

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Горные машины»

Е. К. Костюкевич
Н. И. Березовский

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Пособие

для студентов специальностей

1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)»,

7-07-0714-01 «Машины и оборудование для горнодобывающих
производств (горная электромеханика)»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
высших учебных заведений Республики Беларусь по образованию
в области горнодобывающей промышленности*

Минск
БНТУ
2025

УДК 622.658.274-025.13(075.8)

ББК 34.7я7

К72

Р е ц е н з е н т ы:

кафедра дискретной математики и алгоритмики
Белорусского государственного университета
(зав. каф., докт. физ.-мат наук, проф. *В. М. Котов*);
главный специалист Управления торфяной промышленности
Государственного производственного объединения по топливу
и газификации «Белтогаз» *Д. Б. Джелилов*

- Костюкевич, Е. К.**
К72 Проектирование машин и оборудования для горнодобывающих производств: пособие для студентов специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)», 7-07-0714-01 «Машины и оборудование для горнодобывающих производств (горная электромеханика)» / Е. К. Костюкевич, Н. И. Березовский. – Минск : БНТУ, 2025. – 47 с.
ISBN 978-985-31-0106-5.

В пособии представлены сведения о детализации этапов выполнения курсовых и дипломных проектов, требования к оформлению текстовых и графических документов, примеры использования современных программных комплексов в проектировании для изучения вопросов автоматизации инженерных расчетов применительно к машинам и оборудованию для горнодобывающих производств и их конструктивным узлам.

УДК 622.658.274-025.13(075.8)

ББК 34.7я7

ISBN 978-985-31-0106-5

© Костюкевич, Е. К.,
Березовский, Н. И., 2025
© Белорусский национальный
технический университет, 2025

Введение

Проектирование машин, оборудования, технологических комплексов горнодобывающих производств подразумевает разработку технической документации (например, чертежей, расчетов, схем, технико-экономических показателей и т. п.) при создании или модернизации технического объекта. В задачу проектирования оборудования и комплексов входит разработка технических устройств, отвечающих потребностям горнодобывающей промышленности, обладающих высокими технико-экономическими и эксплуатационными показателями и дающих наибольший экономический эффект от их использования.

В 1929 г. профессор А. П. Сидоров в своей книге «Основные принципы проектирования и конструирования машин» писал: «Как для проектирования самых разнообразных машин и сооружений (инженерных, гражданских, сельскохозяйственных, дорожных и пр.), так и для выполнения их при посредстве станков и людей инженеру необходимо знакомство как с основными научными предметами – математикой, механикой, физикой и химией и вообще с естественными науками, так и со специальными техническими весьма разнообразными дисциплинами, составляющими программу высшего технического образования; но для проектирования машин и сооружений разного назначения инженеру приходится знать, и иногда весьма детально, условия работы того, для чего или для кого назначается машина...».

В учебном пособии приведены примеры использования современных программных комплексов в учебном проектировании, рассмотрены вопросы применения инженерного анализа в составе компьютерных систем для выработки технических решений в проектной, конструкторской, научной деятельности инженера. На их основе студенты могут освоить практические навыки инженерных расчетов, применительно к горным машинам и оборудованию.

Общие положения и рекомендации при проектировании

Учебный проект – проект, содержащий отдельные принципиальные решения и основные параметры изделия и отдельных его частей в соответствии с заданием на проектирование.

При проектировании значимым является изучение справочного материала, учебной литературы, периодических изданий, патентов, конструкторской документации, материалов выставок, научно-технических конференций и т. п.

Немаловажным является изучение исходных параметров оборудования и определение оптимальных параметров, опыт создания такого рода машин (оборудования), проведение сравнительного анализа их достоинств и недостатков, определение адекватного прототипа, выяснение тенденции развития и применение его в горнодобывающей отрасли и т. п.

При выборе основных параметров оборудования и комплексов необходимо учитывать конкретные условия их применения. К примеру, нельзя произвольно учитывать производительность горной машины, не учитывая производительность смежного (остального) оборудования. В некоторых случаях машины с повышенной производительностью могут оказаться недогруженными (с малым коэффициентом использования по времени) или будут больше простаивать, чем работать. Такой подход, как правило, приводит к снижению экономической эффективности производства в целом.

При проектировании горных машин и оборудования в центре внимания должны быть факторы, определяющие экономическую эффективность оборудования: коэффициент полезного действия, низкое энергопотребление, расходы на техническое обслуживание и ремонт, стоимость эксплуатации, срок службы и т. д.

Схему конструкции машины, оборудования обычно выбирают путем анализа и изучения нескольких вариантов, которые подвергают сравнительной оценке их особенностей, совершенства кинематической и пневмогидравлической схем, энергоемкости, надежности, материалоемкости, габаритных размеров, стоимости и т. д.

Так, одним из основных элементов любой горной машины является рабочий орган, от надежности, долговечности которого зависит экономическая эффективность функционирования горнодобывающей

техники. Соответственно, при проектировании оборудования особое внимание уделяется вопросам расчета, конструирования и защиты от износа рабочих органов машин. Каждое перемещение рабочего органа машины может иметь свой закон движения. В большинстве случаев заданный закон движения рабочего органа предопределяет тип конструкции исполнительного механизма машины.

Решения, принятые в курсовом, дипломном проекте, должны основываться на использовании новой высокопроизводительной горной техники.

Курсовой проект – самостоятельная работа, выполняемая студентами в рамках промежуточной аттестации в целях оценки практического применения полученных теоретических знаний и практических умений, формирования навыков-результатов их учебной деятельности при решении соответствующих учебных задач.

Курсовой проект является одним из этапов развития творческих способностей обучающегося, вовлечения его в научную, в том числе научно-исследовательскую работу.

Дипломный проект является выпускной квалификационной работой, представляющей собой законченную самостоятельную научно-исследовательскую, конструкторскую, производственно-технологическую, инженерно-экономическую или организационно-управленческую разработку студента-дипломника, позволяющую определить его теоретическую и практическую готовность к выполнению социально-профессиональных задач по специальности (специализации).

Учебному проекту должны быть присущи целевая направленность и четкость построения, логическая последовательность изложения материала, точность формулировок, конкретность в представлении результатов, убедительность аргументации, обоснованность выводов и рекомендаций, грамотное оформление.

Этапы курсового и дипломного проектирования

Курсовое и дипломное проектирование включает следующие этапы:

- производственная технологическая и преддипломная практика;
- выполнение курсового и дипломного проекта;
- защита курсового, дипломного проекта.

Подготовительный этап в период производственной (технологической, конструкторско-технологической) и преддипломной практик имеет следующие цели:

- овладение обучающимися практическими навыками, умениями и их подготовка к самостоятельной профессиональной деятельности по получаемой специальности;

- анализ информации о деятельности предприятия;

- изучение технологии и организации производства и т. д.;

- расширение и обогащение знаний в области конструирования нового оборудования для горнодобывающей и перерабатывающей отраслей и технологии его изготовления;

- формирование навыков выбора технологических систем добычи полезных ископаемых техническими средствами с высоким уровнем автоматизации управления;

- формирование у студентов необходимых теоретических и практических навыков сбора, обработки, систематизации и анализа информации о выборе электромеханических систем горных предприятий;

- выработка навыков защиты производственного персонала от аварий оборудования, взрывов и пожаров.

Подготовительный этап в период производственной и преддипломной практик имеет следующие задачи:

- формирование у студентов практических умений и навыков по изучаемым учебным дисциплинам по избранной специальности;

- закрепление теоретических знаний в области использования горной техники в производстве и подготовка студентов к изучению специальных дисциплин;

- освоение первичных навыков (конструирования нового оборудования для горнодобывающей и перерабатывающей отраслей и технологии его изготовления) по избранной специальности;

- ознакомление со структурой организаций и учреждений, деятельность которых соответствует получаемой специальности.

При прохождении производственной практики на предприятии студенты:

- знакомятся с основными направлениями горнодобывающей промышленности Республики Беларусь и технологией добычи полезного ископаемого на горном предприятии;

- знакомятся с общей организационно-управленческой структурой и организацией электромеханического хозяйства горного предприятия;

- получают представление о технологических операциях при работе горных машин;
- изучают организацию и порядок проведения операций и процессов в технологических схемах;
- совершенствуют свои знания по выбору оптимальных параметров рабочих органов машин;
- знакомятся с организацией службы автоматизации производства горного предприятия;
- изучают работу по обслуживанию электромеханического оборудования и систем автоматики горного производства;
- изучают основы проектирования и последовательность разработки технологических процессов, выбор оборудования, приспособлений;
- рассматривают примеры оформления нормативно-технической документации по проектированию машин;
- изучают вопросы охраны труда и техники безопасности.

Преддипломная практика является завершающим этапом учебного процесса. Она проводится по окончании студентами теоретического обучения, как правило, на промышленных предприятиях, в научно-исследовательских и проектных организациях, на выпускающих кафедрах вуза. Ее целью является закрепление комплекса теоретических знаний, получаемых студентами в процессе обучения согласно учебному плану специальности, дальнейшее приобретение ими практических навыков и информационно-аналитическая подготовка к дипломному проектированию.

Направление на преддипломную практику студент получает в соответствии с выбранной темой дипломного проекта.

Во время преддипломной практики студент в соответствии с темой дипломного проекта обязан изучить техническую документацию, патентные и литературные источники, аналоги планируемых разработок; собрать и систематизировать информацию, необходимую для решения технических, экономических, управленческих и других специфических задач дипломного проекта, а также для разработки мероприятий, обеспечивающих безопасность труда.

Таким образом, задачи преддипломной практики:

- освоение в практических условиях принципов организации и управления производством, анализа экономических показателей производства, повышения конкурентоспособности выпускаемой продукции;

– закрепление и углубление теоретических знаний в области разработки новых технологических процессов, проектирования и использования нового оборудования, проведения самостоятельных научно-исследовательских работ.

После прохождения преддипломной практики студенту необходимо предоставить отчет о практике, который должен содержать систематизированные исходные данные для дипломного проекта.

Этап включает ознакомление с эксплуатацией, технологическим обслуживанием и ремонтом оборудования и технологических комплексов; изучение статей расходов при расчете технико-экономических показателей производства; ознакомление с перспективой развития отрасли промышленности и основного технологического оборудования, конструкцией и современными методами расчета и конструирования оборудования и комплексов, монтажом и демонтажем оборудования; сбор, изучение и систематизацию всей исходной информации, необходимой и достаточной для выполнения дипломного проекта по выбранной теме.

При работе над конструкторской частью проекта необходимо в определенной последовательности детально решить комплекс технологических, конструкторских, эксплуатационных, монтажных и других задач в соответствии с темой и заданием проекта. При решении каждой из задач основного проектирования необходимо последовательно согласовывать с руководителем (консультантом) графический материал и расчеты, особенно это касается модернизации, новых разработок.

