

Научная статья
УДК 004.925.8

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Наталья Дмитриевна Ульянова, Алексей Алексеевич Лямзин, Сергей Александрович Феськов
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В настоящее время трехмерное твердотельное моделирование является важным инструментом в современных инженерных и научных исследованиях. Оно позволяет создавать различные модели, как отдельных деталей, так и целых механизмов, исследовать физические свойства материалов, а так же моделировать механическое поведение изучаемого образца в различных ситуациях. Отдельно стоит отметить, что все эти возможности доступны в отечественном программном продукте «Компас-3D». В материалах статьи представлено описание процесса разработки трехмерной графической модели усовершенствованной детали «Планшайба» для токарно-винторезного станка. В процессе разработки проведены исследования по оценке прочности созданной 3D-модели с использованием системы прочностного конечно-элементного анализа АРМ FEM. Данная система позволяет более точно предсказать поведение изучаемого образца в реальных условиях эксплуатации, а также помогает оптимизировать конструкцию, что повысит производительность, надежность и эффективность работы механизмов в целом. Усовершенствование изучаемой детали состоит в следующем: в основании планшайбы выполнено цилиндрическое глухое отверстие, что позволит закреплять планшайбу на кулачки патрона, не снимая его с токарно-винторезного станка; добавлены дополнительные вертикальные и горизонтальные Т-образные пазы, способствующие увеличению количества вариантов фиксации обрабатываемой детали; нанесена круговая градуировка планшайбы для удобства выполнения технологических операций. Проведенные исследования позволили оценить и выбрать материал для изготовления планшайбы. Просчитывались различные стали от Сталь 08 ГОСТ 1050-2013 до Сталь 45 ГОСТ 1050-2013. В итоге установлено, что применение современных подходов и использование системы трехмерного проектирования позволяет ускорить процесс разработки детали, повысить ее качество и снизить финансовые затраты.

Ключевые слова: 3D-моделирование, деталь, программа, трехмерная модель, конечно-элементный анализ.

Для цитирования: Ульянова Н.Д., Лямзин А.А., Феськов С.А. Трехмерное моделирование и компьютерный анализ деталей металлорежущих станков // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 2 (102). С. 61-67.

Original article

THREE-DIMENSIONAL MODELING AND COMPUTER ANALYSIS OF MACHINE TOOL PARTS

Natal'ya D. Ul'yanova, Aleksey A. Lyamzin, Sergej A. Fes'kov
Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. Currently, three-dimensional solid-state modeling is an important tool in modern engineering and scientific research. It allows you to create various models, both of individual parts and of entire mechanisms, to study the physical properties of materials, as well as to simulate the mechanical behavior of the studied sample in various situations. Separately, it is worth noting that all these features are available in the domestic software product "Compass-3D". A description of the developing process a three-dimensional graphic model of the improved "Faceplate" part for a screw-cutting lathe is presented in the materials of the article. In the process of development, researches were carried out to assess the strength of the created 3D model using the strength finite element analysis system APM FEM. This system allows to predict more accurately the behaviour of the studied sample in real operating conditions, and also helps to optimise the design, which will increase the performance, reliability and efficiency of the mechanisms as a whole. The improvement of the studied part is as follows: a cylindrical blind hole is made at the base of the faceplate, which will allow fixing the faceplate to the chuck cams without removing it from the screw-cutting machine; additional vertical and horizontal T-shaped grooves have been added, contributing to an increase in the number of options for fixing the workpiece; circular calibration of the faceplate has been applied for the convenience of performing technological operations. The conducted researches allowed us to evaluate and choose the material for the manufacture of the faceplate. Various steels were calculated from Steel 08 GOST 1050-2013 to Steel 45 GOST 1050-2013. As a result, it was found that the use of modern approaches and the use of a three-dimensional design system allow you to speed up the process of developing a part, improve its quality and reduce financial costs.

Key words: 3D modeling, part, program, three-dimensional model, finite element analysis.

For citation: Ul'yanova N.D., Lyamzin A.A., Fes'kov S.A. Three-dimensional modeling and computer analysis of machine tool parts. Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 2(102). 61-67.

