

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«ПЕНЗЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет
промышленных технологий,
электроэнергетики и транспорта

Кафедра
Технологии и оборудование
машиностроения

Направление подготовки

15.04.05 Конструкторско-
технологическое обеспечение
машиностроительных производств

Магистерская программа

Металлообрабатывающие станки

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

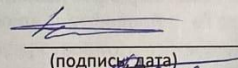
на тему

Модельная оснастка для изготовления кронштейна водяного насоса дизельного
генератора Д49 и исследование ее характеристик с использованием CAD/CAM/CAE систем

ПГУ 15.04.05.03.00.00 ПЗ

(обозначение ВКР)

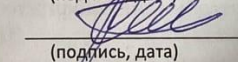
Студент гр. 20ММм1


(подпись, дата)

Чернов Д.С.

(фамилия, инициалы)

Научный руководитель


(подпись, дата)

Нестеров С.А.

(фамилия, инициалы)

Нормоконтролер


(подпись, дата)

Липов А.В.

(фамилия, инициалы)

Рецензент

к.т.н. Ведущий инженер-
конструктор
ООО «ЗБ «Турбоар-Техно»
(должность, место работы)

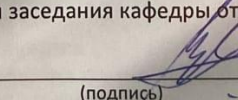

(подпись, дата)

Герасимов М.Р.

(фамилия, инициалы)

Работа допущена к защите (протокол заседания кафедры от _____ № _____)

Заведующий кафедрой


(подпись)

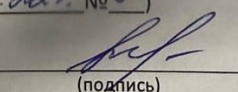
Зверовщиков А.Е.

(фамилия, инициалы)

Работа защищена с оценкой отлично

(протокол заседания ГЭК от 24.06.2021 № 9)

Секретарь ГЭК


(подпись)

Истомина Ю.В.

(фамилия, инициалы)

Пенза 2021

"Утверждаю"

Заведующий кафедрой
«Технологии и оборудование
машиностроения»

д.т.н., профессор ЗВЕРОВИЧКОВ А.Е.

" " 2022г.

**ЗАДАНИЕ
на ВКР магистра**

Студент гр. 20ММм1 факультета промышленных технологий, электроэнергетики и транспорта, направление подготовки 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств
Чернов Д.С..

1. Руководитель ВКР магистра к.т.н., доцент Нестеров С.А.

2. Время работы над ВКР магистра с 10.06.2022г. по 07.07.2022г.

3. Место практики кафедра ТМС

4. Тема ВКР магистра Модельная оснастка для изготовления кронштейна водяного насоса дизельного генератора Д49 и исследование ее характеристик с использованием CAD/CAM/CAE систем.

Тема утверждена приказом ПГУ №817/о от 16.11.2020 г..

5. Исходные данные для выполнения ВКР магистра

(х/д или г/б НИР, гранты, НОЦ, творческое сотрудничество, предложения промышленных предприятий, инициативная, кафедральная НИР)

5.1. Тема работы предложена кафедрой «Технологии и оборудование машиностроения» Пензенского государственного университета.

5.2. Разработку алгоритма проектирования выбрать исходя из использования эффективных систем CAD/CAM/CAE.

5.3. В проекте предусмотреть исследования характеристик работоспособности литейного технологического оснащения построенного на базе спроектированной модельной оснастки.

6. Объем и содержание ВКР магистра

6.1. Текстовая часть

Работа должна содержать:

1. Обзор программных продуктов инженерного анализа литейной оснастки.

2. Разработка мероприятий конструкторско-технологической подготовки проектирования и изготовления технологического оснащения модельного производства

3. Исследование модельного комплекта на работоспособность в технологической системе автоматизированного проектирования.

4. Проработка алгоритма проектирования модельной оснастки на примере выбранной детали.

5. Экономическое обоснование целесообразности внедрения метода сквозного проектирования.

6.2. Графическая часть (состояние вопроса; схемы и чертежи объекта исследования; схемы обработки; общий вид экспериментальной установки; результаты теоретических и экспериментальных исследований; рекомендации по внедрению; технико-экономические показатели эффективности исследования)

1. Обзор состояния исследований по рассматриваемой проблеме – 1 л. плаката

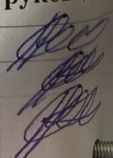
2. Описание предлагаемого решения (алгоритм проектирования) . –1л плаката.
 3. Чертеж детали – 1л чертежа ф. А1.
 4. Чертеж заготовки– 1л чертежа ф. А1.
 5. Проектирование геометрии модельного комплекта для изделия Кронштейн водяного насоса дизельного генератора Д49. 1л плаката.
 6. Результаты исследования работоспособности литейного оснащения на основе САЕ анализа 4л. плаката.
 7. Траектории механообработки модельного комплекта с применением САМ систем. 2л. плаката.
 8. Ожидаемый экономический результат–1л плаката..
 9. Выводы по работе– 1л плаката.
- 7. Консультанты и содержание дополнительных разделов (указывается конкретное содержание задания)**

7.1. По конструкции устройства
Разработать технологического оснащения в виде модельного комплекта для формирования литейных форм на основе электронных 3Д моделей.
Консультант Нестеров С.А.

7.2. По технологии
Исследовать параметры качества процесса работы технологического оснащения на основе САЕ анализа.
Консультант Нестеров С.А.

7.3. Техничко-экономический анализ эффективности работы
Выполнить технико-экономическое обоснование НИР.
Консультант Нестеров С.А.

8. Календарный график выполнения ВКР магистра

Наименование работы	Объем работы в %	Срок выполнения	Подпись руководителя
1. Оформление пояснительной записки	50	16.06.2022	
2. Оформление презентации	50	20.06.2022	
3. Защита диссертации на заседании ГЭК		По графику защиты на кафедре	

Руководитель ВКР магистра



Нестеров С.А.

Задание к исполнению принял 10.06.2022

Исполнитель – магистрант гр. 20ММм1 Чернов Д.С.

ВКР магистра к защите допустить

Декан факультета



Киреев С.Ю.

ОПОП освоена в полном объеме.
К государственной итоговой аттестации допустить

Реферат

Пояснительная записка выпускной квалификационной работы содержит

125 листов, 25 рисунков, 5 таблиц, 10 источников литературы, 1 приложение.

СТАНОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА, ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, МАСТЕР-МОДЕЛЬ, АНАЛИЗ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОСНАСТКИ.

Проведена теоретическая аналитическая работа процессов литья. Разработан алгоритм проверки модельного технологического оснащения на работоспособность.

Разработанный алгоритм проектирования предлагается к применению на АО «ПензДизельМаш».

Исследования проводились для производства модельного технологического оснащения и проверки его работоспособности.

ПГУ 15.04.05.12.00.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	Лит.	Лист	Листов
Разраб.		Чернов Д.С.					
Провер.		Нестеров С.А.					
Н. контр.		Липов А.В.					
Утв.							

Модельная оснастка для изготовления кронштейна водяного насоса дизельного генератора Д49 и исследование ее характеристик с использованием CAD/CAM/CAE систем

Кафедра «ТОМ»,
гр. 20ММм1

Содержание

Введение	7
1. Научно исследовательский раздел. методы и программные продукты инженерного анализа литейной оснастки.....	9
1.1 Возможности программного продукта NovaFlow&Solid.....	9
1.2 Возможности программного продукта ProCast	13
1.3 Возможности программного продукта QuikCAST.....	13
1.4 Возможности программных продуктов Altair HyperMesh и Polygon.....	17
2. Конструкторско-технологическая подготовка проектирования технологического оснащения модельного производства.	27
2.1 Описание модельного технологического оснащения.....	27
2.2 Принципы проектирования технологического оснащения.....	30
2.3 Современные технологии сквозного проектирования модельной технологической оснастки при помощи компьютерных технологий.	31
2.3.1 Общие принципы сквозного проектирования с применением компьютерных технологий в машиностроении.....	31
2.3.2 Разработка алгоритма проектирования модельного технологического оснащения с применением схемы сквозного проектирования.	35
2.4 Технологическая подготовка производства модельного оснащения	39
2.4.1 Этапы технологической подготовки	39
2.4.2 Пример реализации технологической подготовки модельного производства.	42
3. Проектирование модельной технологической оснастки для изделия кронштейн Д49.123	52
3.1 Программное обеспечение для проектирования геометрии.	52
3.1.1 Анализ детали.....	59
3.1.2 Анализ метода получения заготовки.....	62
3.1.3 Расчёт размеров заготовки.....	66
3.2 Анализ геометрии модельного комплекта на работоспособность в технологической системе автоматизированного проектирования.	71
3.3 Модификация технологического комплекта на основе возможностей оборудования.....	95

3.4 Выводы по главе.....	98
4. Экономическое обоснование.....	99
Выводы по работе.....	107

Введение

Проектирование технологического оснащения – модельной оснастки, для реализации технологии литья с использованием формуемых материалов является важной производственной задачей. Использование классических методов формования на основе уникально изготовленных модельных комплектов с применением большого количества ручных работ становится не актуальным и не эффективным. Технология настоящего времени позволяет использовать современные программные продукты, организуя компьютерные сквозные алгоритмы, обеспечивающие поддержку жизненного цикла технологического оснащения.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка алгоритма проектирования и изготовления модельного технологического оснащения с применением схемы сквозного проектирования.

Методы исследования. Компьютерная технология анализа с применением программ САЕ-класса.

Объектом исследования является кронштейн насоса дизельного генератора Д49, разработанный на базе производства «АО ПензДизельМаш».

Научная новизна.

Разработка методики адекватного моделирования процесса формования изделия методом конечных элементов.

Предложен алгоритм рационального варианта конструкции модельного оснащения.

Практическая ценность.

Разработана методика проектирования модельного оснащения с применением систем сквозного проектирования.