Заключительный этап дипломного проектирования включает окончательную доработку чертежей (графического материала), пояснительной записки, заключения, списка литературных источников, приложений.

Курсовой проект – совокупность документов, включающих в себя: задание на проектирование, прототип машины (для модернизации или разработки), принципиальные конструктивные решения, схемы, таблицы, графики; расчетно-пояснительную записку, спецификацию, список литературных источников и прочие документы.

Дипломный проект – совокупность документов, содержащих задание на проектирование, обзор, анализ и обоснование темы, патентный поиск, принципиальные конструктивные решения, расчеты, схемы, графические таблицы, чертежи, технологию изготовления (ремонта)

детали, мероприятия по охране труда, технико-экономические показатели, расчетно-пояснительную записку, спецификацию, список литературных источников и прочие документы.

Содержанием дипломного проекта является проектирование и конструирование изделия в целом или его функционально законченной части, разработка технологического процесса производства, нахождение инженерно-экономического и управленческого решения по повышению эффективности производства.

Оформление пояснительной записки

Пояснительная записка и графический материал выполняются только с использованием средств вычислительной техники, оформляются в соответствии с методическими указаниями. Пояснительная записка оформляется на листах формата А4 (297×210 мм) со следующими полями: левое – 30 мм (3 см), правое – 15 мм (1,5 см), верхнее и нижнее поле – 20 мм (2 см) в соответствии с требованиями ГОСТ 2.004-88, 2.105-95, 2.106-96, 7.1-2003.

Шрифт в названиях и тексте пояснительной записки Times New Roman 14 пунктов, межстрочный интервал – 1,0 (18 пунктов), абзацный отступ – 1,25 см, выравнивание текста пояснительной записки – по ширине страницы.

В названиях разделов, подразделов, таблиц и рисунков не допускаются переносы в словах, в остальной части автоматические переносы в тексте пояснительной записки разрешены.

Текст пояснительной записки разделяют на логически связанные части – разделы, при необходимости – на подразделы, а подразделы – на пункты.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначаемые арабскими цифрами без точки в конце и записанные с абзацного отступа. Подразделы нумеруют в пределах раздела, к которому они относятся.

Пункты при необходимости могут быть разбиты на подпункты, которые нумеруются в пределах каждого пункта.

Если в пояснительной записке выделены только разделы, то пункты нумеруют в пределах раздела.

Каждый раздел и подраздел должен иметь краткий и ясный заголовок. Пункты, как правило, заголовков не имеют.

Заголовки разделов записывают прописными буквами без точки в конце заголовка. Заголовки подразделов записывают строчными

буквами, начиная с первой прописной. Заголовки не подчеркивают. Переносы слов в заголовках не допускаются. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой.

Каждый раздел пояснительной записки рекомендуется начинать с новой страницы.

Между заголовком раздела (подраздела) и текстом оставляют пробельную строку.

В пояснительной записке следует применять единицы физических величин, их наименования и обозначения в соответствии с ГОСТ 8.417-2002.

Пояснительная записка к курсовому проекту должна включать следующие разделы:

- задание на курсовой проект;
- содержание;
- основную часть (в соответствии с учебной программой и методическими указаниями по курсовому проекту);
- список использованных источников;
- приложения (материалы иллюстративного, вспомогательного характера; конструктивные, технологические, программные и иные проектные документы (в зависимости от характера разработки) и т. п.).

Пояснительная записка к дипломному проекту должна содержать:

- титульный лист;
- задание по дипломному проектированию;
- реферат (по ГОСТ 7.9);
- ведомость объема дипломного проекта;
- содержание;
- перечень условных обозначений, символов и терминов (при необходимости);
- введение;
- основной текст: разделы, представляющие обзор источников литературы по теме; используемые методы и (или) методики; собственные теоретические и экспериментальные исследования; результаты расчетов и проектирования и другие разделы, определенные заданием;
- технико-экономическое обоснование (экономический раздел) принятых решений, определение экономической эффективности от внедрения полученных результатов;
- раздел охраны труда и техники безопасности;
- заключение;

- список использованных источников;
- приложения.

Указанную последовательность рекомендуется принять за порядок размещения элементов и частей пояснительной записки.

Пояснительная записка начинается с титульного листа.

Титульный лист включается в общее количество страниц пояснительной записки, но номер страницы не проставляется.

Перечень всех разделов и подразделов, включающий порядковые номера и заголовки, оформляют в виде содержания – обязательного элемента пояснительной записки. Содержание помещают сразу после задания по курсовому, дипломному проекту. В содержание включают заголовки всех частей пояснительной записки, в том числе разделов и подразделов, приложений. Расположение заголовков в содержании должно точно отражать последовательность и соподчиненность разделов и подразделов в тексте пояснительной записки.

Слово СОДЕРЖАНИЕ записывают прописными буквами полужирным шрифтом и располагают по центру строки. Между словом СОДЕРЖАНИЕ и самим содержанием оставляют промежуток, равный пробельной строке. Заголовки выравнивают, соподчиняя по разделам, подразделам и пунктам (если последние имеют заголовки), смещая вертикали вправо относительно друг друга на 2 знака. Каждый заголовок соединяют отточием с номером страницы, расположенным в столбце справа.

Введение помещают на отдельной странице. Слово ВВЕДЕНИЕ записывают прописными буквами полужирным шрифтом по центру. Введение (предисловие) должно быть кратким и четким, не должно быть общих мест и отступлений, непосредственно не связанных с разрабатываемой темой. Его объем не должен превышать двух страниц.

Рекомендуется следующее содержание введения:

- краткий анализ достижений в той области, которой посвящена тема дипломного проекта;
- цель дипломного проектирования;
- принципы, положенные в основу проектирования, научного исследования, поиска технического решения;
- краткое изложение содержания разделов пояснительной записки с обязательным указанием задач, решению которых они посвящены.

В основном тексте пояснительной записки анализируют существующие решения, определяют пути достижения цели проектирования,

составляют технические требования, на основании которых разрабатывают конкретные методики и технические решения задач, принимают схемотехнические, конструктивно-технологические решения.

Общие требования к основному тексту пояснительной записки: четкость и логическая последовательность изложения материала, убедительность аргументации, краткость и ясность формулировок, исключающих неоднозначность толкования, конкретность изложения результатов, доказательств и выводов.

Запрещается переписывание общих сведений из учебников, учебных пособий, монографий, статей и других источников без соответствующей ссылки.

Заключение пишут на отдельной странице. Слово ЗАКЛЮЧЕНИЕ записывают прописными буквами полужирным шрифтом по центру строки. В заключении необходимо перечислить основные результаты, характеризующие степень достижения цели проекта и подытоживающие его содержание.

Текст перечислений должен быть кратким, ясным и содержать конкретные данные.

Объем заключения не должен занимать более полутора – двух страниц пояснительной записки.

Запрещается использовать в качестве источников электронный ресурс «Wikipedia» (и другие аналогичные открытые ресурсы, доступные по принципу систем Вики).

Раздел ПРИЛОЖЕНИЕ оформляется одним из способов, указанных в подпункте 6.17 пункта 6 ГОСТ 7.32-2017.

Примерное содержание разделов пояснительной записки

Пояснительная записка должна в краткой и четкой форме раскрывать творческий замысел курсового проекта, содержать методы исследования, применяемые методы расчета и сами расчеты, описывать проводимые эксперименты, их анализ и выводы по ним, при необходимости сопровождаться иллюстрациями, графиками, диаграммами, схемами и т. п.

Примерное содержание разделов пояснительной записки в качестве примера для курсового проекта по учебной дисциплине «Горные машины и оборудование» 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)» подробно описано в [14].

Требования к лингвистическому оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка курсового, дипломного проекта должна быть написана логически последовательно, литературным языком. Повторное употребление одного и того же слова, если это возможно, допустимо через 50–100 слов. Не должны употребляться как излишне пространные и сложно построенные предложения, так и чрезмерно краткие лаконичные фразы, слабо между собой связанные, допускающие двойные толкования и т. д.

При написании пояснительной записки не рекомендуется вести изложение от первого лица единственного числа: «я наблюдал», «я считаю», «по моему мнению» и т. д. Корректнее использовать местоимение «мы». Допускаются обороты с сохранением первого лица множественного числа, в которых исключается местоимение «мы», то есть фразы строятся с употреблением слов «наблюдаем», «устанавливаем», «имеем». Можно использовать выражения «на наш взгляд», «по нашему мнению», однако предпочтительнее выражать ту же мысль в безличной форме, например:

- изучение педагогического опыта свидетельствует о том, что ...;
- на основе выполненного анализа можно утверждать ...;
- проведенные исследования подтвердили ...;
- представляется целесообразным отметить ...;
- установлено, что ...;
- делается вывод о ...;
- следует подчеркнуть, выделить ...;
- можно сделать вывод о том, что ...;
- необходимо рассмотреть, изучить, дополнить ...;
- в работе рассматриваются, анализируются ...

При написании пояснительной записки необходимо пользоваться языком научного изложения. Здесь могут быть использованы следующие слова и выражения:

1. Для указания на последовательность развития мысли и временную соотнесенность:

- прежде всего, сначала, в первую очередь;
- во-первых, во-вторых и т. д.;
- затем, далее, в заключение, итак, наконец;

– до сих пор, ранее, в предыдущих исследованиях, до настоящего времени;

– в последние годы, десятилетия.

2. Для сопоставления и противопоставления:

– однако, в то время как, тем не менее, но, вместе с тем;

– как ..., так и ...;

– с одной стороны, с другой стороны, не только ..., но и;

– по сравнению, в отличие, в противоположность.

3. Для указания на следствие, причинность:

– таким образом, следовательно, итак, в связи с этим;

– отсюда следует, понятно, ясно;

– это позволяет сделать вывод, заключение;

– свидетельствует, говорит, дает возможность;

– в результате.

4. Для дополнения и уточнения:

– помимо этого, кроме того, также и, наряду с, в частности;

– главным образом, особенно, именно.

5. Для иллюстрации сказанного:

– например, так;

– проиллюстрируем сказанное следующим примером, приведем пример;

– подтверждением выше сказанного является.

6. Для ссылки на предыдущие высказывания, мнения, исследования и т. д.:

– было установлено, рассмотрено, выявлено, проанализировано;

– как говорилось, отмечалось, подчеркивалось;

– аналогичный, подобный, идентичный анализ, результат;

– по мнению X, как отмечает X, согласно теории X;

7. Для введения новой информации:

– рассмотрим следующие случаи, дополнительные примеры;

– перейдем к рассмотрению, анализу, описанию;

– остановимся более детально на;

– следующим вопросом является;

– еще одним важнейшим аспектом изучаемой проблемы является.