Введение. В настоящее время трехмерное моделирование как процесс разработки визуального объёмного образа желаемого объекта становится неотъемлемой частью многих проектов. Оно позволяет создавать модели с реалистичными деталями. Это может быть использовано для создания объектов для игр, анимации, фильмов, инструментов для инженерной и архитектурной визуализации и т.д. [1,2,3,4].

Все актуальней становится создание 3D моделей при инженерных исследованиях, так как конструкторы имеют возможность наглядно видеть результат своей работы уже в процессе проектирования [5,6]. Трёхмерное моделирование позволяет создать прототип будущего инженерного изделия в объёмном формате, а созданная модель является макетом изделия перед его конструированием на производстве. Компьютерное моделирование является удобным и быстрым методом определения напряженного состояния, а также оценки различных других параметров и прогнозирования процессов [7]. На основе трёхмерной твердотельной модели конструктивно обрабатываются все элементы и узлы изделия, компьютерные исследования выявляют недоработки, что позволяет вносить изменения в конструкцию детали.

Цель работы – разработка графической твердотельной модели усовершенствованной детали «Планшайба» для токарно-винторезного станка, проведение прочностного конечно-элементного анализа с использованием компьютерной системы.

Материалы и методы. Токарно-винторезный станок предназначен для обработки цилиндрических, сферических, конусных тел или торцевых плоскостей, не имеющих оси вращения, а также для создания разного рода винтовых поверхностей. Планшайбой называется деталь токарного станка, предназначенная для установки заготовок или приспособлений на оси шпинделя. Размеры планшайб различаются в широких диапазонах, но не превышают максимальный диаметр обработки на станке. На токарно-винторезных станках планшайбы используются как вспомогательное крепление для сложных заготовок и устанавливаются на шпинделе передней бабки.

Установка планшайбы на станок производится в случаях работы с деталями, которые нельзя зажать в патрон. Это могут быть крупногабаритные поковки, плоские заготовки или детали неправильной формы. Незаменимо такое приспособление при обработке продукции со смещением от оси шпинделя, а также изделий, боковая поверхность которых может пострадать при механическом воздействии кулачков патрона.

Для удержания будущей детали заготовка прижимается к плоскости оснастки, либо крепится с использованием специальных приспособлений. После установки производится обязательная выверка оси обрабатываемого материала и шпинделя, так как данный способ не обеспечивает гарантированного центрирования.

Планшайбы также используются при применении нестандартных патронов или приспособлений. В некоторых вариантах на нее крепят не обрабатываемые материалы, а режущий инструмент.

В процессе выполняемой работы использовался чертеж типовой детали «Планшайба» (рис. 1). Сотрудниками кафедры технического сервиса ФГБОУ ВО Брянский ГАУ проведено совершенствование данной детали. С целью повышения удобства скорости разборочно-сборочных работ был изменен тип отверстия на несквозное цилиндрическое, что позволит закрепить разрабатываемую деталь при помощи кулачков патрона, не прибегая к ее снятию со станка. В конструкции детали добавлены дополнительные вертикальные и горизонтальные Т-образные пазы, что значительно увеличивает количество вариантов закрепления обрабатываемой детали разных размеров. На разрабатываемом изделии нанесена градуировка по окружности, которая позволит в значительной степени упростить выполнения технологических операций. В результате внесения изменений создан чертеж усовершенствованной детали «Планшайба» (рис. 1).