На защиту выносятся: Методика проектирования технологического оснащения, проект технологического оснащения для кронштейна водяного насоса дизельного генератора Д49, результаты исследований литейного процесса с применением проектного технологического оснащения.

Апробация работы: Основные положения и результаты работы применялись на предприятии-изготовителе модельного технологического оснащения ОАО «ПроМодель».

Публикация. По теме диссертации опубликована 1 научная статья в сборнике.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов, списка использованных источников и литературы, содержит 100 страниц основного текста, 5 таблиц и 61 рисунков.

1. Научно исследовательский раздел. методы и программные продукты инженерного анализа литейной оснастки.

Задача: привести описание нескольких программных продуктов с САЕ системами для анализа пригодности использования модельной оснастки в процессе литья; рассмотреть полный цикл получения математической модели отливки в рамках программного продукта NovaFlow&Solid.

В данной главе будут рассмотрены ряд программных продуктов для работы с литейной модельной оснасткой, такие как: ProCast , NovaFlow и Polygon.

1.1 Возможности программного продукта NovaFlow&Solid

NovaFlow&Solid имеет в России наибольшее число постоянных пользователей. Проведены тысячи компьютерных расчетов ОТЛИВОК наших клиентов.

Сотрудничество с шведской фирмой NovaCast Systems AB позволило довести NovaFlow&Solid до мирового уровня (более 150 пользователей зарубежом). NovaFlow&Solid единственная российская литейная программа, успешно распространяемая зарубежом. Ежегодно выходит несколько версий программы, что говорит о постоянном развитии программы. За последние годы в NovaFlow&Solid внедрено свыше 50 пожеланий наших клиентов, что позволило учесть особенности производства всех литейных предприятий.

Основным достижением NovaFlow&Solid следует считать переход в 2007 году с использования МКР на МКО (NovaFlow&Solid CV), что позволило обеспечить NovaFlow&Solid самую быструю скорость вычислений, высокую точность получаемых результатов, а также простоту и легкость использования:

- В основу новой версии NovaFlow&Solid CV положен метод контролируемого объема ControlVolume (CVM). CVM предполагает точный учет балансовых условий, в результате чего разностная сетка дополняется набором геометрических характеристик, описывающих истинный объем материала в ячейке сетки, который не равен объему просто кубика (как было в конечных разностях) и площади соприкасающихся материалов в каждой ячейке.

- За счет введения более плавной (по сравнению с методом конечных разностей) границы, учитывающей геометрию отливки, решается проблема с постановкой граничных условий в гидродинамике и расчете напряжений.

- Хотя для тепловой задачи наличие такой плавной границы не является существенным условием, в задачах гидродинамики и расчета напряжений она приводит к более устойчивым численным расчетам, позволяя тем самым получать решение за меньшее время. Быстрее, чем в других известных на рынке программах.

- Переход к CVM сохранил общую структуру уравнений и позволил использовать алгоритмы численного и физического расщепления для уравнений тепло-массопереноса, что в итоге сохранило быстродействие на уровне близком к конечным разностям, при одинаковом разбиении.

- Наличие CVM позволило решить задачу более точного отслеживания распространения фронта затвердевания в отливке, а значит более точного прогнозирования поведения дефектов. Более точный учет геометрии в рамках CVM позволил отслеживать поведение свободной поверхности при заливке, в частности, решить вопрос с образованием пузырей и твердых включений.

Возможности NovaFlow&Solid:

NovaFlow&Solid предназначена для проведения анализа литейной технологии и ее корректировки в кратчайшие сроки, что гарантирует в

течение 1-2 двух рабочих дней подготовить технологию получения качественных отливок.

Наличие русского интерфейса и простота использования, а также большая база данных по сплавам и материалам, позволяет технологу-литейщику провести моделирование отливки любой сложности, не требуя углубленных физико-математических знаний и опыта работы с подобными системами.

Как показывает практический опыт, любой технолог-литейщик, который умеет обращаться с компьютером, после двухдневного обучения готов приступить к решению поставленной задачи!

NovaFlow&Solid — первая отечественная литейная программа с поддержкой многопроцессорных и многоядерных платформ, которая обеспечивает пользователю потрясающую производительность на «обычных» компьютерах.

NovaFlow&Solid позволяет проследить:

- Заполнение формы металлом
- Расчет температурных полей
- Расчет поля жидкой фазы
- Расчет поля скоростей
- Расчет конвективных потоков
- Расчет поля давлений
- Расчет сегрегации (хим. неоднородность)
- Расчет дефектов
- Расчет напряжений и деформаций
- Работа ТЭНов
- Каналы охлаждения
- Работа фильтров
- Учет многократного использования формы

NovaFlow&Solid может быть использован для моделирования следующих способов литья:

- литье по выплавляемым моделям (автоматическое построение оболочки);

- литье в землю;
- литье в кокиль;
- литье в изложницу;
- литье под давлением (4 варианта);
- литье под низким давлением (2 варианта);
- литье по газифицируемым моделям (планируется)
- литье по вакуумно-пленочной формовке (планируется)

Из дополнительных приемов, применяемых в литейной технологии, в NovaFlow&Solid реализовано:

- учет дозаливки (подкачки) формы;
- заливка из нескольких ковшей;
- моделирование тепло-электро нагревателей;
- моделирование каналов с теплоносителями;
- моделирование фильтров;
- учет противопригарных покрытий;
- учет многократного использования формы;
- учет типа заливочных ковшей;
- разработка технологии ЛПД;
- расчет ЛПС.

1.2 Возможности программного продукта ProCast

ProCAST является продвинутым и полным инструментом моделирования литейных процессов и разработки технологий, так как данный программный продукт в течение 20 лет разрабатывался и тестировался на реальных производственных процессах с помощью предприятий и академических организаций – пользователей.

ProCAST состоит из постоянно дополняемого набора модулей и инструментов, призванных решать наиболее сложные производственные задачи. Данное решение, основанное на методе конечных элементов, способно точно прогнозировать и моделировать деформации, остаточные напряжения. Также ProCAST прекрасно работает и с более специфическими процессами, такими как пластичное моделирование, изготовление на пескодувной машине, центробежное литье, литье по газифицируемым моделям, непрерывное литье.

1.3 Возможности программного продукта QuikCAST

QuikCAST это быстрое и эффективное решение для анализа и оценки всего процесса литья. Инструмент моделирует основные процессы: заполнение, отверждение, пористости, в том числе при пластичном моделировании и изготовлении на пескодувной машине.

Снижение издержек и ускорение вывода изделия на рынок – это наиболее важные задачи современного литейного производства. QuikCAST разработан именно для того, чтобы помогать пользователю решать данные задачи. Это решение может использоваться на самых ранних стадиях разработки формы и технологического процесса для оценки качества будущего литого изделия.

При моделировании в QuikCAST учитывается обратное давление воздуха, фильтровальные сетки, неровности формы, изменения температур, покрытие заготовки, гравитация, что позволяет с высокой точностью моделировать литейные процессы, от литья в землю до литья под высоким или низким давлением.

Пакет программ ESI для моделирования процесса литья (ProCAST и QuikCAST) представляет собой комплексное решение для прогнозной оценки всего процесса литья, включая дефекты заполнения и отвердевания, механические свойства и коробление сложных деталей. Оно обеспечивает быструю визуализацию изменений и принятие правильных решений на раннем этапе технологического процесса.

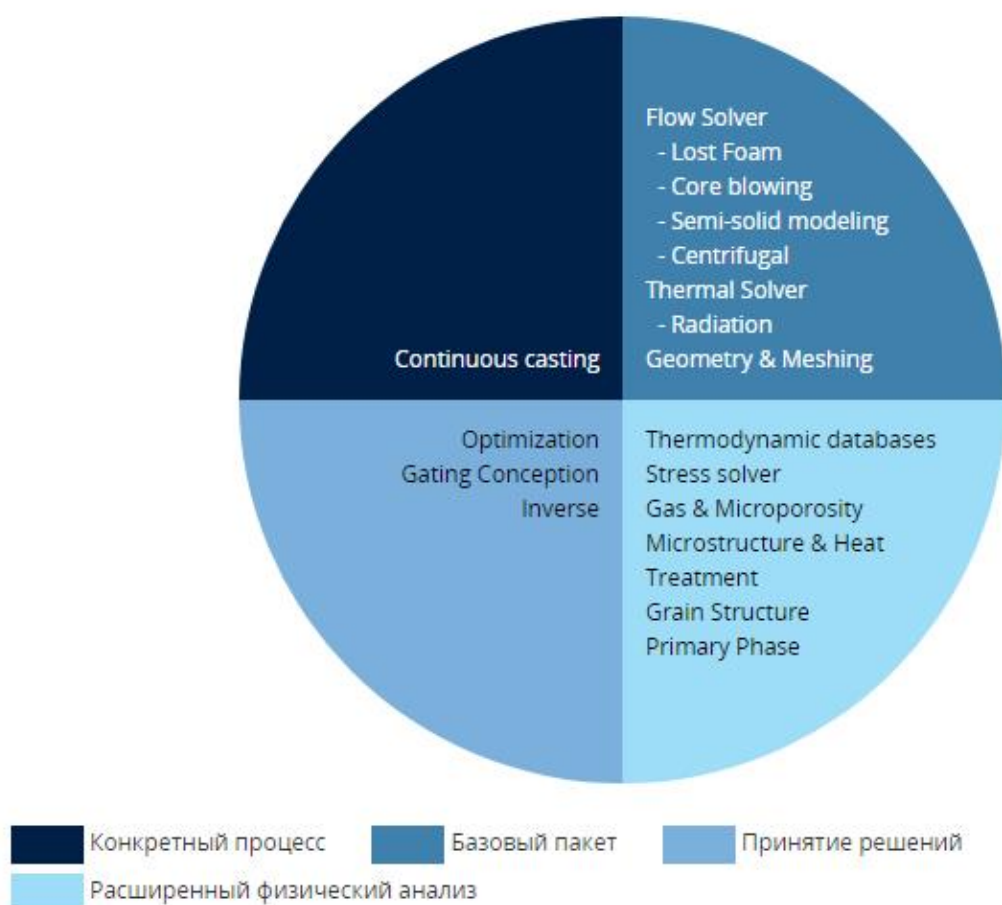


Рисунок 1.1 – Графический интерфейс пользователя баз данных материалов

Таблица 1.1 –Перечень возможностей моделирования дефектов литья

<p>ОТВЕРЖДЕНИЕ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Микропористость • Газопроницаемость • Трубы • Термический узел 	<p>ЗАЛИВКА</p> <ul style="list-style-type: none"> • Непроливы • Защемление воздуха • Оксиды • Поверхностные дефекты • Неспаи • Турбулентность струи • Включения • Внутренние газы
<p>НАПРЯЖЕНИЕ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Горячие трещины • Поверхностные трещины • Остаточные напряжения • Холодные трещины • Коробление • Усталость 	<p>ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ В МЕТАЛЛУРГИИ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Паразитные зерна • Пятнистая ликвация • Неоднородность • Механические свойства • Коробление • Допуски по размерам

