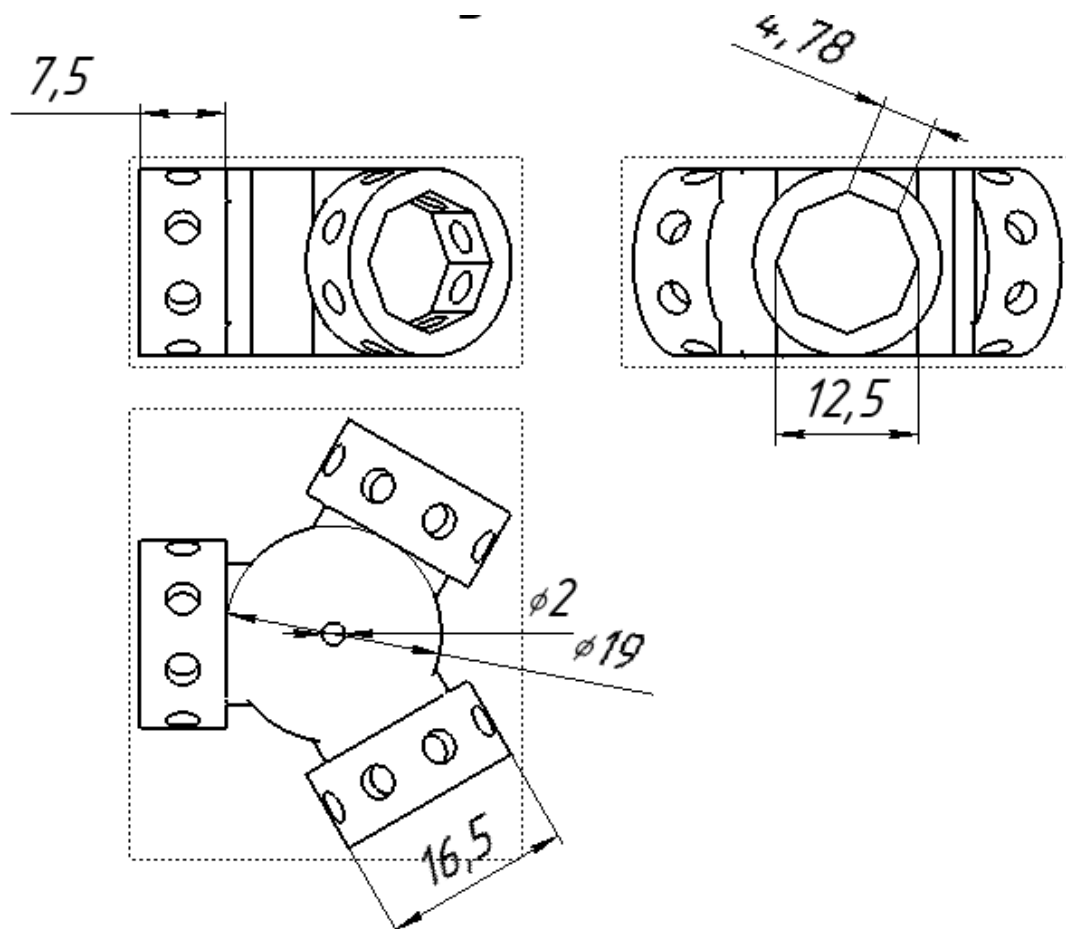


Рисунок 4 - Чертеж хаба рабочего колеса

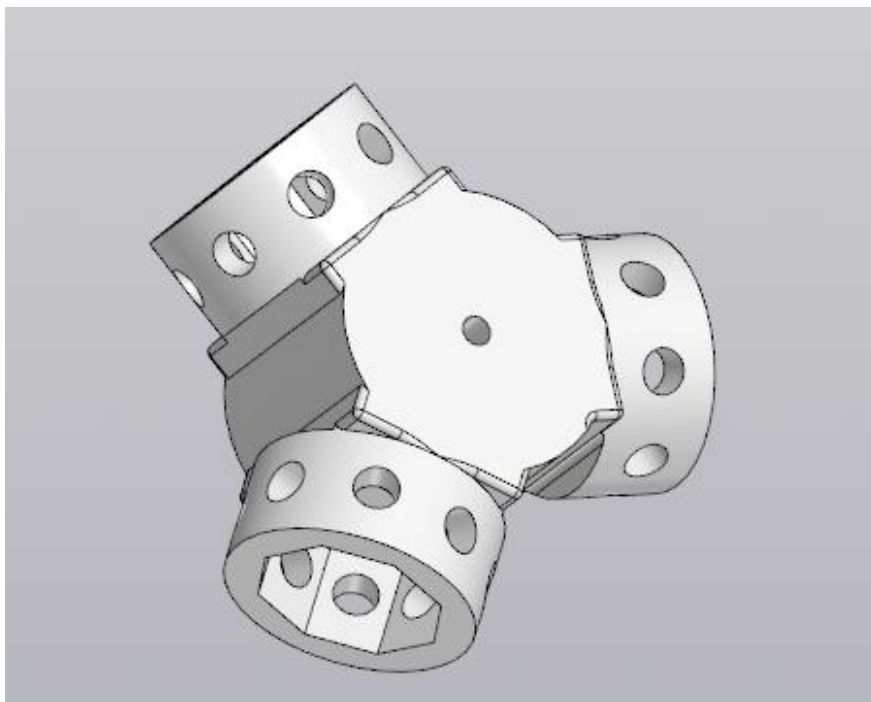


Рисунок 5 - 3D модель хаба рабочего колеса

На рисунке 6 представлена сборка хаба и лопастей генератора установленных в азротрубу



Рисунок 6 - Испытательный стенд

Итогом данной работы стала возможность дальнейшего исследования и установка направляющего аппарата перед лопастями рабочего колеса.

Библиографический список

1. Игорь Чаусов, Борис Бокарев. Доклад АЭК 2020. Инфраструктурный центр Энерджинет
2. Альтернативная энергетика [Электронный ресурс] / дизайн и разраб. отд. интернет – технологий tadvise.ru. Режим доступа:
https://www.tadvise.ru/index.php/Статья:Альтернативная_энергетика (28.08.2022)
3. Белобородов С. С., Гашо Е. Г., Ненашев А. В. Возобновляемые источники энергии и водород в энергосистеме: проблемы и преимущества [Электронный ресурс]. Монография. – СПб.: Научно-технические технологии, 2021. – 151 с. – URL:
<https://publishing.intelgr.com/archive/VIE-i-vodorod-v-energositse.pdf>. (25.08.2022)

© Якубович А. И., 2022

УДК 630.181.9

CLEANING SOIL FROM OIL POLLUTION FOR THE IMPROVEMENT OF THE URBAN ENVIRONMENT

N. A. Artishcheva, Ya. S. Goncharova, K. N. Chernik

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

The article presents the results of a comparative analysis of the facilities for cleaning soil contaminated with oil products. Their structure and principle of operation are considered.

Keywords: soil, equipment, cleaning, oil products, pollution.

ОЧИСТКА ПОЧВЫ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ БЛАГОУСТРОЙСТВЕ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Н. А. Артищева, Я. С. Гончарова, К. Н. Черник

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

В статье представлены результаты сравнительного анализа установок очистки почвы, загрязненной нефтепродуктами. Рассмотрено их устройство и принцип работы.

Ключевые слова: почва, оборудование, очистка, нефтепродукты, загрязнение.

Improvement of urban areas, including landscaping, depends directly on the quality of the land used for these purposes. The problem of cleaning the soil from oil products is one of the primary tasks in the planning of parks, public gardens, and recreation areas in large cities and megacities.

The analysis revealed a number of designs aimed at solving this problem. There is known a device for cleaning the contaminated soil from oil products, consisting of tanks for contaminated and refined soil, filled with hot water. The water in the tanks is heated to a temperature of 70° – 90° C, load the contaminated soil and turn on the mixer. The soil is washed with hot water jets fed into the holes of the pipeline for 1-2 minutes, then the mixing and flushing process is stopped. The solution is settled, the oil products go into the oil collection system, and the cleaned soil settles to the bottom of the tank. A conveyor is used as a loading device.

The unit device is shown in Fig. 1, differs in that it is equipped with an oil gathering pipeline, and in the side walls of the hopper along the perimeter of its upper part there are through holes for feeding oil from the hopper to the oil gathering pipeline, and the bottom of the hopper is made in the form of a gate valve [1].

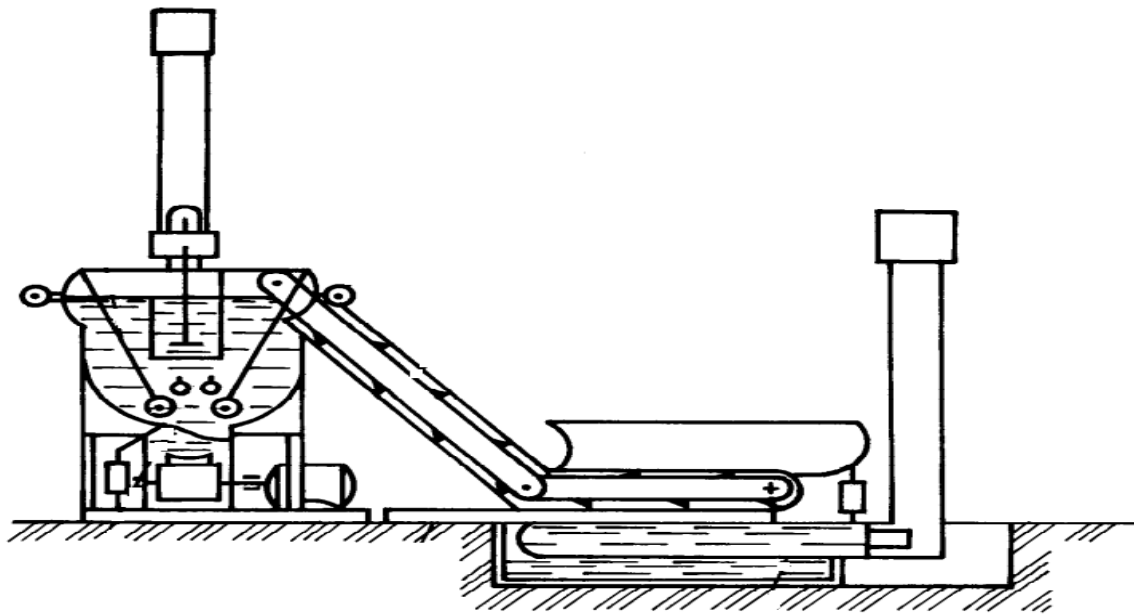


Fig. 1 - The unit device for cleaning contaminated soil

Next, we describe the unit device which consists of receiving tank for stirring the incoming contaminated soil and soil with heated water and obtaining liquefied mass, ejector-hydro mixer, designed to mix the liquefied mass with hot water in turbulent mode and equipped with an inlet centrifugal slurry pump, output centrifugal slurry pump, hydrocyclone, which is made with the ability to separate the liquefied mass into solid and liquid phases, a multifunctional container for separating the liquid into water and oil products, and a vibrating screen, made with the ability to extract the residual liquid from the solid phase and separate the solid phase. The receiving mixing tank is equipped with a slurry mixing pump and a receiving tank centrifugal slurry pump equipped with a receiving basket for protection against oversize inclusions. The device differs in that as the walls of the receiving vessel are used, the walls of the pit are dug in the ground and covered with waterproof material [2].

In the following unit, as an object of washing, contaminated ground and soil containing plants and other residues are collected in the process of cleaning the earth's surface.

The contaminated soil is fed to the loading grid of the hopper filled with the aqueous detergent solution and is washed by a jet of solution from the washing unit, thus destroying lumps and clots of soil with a simultaneous washing and mechanical effect of the washing liquid on the oil contamination. The blurred soil, passing through the grid cells, enters the hopper. When the soil enters the hopper, the non-sinking mass and oil float up, and the heavy soil settles to the bottom of the hopper. Soil separation is carried out in a dynamic mode.

The process of washing the deposited soil is carried out in several stages. In the first stage, the soil is washed in the hopper by a stream of hot washing solution, where the optimal effect of the detergent on the oil contamination is carried out. The second stage involves jet washing on an inclined screw conveyor while moving the soil from the hopper to the vibrating screen by means of an integrated washing unit. The third stage of soil jetting is done on a shaker, with the soil and contaminated solution separated at the same time. The washed soil is dumped into containers, and the contaminated cleaning solution is fed for regeneration. Three-stage washing of the deposited soil (soil, sludge) provides a high degree of decontamination and environmental safety for the soil [3].

The main disadvantages of these units are their high water consumption and the installation of additional equipment for their heating. There is also the difficulty of cleaning and disposing of water contaminated with oil products.

At the moment, the development of equipment for cleaning the contaminated soil with oil products with the help of strains of native anaerobic bacteria [4] is underway.

References

1. Pat. 2027825 C1 Russian Federation, IPC E02B15/04, *A method for cleaning contaminated soil of petroleum products and devices for its implementation* / Goryunov D.A., Khasanov T.A., Lintsov S.G., Berdimuratov A.S., Bizhanov S.A., Sokolov A.I. No. 4952344/15; application 27.05.1991; publ. 27.01.1995.
2. Pat. 2593386 C1 Russian Federation, IPC B09C 1/00, *A device for cleaning soils and soil from oil and petroleum products* /Ageev A.V., Voronkova S.V., Rozhkov V.O. No. 2015130537/13; application 24.07.2015; publ. 10.08.2016.
3. Pat. 2244685 C1 Russian Federation, IPC C02F 1/40, IPC C02F 103/34 *A method for cleaning oil-contaminated soils, soils and oil sludge* /Kurchenko A.B. № 2003119696/15; application 30.06.2003; publ. 20.01.2005.
4. Artishcheva, N. A. *Bioremediation of oil-contaminated soils using wood waste* : Master's thesis / Artishcheva N.A. ; Reshetnev SibSU. - Krasnoyarsk, 2018. - 115 p. - Bibliogr.: pp. 110-115. - Text : direct.

© Artishcheva N. A., Goncharova Ya. S., Chernik K. N., 2022

УДК 630*323

КОНСТРУКЦИИ ТЕПЛИЦ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД

А. Н. Козлов*

Научный руководитель - Д. В. Черник

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: andreyk9527@mail.ru

В публикации приведены виды конструкций теплиц, указаны их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: теплица, конструкция, хвойные породы.

GREENHOUSE DESIGNS FOR GROWING CONIFEROUS SEEDLINGS

A. N. Kozlov*

Scientific adviser: D. V. Chernik

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: andreyk9527@mail.ru

The article is an overview article. It contains various types of greenhouse designs, their advantages and disadvantages.

Keywords: greenhouse, construction, conifers.

В настоящее время существует большое разнообразие конструкций теплиц, в том числе для выращивания хвойных пород: односкатные, двухскатные, арочные, многоугольные, голландские [1].

Односкатные:

Представляют собой практичные и функциональные сооружения, крыша которых направлена в одну сторону (имеют один скат крыши) (Рисунок 1). Достаточно высокие

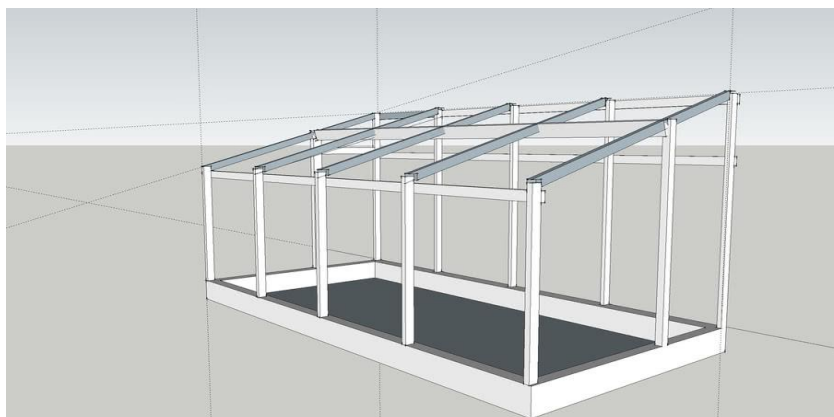


Рисунок 1 – односкатная теплица.

стены значительно облегчают работу в теплице по уходу за растениями, при малой площади строения. Наклон кровли составляет не менее 30 градусов, что способствует самоочищению ската от мусора, дождевой воды и снежного наноса. Несущей стеной строения может являться одна из стен здания, что значительно снижает стоимость постройки теплицы, также можно использовать коммуникацию смежного с сооружением здания для обогрева, освещения и полива. Покрытием служит пленка, стекло или поликарбонат.

Двухскатная теплица:

Классический вариант, в котором скат крыши образует тетраэдр (Рисунок 2), что эффективно в регионах с заснеженными зимами. К преимуществам такого типа теплиц можно отнести: как и в первом варианте - самоочищение ската от мусора, дождевой воды и снежного наноса, для обшивки можно использовать любой материал для покрытия, в зависимости от региона и назначения сооружения, имеет жесткий каркас, можно встроить круглогодичное отопление и освещение. Но для такой теплицы необходим крепкий и прочный фундамент, его конструкцию не так просто расширить во время эксплуатации, требует значительно больше деталей для крепления.



Рисунок 2 – двухскатная теплица.

Арочная теплица:

Стены и крыша выполнены как одно целое. Само строение имеет полукруглый скат (свод) – арку (Рисунок 3). Выполнена теплица из сотового поликарбоната. Это материал, обладающий повышенной гибкостью, что позволяет создавать из него конструкции любой формы. В большинстве своем каркас строения такого сооружения изготовлен из профильной трубы, что делает его долговечным и надежным. Длительную защиту от коррозии дает оцинковка металла. В усиленном варианте теплицы предусмотрены двойные или цельные дуги, дополнительно присутствуют усиливающие элементы в виде распорок, стрингеров. Конструкция такой теплицы не подразумевает необходимости в наличии фундамента. Достаточно легко можно менять расположение строения по своему желанию.