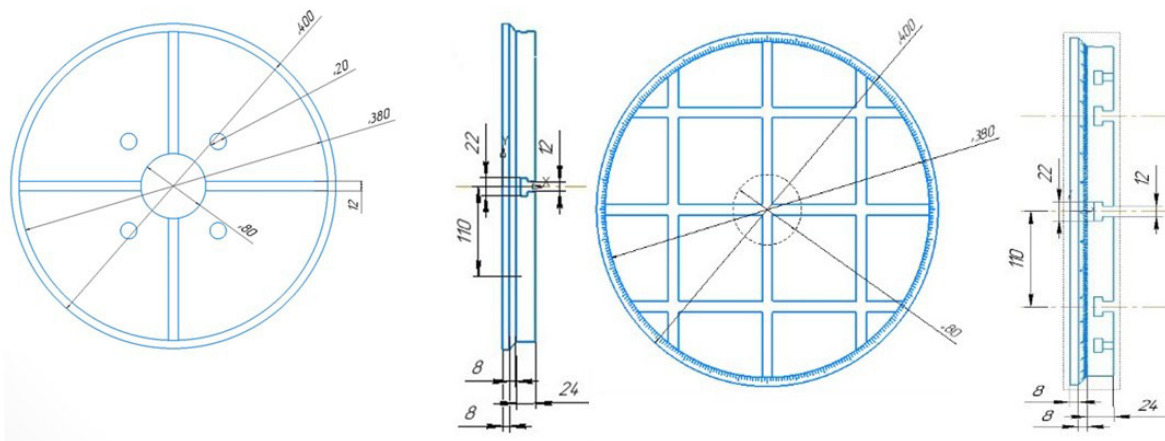


Рисунок 1 - Планшайба типовая и усовершенствованная

На основании данного чертежа для исследований была разработана трехмерная модель детали «Планшайба». Трехмерное моделирование представляет собой создание замкнутого геометрического объема, описывающего геометрию детали [8]. Для создания графической модели выбрано программное средство Компас 3D, используемое специально для проектирования инженерных изделий.

При проектировании использовался базовый функционал программы «Компас-3D», а в трехмерной модели закладывались основные свойства (размер, геометрия, материал изготовления и т.д.). Трехмерная модель усовершенствованной детали «Планшайба» представлена на рисунке 2.

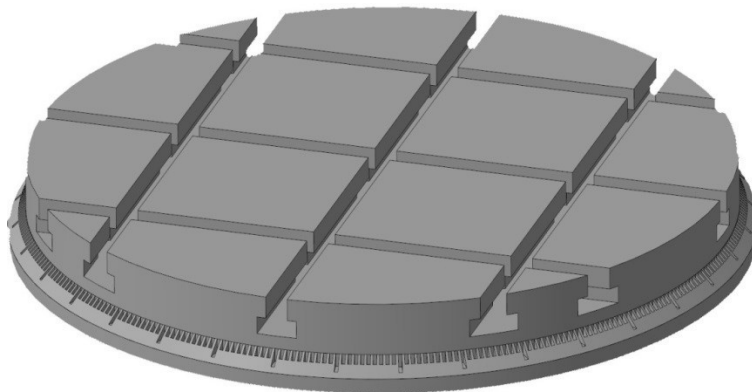


Рисунок 2 – Трехмерная модель усовершенствованной планшайбы

Далее было проведено исследование по оценке прочности созданной 3D-модели. Анализ выполнен с использованием системы прочностного конечно-элементного анализа АРМ FEM программы «КОМПАС 3D». Данная интегрированная в 3D-редактор «КОМПАС 3D» система предназначена для выполнения расчетов твердотельных моделей (деталей и сборок) и визуализации результатов расчетов. В основе системы лежит САЕ-библиотека, реализующая решение инженерных задач методом конечных элементов (МКЭ). Данный метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики [10,11]. Инструменты АРМ FEM являются составной частью единой среды проектирования и анализа, обеспечивающей ассоциативную связь с геометрической моделью, единую библиотеку материалов и общий с «КОМПАС 3D» интерфейс.

Для определения нагрузок давления, которые испытывают Т-образные пазы модели необходимо рассчитать радиальную (Р) и осевую (F) силы в резьбовом соединении болта, крепящего какую-либо деталь к планшайбе.

Принимаем момент затяжки в 120 Нм с полуторократным превышением момента затяжки крышек коренных подшипников коленчатого вала легкового автомобиля.

Определим радиальную силу Р по формуле:

$$P = \frac{2M}{d} \quad (1),$$

где м – момент затяжки, Н*м;

d – диаметр болта, мм.

В результате расчета получаем 20000 Н:

$$P = \frac{2 * 120}{0.012} = 20000$$

Далее определим осевую силу F по формуле:

$$F = \frac{2M}{D * tg60^\circ} \quad (2),$$

где м – момент затяжки, Н*м;

d – диаметр болта, мм;

треугольная метрическая резьба имеет угол профиля 60°.

$$F = \frac{2M}{D * tg60^\circ} = \frac{2 * 120}{0.012 * 1.732} = \frac{240}{0.021} = 15547$$

Рассчитанное значение осевой силы F=15547Н применялось в анализе трехмерной модели.