Таблица 1.2 – Перечень видов литья для моделирования

<p>ЛИТЬЕ БЕЗ ПРИМЕНЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ</p> <ul style="list-style-type: none"> • Песчаная литейная форма / Многократная литейная форма / Заливка под наклоном <p>ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВАКУУМА</p> <p>ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ</p> <p>ЛИТЬЕ ПО ВЫПЛАВЛЯЕМЫМ МОДЕЛЯМ И ЛИТЬЕ В ОБОЛОЧКОВЫЕ ФОРМЫ</p> <p>НЕПРЕРЫВНОЕ ЛИТЬЕ</p>	<p>ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ЛИТЬЕ</p> <p>ЛИТЬЕ ПО ГАЗИФИЦИРУЕМЫМ МОДЕЛЯМ</p> <p>ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ПОЛУТВЕРДОЙ ФАЗЫ</p> <p>ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТЕРЖНЕЙ НА ПЕСКОДУВНОЙ МАШИНЕ И УДАЛЕНИЕ ГАЗА</p>
---	---

1.4 Возможности программных продуктов Altair HyperMesh и Polygon

Система компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) «ПолигонСофт» — профессиональный инструмент технолога-литейщика для прогноза и анализа причин возникновения дефектов на стадии проектирования литейной формы и литниково-питающей системы.

СКМ ЛП «ПолигонСофт» — это виртуальный литейный цех, в котором можно в короткие сроки и без дополнительных затрат разработать, проанализировать и отладить основные этапы литейной технологии. Выполняя всю работу на компьютере еще до начала изготовления оснастки, технолог получает больше информации о процессе, чем в литейном цехе.

Использование СКМ ЛП «ПолигонСофт» для моделирования литейных технологий обеспечивает:

- снижение брака;
- сведение к минимуму расходов на внедрение технологии;
- снижение времени на запуск производства новых отливок;
- повышение уровня свойств отливок;
- рост производительности труда специалистов-литейщиков.

Вычислительное ядро СКМ ЛП «ПолигонСофт» состоит из тех решателей: гидродинамического, теплового и напряжений. Вместе с набором дополнительных опций они моделируют все традиционные литейные технологии и многие специальные процессы:

- литья в песчаную форму с любым связующим;
- литья в кокиль (в том числе охлаждаемый или подогреваемый);
- литья по выплавляемым моделям;
- литья в вакууме (в том числе направленной кристаллизации);
- литья по процессу вакуумно-пленочной формовки;
- литья под высоким и низким давлением;
- непрерывного литья;
- центробежного литья;

- жидкой штамповки (литье с кристаллизацией под давлением);
- затвердевания с учетом подвода электрического тока.

СКМ ЛП «ПолигонСофт» позволяет производить расчеты с любыми литейными сплавами и материалами формы, включая стержни, фильтры, утеплители, противопопригарные покрытия, холодильники (в том числе внутренние), экзотермические вставки и т.п.

Качество и достоверность расчета напрямую связаны с возможностью сквозного моделирования технологии. С помощью СКМ ЛП «ПолигонСофт» можно моделировать и анализировать все этапы технологического процесса получения отливки:

- прогрев и остывание формы перед заливкой (в атмосфере и вакууме);
- процесс заполнения формы расплавом — с получением информации о поле скоростей и температуре расплава, возможных «перемерзаниях» питающих каналов и непроливах;
- процесс затвердевания отливки — с получением информации о формировании тепловых узлов;
- процессы формирования усадочных раковин, макро- и микропористости;
- напряженно-деформированное состояние отливки, включая коробление и прогноз образования трещин;
- различные задачи, основанные на постобработке расчетных полей и позволяющие прогнозировать механические свойства (пригар, твердость, микроструктура ит.п.).

Полнота визуально представленной информации — одно из существенных преимуществ СКМ ЛП «ПолигонСофт», которое позволяет:

- увидеть отливку/форму под любым углом;
- создать любые сечения для отливки и формы как совместно, так и отдельно;
- наблюдать за течением всех процессов в отливке и элементах формы;
- вывести любые расчетные данные в виде цветовых полей;

- вывести информацию о скорости и направлении потока в векторном виде;
- показать изоповерхности либо области выше или ниже заданного значения;
- установить «датчики» в любом месте отливки/формы на любой расчетный параметр;
- просмотреть графики, записанные с помощью «датчиков»;
- записать анимационный файл

Реализованы технологии многопоточной обработки для современных многоядерных систем, что позволяет существенно ускорить процесс расчета и полностью использовать вычислительный потенциал многоядерных процессоров.

Пример проведения анализа работоспособности литейной системы для изделия «крыльчатка» приведен ниже.

На первом этапе проводится работа над созданием конечно-элементной сетки в программе HYPERMESH. До начала работы с программой необходимо создать трёхмерную геометрическую модель формы с полостью под отливку в любой из доступных систем твердотельного моделирования. В ходе получения конечной трёхмерной модели необходимо начертить трёхмерную модель отливки и трёхмерную модель формы. После этого следует создать полость в форме, повторяющую контур помещённой туда при сборке модели отливки.

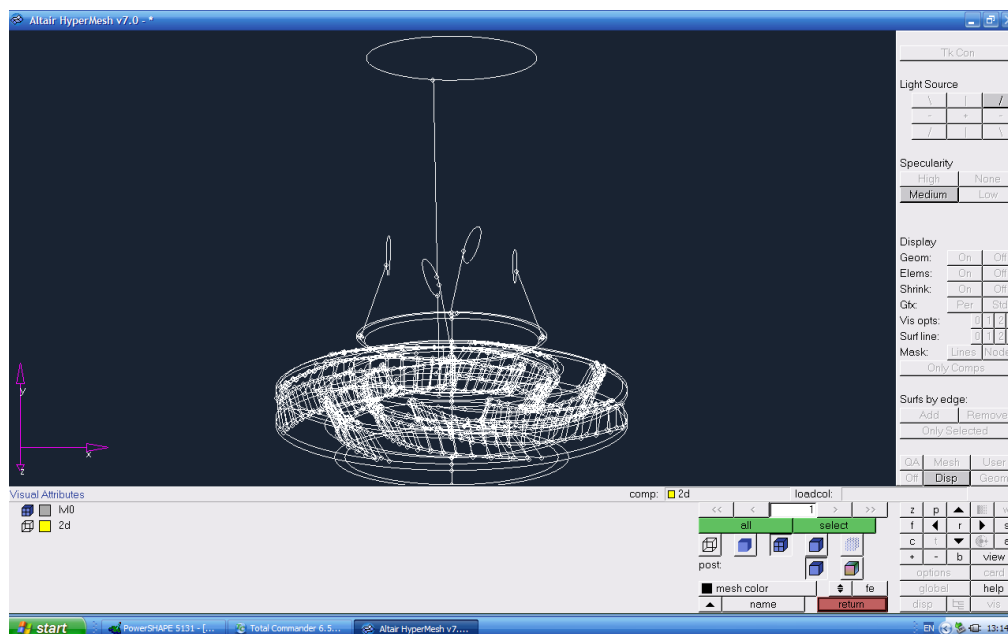


Рисунок 1.2 – Импортирование геометрической модели

Для генерации сетки необходимо выбрать размер элемента и тип элемента (tria – для генерации треугольников). Выбрав поверхности на которых надо сгенерировать сетку делят грани на узлы, рисунок 1.3.

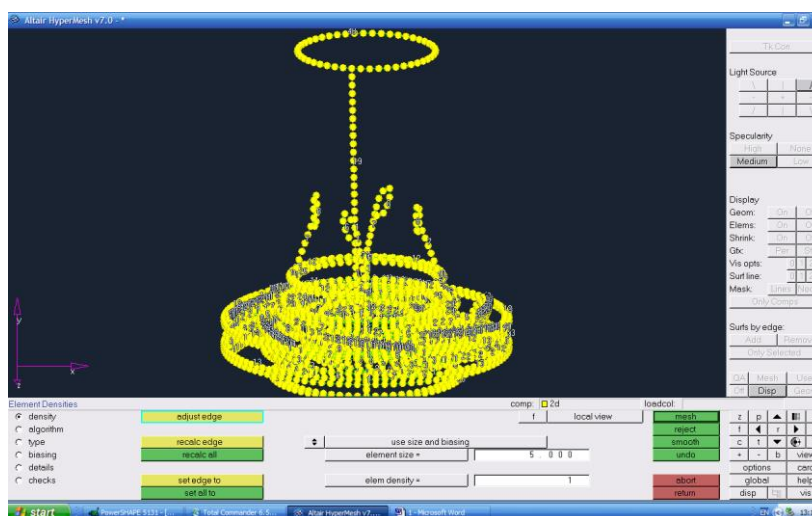


Рисунок 1.3 – Разбивка поверхностей на узлы

Частоту узлов на ребрах можно менять. После установления необходимой густоты разбивки будет сгенерирована поверхностная сетка рисунок 1.4.