8. Для выражения логических связей между частями высказывания:

– как показал анализ, как было сказано выше;

– на основании полученных данных;

– проведенное исследование позволяет сделать вывод;

- *резюмируя сказанное;*
- *дальнейшие перспективы исследования связаны с.*

Письменная речь требует использования в тексте большого числа развернутых предложений, включающих придаточные предложения, причастные и деепричастные обороты. В связи с этим часто употребляются составные подчинительные союзы и клише:

- *поскольку, благодаря тому что, в соответствии с;*
- *в связи, в результате;*
- *при условии, что, несмотря на;*
- *наряду с, в течение, в ходе, по мере.*

Необходимо определить основные понятия по теме исследования, чтобы использование их в тексте пояснительной записки было однозначным. Это означает: то или иное понятие, которое разными учеными может трактоваться по-разному, должно во всем тексте данной работы от начала до конца иметь лишь одно, четко определенное автором курсовой работы значение.

В пояснительной записке должно быть соблюдено единство стиля изложения, обеспечена орфографическая, синтаксическая и стилистическая грамотность в соответствии с нормами современного русского языка.

Оформление библиографического указателя «Список использованных источников»

Ссылки на литературу, нормативно-техническую и другую документацию, иные источники, использованные при работе над курсовым, дипломным проектом, помещают в конце пояснительной записки перед приложениями в виде перечня СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ, название которого записывают прописными буквами с новой страницы по центру.

В тексте пояснительной записки все ссылки на анализируемые опубликованные сведения, заимствованные положения, формулы, таблицы, иллюстрации, методики записывают арабскими цифрами в квадратных скобках в возрастающем порядке. Если ссылка на использованный источник является концом предложения, то точка ставится после закрывающей квадратной скобки. Перенос только ссылки на используемый источник без предшествующего слова на новую строку не допускается. Например:

«На большинстве калийных месторождений добыча руды осуществляется подземным способом с использованием камерной системы разработки и системы отработки пластов длинными очистными забоями. Параметры очистных камер определяются горно-геологическими и горнотехническими условиями залегания продуктивных пластов, а также зависят от типа транспортных средств, обеспечивающих доставку калийной руды от забоя до выемочного штрека [4, 14].

Почва выработок, по которым перемещаются самоходные вагоны, не имеет покрытия [9]. Неровности и уклоны шахтных выработок оказывают существенное влияние на ресурс СВ [14, 17, 18]. Наличие неровностей трассы совместно с изменяющимся рельефом способствует постоянному присутствию переходных процессов в механических передачах».

В списке использованных источников позиции располагают и нумеруют в той последовательности, в которой расположены и пронумерованы ссылки в тексте пояснительной записки.

Без ссылок в тексте пояснительной записки разрешается использовать сведения, полученные на лекциях, семинарских, практических и лабораторных занятиях. Однако использованные учебные, учебно-методические материалы и пособия должны быть приведены и расположены в конце списка.

При написании пояснительной записки необходимо давать ссылки на источники, используемые при ее выполнении. Сведения об источниках приводятся в соответствии с требованиями ГОСТ 7.1-2017.

Источники, которые не использовались и на которые ссылок нет, в список не включать. Сведения об источниках в списке можно располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте пояснительной записки или в алфавитном порядке фамилий первых авторов и (или) заглавий. Предпочтительнее использовать первый из перечисленных способов формирования списка.

Примеры библиографического описания различных источников, являющихся самостоятельными изданиями и составными частями изданий, приведены в табл. 1.

Примеры оформления списка использованных источников

Характеристика документа	Пример библиографического описания
а) примеры описания самостоятельных изданий	
Издания с одним, двумя и тремя авторами	Макимова, А. А. Инженерное проектирование в средах САД. Геометрическое моделирование средствами системы «КОМПАС-3D»: учеб. пособие / А. А. Максимова. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2016. – 238 с.
	Нечепаяев, В. Г. Детали машин. Прикладная механика. Основы конструирования. Детали машин и основы конструирования: учебное пособие / В. Г. Нечепаяев, М. Ю. Ткачев, В. А. Голдобин. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. – 320 с.
Издания с четырьмя и более авторами	Технические средства диагностирования: справочник / В. В. Клюев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
	Инвестиции: системный анализ и управление / К. В. Балдин [и др.]; под ред. К. В. Балдина. – 4-е изд., испр. – М.: Дашков и К°, 2013. – 287 с.
Издания с коллективным автором	Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 г. / Нац. комис. по устойчивому развитию Респ. Беларусь; редкол.: Л. М. Александрович [и др.]. – Минск: Юнипак, 2004. – 202 с.
	Кане, М. М. Исследование и изобретательство в машиностроении: практикум / под общ. ред. М. М. Кане. – Минск: УП «Технопринт», 2003. – 237 с.
Многотомные издания в целом	Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. Часть I / Д. В. Дорохов, В. И. Сивохин, А. С. Подтыкалов, И. С. Костюк. Под общ. ред. Д. В. Дорохова. – Донецк: ДонГТУ, 1997. – 48 с.
	Гісторыя Беларусі: у 6 т. / рэдкал.: М. Касцюк (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Саврем. шк.: Экаперспектыва, 2007–2011. – 6 т.
Отдельные тома в многотомном издании	Багдановіч, М. Поўны збор твораў: у 3 т. / М. Багдановіч. – 2-е выд. – Мінск: Беларус. навука, 2001. – Т. 1: Вершы, паэмы, пераклады, наследаванні, чарнавыя накіды. – 751 с.
	Вялікае княства Літоўскае: ВКЛ: энцыклапедыя: у 2 т. / Беларус. навук.-даслед. ін-т дакументазнаўства і арх. справы; рэдкал.: Г. П. Пашкоў (гал. рэд.) [і інш.]. – Мінск: Беларус. Энцыкл., 2005–2006. – Т. 1. – 2005. – 684 с.
Сборники статей, трудов	Инновационное развитие общества в условиях интеграции правовых систем: сб. науч. ст. / Гродн. гос. ун-т; редкол.: Н. В. Сильченко (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГМУ, 2013. – 454 с.

Характеристика документа	Пример библиографического описания
	Марксизм: очерки марксистской политической экономики: сб. ст. / Междунар. ассоц. политэкономов-марксистов ; под ред. А. А. Ковалева, А. П. Проскурина. – М : Канон+, 2013. – 335 с.
Материалы конференций	Информационные технологии и управление: материалы 49 науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов, Минск, 6–10 мая 2013 г. / Белорус. гос. ун-т информатики и радиоэлектроники; редкол.: Л. Ю. Шилин [и др.]. – Минск : БГУИР, 2013. – 103 с. Международная научно-техническая конференция «Техника и технология защиты окружающей среды», 9–11 октября 2013 г.: материалы конф. / Белорус. гос. технол. ун-т ; редкол.: И. М. Жарский (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГТУ, 2013. – 208 с.
Диссертации	Врублеўскі, Ю. У. Гістарыяграфія гісторыі ўзнікнення і развіцця гарадоў на тэрыторыі Беларусі ў IX–XIII стст. : дыс. ... канд. гіст. навук : 07.00.09 / Ю. У. Врублеўскі. – Мінск, 2013. – 148 л.
Учебники, учебно-методические материалы	Агапов, Е. П. Методы исследования в социальной работе : учеб. пособие / Е. П. Агапов. – 2-е изд. – М. : Дашков и К° ; Ростов н/Д : Наука-Спектр, 2013. – 223 с. Технология подземной разработки пластовых месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов. Часть 1 / Д. В. Дорохов, В. И. Сивохин, А. С. Подтыкалов, И. С. Костюк. Под общ. ред. Д. В. Дорохова. – Донецк : ДонГТУ, 1997. — 48 с.
Электронные ресурсы локального доступа	Журава, А. С. Электронны трэнажор па беларускай мове. 3 клас [Электронны рэсурс] / А. С. Журава. – 3-е выд. – Мазыр : Содействие, 2013. – 1 электрон. апт. дыск (CD-ROM).
Книга на иностранном языке:	Emons, H.-H. Die Kaliindustrie: Geschichte eines deutschen Wirtschafts-zweiges / H.-H. Emons // Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät / Leibniz-Sozietät, Trafo-Verlag. – Berlin, 2002. – 140 p.
Электронные ресурсы удаленного доступа	Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь : [сайт]. – Минск, 2003–2004. – URL: http://www.pravo.by (дата обращения: 20.02.2024). Национальный статистический комитет Республики Беларусь [сайт]. – Минск, 1998–2024. – URL: http://belstat.gov.by/ (дата обращения: 20.02.2024).
б) примеры описания составных частей изданий	
Составные части книг	Абросимова, М. А. Направления автоматизации / М. А. Абросимова // Информационные технологии в государственном и муниципальном управлении : учеб. пособие / М. А. Абросимова. – 2-е изд., стер. – М., 2013. – С. 44–46.

Характеристика документа	Пример библиографического описания
	Бек, У. Перспектива космополитизма: социология второй эпохи модернити / У. Бек // Информационное общество: экономика, власть, культура : хрестоматия : в 2 т. / Новосиб. гос. техн. ун-т ; сост.: В. И. Игнатъев, Е. А. Салихова. – Новосибирск, 2004. – Т. 2. – С. 5–36.
Главы из книг	Борхард, Ю. Восстановление производства / Ю. Борхард // Накопление капитала : пер. с нем. / Ю. Борхард ; под ред. Г. Б. Гермаидзе. – Изд. 2-е. – М., 2013. – Гл. 9. – С. 253–271. Лемешевский, И. М. Экономическая безопасность Беларуси / И. М. Лемешевский // Национальная экономика Беларуси: основы стратегии развития : курс лекций / И. М. Лемешевский. – Минск, 2012. – Гл. 18. – С. 523–540.
Статьи из сборников	Юнгмейстер, Д. А. Оценка и сравнение методов транспортировки глубоководных полезных ископаемых =Evaluation and comparison of deep-sea mineral transportation methods / Д. А. Юнгмейстер, М. П. Смоленский // XI Форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сборник материалов, г. Минск, 12–16 декабря 2022 г. / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2023. – С. 230–232. Божанов, П. В. Направления развития транспортного комплекса Беларуси / П. В. Божанов // Современные концепции развития транспорта и логистики в Республике Беларусь: сб. ст. / Ин-т бизнеса и менеджмента технологий Белорус. гос. ун-та ; сост.: В. В. Апанасович, А. Д. Молокович. – Минск, 2014. – С. 56–64.
Статьи из журналов	Опыт применения автоматизированных систем мониторинга горного давления с программным обеспечением ПрОК в слоевых лавах пласта Третьего калийного горизонта / И. И. Головатый [и др.] //Горная механика и машиностроение. – 2020. – № 4. – С. 5–14. Влияние магнитного поля на скорость ионной компоненты пучка частиц, образующихся при наносекундном вакуумном перекрытии диэлектриков / А. С. Гилев [и др.] // Изв. вузов. Физика. – 2012. – Т. 55, № 6. – С. 3–6.
в) пример описания нормативных материалов	
Нормативные материалы	ГОСТ 2.701-4. Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – Взамен ГОСТ 2.701-6; введен 1985-1-7. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 23 с.