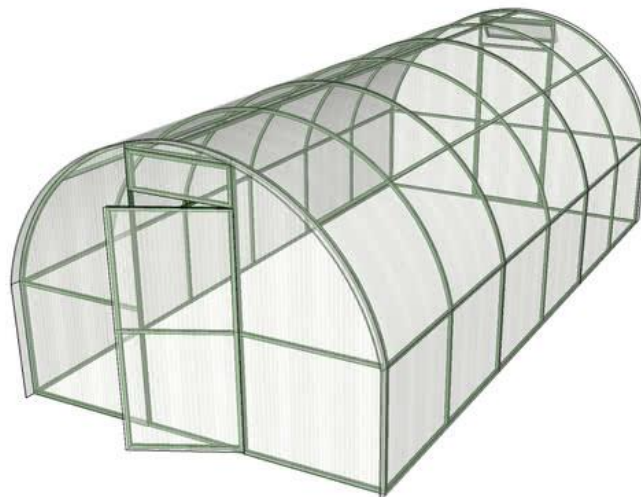


Рисунок 3 –Арочная теплица.

Многоугольная теплица:

Это конструкция, имеющая шесть или более граней. Занимают немного места, при этом имея большую полезную площадь в высоту, благодаря меньшему углу наклона крыши. Из-за такого строения крыши теплица имеет неравномерный прогрев, но этого просто избежать при помощи форточек, расположив их на разной высоте. Также можно использовать данный недостаток как преимущество, расположив особо теплолюбивые растения на верхних ярусах, где присутствует большее скопление тепла. Оптимальным для такой теплицы будет выращивать насаждения с использованием полок, расположив стеллажи по периметру. В качестве материала для покрытия такого сооружения следует использовать сотовый или монолитный поликарбонат, использование стекла будет доставлять неудобства и без того дорогой конструкции.

Голландская теплица:

Имеет расширенные к низу боковые стенки, что обеспечивает устойчивость конструкции и максимальное освещение для растений. Металлокаркас гарантирует надежность и длительную отработку. Такое сооружение подразумевает наличие специального желоба для сбора дождевой воды. Каркас усилен за счет клемм. Покрытие таких теплиц выполнение флоат-стеклом, которое отличается высокой светопроводимостью, прочностью и стойкостью к различным погодным условиям и механическому воздействию. Главным преимуществом такой теплицы является совместимость с новейшими разработками, с задействованием автоматизированных систем (Рисунок 4). Благодаря этому такое сооружение может быть использовано для



Рисунок 4 – Голландская теплица

выращивания различных растений, в том числе и тех, которые не предусмотрены микроклиматом данного региона.

Каплевидная теплица:

Теплица имеет наилучшую форму для ската сугробов (Рисунок 5). Любая другая теплица имеет риск деформации, поскольку высокие, плотные и тяжелые снежные наносы



Рисунок 5 – Каплевидная теплица

могут заметно деформировать поликарбонат. Теплица имеет высокие показатели освещенности, удобна в эксплуатации. У такого сооружения образуется дополнительное

воздушное пространство в самом верху, в конусе, так как высота может достигать 240 см, это может спасти растения от сгорания в жару, когда воздух сильно накаляется под поликарбонатом

Библиографический список:

1. Компания воля, сайт производителя – (<https://msk.teplidy.ru/articles/vidy-teplits-konstruktsii-naznachenie/>)
2. Исследование воздействия снеговой нагрузки на каркас теплицы для выращивания сеянцев с ЗКС в SOLIDWORKS / Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, А. К. Логачев [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – 2022. – Т. 40. – № 4. – С. 333-337. – EDN NCOFFQ.

© Козлов А. Н., 2022

УДК 712.14

3D МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОГРУППЫ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТЕНИЙ

И. К. Олехнович

Научный руководитель – Е.В. Авдеева*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

В статье рассмотрен современный подход к созданию ландшафтных проектов при помощи программного обеспечения. 3D моделирование позволяет наглядно рассмотреть физиологическое развитие биогруппы, а также дает представление об экологических особенностях.

Ключевые слова: 3D моделирование, биогруппа, физиология растений.

3D MODELING OF A BIOGROUP TAKING INTO ACCOUNT THE ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PROPERTIES OF PLANTS

I. K. Olekhnovich

Scientific supervisor – E.V. Avdeeva*

*E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

The article considers a modern approach to the creation of landscape projects using software. 3D modeling allows you to visually consider the physiological development of a biogroup, and also gives an idea of environmental features.

Key words: 3D modeling, biogroup, plant physiology.

Актуальность темы 3D моделирования заключается в том, что с помощью программного обеспечения при проектировании ландшафтных объектов можно рассмотреть физиологическое развитие биогруппы.

3D-модель позволяет оценить ландшафтный проект с практической точки зрения. Она наглядно демонстрирует зонирование, показывает, как будет использоваться тот или иной элемент благоустройства, где именно он будет расположен, как будет «сочетаться» с другими объектами.

Физиологическое развитие биогруппы растений позволяет рассмотреть программа «Наш сад». В ней была создана растительная композиция, по которой изучена возрастная динамика развития в 8-10 лет (рисунок 1), 25-40 лет (рисунок 2), более 50 лет (рисунок 3).

Также с помощью моделирования можно рассмотреть экологические особенности растений для дальнейшего понимания их нужд при посадке – Таблица 1.

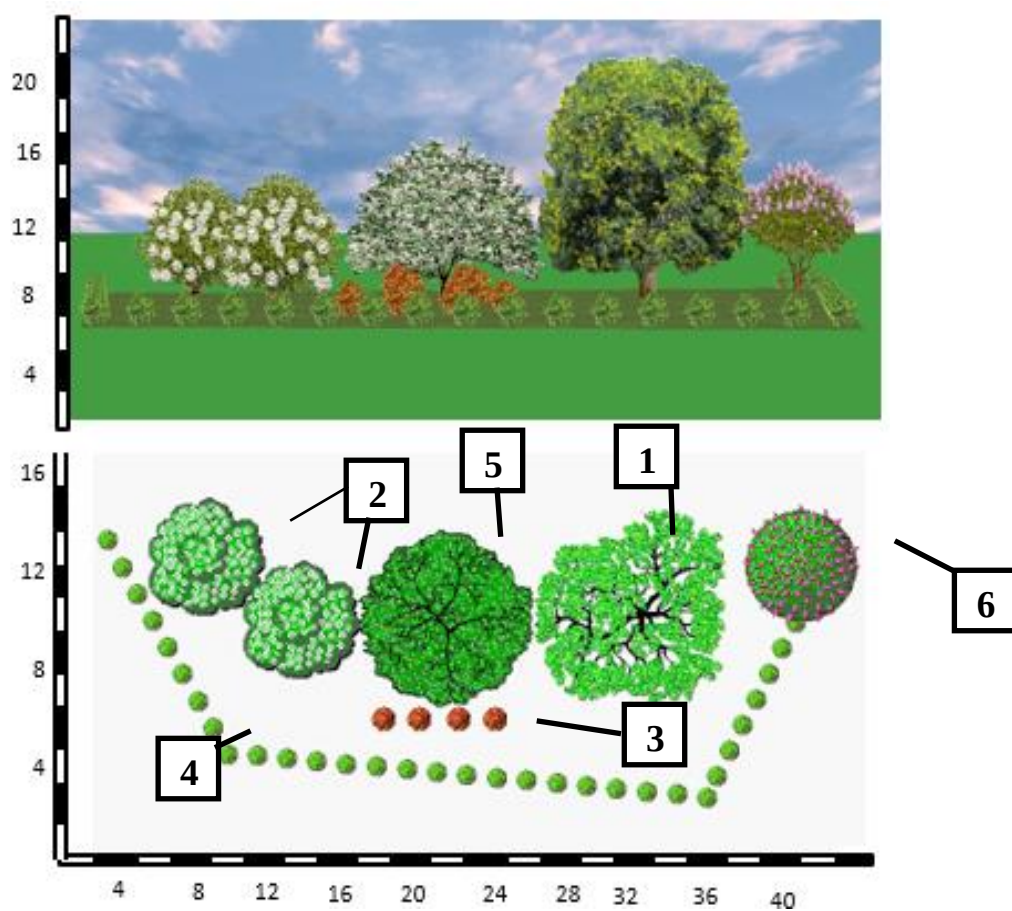


Рисунок 1 – Возрастное состояние 8-10 лет

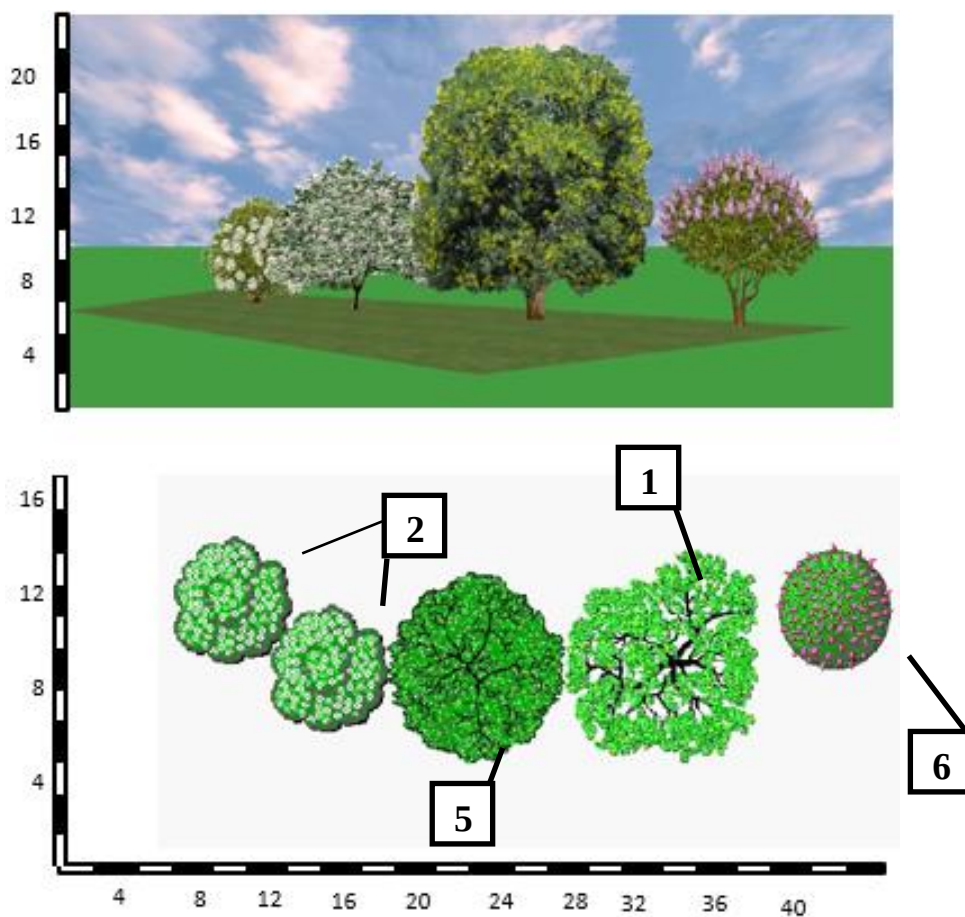


Рисунок 2 – Возрастное состояние 25-40 лет

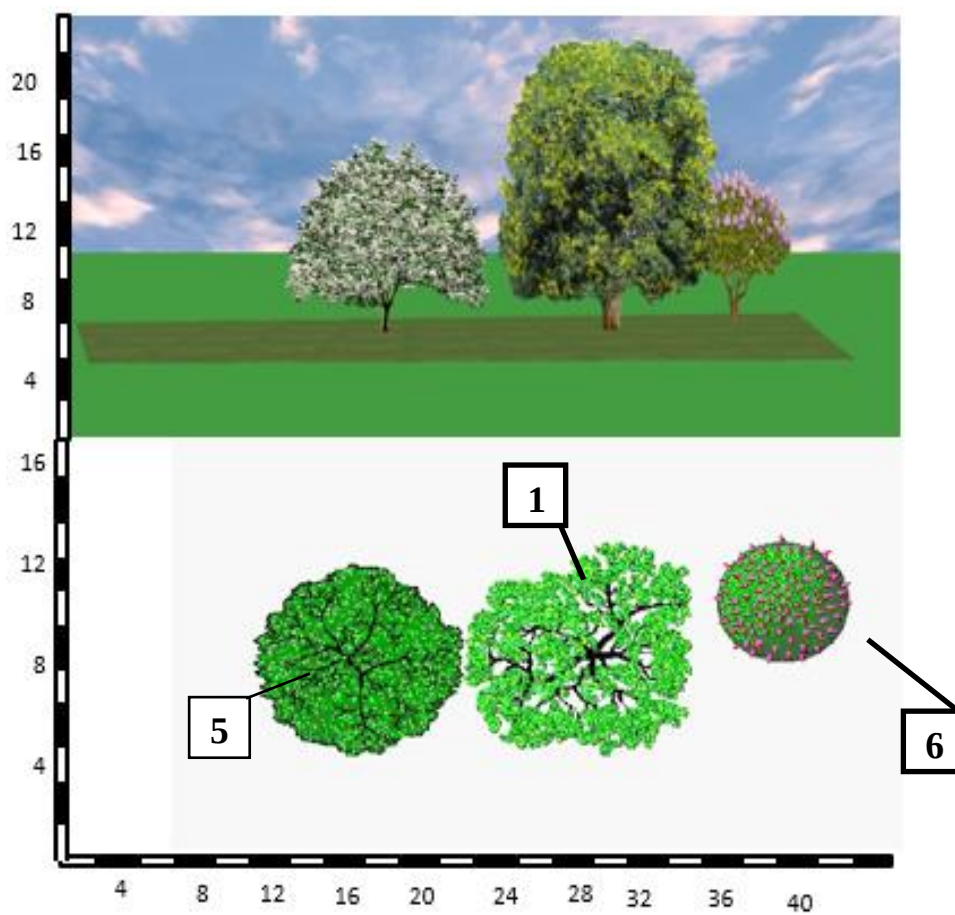


Рисунок 3 – Возрастное состояние более 50 лет

Таблица 1

Экологические свойства растений										
№	Наименование растений	Освещенность	Морозостойкость	Засухоустойчивость	Требовательность к почве	Коревая система	Ветроустойчивость	Дымогазоустойчивость	Категории насаждений	Кислотность
1	Орех маньчжурский (<i>Júglans mandshúrica</i>)									pH 7
2	Спирея серая (<i>Spirea x cinerea</i> "Grefsheim")									pH 7
3	Абрикос японский (<i>Prunus mume</i>)									pH 7
4	Барбарис Тунберга (<i>Berberis thunbergii</i>)									pH 7
5	Бузина обыкновенная (<i>Sambucus racemosa</i>)									pH 7
6	Сирень обыкновенная (<i>Syringa vulgaris</i>)									pH 7

В результате создания 3D-модели имеется полное представление о экологических и физиологических свойствах растений представленных в биогруппе.

Библиографический список

1. Авдеева Е.В. Информационные технологии в ландшафтном проектировании: учебное пособие для студентов направления 23.03.02 "Наземные транспортно-технологические комплексы" профилей подготовки "Машины и оборудование для садово-паркового и ландшафтного строительства", "Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов" очной и очно-заочной форм обучения / Е.В. Авдеева, Е.А. Вагнер. - Красноярск: СибГТУ, 2016. -111с. – Текст: непосредственный.
2. Плотникова, Л. Декоративные деревья и кустарники. Иллюстрированный определитель / Л. Плотникова. - М.: БММ, 2005. - 152 с. - Текст: непосредственный.
3. Кулль К., Кулль О. Динамическое моделирование роста деревьев / К. Кулль, О. Кулль. – Таллин: Академия наук Эстонской ССР, 1989. – 234с. – Текст: непосредственный.

© Олехнович И. К., 2022

УДК 712.4

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СКВЕРА «ПОБЕДИТЕЛЕЙ»

А. В. Моцный

Научный руководитель – Е.В. Авдеева*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

Актуальность данной работы заключается в том, что в наше время, в каждом городе есть парки и скверы, некоторые из них имеют историческую ценность. Другие находятся в «плачевном» состоянии и потеряли свою ценность в связи с расширенным строительством зданий и сооружений вокруг и не могут выполнять прежние функции. Таким паркам и скверам необходима грамотная реконструкция.

Ключевые слова: сквер, экология, технологии.

ENVIRONMENTAL LIGHTING TECHNOLOGY IN THE PARK OF WINNERS

A. V. Motsny

Scientific supervisor – E.V. Avdeeva*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: e.v.avdeeva@gmail.com

The relevance of this work lies in the fact that in our time, in every city there are parks and squares, some of them have historical value. Others are in a "deplorable" state and have lost their value due to the expanded construction of buildings and structures around and cannot perform their former functions. Such parks and squares need competent reconstruction.

Keywords: public garden, recreation, ecology, technology.

За последние годы в городах страны возросли объемы работ по реконструкции и реставрации парков. В основном реконструкции подвергаются исторические парки конца XIX - начала XX в., парки культуры и отдыха, построенные в 30-40-е гг., парки "Победы", созданные в 50-е гг. Основные проблемы при реконструкции исторических парков, парков-памятников возникают из-за разрыва между исторической их планировкой и современными потребностями посетителя. Даже если парк является памятником, охраняемым государством, и в его решение не должно быть внесено никаких изменений - может встать вопрос о его реконструкции в связи с высокой посещаемостью или созданием буферных зон для его физической сохранности [1].

Поэтому проанализировав состояние парка было принято решение сделать световой парк. Просмотрев все мировые аналоги и сделав ситуационный и генеральный планы с функциональным зонированием мне удалось воплотить идею «светового парка» в проект (рисунок 1) [3].



Рисунок 1 – 3д визуализация проектного решения сквера «Победителей»

В современной градостроительной практике и культурной политике получил широкое распространение переход от реконструкции отдельных парков к реконструкции и образованию парковых городских комплексов с приданием отдельным зонам различных функций, что позволяет повысить эффективность отдыха населения и получить больший эффект сохранности парковых территорий. Основная идея проекта (рисунок 2) «магическое вечернее освещение», спроектированное на основе технологии с использованием светильников на солнечных батареях [2].