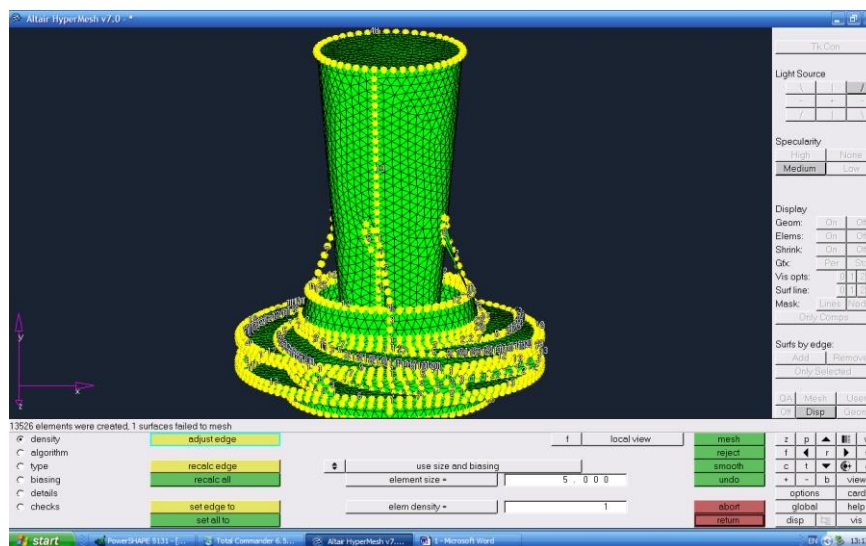


Рисунок 1.4 – Создание двухмерной сетки

Следует стремиться к тому, чтобы сетка на тонких, в сравнении с прочими толщинами отливки, частях отливки содержала хотя бы несколько треугольников, отсчитывая по направлению вдоль каждого ребра этой поверхности.

После генерации сетки на всех поверхностях необходимо провести проверки полученной сетки. Основные проверки – по минимальному углу или минимальной длине. Проверка производится после выбора мерности элемента. Найденные «плохие» элементы можно записать и стереть. Затем следует нарисовать «хорошие» элементы взамен стёртых «плохих».

После правки сетки необходимо вновь запустить все её проверки. В случае отсутствия «плохих» элементов и возможности формирования замкнутых объёмов можно переходить к генерации трёхмерной сетки тетраэдров.

После получения поверхностной сетки можно получать сетку тетраэдров.

Собрав, можно приступить к формированию сетки тетраэдров. Выбрав таким способом необходимый набор поверхностных элементов получим сетку тетраэдров рисунок 1.5.

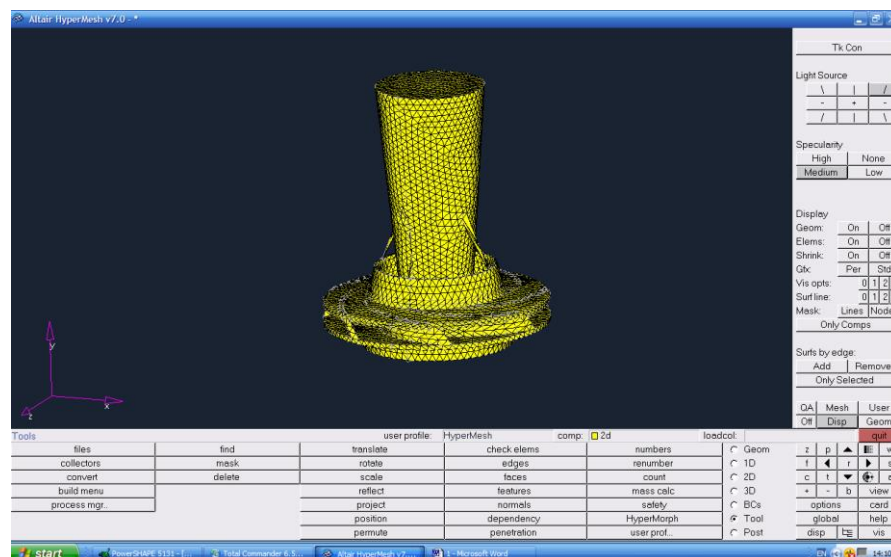


Рисунок 1.5 – Создание трехмерной сетки отливки

Аналогично, после «сборки формы» с полостью под отливку, запустить генерацию сетки тетраэдров нажатием рисунок 1.6.

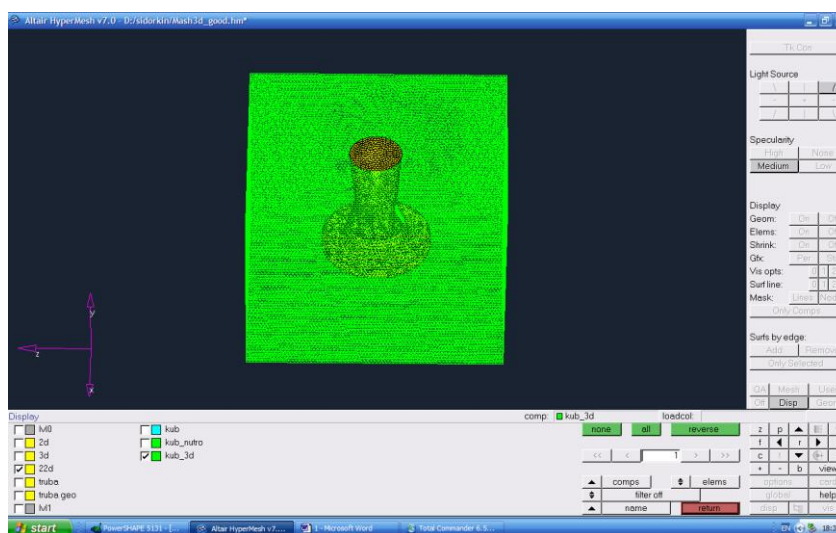


Рисунок 1.6 – Создание трехмерной сетки формы

На втором этапе проводится непосредственный анализ литейной системы в программе POLIGON. По окончании загрузки в рабочем поле возникнет изображение конечно-элементной модели, а большинство ранее не активных кнопок на панелях управления станут доступны. Используя кнопки панели инструментов «Панель режимов», необходимо настроить изображение модели, чтобы оно выглядело так как происходит геометрически заливка.

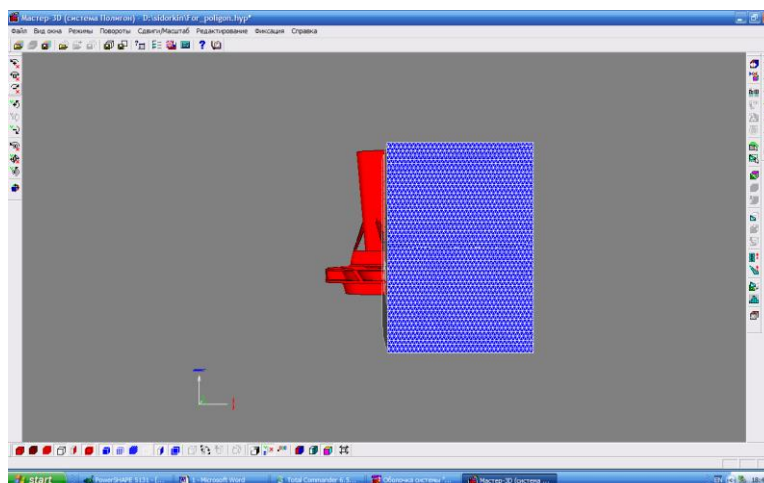


Рисунок 1.7 – Открытая модель

При загрузке конечно-элементной сетки, подготовленной в программе - разбивщике группирует конечные элементы в объемы и определяет границы их раздела. Грням конечных элементов, образующим внешние границы отливки и формы, присваиваются некоторые индексы отличные от нуля, а всем остальным – внутренним грням – нулевой индекс.

Для того чтобы наглядно увидеть сформированную систему граничных индексов следует воспользоваться кнопкой «Показать Индексы Границ» на Панели Режимов.

После нажатия на нее границы с различными индексами будут окрашены в различные цвета, рисунок 1.12.

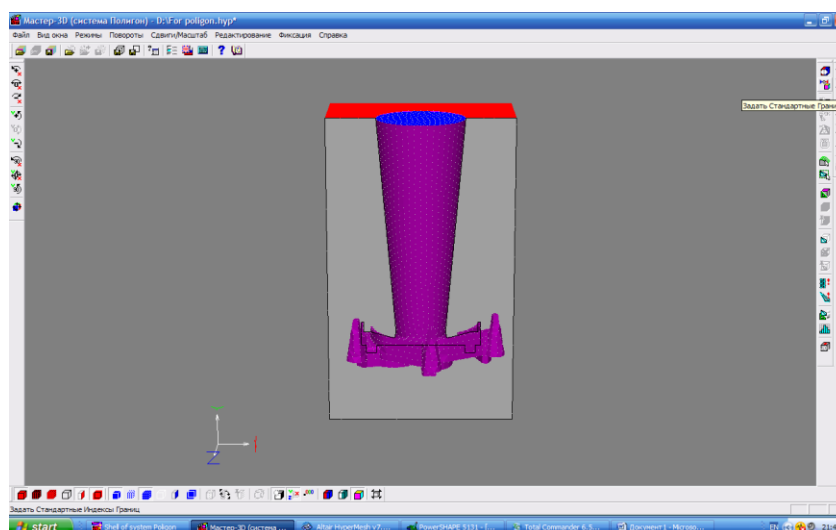


Рисунок 1.8 – Границы разделов

В рабочем поле мы видим три границы раздела:

- красного цвета – границу раздела между конечными элементами, образующими форму, и окружающей средой;
- фиолетового цвета – границу раздела между конечными элементами, образующими отливку и конечными элементами, образующими форму;
- синего цвета – границу раздела между конечными элементами, образующими отливку, и окружающей средой;

На этом подготовка обязательных исходных данных завершена. По окончании загрузки в рабочем поле программы появится изображение нашей модели, рисунок 1.15.