Характеристика документа	Пример библиографического описания
г) пример описания патентных документов:	
Патентные документы	Пат. 2261214 Российская Федерация, МПК В 65 G 53/40, 65/30. Камерный питатель нагнетательной пневмотранспортной установки [Текст] / С. Я. Давыдов, И. Д. Кашеев, Ф. Л. Капустин; заявитель и патентообладатель Уральский федеральный университет (RU). – № 20033123474; заявл. 25.07.2003; опубл. 27.09.2005, Бюл. № 27. – 6 с.: ил.
пример описания авторского свидетельства:	
Авторское свидетельство	А. с. 831216 СССР, МКИ ³ В 07 В 4/04. Пневматический классификатор / М. Д. Барский, С. Ф. Шишкин, А. П. Ремезов. № 3360585/25-08; заявл. 23.11.1979; опубл. 23.05.1981. Бюл. № 19. – 2 с.

Моделирование и конструирование в системах автоматизированного проектирования

В настоящее время автоматизированное проектирование вытесняет традиционный, ручной способ черчения и расчетов. За теми, кто проектирует, остаются только наиболее общие, творческие вопросы, решение которых и определяет принципиальные характеристики проектируемой технической системы. Все рутинные операции выполняются в системах автоматизированного проектирования. Эти тенденции еще больше повышают требования к инженеру, занимающемуся проектированием технических систем, и его ответственность за надежность функционирования машины (оборудования) в течение всего ее жизненного цикла.

Составляющие традиционной и новой технологий проектирования приведены на рис. 1, 2.

Для автоматизации проектно-конструкторских работ с использованием компьютерных технологий возможны несколько способов получения графического изображения объекта машиностроения, т. е. основного документа конструктора – чертежа:

- 1) графическое редактирование или двумерное 2D-моделирование;
- 2) получение чертежа по трехмерной 3D-модели объекта;
- 3) графическое программирование;

4) параметризованное проектирование на базе 2D- или 3D-моделирования.

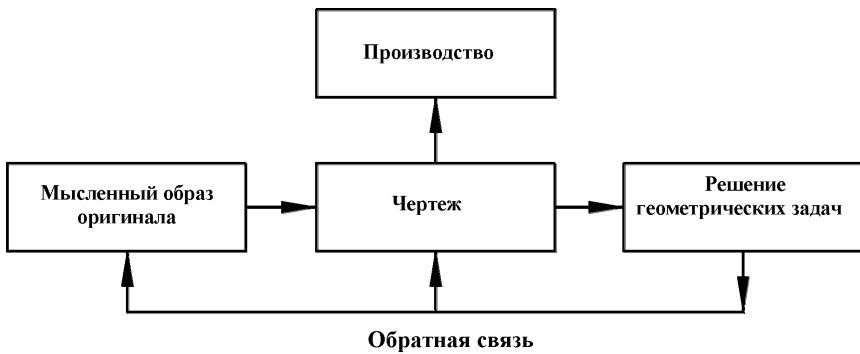


Рис. 1. Составляющие традиционной технологии проектирования



Рис. 2. Составляющие новой технологии проектирования

При выполнении курсовых проектов важная роль должна отводиться приобретению студентом первого самостоятельного опыта в разработке электронных моделей деталей и сборочных единиц.

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) охватывают все производство, от проектирования изделий до изготовления продукции.

В зависимости от того, какие задачи решает компьютерная система, она может быть отнесена к одному из классов:

CAD (Computer-aided design) – программы компьютерного проектирования, служащие для решения конструкторских задач и разработки чертежно-конструкторской документации. Они включают два модуля (модуль моделирования и модуль оформления), позволяют строить как двумерные чертежи, так и трехмерные геометрические модели. Основная функция CAD – определение геометрии конструкции.

CAE (Computer-aided engineering) – это технология, состоящая в использовании компьютерных систем для анализа геометрии CAD, моделирования и изучения поведения продукта для усовершенствования и оптимизации его конструкции. Системы решают задачи инженерного анализа, к которым относятся прочностные и тепловые расчеты, анализ процессов литья и т. д.

CAM (Computer-aided manufacturing) – системы, служащие для разработки программ, управляющих технологическими процессами, например, обработкой деталей на станках-автоматах.

CAD/CAM – системы обеспечивают одновременное решение задач конструкторского и технологического проектирования. Здесь имеются комплексные средства как для построения и выпуска чертежей, так и для автоматизированного управления производством.

PDM – системы служат для организации электронного документооборота на предприятиях.

У всех вышеназванных систем в структуре имеется модуль компьютерной графики, предназначенный для построения и редактирования графических объектов.

CAD-системы позволяют реализовывать концепцию разработки изделий, отталкиваясь от трехмерных моделей. По сути, использование инструментов такой САПР позволяет разработчику максимально приблизить компьютерную модель к реальному изделию.

Программы CAD обладают целым рядом функций, характеризующих современное компьютерное конструирование и проектирование. Основные функции – параметризация, ассоциативность, оптимизация, диалог пользователя, сборочные модели, проектирование «сверху вниз» и др.

Параметризация конструкции – это заложенные внутри конструкторской модели определенные соотношения, которые затем автоматически модифицируют ее при изменениях в каком-либо из заданных параметров конструкции. Например, если заданы соотношения между модулем зубчатой передачи, передаточным отношением и делитель-

ным диаметром зубчатого колеса, то при изменении любого параметра все остальные будут автоматически приходить в соответствие, что отразится в чертеже, размерах и таблице.

Ассоциативность данных – это автоматически поддерживаемая доступность информации, введенной в одной части программы, для других частей.

Например, для детализовки по трехмерной модели изделия конструктор создает ассоциативно связанные двумерные проекции на чертеже. При редактировании трехмерной модели детали или выборе нужного исполнения все изменения автоматически отображаются на чертеже.

Оптимизация – это автоматический подбор наилучших параметров изделия по выбранному критерию без рутинной ручной подгонки геометрии.

Диалог пользователя – это инструменты пользователя, которые позволяют организовать наглядное представление изменяемых параметров. Диалог пользователя облегчает использование параметрического проекта (модели) любым проектировщиком и делает возможным компактный вывод управляемых параметров.

При работе с моделью в программе САД можно подключить программу САЕ и произвести для данной модели инженерные расчеты.

САЕ представляют программы, каждая из которых позволяет решать определенную расчетную задачу: расчеты на прочность, анализ и моделирование тепловых процессов, расчет гидравлических систем и машин, расчет процессов литья, динамический и кинематический анализ, расчеты зубчатых передач и пружин и др. Программы САЕ получают и используют дву- или трехмерную модель, созданную в программе САД.

САЕ определяют как инженерный анализ, поскольку данное программное обеспечение используется для расчета характеристик и поведения изделия с целью их улучшения или решения возникших технических проблем, которое состоит из следующих составляющих (рис. 3).

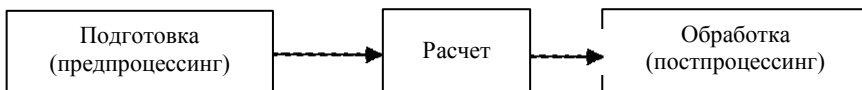


Рис. 3. Составляющие инженерного анализа

Для инженерного анализа характерны три типа программных средств:

- для решения задач анализа состояния масс;
- для решения задач методом конечных элементов;
- для решения задач линейного программирования, автоматизации инженерных расчетов (Mathcad).

Решение проектных задач с помощью программного пакета Mathcad

Будущий специалист горного производства должен овладеть:

- базовыми аспектами построения алгоритмов и их анализа;
- методами сбора и анализа информации, современными средствами и методами ее обработки;
- основными приемами программирования и использования современных программных продуктов по вычислительной математике, используемых для решения инженерных задач;
- навыками самостоятельно реализовывать численные алгоритмы средствами интегрированных пакетов прикладных программ автоматизации инженерно-технических расчетов;
- навыками разработки математических моделей инновационного оборудования на основе имеющейся исходной информации.

Выполнение проекта зависит от адекватной постановки математической задачи, разработки алгоритма ее решения, правильности применения системы.

Наиболее целесообразным для расчетов при работе над курсовыми и дипломными проектами является использование средств программного пакета Mathcad, который представляет собой математически ориентированную универсальную систему для выполнения различных математических и технических расчетов, оснащенную простым в изучении интерфейсом.

Преимуществами использования Mathcad являются автоматизация вычислений, предоставление студентам большего времени на осмысление алгоритма расчета и принятие решений о выборе конструктивной схемы, применяемых материалов, расчетных коэффициентов, на выполнение логических переходов. Появляется возможность выполнения систематических расчетов и решения задач оптимизации разрабатываемой конструкции.

Mathcad предоставляет пользователю инструменты для работы с формулами, графиками и текстами. В Mathcad доступно большое число операторов, встроенных функций, предназначенных для числовых и символьных решений математических задач различной сложности.

Mathcad позволяет значительно сократить время, затраченное на вычислительную работу, проводить интерактивные многовариантные расчеты параметров механизмов, анализировать эти расчеты и выбирать оптимальные значения параметров на основе критериев оптимальности.

Применение программы Mathcad при проектировании создает благоприятные условия для развития математических и творческих способностей обучающихся, подготовки их к самостоятельной продуктивной деятельности в условиях информационного общества, создания устойчивого интереса.

В качестве примера на рис. 4 приведен фрагмент листинга решения задачи по моделированию стационарного процесса работы горной машины на основе законов сохранения энергии, которое заключается в определении двух основных расчетных параметров – скорости исполнительного органа и скорости подачи. Модель рабочего процесса горной машины описывается с помощью двух основных балансовых соотношений – уравнений баланса мощности и производительности. Для решения данной задачи используется решающий блок, который открывается служебным словом Given со встроенной функцией пакета Mathcad, предназначенной для решения систем уравнений и неравенств, Minerr(x_1, x_2, \dots, x_n).

На рис. 5 представлен фрагмент листинга графика зависимости мощности, необходимой для подъема отбитой породы, от скорости подачи в среде Mathcad.

На рис. 6 показан фрагмент листинга построения и исследования трехмерного графика зависимости мощности на передвижение машины от скорости подачи и скорости движения резцов исполнительного органа в среде Mathcad.