Рисунок 2 – Функциональное зонирование сквера

В проекте выделены функциональные зоны «лесного массива», «магического леса», детская площадка (рисунок 5) и зона кинотеатра под открытым небом (рисунок 4), также в центре парка оборудована зона качель. Каждая зона рассчитана на посещение большого потока людей разных возрастов. «Магический лес» впечатляет цветной подсветкой деревьев и погружает посетителей в сказку, после можно пройтись по «лесному массиву» (рисунок 6) и позволить глазам отдохнуть от яркого света. Зона кинотеатра под открытым небом предназначена для пикников на газоне, вечером проходит показ фильмов, где также можно расслабиться после трудового дня, а кто проходил мимо и решил посетить это место, не взяв с собой плед, установлены беседки. В сквере оборудована детская игровая зона для тех, кто пришел с детьми, здесь также имеется площадка с лавочками вокруг фонтана, где родители и бабушки могут посидеть, пока дети играют. Качели (рисунок 3), установленные в центральной части парка имеют разнообразные сидения для всех возрастов, а подсветка в этой зоне связана с движением качелей, что привлекает людей



Рисунок 3 - Качели

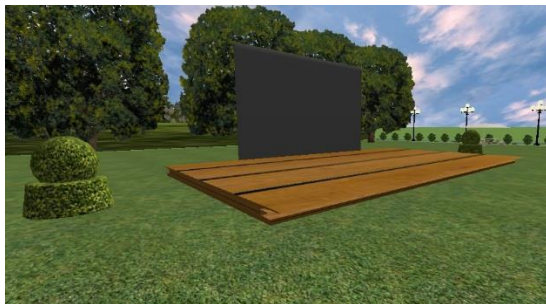


Рисунок 4 – Кино под открытым небом



Рисунок 5 – Детская площадка



Рисунок 6 – Зона «лесного массива»

В данное время ландшафтное строительство принимает более значимую роль в современном мире. Создание современного ландшафта оказывает позитивное влияние на человека. При выполнении проекта, объектом которого является сквер «Победителей», была достигнута основная цель проектирования, функциональное зонирование и благоустройство территории для массового отдыха горожан.

Библиографический список

1. Атрохин В.Г., Кузнецов Г.В. Лесоводство. 2-е изд. Доп. Испр. – М.: Агропромиздат, 1989. – 400 с.: ил.
2. Разумовский Ю.В. Ландшафтное проектирование: учебное пособие/ Ю. В. Разумовский, Л. М. Фурсова, В. С. Теодоронский. – М.: Форум. Инфра, 2016.-160с.
3. Искусственное освещение территорий зеленых насаждений [Электронный ресурс] URL: <http://landscape.totalarch.com/node/28>

© Моцный А. В., 2022

УДК 67.05

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ АДДИТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ТРЕХМЕРНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

К. А. Колесникова^{1*}, Н. К. Гальченко², С. Ю. Раскошный^{1,2}

¹Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 2/4.

*E-mail: Kolesnikova_ksal@mail.ru

В работе показана возможность трехмерной модификации поверхности металлов и сплавов на электронно-лучевом оборудовании на базе пушки с плазменным катодом. Исследовано влияние предварительной подготовки поверхности подложек на адгезионную прочность газотермических покрытий.

Ключевые слова: электронно-лучевая трехмерная модификация, пушка с плазменным катодом.

ELECTRON BEAM ADDITIVE TECHNOLOGY FOR THREE-DIMENSIONAL SURFACE MODIFICATION OF METALS AND ALLOYS

K. A. Kolesnikova^{1*}, N. K. Galchenko², S. Y. Raskoshniy^{1,2}

¹National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenina Avenue, Tomsk, Russia, 634050.

²Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS,
Akademicheskoy Ave. 2/4, Tomsk, 6340055 Russia

*E-mail: Kolesnikova_ksal@mail.ru

The paper discusses the application of electron beam equipment based on a plasma cathode gun for three-dimensional surface modification of metals and alloys. The effect of substrate surface preparation on the adhesion strength of gas-thermal coatings is investigated.

Keywords: three-dimensional electron beam modification, plasma cathode gun

Наиболее перспективным направлением современных исследований по разработке высокоэффективных методов модифицирования поверхностных свойств материалов является трехмерная инженерия поверхности. Один из возможных подходов к решению данной проблемы состоит в формировании импульсным электронным пучком периодических поверхностных структур с заданными параметрами. При такой обработке существует возможность достижения изменения топографии поверхности, состава, микроструктуры и свойств материалов в приповерхностных слоях, толщиной от сотых долей до нескольких миллиметров. Эти технологии начали развиваться в Европе благодаря разработке оцифрованных автоматизированных систем управления мощностью электронного пучка и синхронизации с его пространственным положением.

Суть метода электронно-лучевой трехмерной модификации заключается в сканировании поверхности металла электронным лучом с определенной частотой и мощностью, в процессе которого микродозы металлического вещества расплавляются и

переносятся за счет капиллярных сил и давления луча в определенное место с последующей кристаллизацией.

Впервые этот эффект воздействия электронного луча на металлическую поверхность был получен компанией TWI (Великобритания) [1,2]. Эта технология получила название «Electron Beam Surfi-Sculpt®». С ее помощью на поверхности металлической заготовки или детали могут быть «выращены» различные формы (переменного размера, плотности, наклона и т. д.).

Данная технология потенциально может быть востребована при создании перспективных образцов вооружения военной и специальной техники, а именно:

- ошпированных титановых и алюминиевых листовых заготовок с точечными выступами для настилов полов транспортных самолетов в целях увеличения их фрикционных свойств;
- неразъемных соединений металл-металл, металл-полимер без применения сварки, заклепок и боковых соединений;
- композиционных и керамических покрытий с высокой адгезией;
- поверхностей с регулируемым коэффициентом отражения, поглощения электромагнитных излучений.

Целью работы является исследование возможности трехмерной модификации поверхности металлов и сплавов на электронно-лучевом оборудовании на базе пушки с плазменным катодом [3,4].

Экспериментальные данные и результаты

Для отклонения электронного луча по заданной траектории была разработана специальная система, позволяющая создавать, запоминать и воспроизводить необходимые перемещения сканирующего луча с заданной частотой. Траектории движения луча представлены в виде вектора заданной длины и направления. Переход электронного луча от конца вектора тока до начала следующего осуществляется со скоростью, в десять раз превышающей скорость движения вдоль вектора. Время жизни луча на поверхности зависит от геометрии рисунка и теплофизических свойств обрабатываемого материала. Процесс обработки регулируется следующими параметрами: ускоряющее напряжение U , ток пучка I , частота сканирования, количество циклов. В настоящее время разработана современная длиннофокусная система фокусировки электронного пучка, которая позволяет получить остро сфокусированный луч в 300-400 мм. от края линзы и одновременно обрабатывать площадь поверхности образца растром 50×50 мм.

Рост выступов (игл) всегда происходит в начале вектора. На рисунках 1-4 показаны результаты обработки разных материалов при различных схемах сканирующего сигнала.

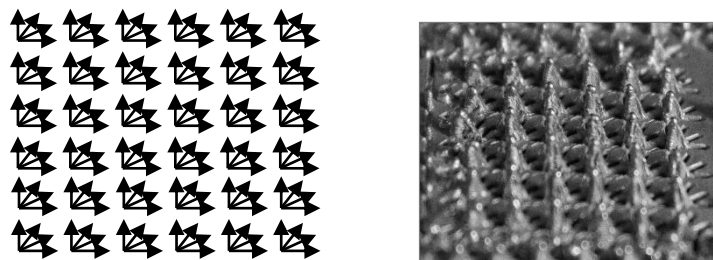


Рисунок 1 - Вид сканирующего сигнала и топография поверхности образца из меди. Высота выступов 2-3 мм. $U = 28$ кВ, $I = 50$ мА, $T = 25$ с.

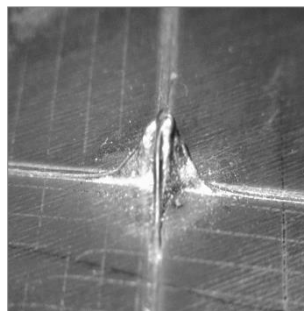
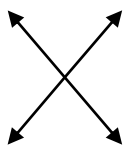


Рисунок 2 - Вид сканирующего сигнала и топография поверхности образца из титана. Высота выступов 8-10 мм. $U = 28$ кВ, $I = 10$ мА, $T = 35$ с.

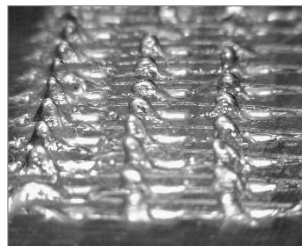
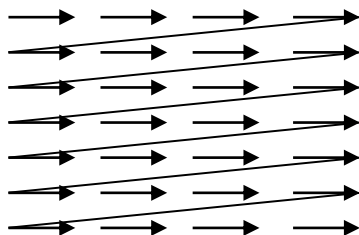


Рисунок 3 - Вид сканирующего сигнала и топография поверхности образца из стали X18H10T. Высота выступов 1,5-2 мм. $U = 28$ кВ, $I = 30$ мА, $T = 7$ с.

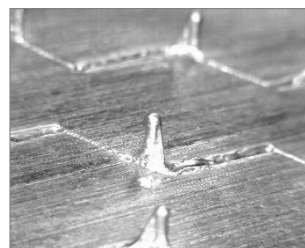
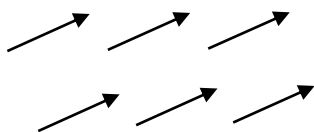


Рисунок 4 - Вид сканирующего сигнала, и топография поверхности образца из стали X18H10T. Высота выступов 7-9 мм. $U = 28$ кВ, $I = 25$ мА, $T = 7$ с.

Исследование возможности получения неразъёмных соединений типа «металл-металл» без применения механического крепежа

Выбор материалов для эксперимента обусловлен их прочностными и пластическими характеристиками. Для неразъёмных соединений «титан-медь» были изготовлены образцы с игольчатым рельефом (иглы пирамидальной формы) на титановой пластине. Соединение было получено давлением на гидравлическом прессе (рисунок 5).

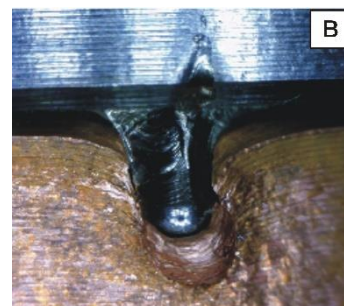
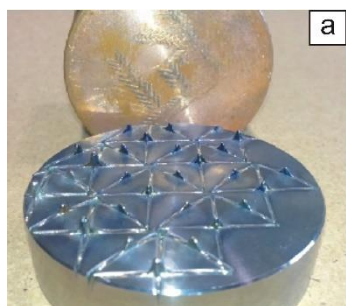


Рисунок 5 - Вид пирамидальной игольчатой структуры (а); неразъёмное соединение «титан – медь» (б); фрагмент микроструктуры в зоне контакта титановой иглы с медной подложкой (в).

Рисунок 5, в демонстрирует, что при проникновении в медь существенного изменения формы титановой иглы не произошло: игла плотно обжата медью. Очевидно, что такие

соединения должны лучше работать «на сдвиг», а не на «разрыв». Но и при растягивающих напряжениях существует возможность усилить адгезионную связь между такими соединением, например, с помощью клеящих эпоксидных смол.

Формирование игольчатой структуры на металлических подложках для повышения адгезионной прочности газотермических покрытий

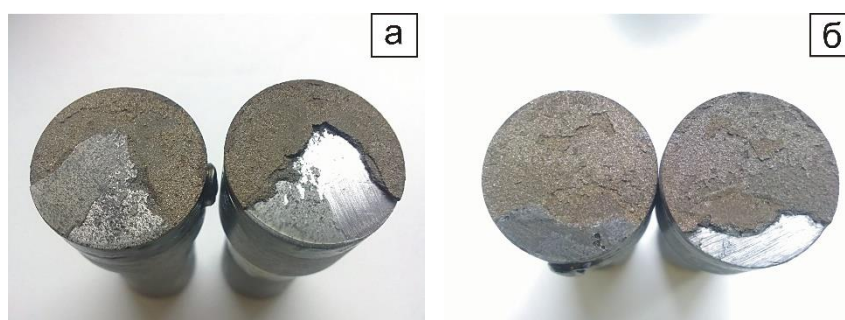
Преимуществами покрытий, нанесенных на подложки с развитой рельефной структурой, являются: повышенные прочностные характеристики и адгезионная (когезионная) стойкость покрытий в процессе деформации и высоких контактных давлений; возможность конструирования поверхностей, работающих с минимальным износом в парах трения в зависимости от условий эксплуатации. На практике для увеличения прочности сцепления и сглаживания различия в коэффициентах термического расширения материалов газотермических покрытий в обычных условиях используют различные способы подготовки поверхности подложек, включая традиционные - подогрев и нанесение подслоя. При адгезионной связи большую роль играет площадь контакта, т. к. ее увеличение за счет создания шероховатостей улучшает адгезию. Практика показывает, что известные виды механической подготовки поверхностей шлифованием, дробеструйной и пескоструйной обработкой не позволяют достичь значительного уровня прочности сцепления.

Объектом исследования в данной работе являются опытные образцы, на поверхности которых методом импульсной электронно-лучевой модификации сформированы игольчатые структуры, предназначенные для повышения адгезионной прочности наносимых газотермических покрытий.

Для текстурирования поверхностей были изготовлены пластины из стали X18H10T размером 25x7 мм, предназначенные для последующего нанесения газотермических покрытий из никельхромового сплава. Режим сканирования металлических подложек электронным пучком был выбран таким, чтобы на их поверхности была сформирована периодическая структура в виде игл (рисунок 6 в, г).

Формирование иглоек на поверхностях образцов проводилось в вакуумной камере электронно-лучевой установки при остаточном давлении 10–6 мм рт. ст. при $I = 3$ мА, $U = 30$ кв. Образец размещался на программно управляемой двухкоординатной платформе. Текстурирование происходило при сканировании со скоростью 25 мм/с. Расстояние между иглами- 2,5 мм. Высота – 1,5-2 мм. Испытания образцов на адгезионную прочность проводили методом отрыва штифта (ГОСТ 10587-84).

Сравнительный анализ характера разрушения газотермических покрытий на шлифованных поверхностях показал, что слабым звеном при отрыве является их когезионная и адгезионная прочность (рисунок 6, а,б). Судя по характеру разрушения дальнейшее улучшение свойств напыленных покрытий достигается изменением топографии поверхности подложки с созданием на ней игольчатой структуры. При этом наблюдается повышение как адгезионной так и когезионной прочности за счет улучшения свариваемости между собой частиц напыляемого порошка.



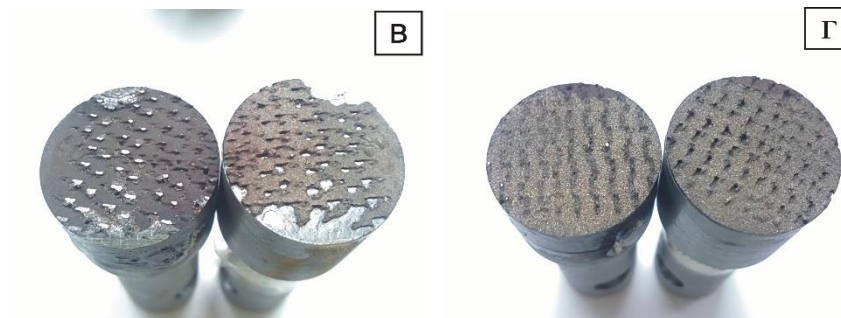


Рисунок 6 - Участки поверхности покрытий после испытания на адгезионную прочность в зависимости от предобработки поверхности подложек:
а- шлифованная поверхность; б- шлифованная поверхность с промежуточным подслоем из Ni_3Al ; в- игольчатая поверхность; г- игольчатая поверхность с промежуточным подслоем из Ni_3Al .

В таблице 1 представлены сравнительные результаты исследования прочности сцепления и открытой пористости покрытий из никельхромового сплава, нанесенных на подложки из стали X18H10T. Наблюдается корреляция между постепенным возрастанием прочности сцепления покрытий, нанесенных на подложки с игольчатой структурой и ростом их плотности. Анализ экспериментальных данных показал, что возникающая при напылении на игольчатую поверхность развитая зона химического контакта никельхромового покрытия обеспечивает повышение прочность сцепления с 3,7-5,7 до 10,4-14,1 МПа (рисунок 6 в,г).

Таблица 1

Влияние предподготовки поверхности подложек из стали X18H10T на адгезионную прочность и открытую пористость газотермических покрытий

№ п/п	Метод обработки поверхности образца перед напылением		Прочность сцепления покрытия, $\sigma_{\text{пр}}$, [МПа]	Плотность покрытий, γ , [гр/см ³]
1	Шлифование	Покрытие без подслоя	3,7	7,61
2		Покрытие с подслоем из Ni_3Al	5,2	7,78
3	Игольчатая структура	Покрытие без подслоя	10,4	8,32
4		Покрытие с подслоем из Ni_3Al	14,1	9,14

Заключение

Формирование методом импульсной электронно-лучевой модификации упорядоченного игольчатого рельефа на поверхности подложек позволяет существенно повысить плотность и адгезионную прочность газотермических покрытий при воздействии внешних нагрузок.

Полученные результаты показывают, что электронные пушки с плазменным катодом могут быть использованы для трехмерной модификации поверхности металлов и сплавов и имеют хороший потенциал в различных значимых отраслях науки и техники.

Библиографический список

1. Bruce. G. I. Dance, International Patent WO 2002/094497 A3 (2002).
2. A. L. Buxton, B.G.I. Dance. Proc. of 4th International Surface Engineering Congress (ISEC2005), Minnesota, USA, Aug. 2005

3. I.V. Osipov, N.G. Rempe, Rev. Sci. Instrum. 71(4) 1638 (2000).

4. Панин В.Е., Белюк С.И., Дураков В.Г. и др. Электронно-лучевая наплавка в вакууме: оборудование, технология, свойства покрытий // Сварочное производство.- 2000.-№2.-С.34-38.