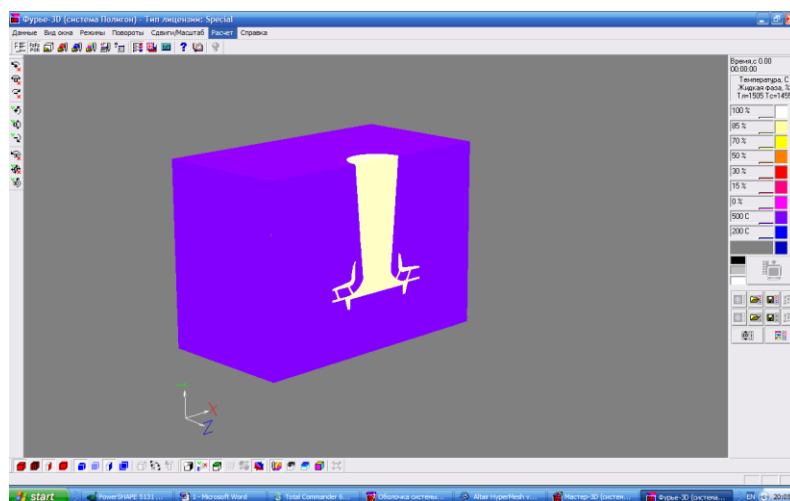


Рисунок 1.9 – Изображение модели

Ориентируясь на шкалу и палитру, можно видеть форма – темно синяя окраска – находится в самом «холодном состоянии» (ниже 200°C – так настроена шкала), а отливка – белая окраска – заполнена абсолютно жидким металлом.

После запуска расчета можно визуализировать результаты усадочного расчета.

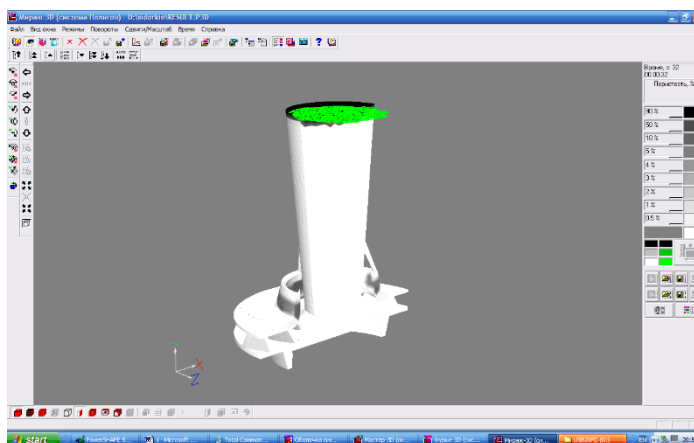


Рисунок 1.10 - Начало процесса усадки

В случае анализа пористости нас интересует, в основном, итоговый результат, поэтому мы можем перейти непосредственно к последнему шагу расчет, когда отливка уже полностью затвердела.

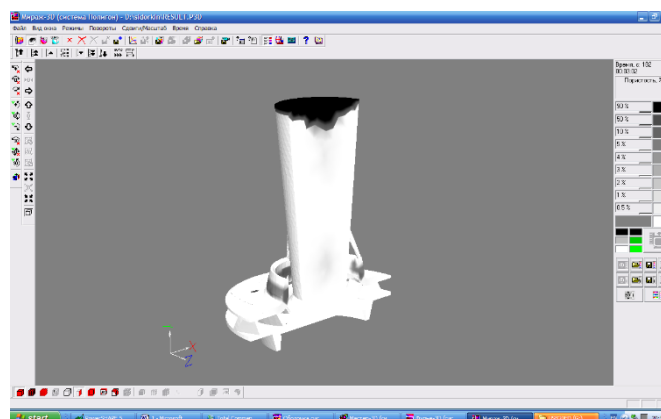


Рисунок 1.11 – Результаты усадки

Анализируя качество работы по параметру наличия пор на рабочих элементах можно сделать вывод, что конструкция и режимы технологии можно признать годной т. к. усадочных дефектов обнаружено не было.

Выводы по главе.

1. Анализ показал большое количество программ САЕ класс для инженерного анализа литейных систем.
2. В Пензенском регионе представлены 4 представителя данного класса программ.
3. Выбрана наиболее удобная и функциональная система анализа литейного технологического оснащения. В качестве основного программного продукта

была выбрана программа NovaFlow&Solid, где и проводились все последующие CAE исследования.

2. Конструкторско-технологическая подготовка проектирования технологического оснащения модельного производства.

2.1 Описание модельного технологического оснащения.

Для получения необходимой формы конечного изделия, технологическое модельное оснащение может состоять как из большого, так и из малого количества элементов. Предлагаемый к рассмотрению комплект оснастки состоит из: полуформы модели низа, верха и одного стержневого ящика.

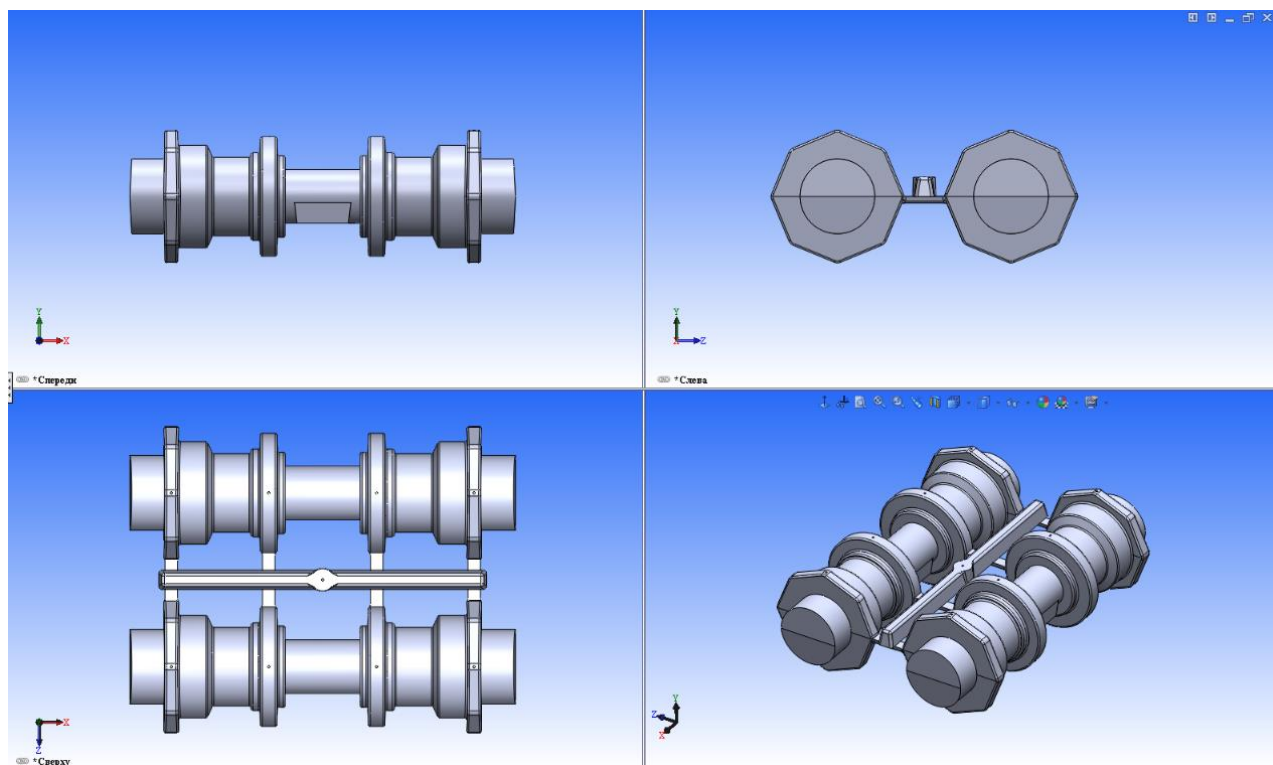


Рисунок 2.1 – Модель в сборе

На рисунке 2.1 представлена модель технологического оснащения в сборе. Здесь показаны почти все элементы будущей литниково-питающей системы. На данной модели уже нанесены необходимые литейные припуски, уклоны и скругления, для лучшей наполняемости формы расплавом. Для удобства формовки модель делят на полуформу верха и низа.