Определение v и u

v := 1 u := 1

Given

1.8(0.0196-v) = 0.0025925925925925926-u - 0.0015776788496054782017

$$1.35 \left[\frac{108.9574766303584879 \cdot v}{\left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{2}{5}}} + 0.883267875 \cdot v + \left[38.37768936673587628 \cdot v + 71.842391449355591567 \cdot v^2 \cdot \left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{3}{5}} \right] \right] = 80$$

$\begin{pmatrix} v_0 \\ u_0 \end{pmatrix} := \text{Miner}(v, u)$

$\begin{pmatrix} v_0 \\ u_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.25 \\ 4.011 \end{pmatrix}$

y := 0.25

u := 4.011

Проверка

$N_1 := \frac{108.9574766303584879 \cdot v}{\left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{2}{5}}} = 47.479$

$N_2 := 0.883267875 \cdot v = 0.221$

$N_3 := 38.37768936673587628 \cdot v + 71.842391449355591567 \cdot v^2 \cdot \left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{3}{5}} = 11.546$

1.35(N₁ + N₂ + N₃) = 79.981

Рис. 4. Фрагмент листинга решения задачи по моделированию стационарного процесса работы горной машины в среде Mathcad

$$N_2(v) := 0.883267875 \cdot v$$

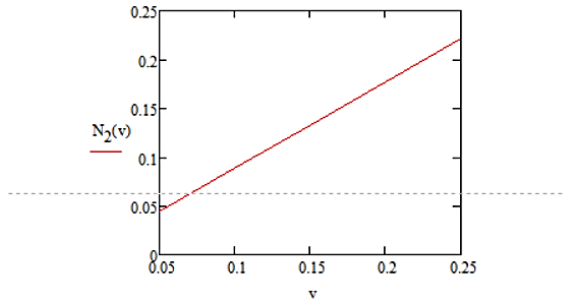
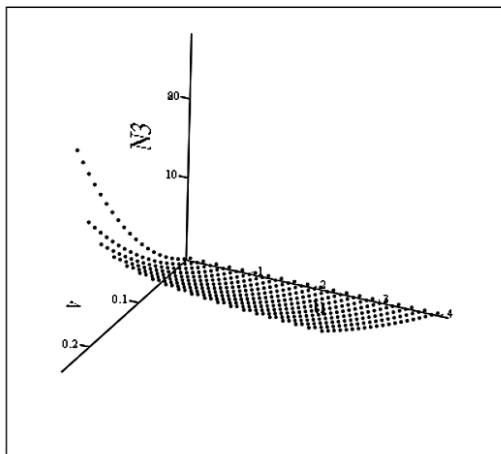


Рис. 5. Фрагмент листинга графика зависимости мощности, необходимой для подъема отбитой породы, от скорости подачи в среде Mathcad

$$\begin{aligned}
 v_0 &:= 0.011 & u_0 &:= 0.1 & v & \\
 v_1 &:= 0.25 & u_1 &:= 4.01 & & \\
 N_3(v, u) &:= 38.37768936673587628 \cdot v + 71.842391449355591567 \cdot v^2 \cdot \left(\frac{1}{u}\right)^{\frac{3}{5}} \\
 F &:= \text{CreateMesh}(N_3, v_0, v_1, u_0, u_1)
 \end{aligned}$$



F

Рис. 6. Фрагмент листинга построения и исследования трехмерного графика зависимости мощности на передвижение машины от скорости подачи и скорости движения резцов исполнительного органа в среде Mathcad

Разработка привода общего назначения горной машины, оборудования в среде Компас-3D

Рассмотрим вариант выполнения курсового, дипломного проекта, при котором ставится задача разработки привода общего назначения технического объекта. Для интенсификации расчетов в рамках учебного проектирования, а также для самоконтроля целесообразно использовать средства Компас-3D, которые позволяют выполнять геометрические и прочностные расчеты механических передач.

Трансмиссия горных машин является неотъемлемой составной частью привода, а ее вид и характеристики определяются общим назначением привода горной машины, оборудования. Так, привод горных машин в общем случае включает в себя двигатель, трансмиссию, соединяющую двигатель с рабочим органом и обеспечивающую передачу мощности на него, устройства для подвода энергии и управления приводом.

Программный комплекс GEARS в среде Компас-3D позволяет не только выполнять чертежи на достаточно высоком уровне, но и рассчитывать различные механические передачи, валы, напряженно-деформированное состояние и др. На практике большинство проектов сводится к расчетам тех или иных видов передач. Например, при выполнении курсового, дипломного проекта, при разработке привода составной части горной машины, оборудования применяют редукторы с цилиндрической или коническо-цилиндрической передачей, планетарные передачи. Расчет передач является обязательным в проектировании и модернизации приводов технических объектов горнодобывающей отрасли.

При помощи прикладных библиотек программной среды Компас можно выполнить расчет и моделирование механических передач.

В частности, Компас-GEARS позволяет производить для различных механических передач геометрические расчеты, расчеты на прочность, расчеты на долговечность и т. д.

На рис. 7 показана последовательность запуска Компас-GEARS.

На рис. 8 представлено главное окно диалога «Комплекс программ GEARS», на нем видно для каких типов механических передач можно выполнить расчет.

Для выполнения расчета в главном окне диалога «Комплекс программ Компас-GEARS» необходимо выбрать тип передачи и нажать кнопку «Выполнить».

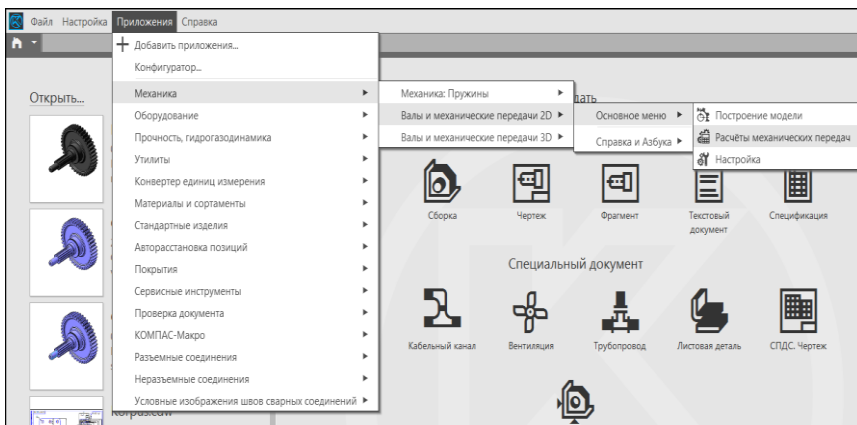


Рис. 7. Последовательность запуска GEARS

Так, расчет цилиндрических (конических) зубчатых передач может включать (рис. 9):

- расчет геометрических параметров передачи;
- расчет на прочность;
- расчет на долговечность;
- проектный расчет, восстановительный расчет.

Расчет следует начинать с определения геометрических параметров передачи (рис. 10).

Расчет геометрических параметров передачи в окне диалога «Геометрический расчет» осуществляется в пять этапов:

- 1) на вкладке «Страница 1» нужно ввести исходные данные;
- 2) на вкладке «Страница 2» нужно ввести данные и нажать кнопку «Расчет» (🧮);
- 3) выполнение и запись расчетов (сохранение);
- 4) просмотр результатов расчета;
- 5) переход к следующему этапу расчета («Возврат в главное окно»).

На рис. 11, 12 представлены диалоговое окно «Геометрический расчет» с раскрытыми вкладками «Страница 1» и «Страница 2» для варианта расчета «По межосевому расстоянию» соответственно.

На рис. 13 представлено окно «Результаты расчета».

Для продолжения расчетов окно «Результаты расчета» необходимо закрыть.



Рис. 8. Главное окно диалога «Комплекс программ Компас-GEARS»

В диалоговом окне «Геометрический расчет» с раскрытой вкладкой «Страница 2» необходимо щелкнуть по кнопке «Сохранить», затем – «Возврат в главное окно» для перехода в главное окно системы.

В главном окне активизируется кнопка «Расчет на прочность». После щелчка по ней появится диалоговое окно «Расчет на прочность при действии максимальной нагрузки» с раскрытой вкладкой «Страница 1» (рис. 14).

В открывшемся окне диалога необходимо ввести параметры: материал колес, величина нагрузки, частота вращения ведущего звена, схема расположения колес передачи (рис. 15). Далее выполняют расчет, для этого необходимо щелкнуть по кнопке «Расчет» (🖨️).

На рис. 16 представлено окно «Результаты расчета».

Для продолжения расчетов окно «Результаты расчета» необходимо закрыть.

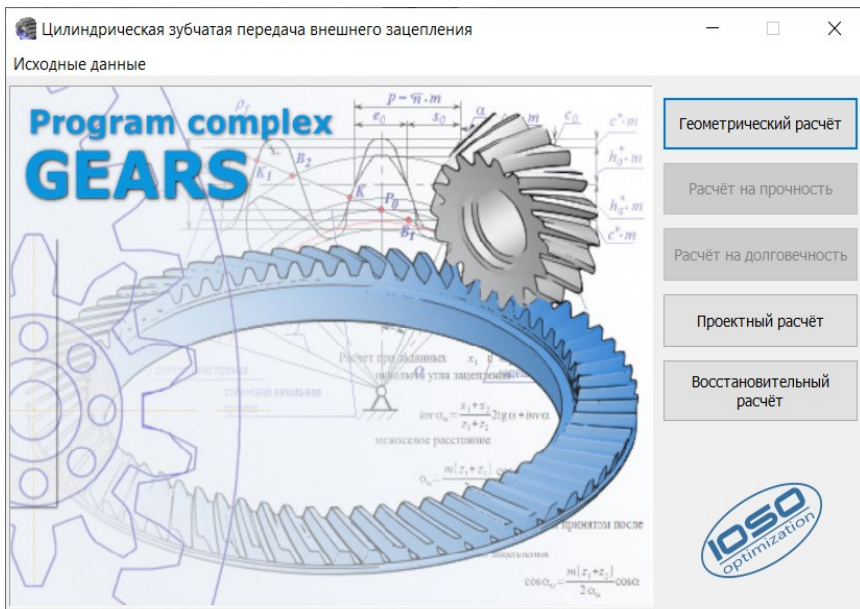


Рис. 9. Главное окно расчета зубчатых передач

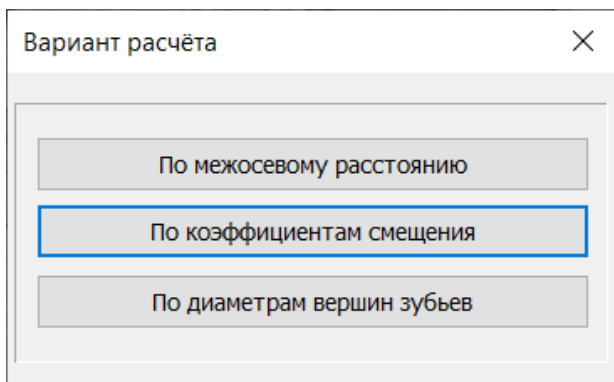


Рис. 10. Диалоговое окно «Вариант расчета»