© К. А. Колесникова, Н. К. Гальченко, С. Ю. Раскошный, 2022

УДК 621

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Р. В. Ралдугин*, К. Ю. Ковалёв*

Научный руководитель - С. Н. Мартыновская

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: Raldugin.r.v@gmail.com

*E-mail: kovalev.k.u@mail.ru

В статье рассмотрены возможности проектирования и построения трехмерных моделей различных конструктивных элементов в машиностроении. Представлены некоторые результаты проектирования.

Ключевые слова: программа, моделирование, анализ, проектирование.

MODERN TRENDS IN THE DESIGN OF VARIOUS STRUCTURAL ELEMENTS

R. V. Raldugin*, K. U. Kovalev*

Scientific adviser - S. N. Martynovskaya

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: Raldugin.r.v@gmail.com

*E-mail: kovalev.k.u@mail.ru

The article considers the possibilities of designing and constructing three-dimensional models of various structural elements in mechanical engineering. Some design results are presented.

Keywords: program, modeling, analysis, design.

Для машиностроения, как одной из ключевых отраслей российской экономики, исключительно важны разработки нового оборудования и применение передовых решений. 3D-технологии всецело отвечают этим потребностям. Совершенствуясь, они обеспечивают все большую эффективность, позволяя предприятиям сократить и упростить технологический процесс и оптимизировать расходы на производство.

Проектирование машиностроительных изделий накладывает высокие требования к используемому инструменту. Рассмотрим возможности некоторых программ, позволяющих создавать изделия любой сложности. «Компас» — семейство систем автоматизированного проектирования, универсальная система автоматизированного проектирования, позволяющая в оперативном режиме выпускать чертежи изделий (рисунок 1), схемы, спецификации, таблицы, инструкции, расчётно-пояснительные записки, технические условия, текстовые и прочие документы. Изначально система ориентирована на оформления документации в соответствии с ЕСКД, ЕСТД, СПДС и международными стандартами, но этим возможности системы не ограничиваются.

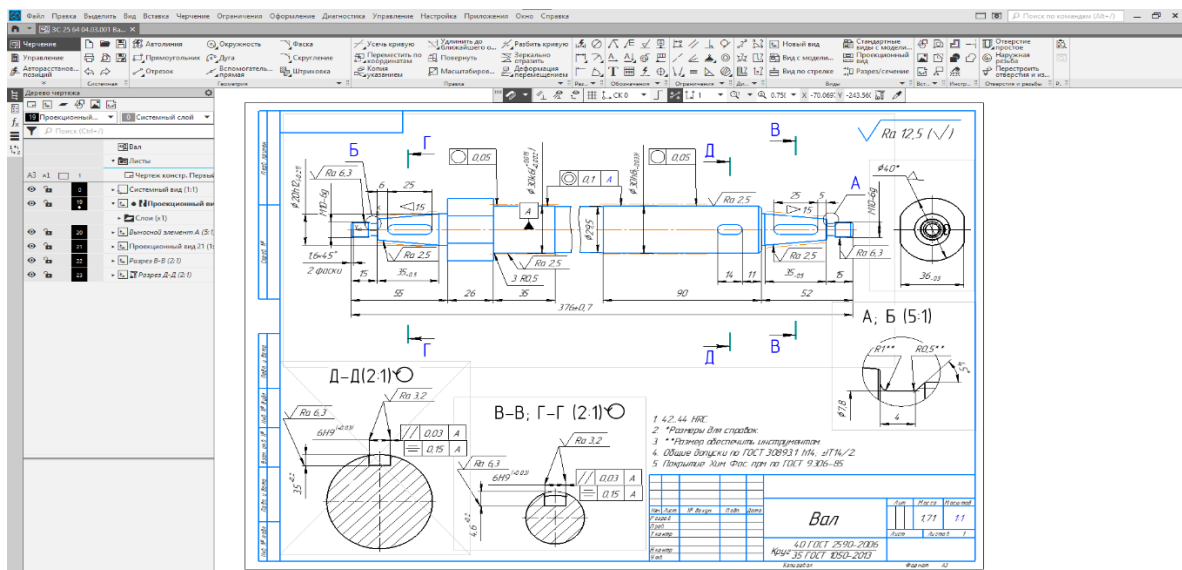


Рисунок 1 - Чертёж вала в программе «КОМПАС»

Так же, программа предназначена для автоматизации проектирования и построения трехмерных моделей валов, втулок, элементов механических передач и различных конструктивных элементов в среде КОМПАС-3D (рисунок 2).

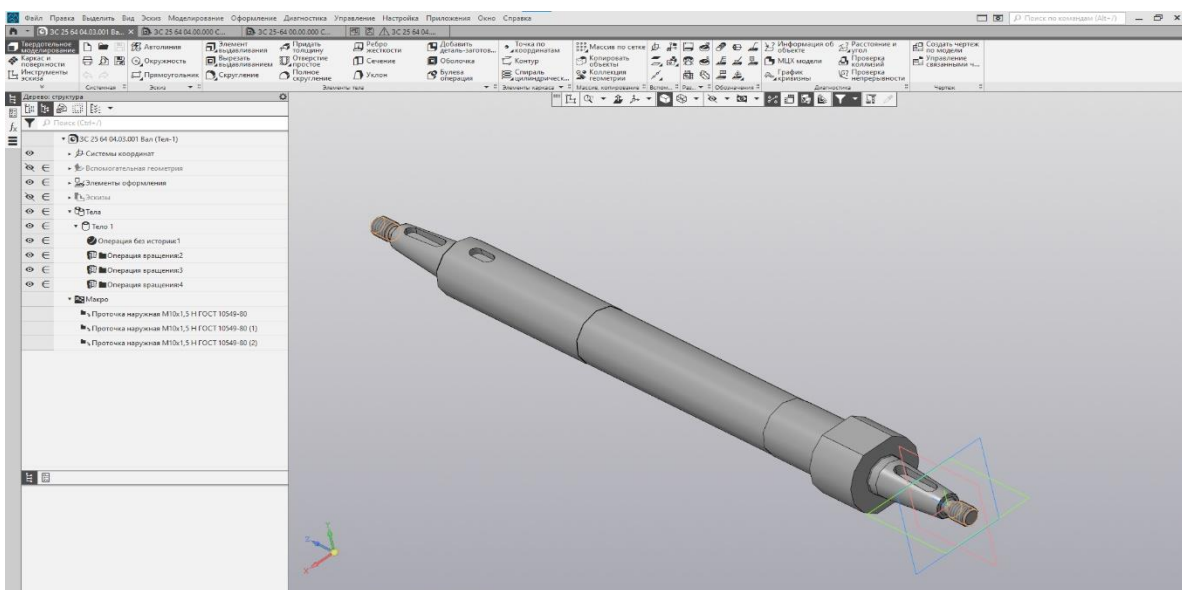


Рисунок 2 - Вал в «КОМПАС-3D»

Встроенные расчетные модули, каталоги материалов и стандартных изделий помогают инженеру создавать модели узлов и механизмов в кратчайшие сроки. Результаты проектировочных и прочностных расчетов могут быть представлены в виде отчетов и сохранены в любом удобном формате. Пользователям доступны геометрические и проектные расчеты, расчеты передач на прочность и долговечность, а также оптимизационные расчеты.

Возможности программы SOLIDWORKS® для проектирования помогают быстрее разрабатывать сложное оборудование и тестировать его на прочность, износостойкость и производительность. Это позволяет опережать конкурентов и создавать более совершенные машины с меньшими затратами.

SolidWorks (солидворкс, отангл. Solid — твёрдое тело и англ. works — работать) — программный комплекс САПР для автоматизации работ промышленного предприятия на

этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и назначения.

Основной продукт SolidWorks включает инструменты для трехмерного моделирования, создания сборок, чертежей, работы с листовым металлом, сварными конструкциям и поверхностями произвольной формы. В SolidWorks при помощи профессиональных инструментов можно смоделировать трехмерные модели сложных деталей, также пользоваться уже готовыми базовыми заготовками и деталями.

При помощи этой программы на этапе конструкторской подготовки производства можно решить такие задачи как: 3D проектирование изделий (деталей и сборок) любой степени сложности с учетом специфики изготовления (рисунок 3 а,б).

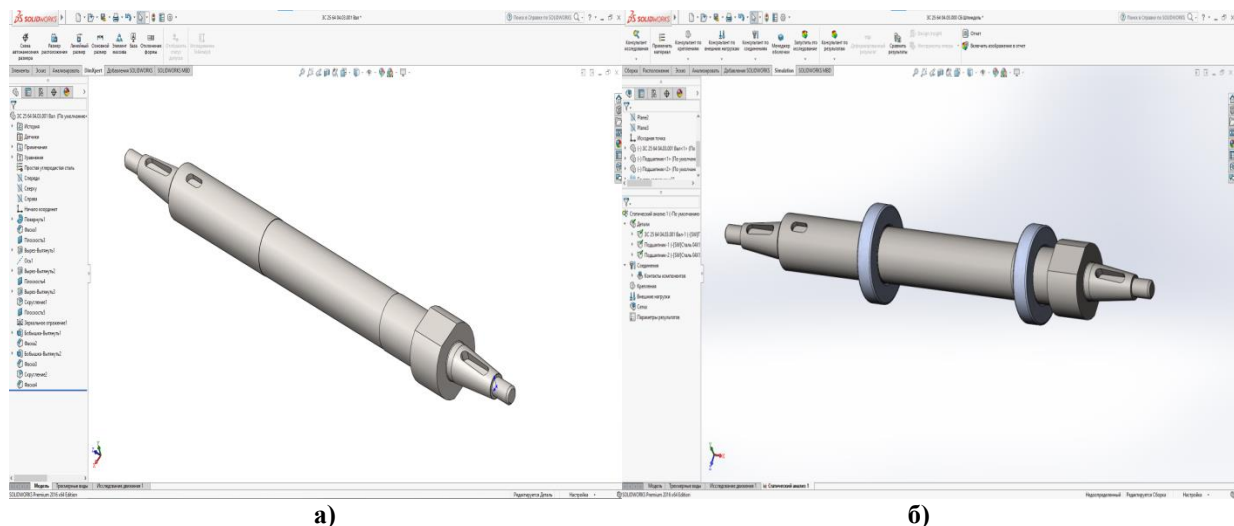
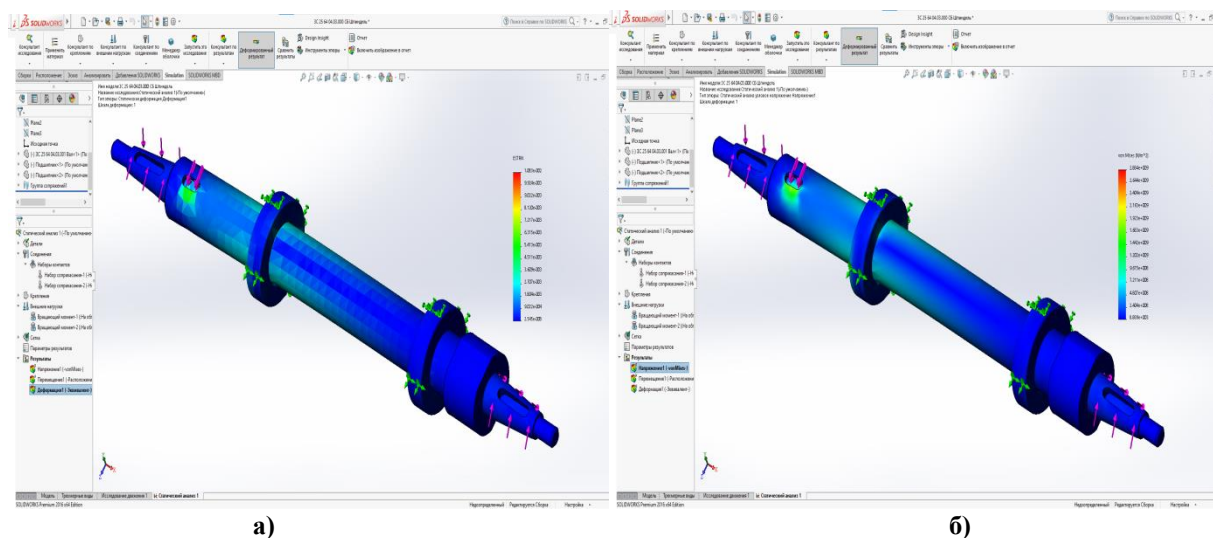


Рисунок 3 - Проектирование деталей в программе SolidWorks: а-вал, б-вал с подшипниками.

Далее возможно создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ, дизайн, реверсивный инжиниринг, инженерный анализ (прочность, устойчивость, теплопередача, частотный анализ, линейное и нелинейное приближение, динамика механизмов) (рисунок 4а, б, в, г).



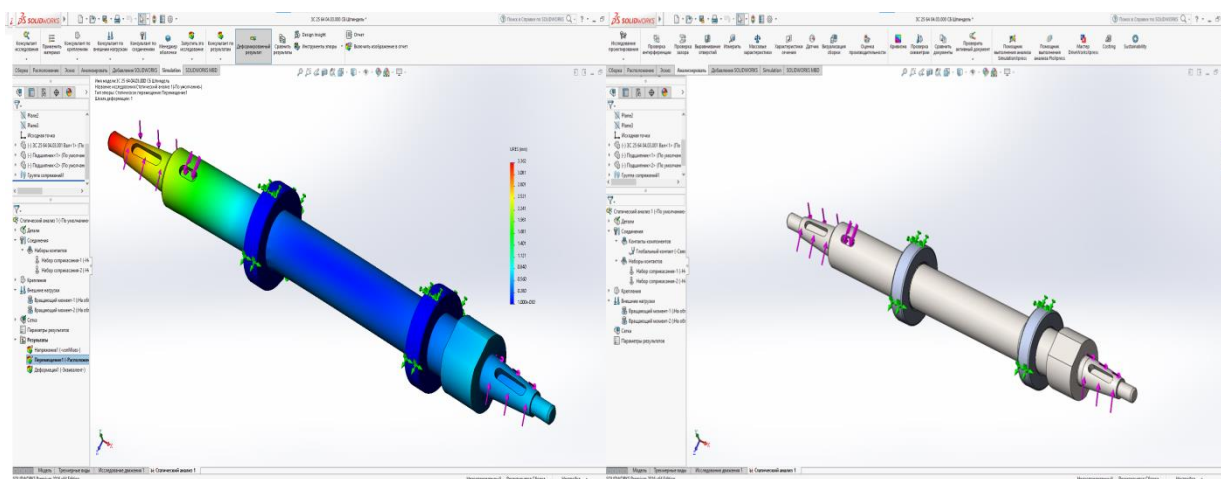


Рисунок 4 - Результат анализа: а – деформация, б- напряжения, в- перемещения, г-распределение действующих на вал сил

На этапе технологической подготовки производства решаются задачи: анализ технологичности конструкции изделия, анализ технологичности процессов изготовления и многое другое (рисунок 5).

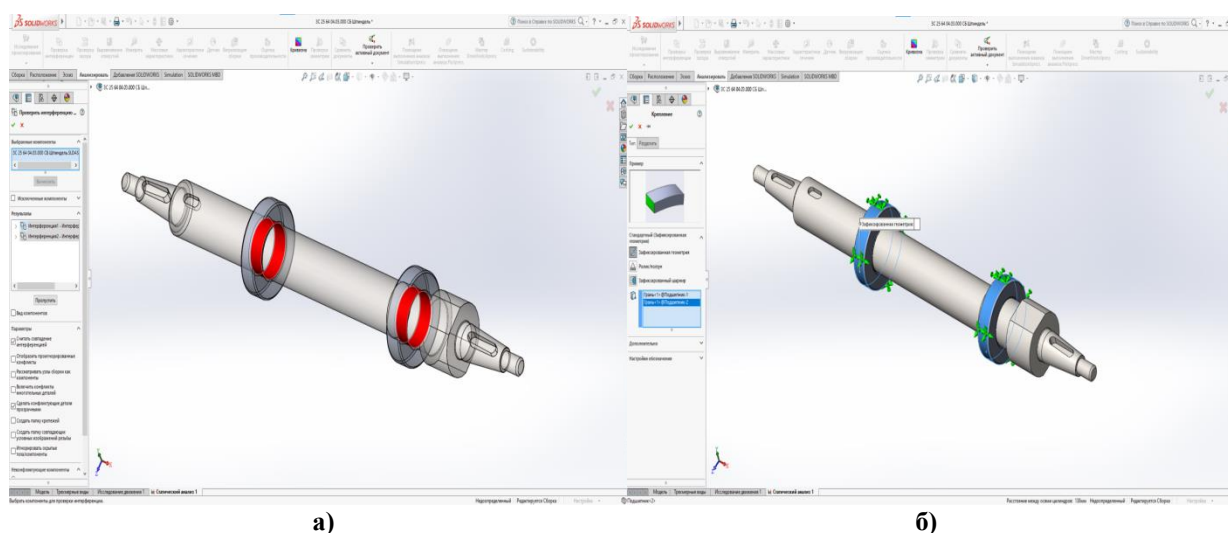


Рисунок 5 - Технологичность конструкции изделия: а- проверка соприкосновения деталей в сборке, б-фиксация подшипников.

Подводя итоги, можно сказать, что программа SolidWorks заслуженно считается одной из самых популярных систем автоматизированного проектирования, полностью удовлетворяющей потребности разнообразных промышленных организаций. Это мощный инструмент для комплексного проектирования изделий и компонентов любой сложности, в том числе и для промышленного дизайна. В среде 3D печати SolidWorks остается наиболее распространенным приложением для создания технических компонентов и твердотельного моделирования в целом.

Библиографический список

1. АСКОН – комплексные решения для автоматизации инженерной деятельности и управления производством. CAD/AEC/PLM. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://ascon.ru/>
2. Зиновьев Д.В., Основы проектирования в SOLIDWORKS 2016 / Дмитрий Зиновьев – 1-е изд. 2017. Редактор: Азанов М.И. – 276 с.

3. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 336 с.

© Ралдугин Р. В., Ковалёв К. Ю., 2022

УДК 67

СОВРЕМЕННЫЕ АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕРЕВОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. В. Буглаев*, **С. А. Кавычкин**, **Н. А. Федосеев**, **З. К. Лесина**
Научный руководитель - С. Н. Мартыновская

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: stepa-byglaev@mail.ru

В статье представлены современные аддитивные технологии, их применение во многих областях. Рассмотрены примеры применения 3D-технологий, в том числе в деревоперерабатывающей промышленности.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-технологии, деревоперерабатывающая промышленность.