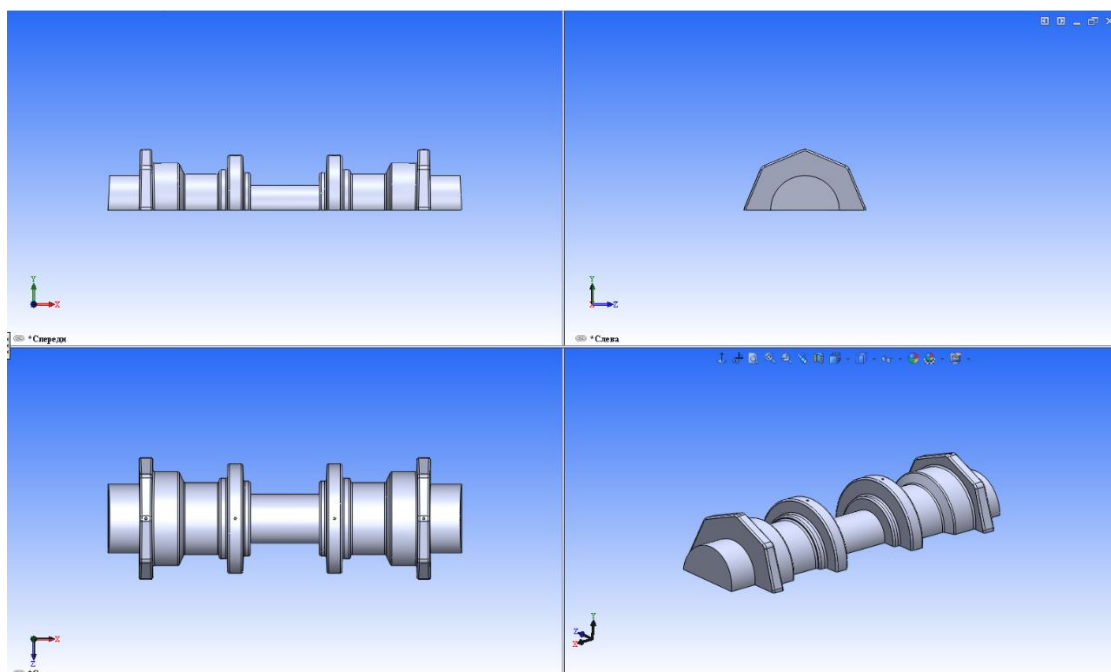


Рисунок 2.2 – Модель верха

Представленная полуформа также в свою очередь делится на слои, что способствует более успешной обработки её на станке.

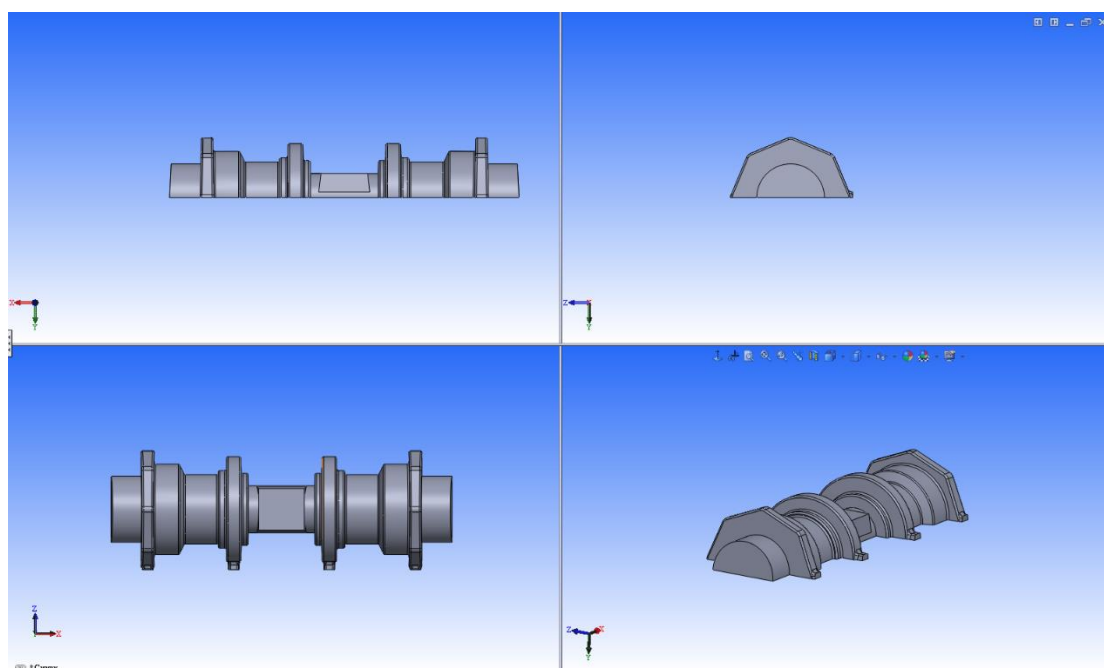


Рисунок 2.3 – Модель низа

Для получения полости в детали необходимо использовать так называемый формовочный стержень. Для его получения проектируется ящик, который повторяет внутреннюю форму будущей отливки. Сам стержень проектируется так, чтобы полностью заполнить полость знака в формованной части модели и при этом не допустить попадание расплава

внутри. На рисунке 2.4 представлен стержневой ящик для исследуемой детали.

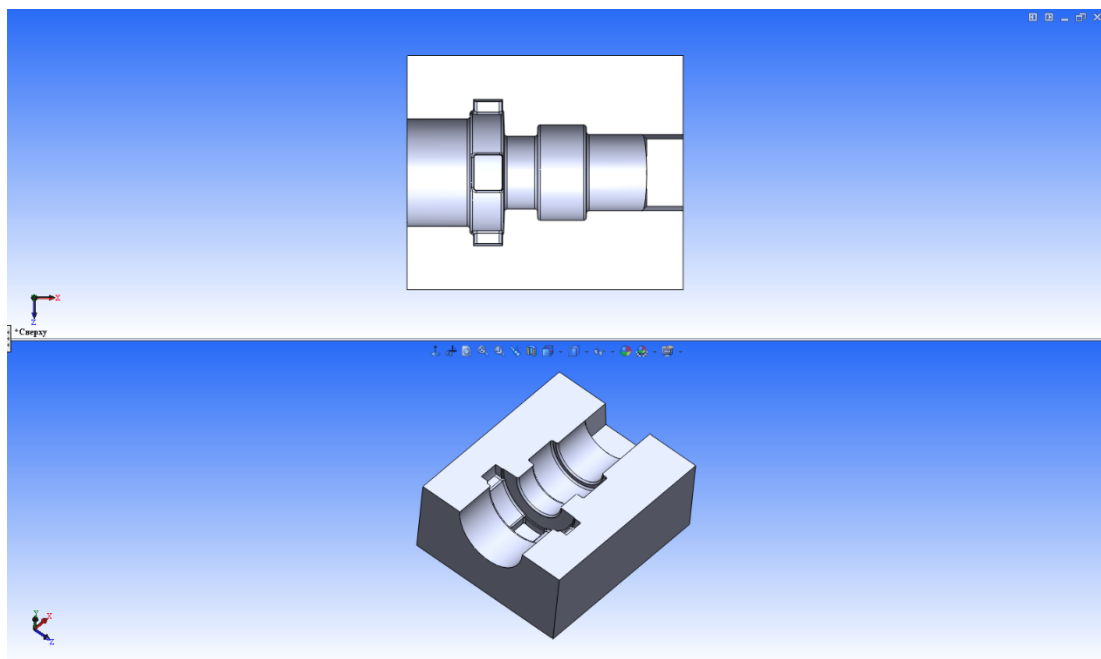


Рисунок 2.4 – Стержневой ящик

2.2 Принципы проектирования технологического оснащения.

В основе технологии проектирования лежит технологический процесс, который определяет действия, их последовательность, состав исполнителей, средства и ресурсы, требуемые для выполнения этих действий. Так, технологический процесс проектирования ЭИС в целом делится на совокупность последовательно-параллельных, связанных и соподчиненных цепочек действий, каждое из которых может иметь свой предмет. Действия, которые выполняются при проектировании ЭИС, могут быть определены как неделимые технологические операции или как подпроцессы технологических операций. Все действия могут быть собственно проектировочными, которые формируют или модифицируют результаты проектирования, и оценочными действиями, которые вырабатывают по установленным критериям оценки результатов проектирования.

Таким образом, технология проектирования является не чем иным, как регламентированной последовательностью технологических операций, выполняемых в процессе создания проекта на основе того или иного метода, в результате чего стало бы ясно, не только ЧТО должно быть сделано для создания проекта, но и как, кому, и в какой последовательности это должно быть сделано.

Методы проектирования можно подразделить по степени использования средств автоматизации, типовых решений и адаптивности к предполагаемым изменениям.

Так по степени автоматизации методы проектирования классифицируют на ручное проектирование и компьютерное.

Ручное проектирование – это проектирование при котором проектирование компонентов происходит без использования специальных инструментальных программных средств.

Компьютерное проектирование – это проектирование, при котором производится генерация и конфигурация проектных решений при помощи специальных инструментальных программных продуктов.

Само собой разумеется, что в реалиях нынешнего времени – компьютерное проектирование компонентов технологического оснащения несопоставимо выгоднее ручного, т.к. занимает гораздо меньше времени и при этом выдаёт лучшие результаты в сравнении с ручным проектированием. Соразмерно этому растут и сложности задач, которые ставятся перед современными инженерами.

2.3 Современные технологии сквозного проектирования модельной технологической оснастки при помощи компьютерных технологий.

2.3.1 Общие принципы сквозного проектирования с применением компьютерных технологий в машиностроении.

Сегодня трудно себе представить конструкторскую и технологическую подготовку производства без программных средств автоматизации. Повсеместное внедрение систем автоматизированного проектирования позволило по-новому взглянуть на процесс проектирования и изготовления изделий. Самые наукоемкие отрасли промышленности стали активными пользователями и сторонниками компьютерных технологий. Возможность моделирования будущего облика изделия, процесса изготовления оснастки и отработки технологии переросла в потребность. Среди отечественных и зарубежных разработок, которым под силу объединить различные направления проектирования и производства в единый, сквозной технологический процесс, одно из лидирующих мест занимает отечественная CAD/CAM/CAPP-система ADEM, трудовой стаж которой в области автоматизации подготовки производства превышает 20 лет. Разработчики продолжают оправдывать надежды отечественных и зарубежных

пользователей, развивая пакет по таким направлениям, как эргономичность, функциональность и адаптивность.

Под сквозной технологией (или сквозным циклом) понимается автоматизируемая деятельность в информационной системе, охватывающая следующие стадии жизненного цикла изделий (ЖЦИ): проектирование, технологическая подготовка производства, изготовление, эксплуатация, ликвидация. В состав сквозной технологии входят как основные, так и вспомогательные процессы ЖЦИ.