Наименование и обозначение параметра		Шестерня	Колесо
1. Число зубьев	z_1, z_2	25	50
2. Модуль, мм	m_n	2	
3. Исходный контур	—	ГОСТ 13755-2015	
4. Угол наклона зубьев на делительном цилиндре	β	0° 0' 0"	
5. Направление линии зуба шестерни	—	прямое	
6. Угол профиля зуба исходного контура	α	20° 0' 0"	
7. Коэффициент высоты головки зуба исходного контура	h_a^*	1	
8. Коэффициент радиального зазора исходного контура	c^*	0.25	
9. Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба исходного контура	ρ_f^*	0.38	
10. Ширина зубчатого венца, мм	b_1, b_2	15	20
11. Межосевое расстояние, мм	a_w	75	
12. Диаметр измерительного ролика, мм	D_1, D_2	3.464	3.464
13. Тип зуборезного инструмента	—	гребенка	гребенка
14. Параметры зуборезного инструмента	Число зубьев	—	—
	Диаметр вершин, мм	d_{ao1}, d_{ao2}	—
15. Ширина межвенцовый канавки для выхода инструмента (у шевронных колёс), мм	b_{11}, b_{12}	—	—
16. Относительное угловое смещение положения зубьев полушевронов на половину окружного шага	—	—	

Рис. 11. Диалоговое окно «Геометрический расчет» с раскрытой вкладкой «Страница 1»

Наименование и обозначение параметра		Шестерня	Колесо
Степень точности	—	7-C	<input type="checkbox"/> 7-C
Суммарный коэффициент смещения	x_Σ	0	
Коэффициент смещения исходного контура	x_1, x_2	0.3314	-0.3314
Расчётный диаметр вершин зубьев, мм	d_{a1}, d_{a2}	55.326	102.674
Фактический диаметр вершин зубьев, мм	d'_{a1}, d'_{a2}	55.326	102.674
<u>Ход расчёта</u>			

Рис. 12. Диалоговое окно «Геометрический расчет» с раскрытой вкладкой «Страница 2»

Наименование и обозначение параметра		Шестерня	Колесо
1. Вариант схемы расположения передачи	—	6	
2. Материал зубчатых колес	Шестерня	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-2016	
	Колесо	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-2016	
3. Допускаемые напряжения по контакту, МПа	σ_{HPmax}	2464	2464
4. Допускаемые напряжения по изгибу, МПа	σ_{FPmax}	1143	1143
5. Твердость активных поверхностей зубьев колес, HRC или HB	—	56	56
6. Расчётная нагрузка (крутящий момент на шестерне), Н*м	T_{max}	1000	
7. Частота вращения шестерни, об/мин	n_1	1425	

Рис. 14. Диалоговое окно «Расчет на прочность при действии максимальной нагрузки» с раскрытой вкладкой «Страница 1»

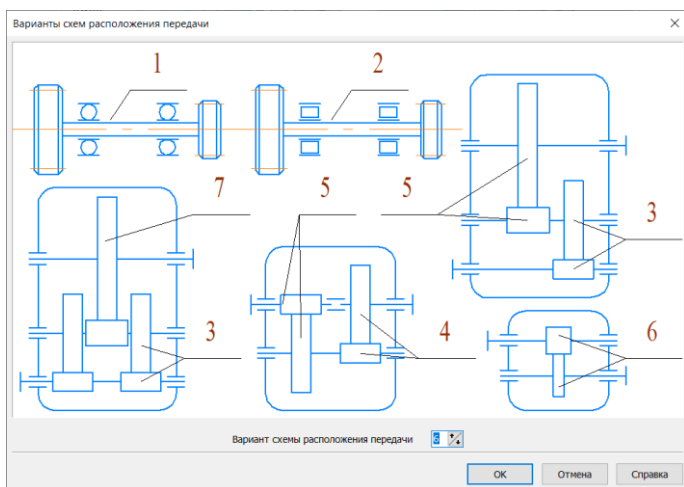


Рис. 15. Окно выбора схемы расположения колес

В диалоговом окне «Расчет на прочность при действии максимальной нагрузки» с раскрытой вкладкой «Страница 1» необходимо щелкнуть по кнопке «Сохранить», затем – «Возврат в главное окно» для перехода в главное окно системы. Там активизируется кнопка «Расчет на долговечность». После щелчка по ней появится соответствующее диалоговое окно с раскрытой вкладкой «Страница 1» (рис. 17).

Таблица 1. Расчет на прочность при растяжении максимальной нагрузки центрального зубчатого колеса винтового зацепления (по ГОСТ 21543-87)

Наименование и обозначение параметра		Шкала	Колесо =
Число зубьев	Z_1, Z_2	25	50
Модуль, мм	m	2	
Угол наклона зубьев на делительном диаметре	β	0°00'00"	
Угол профиля соседнего колеса	α	20°00'00"	
Угол профиля зуба колеса	α_0	15	20
Коэффициент радиального сдвига	λ	-0,341	-0,341
Степень точности	μ	7-С	7-С
Высота ступени разложения нарезки	μ_1	Сталь 16MnT ГОСТ 4543-2016	6
Материал колеса	μ_2	Сталь 16MnT ГОСТ 4543-2016	
Плотность материала колеса, кг/м ³	ρ	56	56
Частота вращения колеса, 1/мин (об/мин)	n_1	1000	
Частота вращения шестерни, об/мин	n_2	1425	
Сторонние параметры			
Окружная скорость в зацеплении, м/с	v	3,731	
Коэффициент утяжеления расчетной контактной прочности расцепляемых зубчатых колес по длине контактных линий	K_H	1,026	
Удельная окружная деформация сдвига, 1/мм	$\mu_{\text{кр}}$	15,932	
Удельная окружная деформация сдвига, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$K_{H\beta}$	1,006	
Окружная сила на делительном диаметре, Н	F_{tH}	4000	
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм	$F_{tH\beta}$	2751,167	
Расчетное контактное напряжение, МПа	$\sigma_{H\text{lim}}$	3765,225	
Расчетное контактное напряжение, МПа	σ_H	5464	6564
Коэффициент запаса по контактным напряжениям	S_H	0,684	0,684
Расчет на прочность по зубам			
Коэффициент утяжеления нормальности расцепляемых зубчатых колес по длине контактных линий	$K_{F\beta}$	1,026	
Удельная окружная деформация сдвига, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$\mu_{\text{кр}}$	17,18	
Коэффициент утяжеления деформации наружу	$K_{F\alpha}$	1,006	
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм	F_{tF}	4000	
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$F_{tF\beta}$	2753,88	
Расчетное контактное напряжение, МПа	$\sigma_{F\text{lim}}$	4951,927	5435,129
Расчетное контактное напряжение, МПа	σ_F	1143	1143
Коэффициент запаса по нормальным зубам	S_F	0,23	0,21

Коэффициент утяжеления внешнего зацепляющего зубчатого колеса	K_{α}	1
Коэффициент утяжеления распределение контактных напряжений по длине контактных линий	K_{β}	1,026
Удельная окружная деформация сдвига, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$\mu_{\text{кр}}$	15,932
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм	F_{tH}	1006
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$F_{tH\beta}$	4000
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$F_{tH\beta}$	2751,167
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$F_{tH\beta}$	186,966
Коэффициент утяжеления формы сопряженных зубчатых колес	Z_H	2,495
Коэффициент утяжеления формы суммарно сопряженных зубчатых колес	Z_{Σ}	0,689
Коэффициент утяжеления наклона зуба	γ_{Σ}	1
Расчетное контактное напряжение, МПа	σ_H	3765,225
Расчет на прочность по длине контактных линий		
Коэффициент утяжеления распределение контактных напряжений по длине контактных линий	$K_{H\beta}$	1,026
Удельная окружная деформация сдвига, 1/мм	$\mu_{\text{кр}}$	17,18
Коэффициент утяжеления внутреннего зацепления	$K_{H\alpha}$	1,006
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм	F_{tF}	4000
Удельная расчетная окружная сила, 1/мм (возможного в зацеплении др. зоны разбега)	$F_{tF\beta}$	2753,88
Коэффициент утяжеления внешнего зацепляющего зубчатого колеса	γ_{Σ}	1
Коэффициент утяжеления наклона зуба	γ_{Σ}	1
Расчетное контактное напряжение, МПа	σ_F	4951,927
Расчетное контактное напряжение, МПа	σ_F	5435,129

Рис. 16. Окно «Результаты расчета» при расчете на прочность

Расчёт на долговечность

Страница 1 | Режимы нагружения | Предмет расчёта

Наименование и обозначение параметра		Шестерня	Колесо
1. Материал зубчатых колес	Шестерня	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-2016	
	Колесо	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-2016	
2. Предел выносливости по контакту, МПа	σ_{Hlimb}	1288	1288
3. Предел выносливости по изгибу, МПа	σ_{Flimb}	820	820
4. Планируемый ресурс работы, час	L_p	16000	
5. Тип передачи	—	Обычная	
6. Количество сателлитов	n_s	1	
7. Функциональное назначение шестерни	—	Солнечная шестерня	
Коэффициенты			
8. Коэффициент ограничения усталостных повреждений	контакт	a_{HG}	0.6
	изгиб	a_{FG}	0.6
9. Коэффициент безопасности	контакт	S_H	1.2
	изгиб	S_F	1.55
10. Показатель кривой выносливости	контакт	q_H	6
	изгиб	q_F	9
11. Коэффициент, учитывающий шероховатость	Z_R	1	1
12. Базовое число циклов при изгибе, млн. циклов	N_{Flim}	4	4

Рис. 17. Диалоговое окно «Расчет на долговечность» с раскрытой вкладкой «Страница 1»

На рис. 18 представлено диалоговое окно «Расчет на долговечность» с открытой вкладкой «Режимы нагружения» с введенными данными.

На рис. 19 представлен фрагмент окна «Результаты расчета» в виде таблицы.

Файлы расчетов сохраняются в формате fr3. В то же время отчеты (расчеты) могут экспортироваться в документы форматов xls, pdf, jpeg, tnf и др.