В систему прочностного анализа АРМ FEM для КОМПАС-3D внесена следующая информация о материалах и характеристиках материала:

- Название материала - «Сталь 08»;
- Предел текучести = 235 Мпа;
- Модуль упругости нормальный = 200000 Мпа;
- Коэффициент Пуассона = 0.3;

- Плотность = 7800 кг/ м³;
- Температурный коэффициент линейного расширения = 0.000012 1/С;
- Теплопроводность = 55 Вт/(м*С);
- Предел прочности при сжатии = 410 Мпа;
- Предел выносливости при растяжении = 209 Мпа;
- Предел выносливости при кручении = 139 Мпа.

По нагрузкам определены такие показатели, как Давление – 5, Грани – 11, Величина нагрузки - 15547 Н.

Генерация КЭ-сетки осуществлялась в автоматическом режиме с применением таких параметров, как:

- 1) Максимальная длина стороны элемента – 5 мм;
- 2) Максимальный коэффициент сгущения на поверхности – 1;
- 3) Коэффициент разрежения в объеме – 1.5.

Встроенный генератор конечно-элементной сетки позволил создать КЭ-сетку с соответствующим разбиением объекта, в результате которого количество конечных элементов составило 189790, а количество узлов – 322243 (рис. 3).

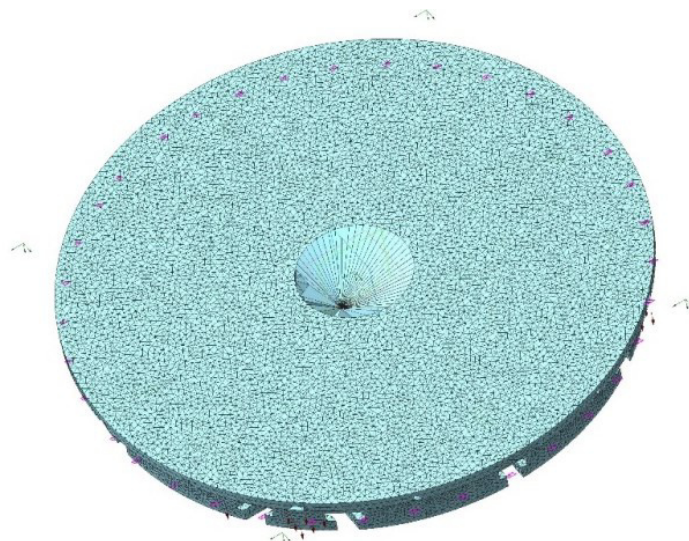


Рисунок 3 – Конечно-элементная сетка модели

Результаты и их обсуждение. После генерации конечно-элементной сетки выполнен линейный статический расчет, который позволяет определить напряжения, деформации и перемещения конструкции в установившемся состоянии под воздействием внешних нагрузок. После визуализации результаты полученных численных характеристик напряжения (эквивалентное напряжение по Мизесу) в виде цветной карты распределения напряжений, а также суммарное линейное перемещение с указанием минимальных и максимальных значений представлены на рисунке 4. В блоках АПМ представлены диапазоны напряжений и численные перемещения в планшайбе.