MODERN ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE WOOD PROCESSING INDUSTRY

S. V. Buglaev*, **S. A. Kavychkin**, **N. A. Fedoseev**, **Z. K. Lesina**
Scientific adviser - S. N. Martynovskaya

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: stepa-byglaev@mail.ru

The article presents modern additive technologies and their application in many fields. Examples of the use of 3D technologies, including in the wood processing industry, are considered.

Keywords: additive technologies, 3D technologies, wood processing industry.

Аддитивные технологии (англ. Additive Manufacturing, AM, от add – добавлять) – обобщенный термин, описывающий процесс изготовления изделия на основе CAD-модели путем послойного добавления материала. Создание (или, иначе говоря, выращивание) детали происходит за счет последовательного формирования слоев материала, их фиксации или отверждения и соединения между собой.

Использование 3D-принтеров и 3D-сканеров открыло уникальные возможности воспроизведения сложнейших пространственных форм, объектов, инженерных конструкций и механизмов во многих областях, среди них: авиакосмическая индустрия; автомобилестроение; машиностроение; судостроение; нефтегазовая промышленность; энергетика; строительство; наука и образование; медицина; ювелирное дело [1].

3D-технологии ведут свою историю с 1986 года, когда была запатентована первая коммерческая стереолитографическая машина (SLA), разработанная в компании 3D Systems. До середины 1990-х основной сферой их применения были НИОКР для оборонной промышленности. Когда началось производство лазерных 3D-принтеров, они стоили чрезвычайно дорого, к тому же существовало довольно мало модельных материалов. С развитием систем автоматизированного проектирования был достигнут невероятный прогресс и в технологиях 3D-печати, и сегодня практически нет такой сферы материального производства, где бы активно не использовались аддитивные машины [2].

В деревообрабатывающей промышленности можно рассмотреть на примере разработки технологии производства пеллет. Пеллет – это твердотопливный материал, который применяется в теплоэнергетике, отоплении жилых и производственных помещений, и в последнее время набирает популярность среди жителей частных домов. Сырьем для его производства являются: отходы деревообрабатывающей промышленности (опилки, щепки, ветки, кора деревьев, горбыли). Прессуются они под действием давления и высокой температурой (250-300 °С). Частишки древесины и других сырьевых материалов под давлением и температурой склеиваются при помощи природного вещества лингина, которое содержится в самом сырье [3]. Основные технологические этапы производства топливных пеллет можно разрабатывать в специальных программах (рисунок 1).

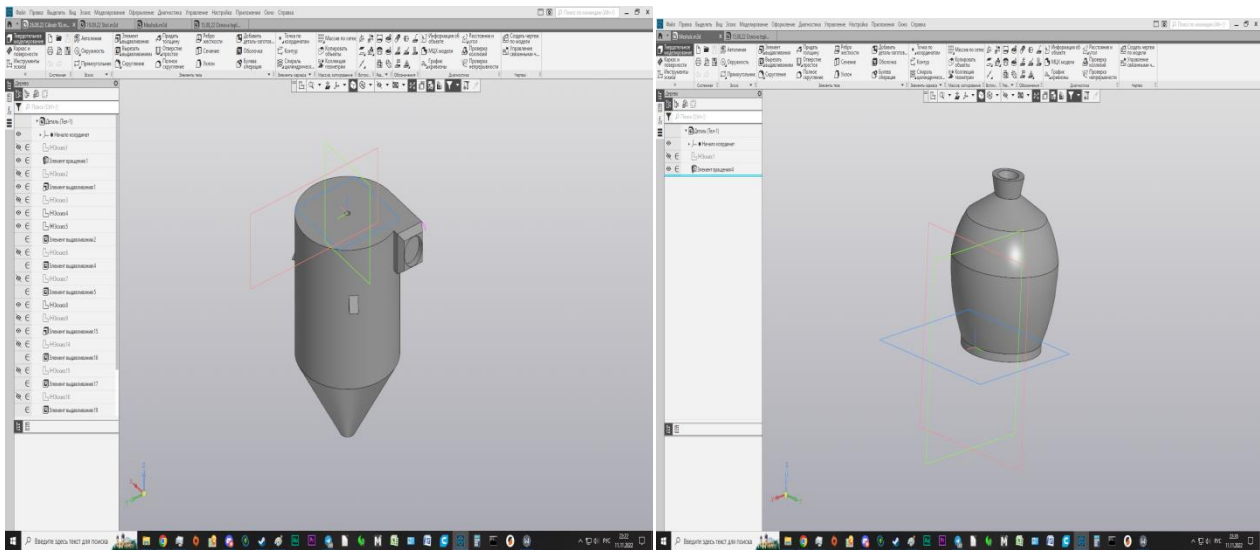


Рисунок 1 – Детали технологического процесса производства пеллет

Далее наглядно воспроизводить в масштабе технологический процесс с помощью 3D-печати (рисунок 2).

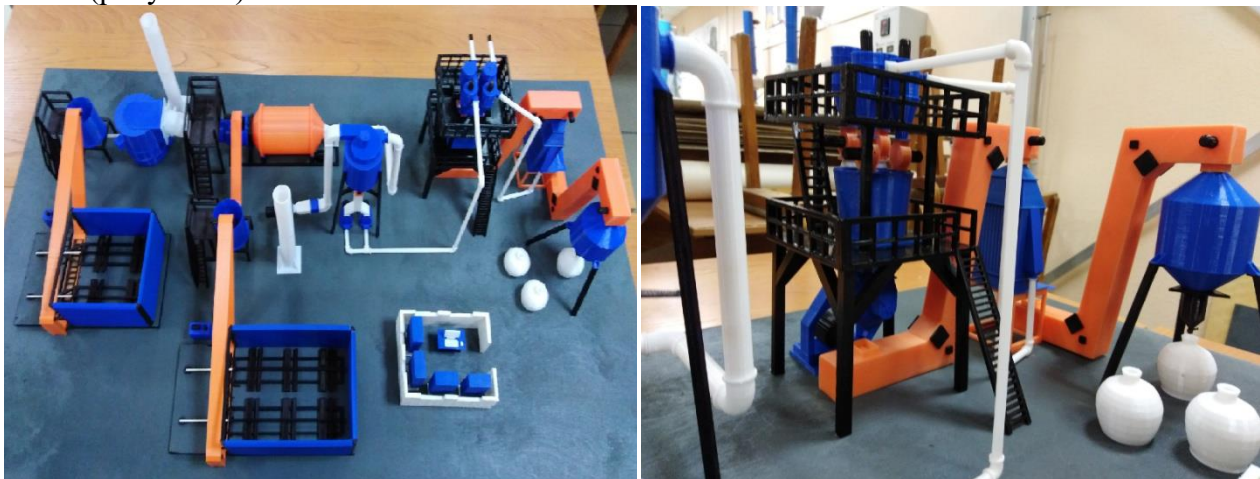


Рисунок 2 – Макет технологического процесса производства пеллет

Представленные примеры показывают, как 3D-технологии активно интегрируются в современное производство, обладая рядом технических преимуществ, но можно еще рассмотреть применение в другой плоскости – экономической. Представьте конвейер по производству крупносерийной продукции. Зачастую простой такой конвейерной линии обходится в сумму от 5000 до 20000 долларов в час. Вероятность и время простоя линии напрямую зависит от количества сложных сборных деталей с множеством прокладок, резинок и прочих расходных элементов. Одним из возможных решений этой задачи могло

бы быть применение 3D-принтеров, на которых можно либо оперативно изготовить необходимые детали по цифровым моделям из каталога самых часто заменяемых узлов, либо даже решить задачу замены сложных составных (менее надежных) деталей на цельносозданные (более надежные).

Для максимально полного использования возможностей интенсивно развивающихся аддитивных технологий необходимо применять новые подходы к проектированию деталей, один из которых основан на принципах топологической оптимизации. Есть несколько определений термина, и сформулировать его можно так: топологическая оптимизация – процесс изменения конструктивных элементов с целью снижения массогабаритных характеристик и улучшения функциональных особенностей без снижения прочности и долговечности изделия [1].

Описываемый подход имеет особо важное значение для аэрокосмической отрасли. Во-первых, экономятся дорогостоящие материалы, во-вторых, снижение массы и увеличение прочности позволяют существенно увеличить грузоподъемность.

Подводя итог, можно сказать, что при современной скорости научно-технического прогресса, с одной стороны, будет появляться все больше и больше отраслей, где применение аддитивных технологий будет оптимальным, а с другой стороны, они сами станут менее затратными и более совершенными, и, таким образом, будет расширяться сфера их применения.

Библиографический список

1. Возможности 3D-технологий [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://blog.iqb.ru/additive-technologies-in-production>
2. Области применения 3D-технологий в современном мире [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://ucvt.org/blog/oblasti-primeneniya-3d-tehnologij-v-sovremennom-mire>
3. Технология производства и применение пеллет [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://slarkenergy.ru/bio/pellety-proizvodstvo.html>

© Буглаев С. В., Кавычкин С. А., Федосеев Н. А., Лесина З. К., 2022

УДК 67

ОБ АНАЛИЗЕ НЕКОТОРЫХ ПРОГРАММ В ПРИКЛАДНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Д. Е. Ворошилов, С. Н. Мартыновская*

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: martynovskaiasn@sibsau.ru

В статье приведён краткий обзор программ "Auto CAD" и "Компас 3D". Определены их технические возможности, достоинства, недостатки. На основе результатов анализа сделан вывод.

Ключевые слова: прикладное моделирование, программа, "Auto CAD", "Компас 3D", анализ, конструирование, проектирование.

ON THE ANALYSIS OF SOME PROGRAMS IN APPLIED MODELING

D. E. Voroshilov, S. N. Martynovskaya*

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

E-mail: martynovskaiasn@sibsau.ru

The article provides a brief overview of the "Auto CAD" and "Compass 3D" programs. Their technical capabilities, advantages and disadvantages are determined. Based on the results of the analysis, a conclusion is made.

Keywords: applied modeling, program, "Auto CAD", "Compass 3D", analysis, construction, design.

Большинство студентов, обучающихся в технических вузах на инженерных направлениях, связанных с машинами, оборудованием, сталкиваются с необходимостью выполнять чертежи. На первом курсе рассказывают ГОСТ всех прямых, рамок и в целом составляющих чертежей. После, переходят к практике, вычерчиванию деталей в разных проекциях.

В настоящее время чертить «от руки» практически перестали, так как существует множество платформ с разным интерфейсом и возможностями. На начальном этапе обучения знакомят с программой "Auto CAD". Позже, знакомят с более современными способами выполнения чертежей, но уже в других программах, например - "Компас 3D".

Обе программы являются системами проектирования. Попытаемся выяснить, какая принципиальная разница в них и в какой из них работать удобнее. Проведем сравнительный анализ. Выясним, какие плюсы и минусы имеют программы "Auto CAD" и "Компас 3D"

Рассматривая программу "Компас 3D", отметим, что она является российской системой трехмерного проектирования, широко используется для проектирования изделий основного и вспомогательного производств (рис. 1).

Преимущество Компас-3D в автоматизации изменений частей модели в соотношении с их изображением на чертеже. То есть она автоматически создает ассоциативные виды трехмерных моделей. Такие, как разрезы, местные виды, сечения и т.д. Все данные, имеющиеся в чертеже (масса, наименование, обозначения) соотносятся с данными из 3D-модели. Также, программа поддерживает наиболее распространенные форматы трехмерного

проектирования (ACIS, STEP, DXF, IGES, DWG). Это способствует свободному обмену данными между разными организациями и в работе с заказчиками.

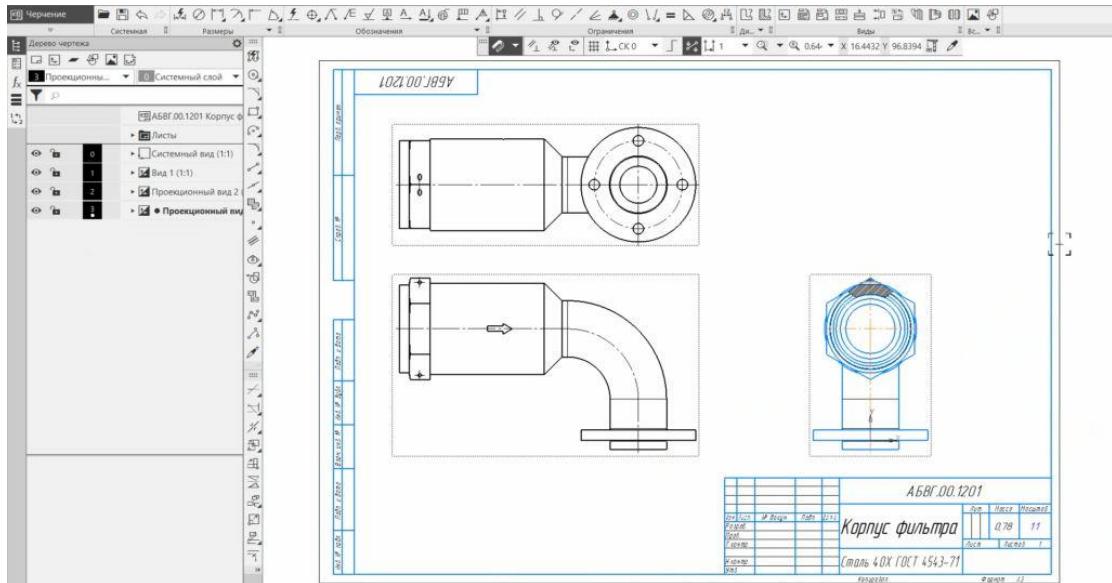


Рисунок 1 – Чертеж в "Компас 3D"

Любой чертежный или трехмерный объект сопровождается пакетом необходимой документации. В этот пакет и входит спецификация. По стандарту она оформляется в виде таблицы и содержит информацию о составе объекта и его отдельных характеристиках. В рассматриваемой программе редактор спецификаций позволяет настраивать ассоциативную связь между документацией и объектами сборочного чертежа или частями сборки. Каждая отметка в спецификации автоматически изменяется при определенных изменениях связанного с ней объекта. Также в системе имеется автоматическое отслеживание удаленного объекта в связке и возможность изменения геометрических размеров.

Далее рассмотрим преимущества и недостатки программы. Из плюсов хотелось отметить: сравнительно невысокие системные требования; возможность создания ассоциативных чертежей трехмерных моделей; отлично подойдет для создания простых деталей и сборок и большого объема работы, так как имеется большое количество стандартизированных узлов; обширная библиотека; интуитивный интерфейс (хотя здесь вопрос привычки и вкуса). Из минусов стоит выделить такие: дорогая лицензия; нет автоматического отображения взаимосвязи примитивов; нет связи размерных линий на чертеже с геометрией модели.

Анализируя "Auto CAD", отметим, что это уже американское приложение компании "Autodesk" которая была выпущена раньше российского аналога "Компас-3D" и выглядит на первый взгляд сложнее. И все же, какие возможности может предоставить нам данное приложение: позволяет прикреплять материалы к 3D-объектам, а также добавлять источники света к сценам; возможность создавать плоскости сечения они используются для получения поперечного сечения трехмерных объектов; позволяет контролировать внешний вид текстов на 2D чертежах; имеет мощную функцию 2D-рисования, которая позволяет пользователям связывать таблицы в своих 2D-чертежах с данными в электронных таблицах Microsoft Excel; позволяет пользователям импортировать данные из PDF-файлов в чертежи, созданные ими с помощью программы (рис. 2).

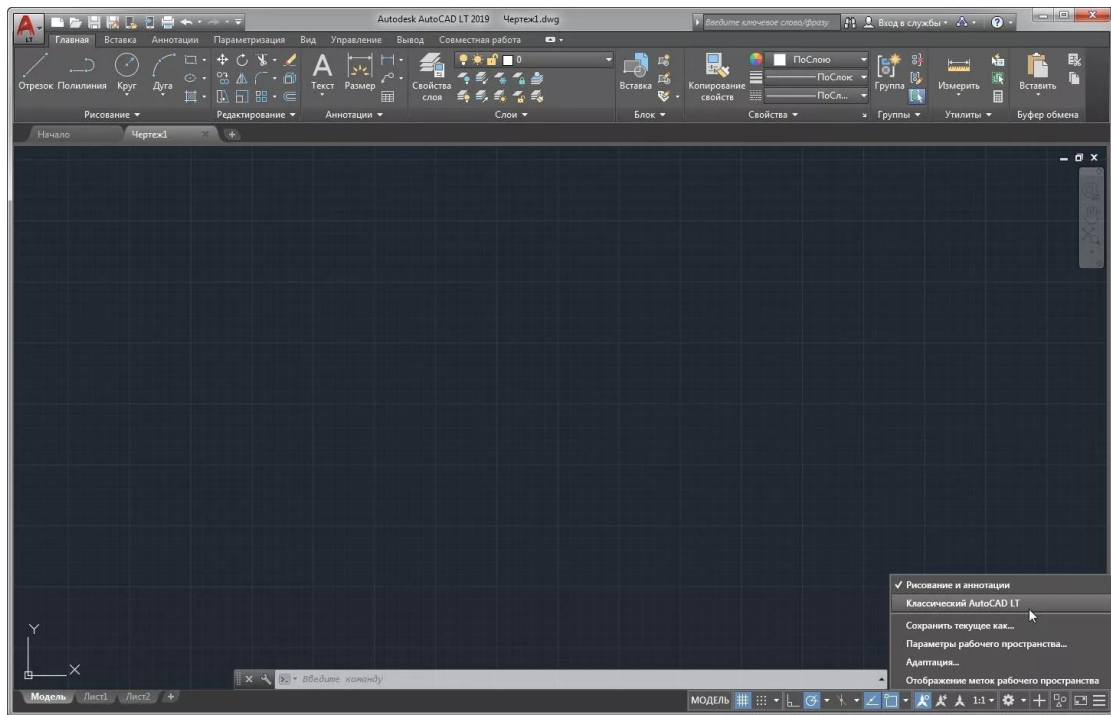


Рисунок 2 – Рабочее окно в AutoCAD

Что можно выделить из минусов. Это более требовательное приложение нежели Компас. Нет ГОСТов, но это не сильно критично. Сложность приложения - при переходе к этой программе возникнут проблемы в ориентировании в самом приложении.