Расчёт на долговечность

Страница 1 | Режимы нагружения | Предмет расчёта

Расчётная нагрузка (крутящий момент на шестерне), Н*м		Частота вращения шестерни, об/мин	Продолжительность работы передачи на данном режиме, %
контакт	изгиб		
T_{H1}	T_{F1}	n_{11}	—
1000	1000	1425	100

Рис. 18. Диалоговое окно «Расчет на долговечность» с открытой вкладкой «Режимы нагружения» с введенными данными

Таблица 1. Расчёт на долговечность цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления (по ГОСТ 21354-87)

Наименование и обозначение параметра		Шестерня *1	Колесо *2
<i>Исходные данные</i>			
Число зубьев	z_1, z_2	25	50
Модуль, мм	m_n	2	
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре	β	0°00'00"	
Угол профиля исходного контура	α	20°00'00"	
Ширина зубчатого венца, мм	b	15	20
Коэффициент смещения исходного контура	x	+0,341	-0,341
Степень точности	—	7-C	7-C
Вариант схемы расположения передачи	—	6	
Марка материала	*1	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-2016	
	*2	Сталь 18ХГТ ГОСТ 4543-2016	
Твердость активных поверхностей зубьев, HRC	—	56	56
Базовое число циклов перемены напряжений, миллионы	контакт	N_{Hlim}	114,726
	изгиб	N_{Flim}	4
Предел выносливости по контакту, соответствующий базовому числу циклов, МПа	σ_{Hlimb}	1288	1288
Коэффициент ограничения усталостных повреждений (контакт)	a_{HG}	0,6	
Коэффициент безопасности (контакт)	S_H	1,2	1,2
Показатель кривой выносливости (контакт)	q_H	6	6
Предел выносливости по изгибу, соответствующий базовому числу циклов, МПа	σ_{Flimb}	820	820
Коэффициент ограничения усталостных повреждений (изгиб)	a_{FG}	0,6	
Коэффициент безопасности (изгиб)	S_F	1,55	1,55
Показатель кривой выносливости (изгиб)	q_F	9	9
Коэффициент, учитывающий шероховатость	Z_R	1	1
Коэффициент, учитывающий влияние амплитуд напряжений противоположного знака	Y_A	1	1
Планируемый ресурс работы, час	L_p	16000	

Продолжение табл. 1.

<i>Режимы нагружения передачи</i>							
Расчётная нагрузка (крутящий момент на шестерне), Н·м		Частота вращения шестерни, об/мин	Продолжительность работы передачи на данном режиме, %	Число циклов нагружения, миллионы	Контактное напряжение, МПа	Напряжение изгиба, МПа	
						Шестерня*1	Колесо*2
контакт	изгиб	n_{j1}	—	N_{ct}	σ_{H1}	σ_{Fj1}	σ_{Fj2}
1000	1000	1425	100 %	1368	3765,225	4961,927	5435,129
Наименование и обозначение параметра						Шестерня*1	Колесо*2
<i>Определяемые параметры</i>							
Допускаемые напряжения по контакту, МПа					σ_{HP}	1073,333	1073,333
Эквивалентные напряжения по контакту, МПа					σ_{HE}	3765,225	3354,434
Допускаемые напряжения по изгибу, МПа					σ_{FP}	545,021	545,021
Эквивалентные напряжения по изгибу, МПа					σ_{FE}	4961,927	5032,248
Ресурс по контакту, час					L_H	2	4
Ресурс по изгибу, час					L_F	0	0

Рис. 19. Фрагмент окна «Результаты расчета» в виде таблицы

Создание модели цилиндрической зубчатой шестерни и расчет геометрических и прочностных параметров в среде Компас-GEARS

Средствами программного комплекса Компас можно спроектировать конструктивные элементы детали, проверить их изображение с помощью дополнительных настроек и получить фрагмент детали в соответствии с ЕСКД.

Рассмотрим пример создания модели цилиндрической зубчатой шестерни.

В главном окне при создании фрагмента (рис. 20) необходимо кликнуть кнопку «Построение модели» и появится окно программы «Валы и механические передачи 2D».

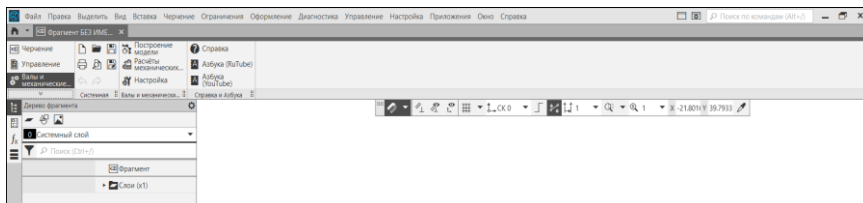



Рис. 20. Главное окно системы Компас при создании фрагмента

В окне «Валы и механические передачи 2D» (рис. 21) с помощью кнопки на панели управления системы  «Новая модель» откроется окно «Выбор типа отрисовки модели» (рис. 22).

В главном окне системы GEARS «Цилиндрическая шестерня с внешними зубьями» (рис. 23) необходимо щелкнуть по кнопке «Последний выполненный расчет» или вызвать файл сохраненного расчета.

В диалоговом окне «Выбор объекта построения» выбираем в качестве объекта построения шестерню (рис. 24).

Результат расчета шестерни с внешними зубьями представлен на рис. 25. В данном окне для подтверждения необходимо нажать кнопку в виде галочки, и программа построит фрагмент шестерни.

При построении модели детали (рис. 26) часто требуется кроме основных геометрических и проверочных расчетов указать такие конструктивные элементы детали, как участки простые по форме,

в виде цилиндра, шестигранника, сферы, конуса, а также всевозможные выемки на заготовках шкивов и зубчатых колес – отверстия, пазы, лыски и т. д.

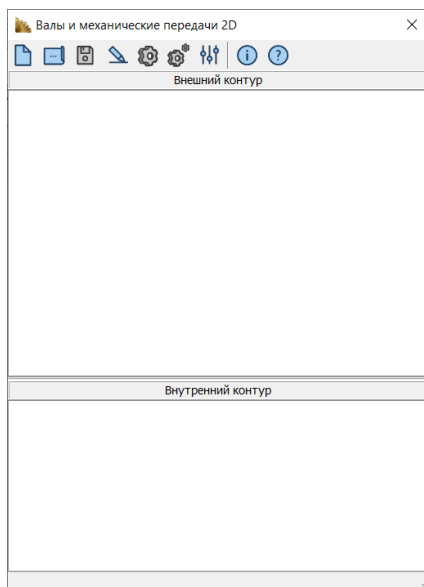


Рис. 21. Окно «Валы и механические передачи 2D»

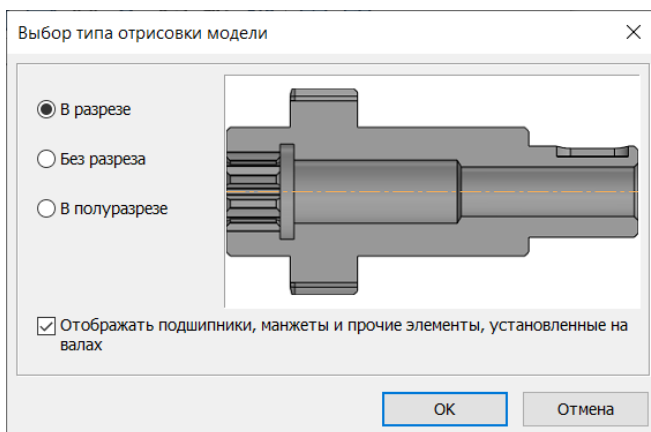


Рис. 22. Окно «Выбор типа отрисовки модели»

Построение шестерни осуществляется по ступеням «методом наращивания» [5, 19, 21].

Необходимо отметить, что в среде Компас фрагмент чертежа детали, сборочного чертежа можно получить отдельно, при необходимости вставить его в нужный чертеж.

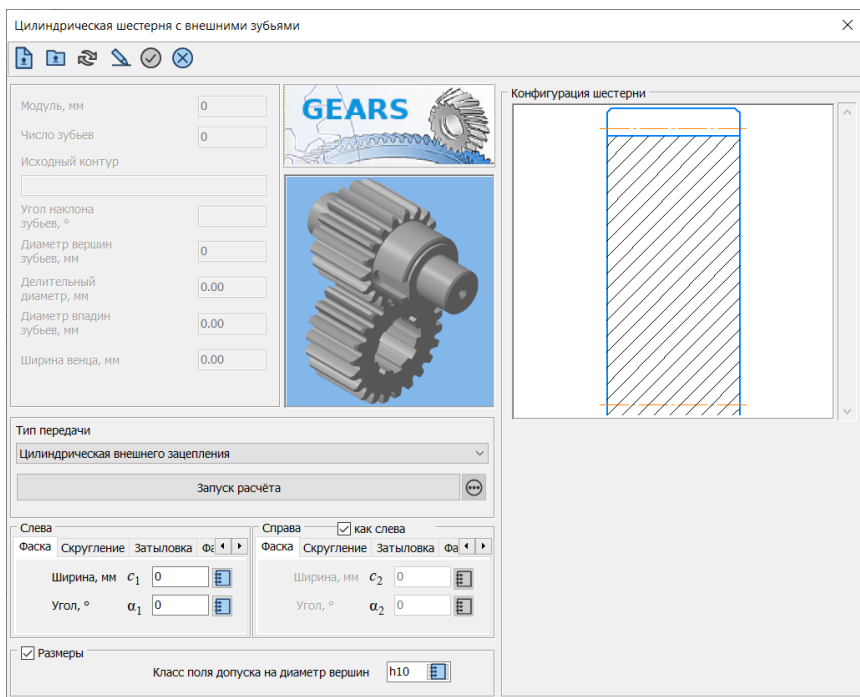


Рис. 23. Окно системы GEARS «Цилиндрическая шестерня с внешними зубьями»

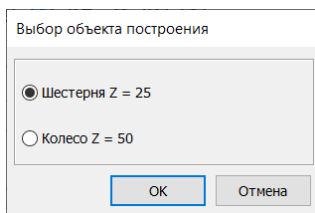


Рис. 24. Окно «Выбор объекта построения»

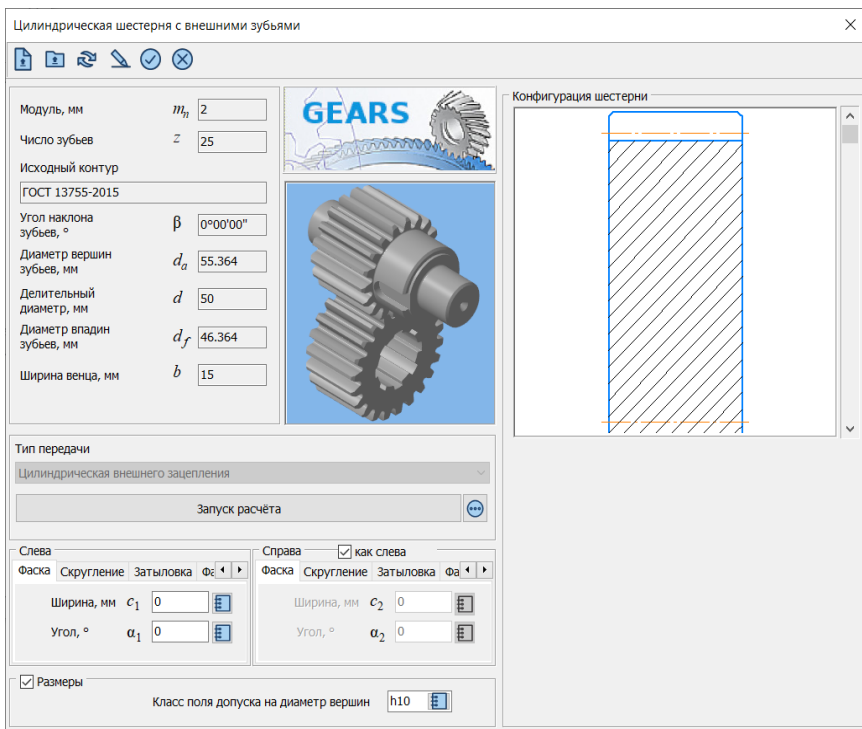


Рис. 25. Результат расчета шестерни с внешними зубьями

В среде Компас («Валы и механические передачи 2D») можно получить схему нагрузки детали в наглядной форме, удобной для восприятия. Нагрузку можно корректировать непосредственно на схеме нагрузки.