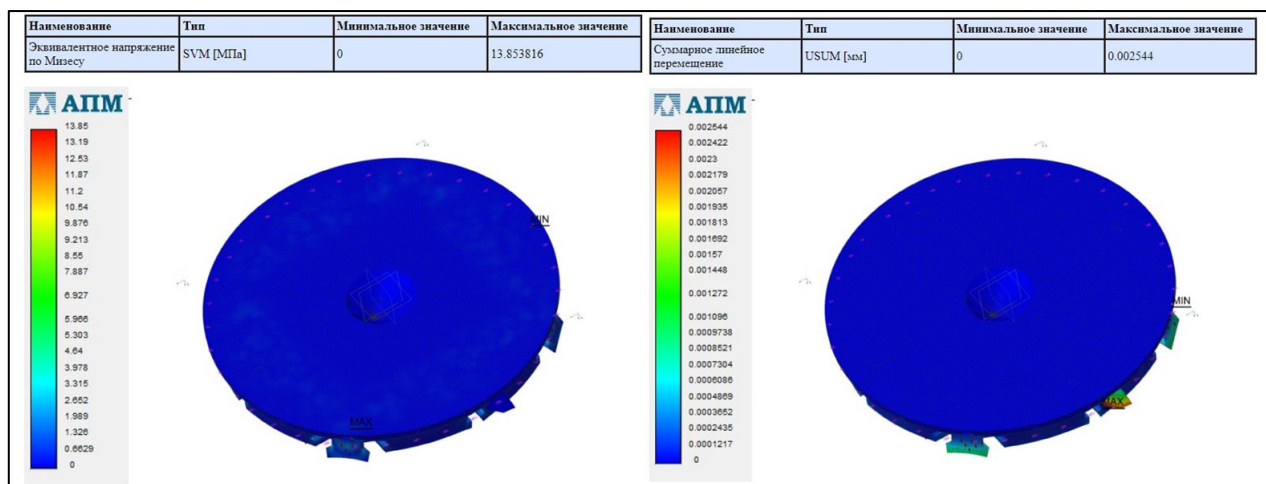


Рисунок 4 - Эквивалентное напряжение по Мизесу и Суммарное линейное перемещение

В процессе проведенного анализа выполнен расчет инерционных характеристик модели. Результаты в виде числовых значений представлены в таблице.

Таблица 1 - Инерционные характеристики модели

Наименование	Значение
Масса модели, кг	24.154662
Центр тяжести модели, м	(0.020382; 0.001015; 0.000469)
Моменты инерции модели относительно центра масс, кг*м ²	(0.013738; 0.227711; 0.226216)
Реактивный момент относительно центра масс, Н*м	(-0.000055; 53.072885; 35.92868)
Суммарная реакция опор, Н	(-11547.001667; -0.00014; 0.000561)
Абсолютное значение реакции, Н	11547.001667
Абсолютное значение момента, Н*м	64.09057

Далее были выполнены расчёты коэффициента запаса по текучести, а также анализ расчета коэффициента запаса по прочности с минимальными и максимальными значениями. Рис. 5 иллюстрирует результаты расчета по текучести.

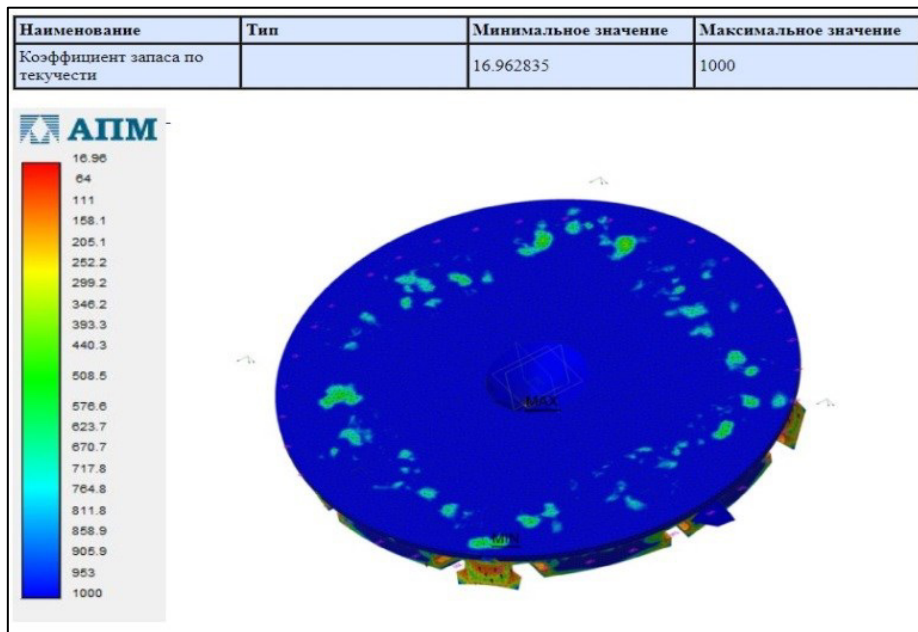


Рисунок 5 - Коэффициент запаса по текучести

Фрагменты проведенного анализа по прочности при различных нагрузках представлены на рисунке 6.