В заключении отметим, что если сравнить эти приложения, то с уверенностью можно сказать, что Компас более простой в использовании, имеет нормы ГОСТ и в целом не требует много железа чтобы в нем работать. Можно выделить Компас для обучения и использования при создании не крупных проектов. Что касается AutoCAD, то он сложнее, более требовательный как в железе, так и в финансах для компании, которая приобретает данную продукцию, но эти затраты являются оправданными. Хорошая реализация деталей и проектов, уверенный функционал, ежегодные обновления, которые делают рутину инженера в приложении более удобными и экономичными по времени. Простота не является хорошим качеством, но и сложность не дает больших плюсов. Все зависит от того, как часто вы работаете в приложениях данного формата. Если вы много чертите, что является основной рутинной, лучше освоить AutoCAD. Если же вы не тратите много времени для черчения в приложении, то лучше выбирайте Компас с более простым интерфейсом.

Библиографический список

- 1 Большаков, В.П. 3D-моделирование в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor, T-Flex: Учебный курс / В.П. Большаков, А.Л. Бочков, А.А. Сергеев. – Санкт-Петербург: Питер, 2011. - 336 с. - ISBN 978- 5-49807-774-1. - Текст : непосредственный.
- 2 Большаков, В.П. Основы 3D-моделирования. Изучаем работу в AutoCAD, КОМПАС-3D, SolidWorks, Inventor / В.П. Большаков, А.Л. Бочков. – Санкт-Петербург: Питер, 2013. – 304 с. - ISBN 978- 5-496-00041-3. - Текст : непосредственный.
- 3 Чагина, А. В. 3D-моделирование в КОМПАС-3D версий v17 и выше. Учебное пособие для вузов / А. В.Чагина, В. П. Большаков. – Санкт-Петербург: Питер,, 2021. - 256 с. - ISBN 978- 5-4461-1713-0. - Текст : непосредственный.

© Ворошилов Д. Е., Мартыновская С. Н., 2022

УДК 67

ПРИМЕНЕНИЕ 3D ПРИНТЕРА В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ

К. Ю. Ковалёв*, С. Н. Мартыновская

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: kovalev.k.u@mail.ru

История появления 3D принтеров в автомобилестроении, эволюция их распространения и создания, возможности использования 3D принтеров, а также их достоинства и недостатки.

Ключевые слова: 3D принтер, автомобилестроение, технология печати, используемые материалы, принцип работы

APPLICATION OF THE 3D PRINTER IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

K. U. Kovalev*, S. N. Martinovskaia

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: kovalev.k.u@mail.ru

The history of the appearance of 3D printers in the automotive industry, the evolution of their distribution and creation, the possibilities of using 3D printers, as well as their advantages and disadvantages.

Keywords: 3D printer, automotive industry, printing technology, materials used, working principle.

Изучая историю возникновения 3D технологий, в автомобилестроении была выявлена одна из передовых технологий по созданию объектов и предметов в машиностроении (рис.1). История появления 3D принтер начинается в 1988 году. Под руководством Чарльза Халла было запущено производство 3D принтеров компанией «3D System Corporation».

Станок, с числовым программным управлением, который служит для создания изображений в трёхмерном измерении. Данная технология дала большие возможности людям во многих сферах, одной из самых распространённых, стало автомобилестроение.

Безусловно первые 3D принтеры не были совершенствами. Они имели существенный недостаток, такой как медленная скорость изготовления. При попытке увеличить скорость сильно страдало качество, так как небольшая мощность с высокой скоростью давали большую погрешность.

Большие преимущества 3D принтеры имели с начала 2008 года. Именно в то время у них появилась возможность печатать изделия из различных материалов таких, как металлических порошков, бетон и даже шоколад.

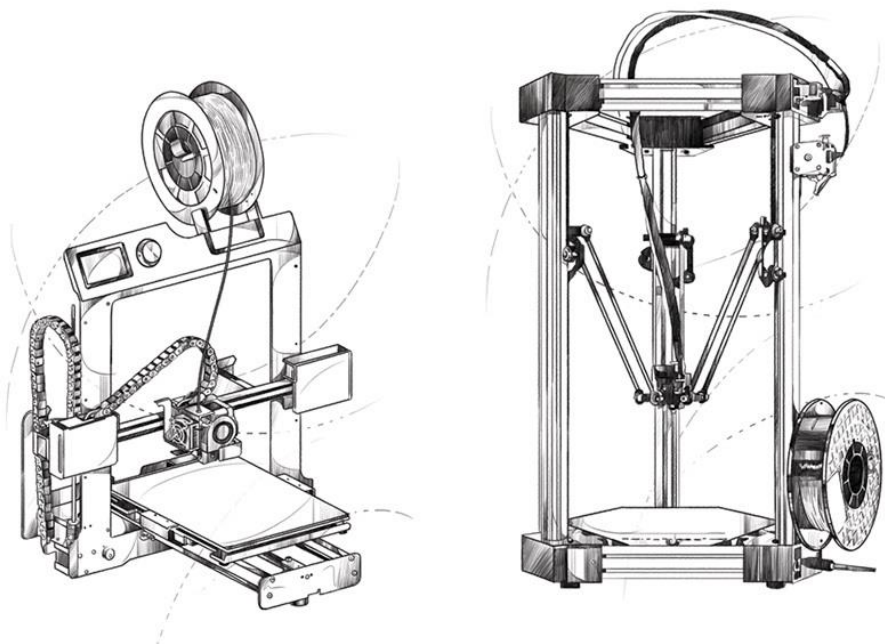


Рисунок 1 - Схема 3D принтера

В автомобильной промышленности первые упоминания о 3D принтерах появились в 2009 году. За своими подсчётами компания Ford заметила, что печать деталей (рис.2) с помощью данной технологии уменьшает затраты на их изготовление. Постепенно 3D детали внедрялись и в другие огромные автоиндустрии, как BMW, Mercedes, Cadillac и другие.

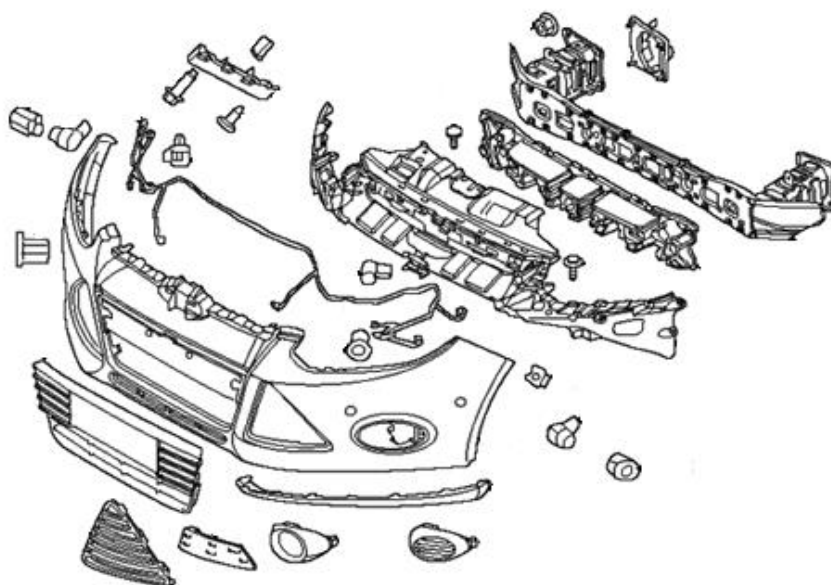


Рисунок 2 - Запчасти передней части Ford Focus

Использование 3D принтера позволило ускорить и упростить изготовление тех или иных деталей. В автомобилестроении постепенно происходило внедрение аддитивных (принцип работы основан на последовательном нанесении слоёв на материал) технологий. Сначала 3D принтеры использовались в качестве изготовления функциональных прототипов. Изготовление прототипов по данной технологии оказалось намного выгодным по времени и затрачиваемым средствам.

Первоначально основным материалом для печати в автомобильной промышленности был металл. Позднее появился новый материал - полимер полиэфирэфиркетон, или ПEEK. За

счёт поликристаллической структуры увеличивается износостойчивость, термостойкость, прочность и химическая инертность. Помимо этого, у деталей из РЕЕКа меньше вес, нежели у металлических, а это позволяет заметно сократить расход топлива и уменьшить выхлопы.

Все чаще в качестве материала для 3D печати используют алюминий. Изделия из него нетяжелые, владеют неплохой стойкостью к коррозии на открытом воздухе, а также он обладает сравнительно низкой себестоимостью. Нейлон имеет высокие показатели прочности к весу. Также он имеет низкий коэффициент трения, достаточно гибкий, устойчив к коррозии и может выдерживать высокие механические нагрузки.

Безусловно, классификация 3D принтеров очень большая. Их можно группировать по разным показателям. В нашей статье вы можете увидеть основную классификацию принтеров по технологии печати (табл. 1).

Таблица 1

Классификация 3D принтеров по технологии печати

Название 3D принтера	Производитель	Материал	Технология	Объём камеры	Толщина слоя	Мощность лазера
3D принтеры по металлу						
SL M Solutions SLM 280 2.0	SLM Solutions	металлические порошки	SLM-лазерное плавление металлического порошка	2 80x280 x365 мм	20— 75 мкм	400 / 700 Вт
Ac onity 3D AconityMI DI+	Aconity 3D	металлические порошки	L-PBF	2 50 x (B) 250 мм	10 мкм	1-4 луча 400 / 500 / 700 / 1000 Вт
3D Systems ProX DMP 300	3D Systems	металлические порошки	Direct Metal Printing	2 50x250 x330 мм	от 10 до 100 мкм	500 Вт
DM G MORI Lasertec 12 SLM	DMG MORI	металлические порошки	SLM	1 25x125 x200 мм	20- 100 мкм	200-400 Вт
SLA- лазерная стереолитография						
3D Systems ProJet 6000	3D Systems	Работает с 5 патентованными материалами VisiJet (жесткие, гибкие, прозрачные, высокотемператур ные)	стереолит ография (SLA)	2 50x250 x250 мм	50 мкм/ 100 мкм/ 125 мкм	750 Вт
3D Systems ProJet 7000	3D Systems	4 запатентованных материала VisiJet: SL Flex, SL Tough, SL Clear и SL Hi- Temp.	SLA (фотополимер)	3 80x380 x250 мм	50 мкм/ 100 мкм/ 125 мкм	750 Вт
3D Systems ProX 800	3D Systems	ProX 800 использует для работы материалы серии Accura: Accura 25 Plastic Accura 48HTR Plastic Accura 55	SLA (фотополимер)	6 50x750 x550 мм	Длин а волны 354,7 нм	1450 мВт (1000 мВт у поверхности смола, при нормальном состоянии оптической системы)

		Plastic Accura 60 Plastic Accura Amethyst Accura Bluestone Accura CastPro				
3D Systems ProX 950	3D Systems	Accura CastPro Accura CeraMAX Composite Accura ClearVue Accura e- Stone Material Accura Peak Accura Sapphire Accura Xtreme White 200 Accura Xtreme	SLA (фотополимер)	1 500x75 0x550 мм	0.05 - 1.15 мм	200 – 240 Вт
SLS - спекание порошковых материалов						
Far soon Flight HT403P	Farsoon	порошки (полиамиды и пластик)	SLS - спекание порошковых материалов	4 00x400 x540 мм или 400x40 0x450 мм	60 - 300 мкм	500 Вт, волоконный
Far soon eForm	Farsoon	порошки (полиамиды и пластик)	SLS - спекание порошковых материалов	2 50x250 x320 мм	60 - 300 мкм	30 Вт
3D Systems sPro 230	3D Systems	DuraForm FR 100 Plastic DuraForm HST Composite DuraForm EX Natural Plastic DuraForm EX Black Plastic DuraForm GF Plastic DuraForm PA Plastic DuraForm Flex Plastic CastForm PS Plastic	SLS - спекание порошковых материалов	5 50x550 x750 мм	от 80 мкм	70-200 Вт
3D-машины для лазерной наплавки металла						
DM 3D DMD 105D	DM3D	Все типы сталей, чугун, никель, медь, кобальт, титан	DMD	3 00x300 x300 мм	0,2- 1,2 мм	1-5 кВт
Inss Tek MX-	InssTek	Порошки любых металлов	DMD	4 50x450		1 кВт

450				x350 мм		
Tru mpf TruLaser Cell 3000	Trumpf	Все виды металла	Сварка, резка, наплавка	4 20x420 x220 мм	1600 x 2840 x 2645 мм	8000 Вт
DM 3D DMD 44R/66R	DM3D	Стандартны е порошковые материалы: Fe-основа: (H13, P20, P21, S 7 и др.) Co-основа: (Stellite 6, Stellite 21 и др.) Ni- основа: (IN 718, IN 625 и др.) Ti- основа: (CP Ti, Ti- 6Al-4V) Стандартны е материалы подложки: Все типы сталей, чугун, никель, медь, кобальт, титан	DMD	1 425×10 20×102 0 или 2330×1 670×16 70 мм	0,2- 1,2 мм	1-5 кВт
Изготовления песчаных литейных форм						
Ex One S- Print Furan	ExOne	Литейный песок: кварц, корунд	Binder Jetting	8 00x500 x400 мм	0,28– 0,50 мм	400B
Vo xelJet VX4000	VoxelJet	Литейный песок: кварц, корунд	Binder Jetting	4 000x20 00x100 0 мм	0,3 мм	
FH ZL PCM1200	FHZL	Кварцевый песок, кальцинированны й песок, синтетический песок, керамический песок и др	PCM	1 200x10 00x600 мм	0,2- 0,5 мм	

Таким образом, можно выделить ряд преимуществ 3D принтера в автомобилестроении:

1. Возможность создания деталей по готовым чертежам;
2. Непосредственное строительство деталей по обломкам. Технологии настолько шагнули вперёд, что теперь появилась возможность изготавливать целую деталь через часть;
3. Скорость производства деталей. За счёт простого и быстрого способа конструирования увеличивается объём создаваемых деталей;
4. Увеличение гибкости проектирования. Данная технология позволила увеличить тестирование за счёт быстрого изменения неподходящих во время тестирования частей;
5. Создание наиболее сложных по своей геометрической структуре деталей;
6. Снижение массы деталей, которая позволяет сокращать расход топливной жидкости, а уже это способствует уменьшению выделения в атмосферу выхлопных газов;
7. Качество и надёжность. Оно обусловлено именно количеством тестирований. Ведь именно большое количество тестирований позволит более лучше усовершенствовать деталь, сделать её универсальной, без вероятности на погрешность;

8. Точность копий.

Различные технологии 3D печати:

1. Пользуясь EBM и DED-технологиями, можно получить металлические детали, качество которых будет превосходить качество литья. Можно делать новые детали, восстанавливать поломанные, улучшать характеристики, менять состав материалов и т.д. Точность – до 140нм;
2. более простые SLM и DMLS – качество металлических элементов соответствует литью и штамповке, точность – около 20 микрон;
3. для небольших производств подходит Binder Jetting – эта технология гораздо дешевле и работает с любыми материалами.

Несмотря на то, что 3D технологии очень сильно облегчили человечеству жизнь и имеют большое количество плюсов, у них также имеется и ряд своих определённых недостатков, которые необходимо знать каждому, кто использует в своей практике 3D принтеры.

Один из самых главных минусов - это ограничение в габаритах. В большинстве своём, принтеры имеют заводские «рамки», которые ограничивают использование принтера для изготовления той или иной детали.

Вторым, не менее важным минусом, является ограничение по использованию материалов. Независимо от того, что с каждым годом увеличивается список материалов, которые можно использовать в 3D печати, он всё равно будет оставаться неполным, так как некоторые природные материалы невозможно использовать в печати без изменения их свойств.

Из всего вышесказанного можно прийти к выводу, что появление 3D печати во многом облегчило жизнь. Его появление повлекло за собой открытие новых специальностей, новых возможностей, которых тяжело было бы добиться без столь удобного новшества. Сейчас тяжело представить изготовление автомобилей, сельхозтехники, космических кораблей без использования 3D печати. Ведь современные технологии плотно вошли в нашу жизнь. Но как бы хороша не была та или иная технология, у неё всегда будут находиться и определённые минусы. Крайне важно знать все возможности и недостатки той технологии, которая будет использоваться в твоей повседневной жизни. Машина- помощник в жизни человека, но при неправильном использовании может нанести непоправимый вред.

Библиографический список

1. Афиша «Революция в 3D технологиях в автомобильной промышленности» [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://knaufautomotive.com/ru/revolyutsiya-v-3d-tekhnologiyakh-v-avtomobilnoy-promyshlennosti/>
2. Афиша «Аддитивное производство и 3D-печать: что нужно знать в первую очередь?» [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://blog.iqb.ru/3d-printing-automotive-industry/>
3. Афиша «Плюсы и минусы применения 3D-принтера» [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/3D-printers-pro-e-contra-review.html> /

© Ковалёв К. Ю., Мартыновская С. Н., 2022

УДК 621

ИНЖЕНЕРНЫЙ АНАЛИЗ ФЛАНЦЕВОГО ФИКСАТОРА ВАЛА В SOLIDWORKS SIMULATION

Р. В. Ралдугин¹, С. Н. Мартыновская²

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

¹E-mail: Raldugin.r.v@gmail.com

²E-mail: martynovskaiasn@mail.sibsau.ru

Представлен краткий обзор программы SolidWorks. Определены технические возможности. Рассмотрен структурный анализ 3D модели фланцевого фиксатора вала, используемого в вертикальном фрезерном ЧПУ станке.

Ключевые слова: SolidWorks, программа, 3D моделирование, анализ, сборка, ЧПУ, проектирование.

ENGINEERING ANALYSIS OF THE FLANGED SHAFT LOCK IN SOLIDWORKS SIMULATION

R. V. Raldugin¹, S. N. Martinovskaia²

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

¹E-mail: Raldugin.r.v@gmail.com

²E-mail: martynovskaiasn@mail.sibsau.ru

A brief overview of the SolidWorks software was made. Its technical capabilities are defined. The structural analysis of the 3D model of the flanged shaft retainer used in the vertical CNC milling machine is made. Based on the results of the analysis, a conclusion is made.