С помощью данной прикладной библиотеки можно также провести подбор подшипников по их статической и динамической грузоподъемности в соответствии с требованиями к курсовому, дипломному проектированию и дополнительный расчет подшипников на тепловыделение, построить все эпюры внутренних силовых факторов [5, 19, 21].

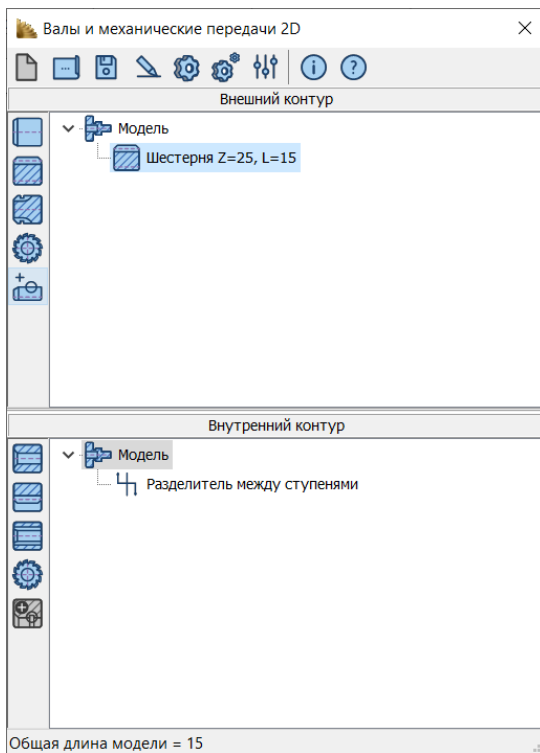


Рис. 26. Окно построения модели

Список использованных источников

1. APM FEM. Версия для КОМПАС-SD v21. Руководство пользователя: [сайт]. – Королёв, 1992–2022. – URL: <https://apm.ru/downloads/188/APM-FEM-v21.pdf> (дата обращения: 03.07.2024).
2. Абросимов, С. Н. Основы компьютерной графики САПР изделий машиностроения (MCAD): учеб. пособие / С. Н. Абросимов. – СПб., Балт. гос. техн. ун-т, 2014. – 206 с.
3. Богданов, В. С. Дипломное и курсовое проектирование механического оборудования и технологических комплексов предприятий строительных материалов, изделий и конструкций: учеб. пособие / В. С. Богданов [и др.]. – М. : АСВ, 2006. – 784 с.
4. Варакин, А. А. Трёхмерное моделирование конструкций электронных средств в САПР SolidWorks: практикум / А. А. Варакин. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2017. – 88 с.
5. Ганин, Н. Б. Проектирование и прочностной расчет в системе КОМПАС-3D V13 / Н. Б. Ганин. – 8-е изд., перераб. и доп. – М. : ДМК Пресс, 2011. – 320 с
6. Герасимов, А. А. Самоучитель КОМПАС-3D V19 / А. А. Герасимов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2021. – 624 с.
7. Горно-транспортные машины и подъемные механизмы: учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)», 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства» / Н. И. Березовский [и др.]; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Горные машины». – Минск : БНТУ, 2020. – 29 с.
8. Горные машины и комплексы: учебное пособие для курсового проектирования / А. А. Хорешок [и др.]. – КузГТУ. – Кемерово, 2018. – 156 с.
9. Детали машин и основы конструирования. Применение графической системы КОМПАС-3D к расчетам в курсовом проекте по деталям машин: методические указания и сборник контрольных заданий для проверки расчетов и построения эскизов механических передач / сост. А. Р. Абрамова; М-во с.-х. РФ, федеральное гос. бюджетное образов. учреждение высшего образования «Пермский гос. аграрно-технолог. ун-т. им. акад. Д. Н. Прянишникова». – Пермь : ИПЦ «Прокрость», 2018. – 55 с.

10. Дипломные проекты (работы). Общие требования: СТП 01–2024. – Минск : БГУИР, 2024. – 178 с.

11. Доронин, С. В. Основы проектирования горных машин и оборудования: учеб. пособие / С. В. Доронин, Т. А. Чурсина. – Красноярск : ГАЦМиЗ, 2002. – 76 с.

12. Доронин, С. В. Основы проектирования машин и конструкций: учеб. пособие / С. В. Доронин. – Красноярск : ГАЦМиЗ, 2001. – 160 с.

13. Инструкция о порядке организации, проведения дипломного проектирования и требования к дипломным проектам (дипломным работам), их содержанию и оформлению, обязанности руководителя, консультанта, рецензента дипломного проекта (дипломной работы) / Белорусский национальный технический университет. – Минск : БНТУ, 2017. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/30286> (дата обращения: 03.07.2024).

14. Казаченко, Г. В. Горные машины и оборудование. В 2 ч. Ч. 1. Общие требования к содержанию и оформлению пояснительной записки : методические указания к курсовому проектированию для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование», 1-36 13 01 «Технология и оборудование торфяного производства», 1-51 02 01 «Разработка месторождений полезных ископаемых» / Г. В. Казаченко, А. В. Нагорский ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Горные машины». – Минск : БНТУ, 2015. – URL: <https://rep.bntu.by/handle/data/15107> (дата обращения: 03.07.2024).

15. Казаченко, Г. В. Основы расчета затрат мощности и производительности очистных и проходческих комбайнов : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» / Г. В. Казаченко, Н. В. Кислов, Г. А. Басалай ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Горные машины». – Минск : БНТУ, 2015. – 75 с.

16. Казаченко, Г. В. Горные машины и оборудование: учебно-методический комплекс для специальности 1-36 10 01 «Горные машины и оборудование» / Белорусский национальный технический университет, кафедра «Горные машины» // Г. В. Казаченко, Н. В. Кислов, Г. А. Басалай. – Минск : БНТУ, 2014. – 176 с.

17. Казаченко, Г. В. Энергетический расчет очистного и проходческого комбайнов: методическое пособие по дисциплинам «Гор-

ные машины и оборудование» и «Проектирование техники для подземных горных работ» / Г. В. Казаченко, Н. В. Кислов, Г. А. Басалай; Белорусский национальный технический университет, кафедра «Горные машины». – Минск : БНТУ, 2012. – 37 с.

18. Кане, М. М. Проектирование технологических процессов механической обработки деталей машин: пособие для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология машиностроения» / М. М. Кане, В. К. Шелег; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Технология машиностроения». – Минск : БНТУ, 2022. – 41 с.

19. Кудрявцев, Е. М. КОМПАС 3D. Моделирование, проектирование и расчет механических систем / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс, 2008. – 400 с.

20. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования и правила оформления: учебно-методическое пособие по выполнению курсового и дипломного проектирования / сост. К. Г. Земляной, И. А. Павлова. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 116 с.

21. Максимова, А. А. Инженерное проектирование в средах САД. Геометрическое моделирование средствами системы «КОМПАС-3D»: учеб. пособие / А. А. Максимова. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 238 с.

22. Нечепав, В. Г. Детали машин. Прикладная механика. Основы конструирования. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / В. Г. Нечепав, М. Ю. Ткачев, В. А. Голдобин. – М.; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 320 с.

23. Николаенко, А. А. Автоматизированное проектирование технологических процессов и расчет бизнес-плана машиностроительного предприятия: монография / А. А. Николаенко. – 2-е изд., перер. – Челябинск : ЮУрГУ, 2007. – 103 с.

24. Пудов, Е. Ю. САПР горных машин и оборудования: учеб. пособие / Е. Ю. Пудов, А. А. Хорешок. – Прокопьевск : Гос. учреждение Кузбас. гос. техн. ун-т, 2018. – 91 с.

25. Родиошкин, М. Ю. Проектирование привода конвейера в системе КОМПАС-3D / М. Ю. Родиошкин [и др.] // Вестник Мордовского университета. 2017. Т. 27, № 1. С. 77–92. DOI: 10.15507/0236-2910.027.201701.077-092

26. Романенко, В. И. Оформление технологической документации: пособие для студентов специальности 1-36 01 01 «Технология

машиностроения» / В. И. Романенко, Н. В. Шкинъ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Технология машиностроения». – Минск : БНТУ, 2019. – 87 с.

27. Старостина, Ж. А. Расчет конструкций методом конечных элементов с использованием приложения АРМ FEM: учебно-метод. пособие / Ж. А. Старостина, Р. В. Морозов. – М. : МАДИ, 2022. – 100 с.

Содержание

Введение	3
Общие положения и рекомендации при проектировании	4
Этапы курсового и дипломного проектирования	5
Оформление пояснительной записки	9
Примерное содержание разделов пояснительной записки	12
Требования к лингвистическому оформлению пояснительной записки	13
Оформление библиографического указателя «Список использованных источников»	15
Моделирование и конструирование в системах автоматизированного проектирования	20
Решение проектных задач с помощью программного пакета Mathcad	24
Разработка привода общего назначения горной машины, оборудования в среде Компас-3D	28
Создание модели цилиндрической зубчатой шестерни и расчет геометрических и прочностных параметров в среде Компас-GEARS	38
Список использованных источников	43

Учебное издание

КОСТЮКЕВИЧ Елена Казимировна
БЕРЕЗОВСКИЙ Николай Иванович

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ

Пособие

для студентов специальностей

1-36 10 01 «Горные машины и оборудование (по направлениям)»,
7-07-0714-01 «Машины и оборудование для горнодобывающих
производств (горная электромеханика)»

Редактор *К. С. Мельникова*
Компьютерная верстка *А. В. Степанкиной*

Подписано в печать 18.03.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,21. Тираж 100. Заказ 689.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.