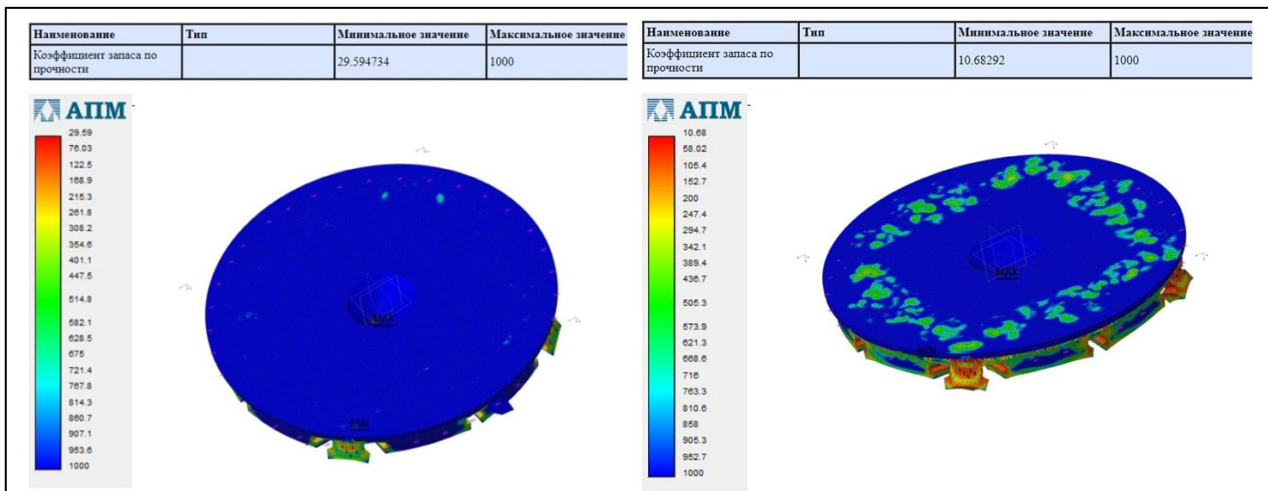


Рисунок 6 - Коэффициент запаса по прочности при нагрузке F=15547Н и F=30000Н

Выводы. Исследование разработанной трехмерной модели позволило оценить материал для изготовления детали «Планшайба» на примере «Сталь 08» и сделать следующий вывод: по коэффициенту запаса текучести и прочности при выбранной номинальной нагрузке на Т-образные пазы в

15547Н данная деталь «Планшайба» будет надежна в эксплуатации.

Кроме того, при анализе было выявлено, что, при двукратном увеличении нагрузки до 30000н обнаружены отдельные участки детали (на рис. 5 отображены красным цветом), где может произойти разрушение целостности конструкции. Вследствие этого, для повышения долговечности детали при эксплуатации следует рекомендовать ее изготовление из марок сталей, имеющих более высокие показатели по пределу текучести и прочности, например:

- «Сталь 30 ГОСТ 1050-2013» (предел прочности 500-600 Мпа, предел текучести 300Мпа),
- «Сталь 40 ГОСТ 1050-2013» (предел прочности 580-700 Мпа, предел текучести 340 Мпа),
- «Сталь 45 ГОСТ 1050-2013» (предел прочности 610-750Мпа, предел текучести 360Мпа).

Таким образом, разработка трехмерной модели изделия «Планшайба» в программе «КОМПАС 3D» и дальнейшее проведение компьютерного анализа позволили проверить геометрические параметры детали, выявить дефекты, оценить материал для изготовления детали и тем самым снизить объем экспериментальной отработки детали, предотвратить ее преждевременный износ и разрушение целостности новой конструкции. В результате повышается качество разработанной детали, сокращается время и затраты на разработку, а сам процесс проектирования ускоряется и удешевляется.