Основные процессы:

- разработка технических документов и данных;
- согласование и утверждение документов и данных;
- проведение изменений в документах и данных;
- регистрация и хранение в архиве, выдача и абонентский учет документов;
- обмен данными между системами PDM, EDM, MES, ERP;
- внесение изменений в справочники НСИ.

Вспомогательные процессы:

- администрирование и защита информации;
- техническая поддержка пользователей на этапе эксплуатации и сопровождение ИС на всех этапах ее жизненного цикла.

Сквозная технология включает компоненты: цели предприятия, бизнес-процессы, персонал, продукция, информационные системы, инфраструктуру.

Основой технологии сквозного проектирования является комплексная процессная модель (КПМ) предприятия. КПМ содержит формализованные описания предметных областей, связанных с деятельностью предприятия:

- стратегия, ключевые показатели;
- дерево целей;
- продуктовая линейка;
- организационная структура;

- процессная модель: процессы управления, процессы развития, основные процессы, процессы безопасности и контроля, поддерживающие процессы;
- каталоги знаний, научно-производственной базы, промышленных технологий, документов, ИС.

Предприятия ОПК, в основном, - это комплексные структуры с иерархической формой организации управления. Такая форма исторически была ориентирована на решение специализированных классов задач. Эту форму организации называют функциональной иерархией. Каждая структурная единица занимается, в основном, созданием определенного класса продукции.

Для разработки и внедрения автоматизированных систем управления ЖЦИ и построения технологии сквозного проектирования на предприятии необходимо, прежде всего, формализовать его деятельность. Деятельность функциональных иерархий протекает с включением в процесс разных структурных единиц из разных подразделений. Иерархически эти подразделения могут быть не связаны друг с другом (находятся на одном уровне управления), поэтому движение бизнес-процессов в такой организации затруднено. Фактически сквозной бизнес-процесс разработки изделий существует на предприятии, но его формализация и сбор данных по нему затруднены.

При построении технологии сквозного проектирования на предприятии применяется процессный подход. Он состоит в том, что работы по созданию продукции разных классов рассматриваются как проекты с установленными сроками, ресурсами и результатом. Поэтому, фактически, в таких проектах имеют место бизнес-процессы, которые реализуются для достижения целей проекта. Каждое изделие рассматривается как совокупность бизнес-процессов по его разработке, изготовлению, поставке и обслуживанию.

Типовой ЖЦИ (по ГОСТ РВ 15.203) включает:

- исследование и обоснование разработки;

- разработку;
- производство и поставку;
- надзор в эксплуатации;
- снятие с производства и ликвидацию.

На основе процессного подхода реализуется преобразование бизнес-процессов предприятия в процессы информационных систем. Они сгруппированы по предметным областям и объединены в функциональные блоки.

Таким образом, ЖЦИ - это процессы создания продукции, а функциональные блоки - это процессы управления информацией.

В целом на предприятии выделяют два крупных класса информационных систем. Это бизнес-приложения и системы промышленной автоматизации.

Бизнес-приложения автоматизируют процессы управления предприятием.

Информационные системы, автоматизирующие процессы управления ЖЦИ, образуют класс систем промышленной автоматизации. Система промышленной автоматизации (или система сквозного проектирования) имеет четырехуровневую архитектуру. Она включает: архитектуру бизнес-процессов, архитектуру приложений, архитектуру данных, архитектуру инфраструктуры.

Система сквозного проектирования - это комплекс взаимодействующих информационных систем (ИС), обрабатывающих информацию согласно типовым бизнес-процессам и функционирующий в рамках АС в защищенном исполнении и решающий задачи: по управлению ЖЦИ; по обеспечению сквозной технологии 3D-проектирования; по защите информации. Система сквозного проектирования включает типовые функциональные блоки, направленные на автоматизацию решения основных задач управления ЖЦИ.

Существует 9 функциональных блоков, автоматизирующих основные, повторяемые процессы деятельности проектанта, разработчика в ИС, выполняемые им на протяжении всего ЖЦИ. Это функциональные блоки:

- конструкторское проектирование;
- схемотехническое проектирование;
- проектирование экспериментальных установок;
- расчетное моделирование;
- разработка интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР);
- технологическая подготовка производства;
- изготовление;
- экспериментальные исследования;
- сопровождение изготовления, эксплуатации и ликвидации.

Сквозное проектирование – это один из вариантов организации групповой работы с возможностью обновления повторяющихся графических данных. Современные средства автоматизированного проектирования как нельзя лучше подходят для реализации данного типа проектирования, т.к. групповую работу может выполнять один квалифицированный сотрудник, что позволяет оптимизировать издержки по времени и при этом не терять качественную составляющую при получении конечного продукта.

На сегодняшний день существует множество программных продуктов, позволяющих достигнуть данной цели. Сам же принцип описывает прохождение всех этапов проектирования: от технического задания, до получения готового изделия.

2.3.2 Разработка алгоритма проектирования модельного технологического оснащения с применением схемы сквозного проектирования.

В рамках данной работы нами предложен принцип сквозного проектирования технологического модельного оснащения. Рассматриваемый алгоритм можно разбить на 8 этапов.

Первый этап включает в себя получение технического задания от заказчика. Само техническое задание является собой документ или несколько документов, определяющих цель, структуру и свойства будущего проекта.

На втором этапе при помощи систем автоматизированного проектирования предлагается вариант решения поставленной задачи в виде эскиза или трёхмерной модели наброска, который в последствии дорабатывается с учётом всех требований.

Третий этап, в рамках проектирования технологического оснащения, является собой проектирование так называемой монтажной схемы модельного комплекта. Монтажная схема – это принципиальная схема размещения, получаемого в результате формовки в песчанно-глиняные формы, монтажных элементов с учётом особенностей конструкции будущего изделия. Чаще всего данная схема определяет состав модельного комплекта, учитывая площадь монтажной плиты или кокиля. На этом этапе проектируется будущая литниково-питающая система со всеми её элементами: литниковые точки, выпора, прибыли, холодильники, питатели и т.д. Также при проектировании монтажной схемы наносятся литейные уклоны, припуски и радиуса скруглений.

На следующем этапе по предложенной схеме в САД-системах автоматизированного проектирования создаётся трёхмерная модель будущего, так называемого, куста отливки. Очень важно выбрать подходящий программный продукт для удобства, а, следовательно, и ускорения проектирования с наименьшими потерями в качестве. В представленной работе для проектирования был выбран программный продукт SolidWorks в пользу его интуитивно понятного интерфейса и широкого функционала.

Пятый этап связан с инженерным анализом с применением САЕ-систем для проверки работоспособности литейного оснастки. После получения «куста отливки» необходимо проверить технологическое оснащение на работоспособность. Для этого применяются программное обеспечение систем автоматизированного проектирования САЕ-класса. Программное обеспечение САЕ класса – это разнообразные программные продукты, позволяющие при помощи расчётных методов (метод конечных элементов, метод конечных разностей, метод конечных объёмов) оценить, как поведёт себя компьютерная модель изделия в реальных условиях эксплуатации. В данном случае будет проводиться проверка на проливаемость и получение годного результата получения конечного изделия. На данном этапе проектирования учитываются все возможные ошибки, допущенные на предыдущих этапах, и отправиться на доработку ещё до этапа изготовления, что позволяет сэкономить временные, экономические и трудовые ресурсы. Если по окончании выполнения данного этапа проектирования не было выявлено нарушений в работе составленной системы, то изделие переходит на следующий этап.

На шестом этапе производится технологическое деление модельного комплекта для получения так называемого «слоёного пирога». Для этого модель разбивают на слои для удобной и качественной обработки будущего модельного комплекта. Здесь выделяются полуформы модели и стержневые ящики. После чего они делятся на слои так, чтобы можно было их обработать за один установ на станке. Таким образом получается избежать потенциальных ошибок при обработке, путём выделения сложных участков и деления их на более простые. Это выполняется также для обеспечения меньшего износа технологического оборудования. Данный этап зачастую вызывает множество проблем, т.к. модели могут иметь сложную формообразующую поверхность, поэтому в следующей работе мной будет разработан и рассмотрен автоматизированный модуль для деления модели.

На седьмом этапе изделие проходит на этап изготовления. В большинстве случаев изготовление технологического модельного комплекта доверяют современным станкам с ЧПУ. Для того, чтобы передать будущее изделие в обработку, необходимо написать управляющую программу для станка. В настоящее время для написания подобных программ применяются САМ-продукты систем автоматизированного проектирования. САМ-система - автоматизированная система, либо модуль автоматизированной системы, предназначенный для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Под термином понимаются как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами-технологами. В ней, при помощи программного интерфейса можно наглядно увидеть все этапы обработки и внести необходимые коррективы. После составления технологии, программой создаются траектории обработки изделия, после чего, по средствам постпроцессора, данные траектории записываются в виде координат на языке, соответствующему языку программирования выбранного станка.

Как альтернатива, модельное технологическое оснащение на данный момент можно также создавать при помощи 3D-принтеров послойного плавления пластиком или послойного сращивания фотополимеров. Данный вид изготовления технологического оснащения позволяет получить модели гораздо более высокой точности, но они очень сильно проигрывают по времени выполнения поставленной задачи, в сравнении со станков с ЧПУ.

После получения готового модельного комплекта его передают на литейное производство, где его формуют в песчанно-глинястые смеси согласно разработанной монтажной схеме. Далее все элементы, полученные после формования смеси, собирают воедино для заполнения формы расплавом металла. После остывания изделия, песчаную форму разрушают. При этом важно не повредить саму деталь. Всю литниково-питающую

систему удаляют, а изделие попадает на заключительный этап – механической обработки.

Все предложенные выше этапы наглядно представлены на схеме сквозного проектирования в приложении А.