Keywords: SolidWorks, program, 3D modeling, analysis, assembly, CNC, design.

SolidWorks – это программный комплекс систем автоматизированного проектирования, предназначенный для трехмерного параметрического моделирования объектов машиностроения и смежных отраслей, а также используемый для автоматизации работ промышленного предприятия на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Данный программный комплекс предоставляет сквозной процесс проектирования, инженерного анализа и подготовки производства изделий любой сложности и назначения, включая создание интерактивной документации и возможность обеспечения обмена данными с другими системами.

Первая версия программы была выпущена в 1995 году, образованной двумя годами ранее американской компанией SolidWorks Corporation. Благодаря своим инновационным возможностям, использованию активно развивающейся на тот момент платформы Microsoft Windows, а также простоте и дружелюбности интерфейса, данной программе практически сразу удалось захватить рынок систем CAD/CAM. Успех компании не остался незамеченным и спустя 2 года она была куплена Французской ИТ корпорацией Dassault Systems.

Компания ежегодно выпускает многочисленные обновления, расширяя и оптимизируя технические возможности своего продукта, позволяя инженерам и конструкторам различных

сфер деятельности повышать производительность и быстрее создавать продукцию высокого качества.

Программный пакет SolidWorks предоставляется в трёх вариациях – стандартная версия, включающая в себя только базовые функции, а также профессиональная и премиум версии, каждая из которых в отличие от предыдущей, обеспечивает большее количество различных технических возможностей в решении поставленных задач.

К основным решаемым задачам программы можно отнести следующие функции:

На этапе конструкторской подготовки производства (КПП): 3D-проектирование моделей любой сложности с учётом всех тонкостей изготовления; создание конструкторской документации в строгом соответствии с ГОСТ; возможность проектирования различных коммуникаций, таких как электрожгуты, трубопроводы и т.д.; инженерный анализ (проведение расчётов на прочность, устойчивость, теплопередачу, динамика механизмов, частотный анализ, газо/гидродинамика, оптика и светотехника, электромагнитные расчёты, анализ размерных цепей и т.д.); экспресс-анализ технологичности на этапе проектирования; подготовка данных для ИЭТР.

На этапе технологической подготовки производства (ТПП): проектирование оснастки и прочих средств технологического оснащения; анализ технологичности конструкции изделия; анализ технологичности процессов изготовления (литьё пластмасс, анализ процессов штамповки, вытяжки, гибки и пр.); разработка технологических процессов по ЕСТД; материальное и трудовое нормирование; механообработка: разработка управляющих программ для станков с ЧПУ, верификация УП, имитация работы станка. Фрезерная, токарная, токарно-фрезерная и электроэрозионная обработка, лазерная, плазменная и гидроабразивная резка, вырубные штампы, координатно-измерительные машины.

На этапе управления данными и процессами: работа с единой цифровой моделью изделия; электронный технический и управленческий документооборот; технологии коллективной разработки; работа территориально-распределённых команд; ведение архива технической документации по ГОСТ; проектное управление; подготовка данных для ERP, расчёт себестоимости.

Одним из главных преимуществ программы SolidWorks является возможность инженерного анализа 3D модели как детали в рабочих условиях. Эту возможность обеспечивает портфель инструментов SolidWorks Simulation, позволяющий инженеру спрогнозировать поведение его разрабатываемой детали при реальных нагрузках путём виртуального тестирования CAD-моделей. Опираясь на это поведение, он может, например, снижать массу детали, без потери её прочностных характеристик, что является одной из неотъемлемых задач, решаемых в конструкторских и экономических интересах.

В качестве примера для отображения некоторых возможностей программы SolidWorks, воспользуемся сборкой 3D модели фрезерного ЧПУ станка, полностью спроектированного в этой программе.

На рисунке 1 изображён общий вид типового ЧПУ станка. Справа, более подробно, вынесен механизм фиксации направляющих оси «Z» шпиндельного узла, расположенный в подвижной каретке, перемещающейся вдоль портала станка по оси «X».

По оси Z шпиндель перемещается вдоль двух линейных направляющих валов, обозначенных на рисунке под цифрой 1. Валы неподвижно закрепляются в каретке 3 за счёт фланцевых фиксаторов 2, установленных по обе стороны валов. Такие концевые опоры вала часто применяются в общем машиностроении для надёжной фиксации круглых направляющих к плоскостям ЧПУ станков.

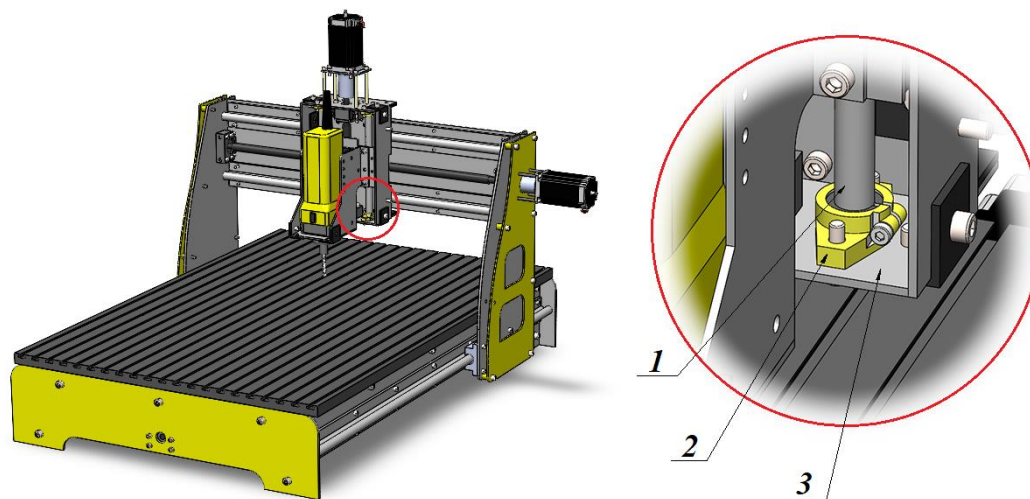


Рисунок 1 – 3D модель ЧПУ станка и рассматриваемого узла:
1 – направляющий вал, 2 – фланцевый фиксатор вала, 3 – каркас каретки

Отдельно от общей сборки, подробнее рассмотрим возможности программы на примере модели фланцевого фиксатора. Через панель дерева конструирования, располагающейся в левой части рабочей зоны (рисунок 2), SolidWorks позволяет отслеживать и при необходимости редактировать весь процесс создания изделия на каждом его этапе.

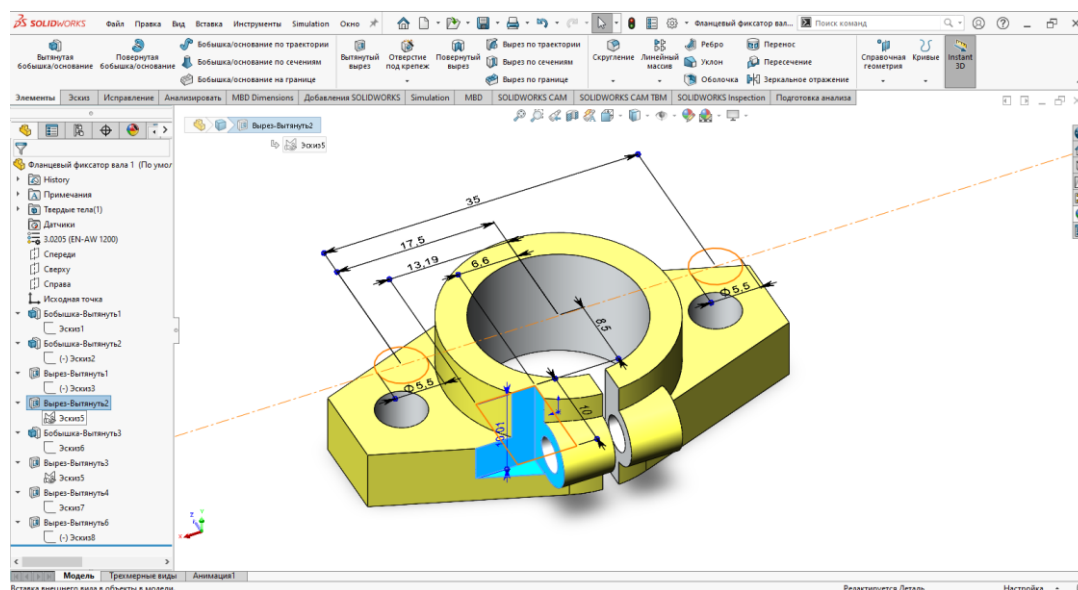


Рисунок 2 – Процесс создания трёхмерной детали

Процесс 3D моделирования выполняется с помощью эскизов. На одной из трёх основных базовых плоскостей создаётся простой эскиз будущей детали. Далее, с помощью различных операций, например, таких как выдавливание или вращение по траектории, создаётся 3D модель. При помощи данных простых операций можно быстро и удобно получать в трёхмерном виде детали любой сложности.

Также, в дальнейшем объект можно скруглить, зеркально отразить, создать необходимые тонкостенные элементы, массивы, соответствующую резьбу и выполнить остальные требуемые операции.

Здесь же, мы можем задать для детали различные механические конфигурации, например, выбрать используемый материал. В SolidWorks для удобства заложена большая

база всевозможных материалов и сплавов, имеющих характеристики, советующие различным ГОСТам.

Еще одним важным и удобным преимуществом программы является возможность автоматического создания чертежей и спецификаций по готовой трёхмерной детали или же сборке в целом (рисунок 3). При этом, все вносимые изменения в одном из документов, автоматически переносятся на другие, что обеспечивает еще более удобный, быстрый и качественный процесс конструирования изделий.

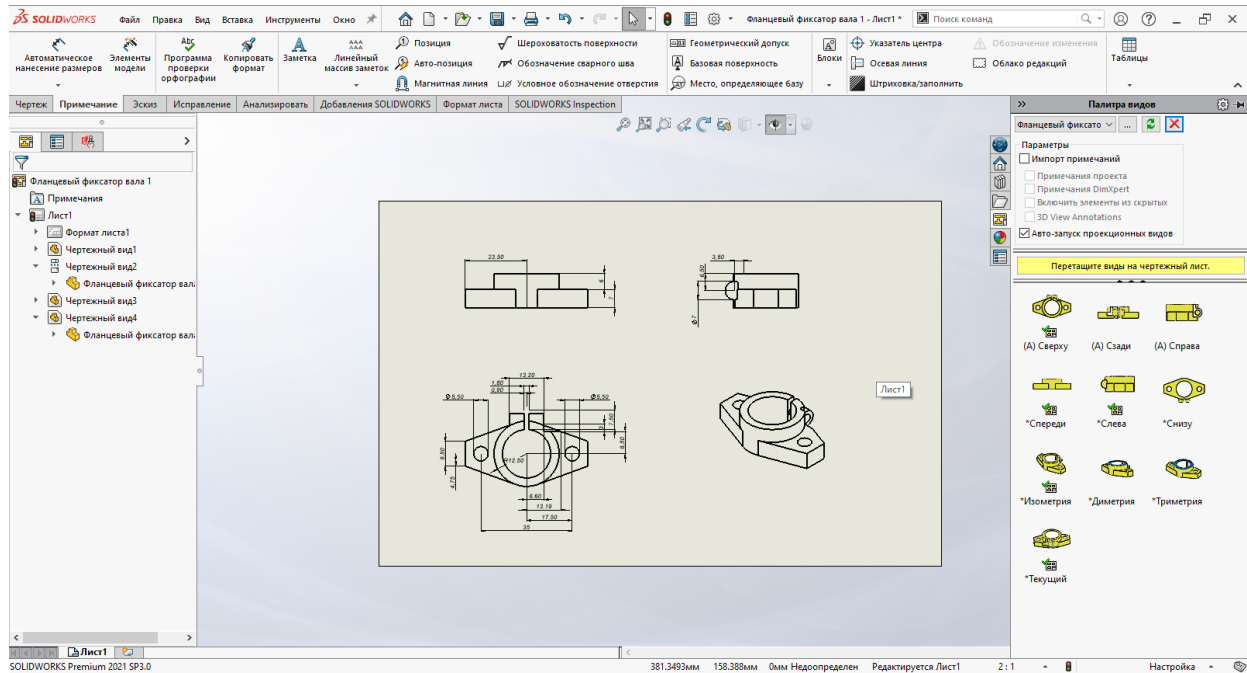


Рисунок 3 – Автоматический чертёж детали

На этапе сборки, раскрывается ещё больший потенциал программы, включающий в себя еще большее количество технических возможностей, например, создание анимации перемещения элементов сборки или принципа работы какого-либо механизма в целом.

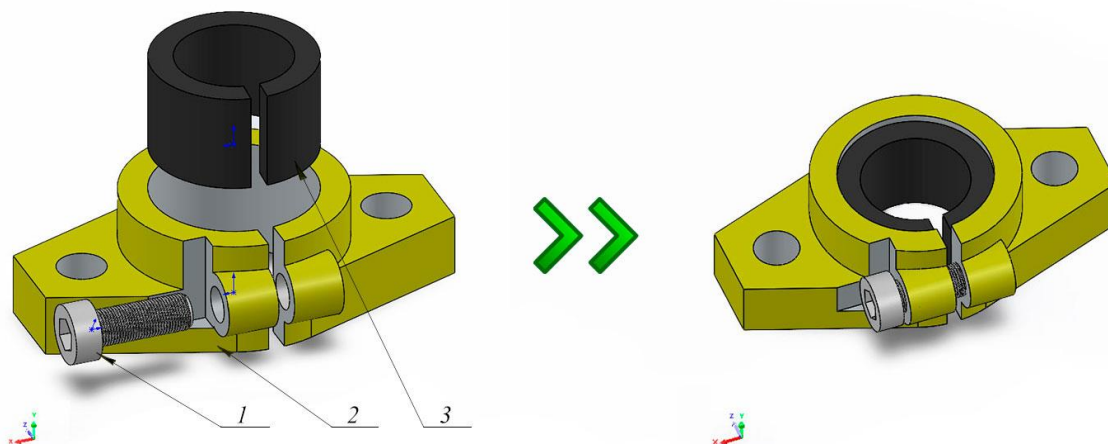
Сборка — это узел, состоящий из двух или более деталей, называемых также компонентами, в одном документе SolidWorks. Расположение и ориентация компонентов задается с помощью сопряжений, устанавливающих взаимосвязи между компонентами.

Операция соединения удаляет поверхности, которые входят в пространство друг друга, и создает единый твердотельный элемент.

Например, при сборке две детали свариваются, образуя неподвижное соединение. Поэтому эти детали и сварочные швы должны быть объединены в одну деталь, появляется возможность выполнять исследования на прочность в SolidWorks Simulation.

В качестве примера сборки, рассмотрим деталь фланцевого фиксатора вала в сборе со всеми его компонентами (рисунок 4).

Корпус держателя, поз. 2, надёжно крепится основанием к каретке. При этом он так же выполняет функцию фиксации вала. За счёт затяжки винта 1, корпус сжимается в месте пропила, тем самым, уменьшая внутренний диаметр, в результате чего, и вал и уплотнительное кольцо 3, выполненное из плотной резины, обеспечивающей максимальное сцепление корпуса с валом для его более надёжной фиксации, надёжно зажимаются внутри корпуса концевой фиксатора.



**Рисунок 4 – Процесс сборки элемента:
1 – Винт, 2 – корпус фиксатора; 3 – резиновый уплотнитель**

Проведём не сложное исследование поведения данной 3D модели в условиях симуляции реальных нагрузок при помощи инструмента SolidWorks Simulations. Для этого создаём новый анализ. Задаём параметры, указывая интересные нагрузки, так же, выбираем материалы компонентов сборки и их условия соединений. После чего можем приступить к построению сетки (рисунок 5).

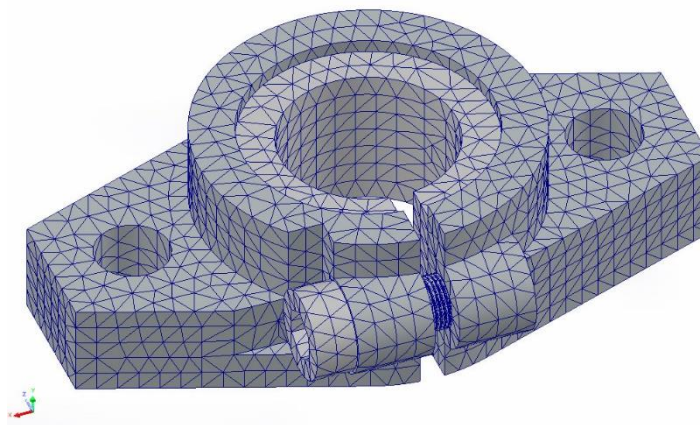


Рисунок 5 – Создание сетки

При создании сетки, программа автоматически разбивает всю поверхность исследуемого объекта на треугольные полигоны, после чего будет проводить расчёт отдельно для каждого треугольника. Следовательно, если нам требуются более точные результаты исследования, то при создании сетки требуется указывать большее количество полигонов, но это сильно нагрузит процессор и продлит время моделирования.