Список источников

1. Ульянова Н.Д. Применение цифровых технологий в аграрном производстве Брянской области // Информационные технологии в образовании и аграрном производстве: сб. материалов III междунар. науч.-практ. конф. Брянск, 2020. С. 93-99.
2. 3D-моделирование в инженерной графике: учеб. пособие / С.В. Юшко, Л.А. Смирнова, Р.Н. Хусаинов, В.В. Сагадеев. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2017. 272 с.
3. Лысенкова С.Н., Кулиничев С.А. Программные решения для 3d-моделирования мебели // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2019. № 2 (14). С. 17-21.
4. Гришанова Т.В., Хвостенко Т.М., Прокопенко Л.Л. Основные направления развития рынка информационных технологий в России // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2017. № 2 (10). С. 58-61.
5. Ульянова Н.Д., Балухто В.П. Трехмерное представление машиностроительных деталей: теория и практика // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2019. № 1 (13). С. 13-18.
6. Ульянова Н.Д., Киров А.И. Разработка трехмерных моделей инженерных деталей как перспективное направление развития машиностроения // Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2014. № 2 (4). С. 50-53.
7. Тутов С.С. Анализ и компьютерное моделирование элементов конструкций подъемно-транспортного оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 8. С. 217-219.
8. Мешихин А.А., Павлов П.Ю., Железнов О.В. Моделирование деталей в CAD/CAM/CAE-СИСТЕМЕ SIEMENS NX: учеб.-метод. пособие. Ульяновск: УлГУ, 2020. 80 с.
9. Пиралова О.В., Ведякин Ф.Ф., Медведева И.Л. Основы твердотельного моделирования в системе «КОМПАС-3D». Омск: Омский государственный университет путей сообщения, 2023. 70 с.
10. Лукинских С.В. Компьютерное моделирование и инженерный анализ в конструкторско-технологическом обеспечении машиностроительных производств: учеб. пособие / М-во науки и высш. обр. РФ. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2020. 168 с.
11. Вовк Л.П., Яворенко М.С. Информационные технологии при автоматизированном проектировании и расчете автомобильных деталей // Вести Автомобильно-дорожного института. 2021. № 1 (36). С. 27-33.
12. Латыпова Е.Ю., Цумарев Ю.А. Компьютерный конечно-элементный анализ несущей способности одношовных нахлесточных сварных соединений // Технология машиностроения. 2019. № 1. С. 48-53.
13. Гайдашев М.Н. Основные аспекты графического представления деталей // Технические и гуманитарные проблемы энергетики, природопользования, экологии, цифровизации информационных систем и технических средств в производстве: сб. материалов студенческой науч.-практ. конф. Брянск: Брянский ГАУ, 2023. С. 315-319.
14. Макаревич Л.О., Улезько А.В. Модели развития агроэкономических систем: сущность и классификация // Экономика сельского хозяйства России. 2019. № 4. С. 14-18.

15. Михальченков А.М., Лялякин В.П., Соловьев Р.Ю. Влияние приемов сварки на уровень остаточных напряжений при заделке трещин в корпусных деталях из серого чугуна // Сварочное производство. 2017. № 4. С. 27-32.

16. Галанина О.В. Приоритетные направления цифровизации АПК РФ и проблемы ее интенсификации // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки и технологий. СПб., 2021. С. 486-488.

Информация об авторах:

Н.Д. Ульянова - кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики, информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, ulyanova@bgsha.com

А.А. Лямзин - учебный мастер кафедры технического сервиса, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, lyamzin.denis5@gmail.com.

С.А. Феськов - кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, feskovwork@gmail.com

Information about the authors:

N.D. Ulyanova - Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Informatics, Information Systems and Technologies, Bryansk State Agrarian University, ulyanova@bgsha.com.

A.A. Lyamzin - Educational Master of the Department of Technical Service, Bryansk State Agrarian University, lyamzin.denis5@gmail.com.

S.A. Fes'kov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Bryansk State Agrarian University, feskovwork@gmail.com.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 14.11.2023; одобрена после рецензирования 20.03.2024, принята к публикации 26.03.2024 .

The article was submitted 14.11.2023; approved after reviewing 20.03.2024; accepted for publication 26.03.2024.

© Ульянова Н.Д., Лямзин А.А., Феськов С.А.