После создания сетки можем приступить непосредственно к результатам анализа. SolidWorks проведёт расчёт и позволит автоматически создать моментальный отчёт, генерируемый в формате World файла, либо вручную просмотреть интересные параметры, с возможностью удобной визуализации путём создания анимации. (рис. 6, 7, 8)

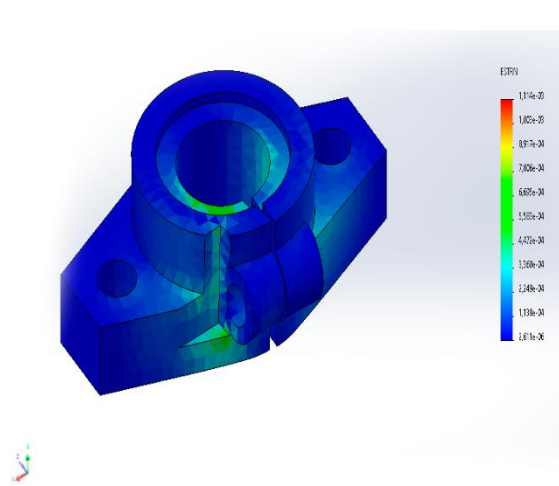


Рисунок 6 – Результаты анализа деформации

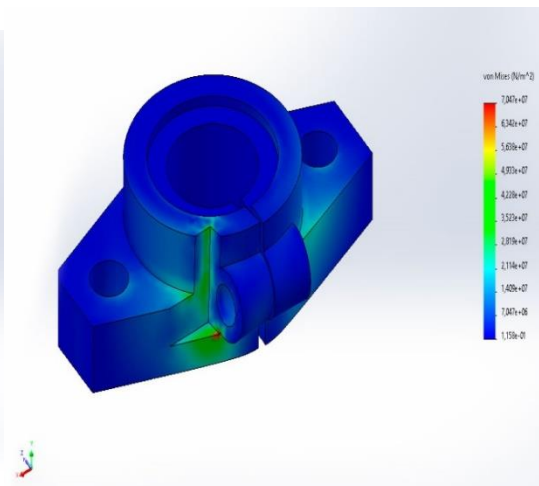


Рисунок 7 – Результаты анализа возникших напряжений

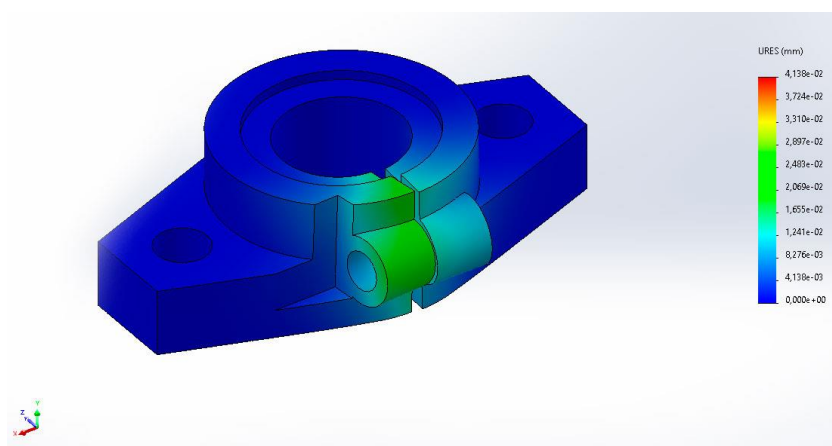


Рисунок 8 – Результаты анализа перемещения

В результате симуляции, при помощи инфрографики, мы можем даже невооружённым взглядом видеть, как будет вести себя настоящая деталь, при соблюдении всех тех же параметров и условий, которые указывались при расчёте. Данная возможность программы позволяет конструкторам определять различные параметры будущих изделий, такие, как например, запас прочности конструкции, а также, заранее находить и устранять потенциально опасные и слабые места в проектируемых деталях, что позволяет избежать затрат лишнего времени, материала и денег

Предоставленные в данной статье параметры анализа и в целом, описанные возможности программы SolidWorks, являются лишь отчётом к поставленной задаче, при этом они раскрывают лишь небольшую часть её реальных возможностей.

Библиографический список

1. Ловыгин А. А., Теверовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 279 с.
2. Зиновьев Д.В., Основы проектирования в SOLIDWORKS 2016 / Дмитрий Зиновьев – 1-е изд. 2017. Редактор: Азанов М.И. – 276 с.
3. Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин: Учебное пособие для студентов технических специальностей вузов / П. Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 496 с.

УДК 004.92

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ РЕДАКТОРОВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ И БЛАГОУСТРОЙСТВА

Я. В. Мезенина*, К. В. Шестак

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31

*E-mail: yenamezenina@mail.ru

В статье приведен перечень наиболее популярного программного обеспечения, применяемого для визуализации проектов ландшафтной архитектуры. Описаны характеристики и функционал рекомендуемых графических редакторов, материалы проиллюстрированы цифровыми работами, выполненными в рассматриваемых программах.

Ключевые слова: визуализация, графические редакторы, ландшафтный проект, ландшафтная архитектура, иллюстрации.

USING GRAPHIC EDITORS TO VISUALIZE LANDSCAPING PROJECTS

Ya. V. Mezenina*, K. V. Shestak

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochoy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

*E-mail: yenamezenina@mail.ru

The article provides a list of the most popular software used for visualization of landscape architecture projects. The characteristics and functionality of the recommended graphic editors are described, the materials are illustrated with digital works performed in the programs under consideration.

Keywords: visualization, graphic editors, landscape design, landscape architecture, illustrations.

Работа ландшафтного архитектора невозможна без графического иллюстрирования проектов. Визуализация является наиболее эффективным инструментом передачи информации о концепции и внешних особенностях объекта озеленения. Существует несколько способов создания графических материалов для иллюстрирования проекта, их можно условно разделить на ручные иллюстрации, программные 2D визуализации и 3D модели.

Ручные иллюстрации выполняются на бумаге и представляют собой эскизы, реализованные материалами для рисования – карандашами, красками, мелом, пастелью и т.д. Такие визуализации могут быть проработаны детально, либо выполнены приемами скетчевой зарисовки. Главным достоинством такого способа иллюстрации проекта является доступность – для него требуется лишь бумага и материал, нет необходимости в использовании компьютера и специального программного обеспечения. Но не менее значимы и недостатки – отрисовка изображений вручную, как правило, занимает больше времени, чем работа в программе, если сравнивать иллюстрации одинакового уровня проработки. К тому же, такая работа является более грязной, поскольку требует использования красящих материалов. Еще одним слабым местом использования традиционных способов рисования является необходимость перевода иллюстраций в

цифровой вид для их дальнейшего согласования с заказчиком или демонстрации в сети интернет. Отсюда возникает потребность в упрощении процесса создания визуализаций.

С этой целью было создано множество графических программ, позволяющих создавать электронные иллюстрации объектов озеленения и благоустройства. Чаще всего в портфолио архитекторов встречаются 2D визуализации. Это обусловлено удобством их использования и увеличением возможностей для распространения – большинство форматов двумерных изображений (png, jpg, pdf и т.д.) не требуют специального программного обеспечения для просмотра, что упрощает их применение при взаимодействии с заказчиком или потенциальными клиентами.

Существует два вида 2D иллюстраций – растровая и векторная графика.

Растровая графика – это изображение, представляющее собой сетку (мозаику) пикселей – цветных точек (обычно прямоугольных) на мониторе и других отображающих устройствах [1]. К растровой графике относятся визуализации, выполненные в виде электронных эскизов и фотоманипуляции – соединения частей разных изображений и графических элементов с целью получить совершенно новую иллюстрацию со своим смыслом и назначением.

Наиболее часто применяемой программой для растровой графики является Adobe Photoshop – многофункциональный графический редактор, ставший самым популярным среди программного обеспечения компании Adobe Systems. Большой пакет инструментов для работы с растровыми изображениями дополняется возможностью создания векторных объектов [2].

В программе Adobe Photoshop можно создавать эскизы и работать с фотографиями, создавая фотоманипулятивные визуализации объектов (рисунки 1, 2).



Рисунок 1 – Визуализация проекта тематического ландшафтного объекта «Сад Юрского периода»

Еще одной программой для создания эскизов является Procreate – приложение для редактирования растровой графики и цифровой живописи, разработанное и опубликованное компанией Savage Interactive для iOS и iPadOS [3]. Данная программа имеет широкий функционал для цифрового рисования (рисунок 3).



Рисунок 2 – Визуализация озеленения в интерьере



Рисунок 3 – Визуализация участка сада в лесной зоне

Векторная графика – способ представления графических объектов и изображений в компьютерной графике, основанный на математическом описании элементарных геометрических объектов, обычно называемых примитивами, таких как: точки, линии, сплайны, кривые Безье, круги, окружности, эллипсы, многоугольники [1]. Векторная графика в ландшафтной архитектуре используется при разработке чертежей и планов, но некоторые специалисты применяют ее и в визуализациях видовых точек или малых архитектурных форм.

Для создания векторных иллюстраций используется Adobe Illustrator – еще одна программа из линейки компании Adobe Systems, специализирующаяся на работе с

векторными объектами. Главным преимуществом работы в векторных редакторах, в частности в Adobe Illustrator, является возможность изменения разрешения изображений без потери качества. Векторное изображение можно увеличить во много раз без ущерба для него, что особенно актуально при создании полиграфических макетов или иллюстраций с мелкими деталями. Визуализации, выполненные в векторе, выглядят очень ярко, лаконично, имеют четкие геометрические формы (рисунки 4, 5).



Рисунок 4 – Фрагмент генерального плана велопарка «Кратер»



Рисунок 5 – Визуализация фрагмента велопарка «Кратер»

Но даже детально проработанная двумерная иллюстрация часто не способна передать всю необходимую информацию о концепции и визуальных особенностях проекта. Возможность посетить проектный объект озеленения, не выходя за пределы своего дома, предоставляют трехмерные модели.

Существует несколько программ, реализующих возможность создания 3D визуализаций ландшафтов, но наиболее распространен среди них SketchUp от компании Trimble Navigation [4]. Программа в основном используется для моделирования жилых домов, мебели и интерьера, довольно проста в освоении и позволяет создавать виртуальные прогулки и снимки объектов «от первого лица». При применении дополнительного программного обеспечения – рендеров, можно создавать фотореалистичные изображения объектов (рисунок 6). В программе возможна настройка режимов инсоляции и текстур материалов.



Рисунок 6 – 3D визуализация фрагмента малого сада

Невозможно охватить весь перечень программ, используемых для визуализации архитектурных и ландшафтно-архитектурных проектов. Каждый специалист выбирает для себя наиболее удобные и подходящие для его работы инструменты, и, к счастью, современное программное обеспечение позволяет удовлетворить практически любые потребности.

Библиографический список

1. Спасенникова, О. П. Виды графики / О. П. Спасенникова // Компьютерные инструменты в образовании. – 2006. – № 6. – С. 37-46.
2. Adobe Photoshop [Электронный ресурс]: официальный сайт – / Adobe. – Электронные данные. Режим доступа: свободный. URL: <https://www.adobe.com/ru/products/photoshop.html> (дата обращения: 26.11.2022)
3. Procreate [Электронный ресурс]: официальный сайт – / Procreate.art. – Электронные данные. Режим доступа: свободный. URL: <https://procreate.art/> (дата обращения: 26.11.2022)
4. SketchUP – ПО для проектирования в 3D [Электронный ресурс]: официальный сайт – / Procreate.art. – Электронные данные. Режим доступа: свободный. URL: <https://www.sketchup.com/ru> (дата обращения: 26.11.2022)

© Мезенина Я. В., Шестак К. В., 2022

УДК 631.67

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПОЛИВОЧНОЙ РАМПЫ

Э. В. Трас

Научный руководитель - Д. В. Черник

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31
E-mail: dionisu2@mail.ru

В публикации описана последовательность моделирования и анализа кинематической схемы поливочной ramпы IRMO4, с целью определения закономерности движения её составных частей.

Ключевые слова: прикладное моделирование, поливочная ramпа, канатная система

SIMULATION OF THE PRINCIPAL KINEMATIC DIAGRAM OF THE WATERING RAMP

E. V. Tras

Scientific supervisor – D. V. Chernik

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: dionisu2@mail.ru

The publication describes the sequence of modeling and analysis of the kinematic scheme of the IRMO4 watering ramp, in order to determine the patterns of movement of its components.

Keywords: applied modeling, watering ramp, rope system

Техническая оснащенность страны, эффективными техническими комплексами, особенно в фундаментальном плане, ключевой фактор её экономической и продовольственной безопасности. Данное положение приводит к необходимости создавать всё более новые и совершенные технические устройства, и механизмы, проектирование которых не обходится без прикладного моделирования.

Прикладная модель есть совокупность данных, представляющих объекты, и отношения этих данных, обычно хранящаяся в виде прикладной структуры данных. Таким образом, модель отображает важные свойства объектов, существенные для данного технического устройства или для ряда устройств. Эти объекты могут быть конкретными или абстрактными и при визуализации могут быть представлены в двумерном или трехмерном мире. Примерами объектов могут служить математические формулы, функции, интегральная схема, план помещения, зубчатая передача, молекула [1].

Перед нами стояла задача разобраться в конструкции и кинематике поливочной ramпы Urbinati IRMO 4 (рисунок 1). В конструкцию устройства входит: шланг, электропривод, тележка с поливочными штангами, тележка с колесом, рельсовая и канатная системы. В целях экономии длины шланга, по которой подается вода, при движении обратно, с помощью тележки с колесом, шланг, по длине рельсовой системы, складывается пополам и останавливается посередине рельсовой дорожки, при этом тележка с поливочной ramпой доходит до начального положения. Предстояло выяснить, каким образом тележка с колесом

движется с отставанием от тележки с поливочными штангами ровно в два раза. Построение модели канатной системы поливочной рампы позволило разобраться в принципе её работы.



Рисунок 1 – Поливочная рампа IROM4

Моделирование системы началось с построения принципиальной кинематической схемы (рисунок 2). Из нее можно увидеть, что система приводится в движение с помощью электрического двигателя. Общая длина каната остается неизменной, концы каната закреплены жесткой заделкой. Тележка со штангами прикреплена к канату и имеет скорость движения равную скорости его движения, когда как тележка с колесом должна иметь половину их скорости.

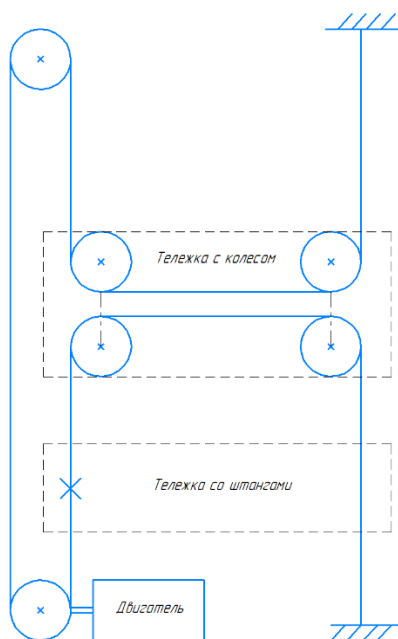


Рисунок 2 – Принципиальная кинематическая схема поливочной рампы

Далее из схемы была выделена часть, которой достаточно для выявления взаимосвязи движения между тележками (рисунок 3). Как выяснилось, поперечная длина каната – B остается постоянной. Длина каната слева, к которой прикреплена рампа (тележка с поливочными штангами), удлиняется на ту же длину, на которую укорачивается длина каната справа – c . Так каким же образом рампа приобретает скорость в два раза большую, чем тележка с колесом?

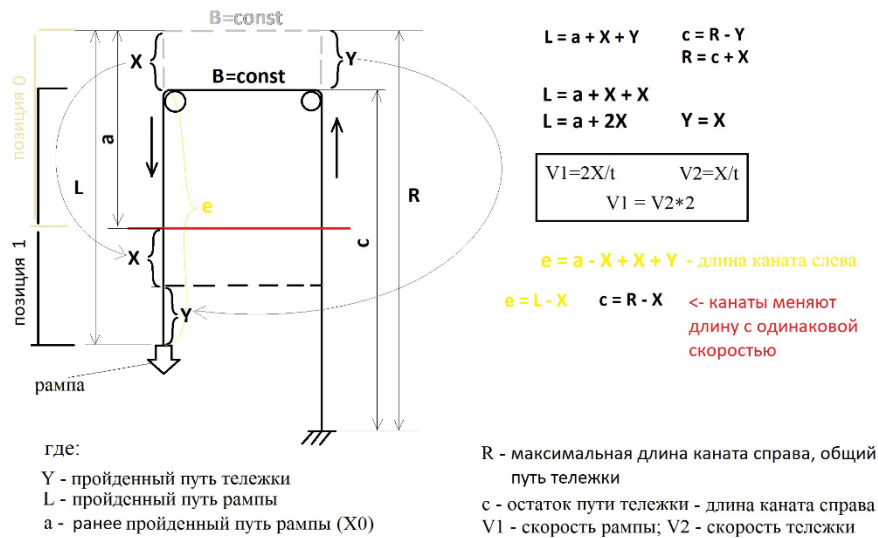


Рисунок 3 – Анализ связи скоростей тележек

Всё дело в сложном движении ramпы. Скорость уменьшения длины каната СПРАВА есть скорость движения тележки с колесом – Y. Скорость удлинения длины каната СЛЕВА – X, равна скорости уменьшения длины каната СПРАВА. Двойная скорость движения ramпы образуется смещением точки отсчета удлинения каната, на ту же скорость, на которую уменьшается длина каната СПРАВА, плюс удлинение самого каната. Так как эти скорости равны, то получается тележка движется со скоростью X, а ramпа со скоростью 2X.

В заключении следует отметить, что в данном механизме применен принцип аналогичный технологии скоростного полиспаста. Полиспаст — это устройство, состоящее из нескольких подвижных и неподвижных блоков (обычно расположенных попарно) огибаемых веревкой, канатом или тросом, позволяющее поднимать грузы с усилием в несколько раз меньшим, чем вес поднимаемого груза. Скоростной вариант полиспаста — это видоизменённая конструкция, где большие усилия направлены на увеличение скорости транспортировки груза. По этому принципу создаются канатные дороги на горнолыжных курортах [2].

Библиографические ссылки

1. Electronic textbook statsoft [электронный ресурс]. URL: https://studopedia.su/10_128774_postroenie-prikladnoy-modeli.html
2. Electronic textbook statsoft [электронный ресурс]. URL: <https://lik-o-dil-es.blogspot.com/2020/05/polispast.html>
3. Исследование воздействия снеговой нагрузки на каркас теплицы для выращивания семян с ЗКС в SOLIDWORKS / Д. В. Черник, Е. В. Авдеева, А. К. Логачев [и др.] // Хвойные boreальной зоны. – 2022. – Т. 40. – № 4. – С. 333-337. – EDN NCOFFQ.

© Трас Э.В., 2022