2.4 Технологическая подготовка производства модельного оснащения

2.4.1 Этапы технологической подготовки

Традиционное проектирование технологических процессов производства заготовок вручную осуществляются в четыре этапа (см. рис. 2.5). исходная информация: чертеж детали, технические требования на изготовление заготовки и организационно-технические факторы (наличный парк оборудования, программа выпуска изделий и др.). Продукция проектирования: чертеж заготовки с ТТ на ее изготовление, технологические и маршрутные карты, чертежи оснастки. проектирование тп пз является наиболее ответственной и трудоемкой частью системы технологической подготовки производства, включающей само проектирование и изготовление средств технологической оснастки. Оно представляет собой творческий процесс получения описаний, необходимых для создания, не существующего еще объекта и технологии его изготовления, и требует от человека, наряду с творческим началом, выполнения трудоемких рутинных работ. Использование сапр тп пз позволяет существенно повысить производительность труда проектировщика и качество проектирования.

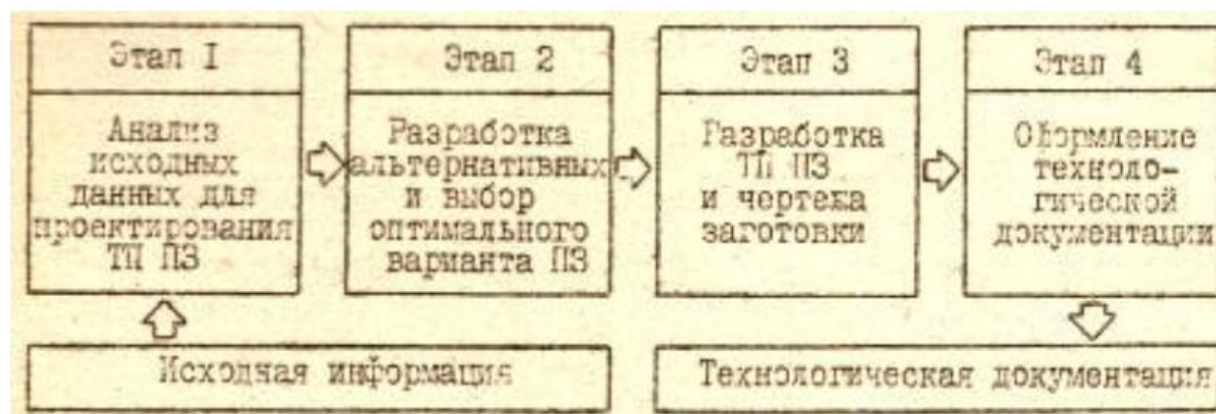


Рисунок 2.5 – Основные этапы традиционного проектирования ТП ПЗ

Достигается это за счет автоматизации выполнения рутинных работ (расчеты, использование банка справочных данных, автоматизированное оформление документации и др.) и возможности проанализировать на стадии проектирования множество вариантов проектных решений. Функциональная схема САПР ТП ПЗ. Информация, поступающая в сапр, подвергается ряду преобразований. Процесс ее преобразования и обратный перевод результатов обработка осуществляют в пять этапов (см. рис. 2.5): 1-й и 2-й с участием человека, с 3-го по 5-й – автоматизированные этапы. Любая сапр тп имеет в своей структуре контур информационного поиска типовых решений. Исторически методы автоматизированного проектирования ТП развивали на основе создания вначале простых систем, использующих принцип «фотографирования» действий технолога, а затем – «сквозных», объединяющих автоматизированные конструирование, проектирование ТП, разработку программ для оборудования с ЧПУ и производство изделий – все без участия человека. В случае САПР ТС ПЗ такими изделиями может быть, например, штамповая оснастка. На всех этапах развития автоматизации: проектирования ТП широко использовали методы типизации отдельных элементов и на основе этого строили соответствующие информационные массивы. Практически каждый шаг принятия решений в таких системах предусматривает обязательное обращение к массиву типовых решений и только в случае отсутствия требуемого типового решения – синтез нового. Функциональная схема сапр тп пз, действующая с учетом описанного выше принципа – обязательного поиска типового варианта перед разработкой нового, приведена на рис. 2.6.

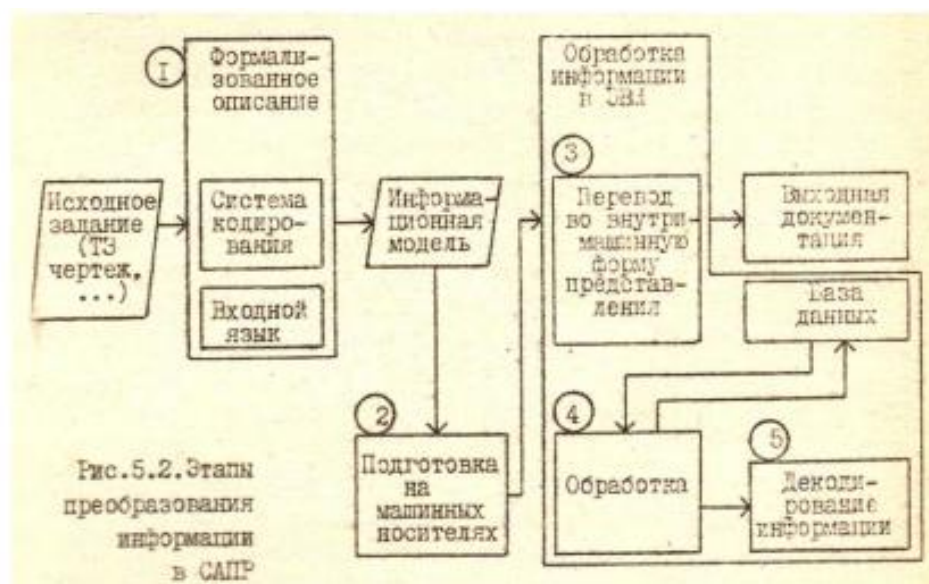


Рисунок 2.6 – Этапы преобразования информации в САПР

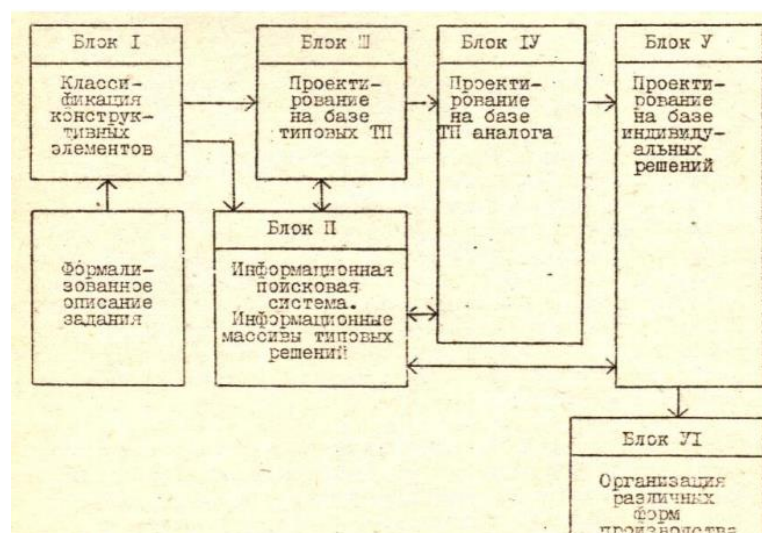


Рисунок 2.7 – Функциональная схема САПР ТП ПЗ

2.4.2 Пример реализации технологической подготовки модельного производства.

Первоначально для разработки модельного комплекта модельной литейной оснастки был предоставлен чертёж с нанесённой, инженером-технологом литейного производства, конструкцией литейной системы с припусками на механическую обработку, знаками и литниково-питающей системой, а также монтажная схема. После чего прорабатывается 3D модель заготовки получаемой литьём (см. рис. 2.8)

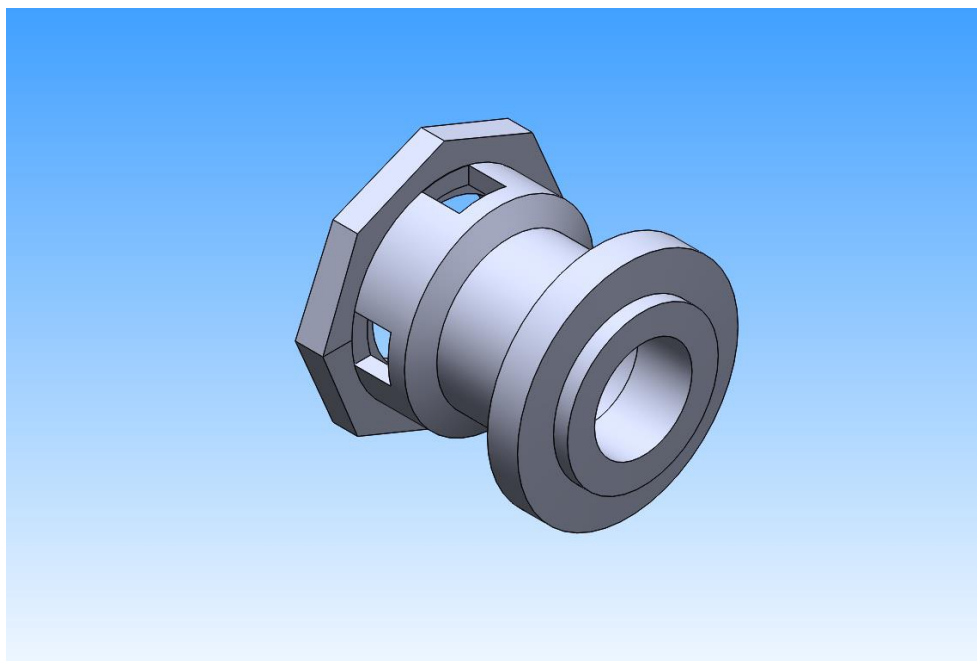


Рисунок 2.8 – Трёхмерная модель заготовки

Далее прорисовывается модельный комплект литейной оснастки, в состав которого входят стержневой ящик и две полу формы моделей верха и низа.

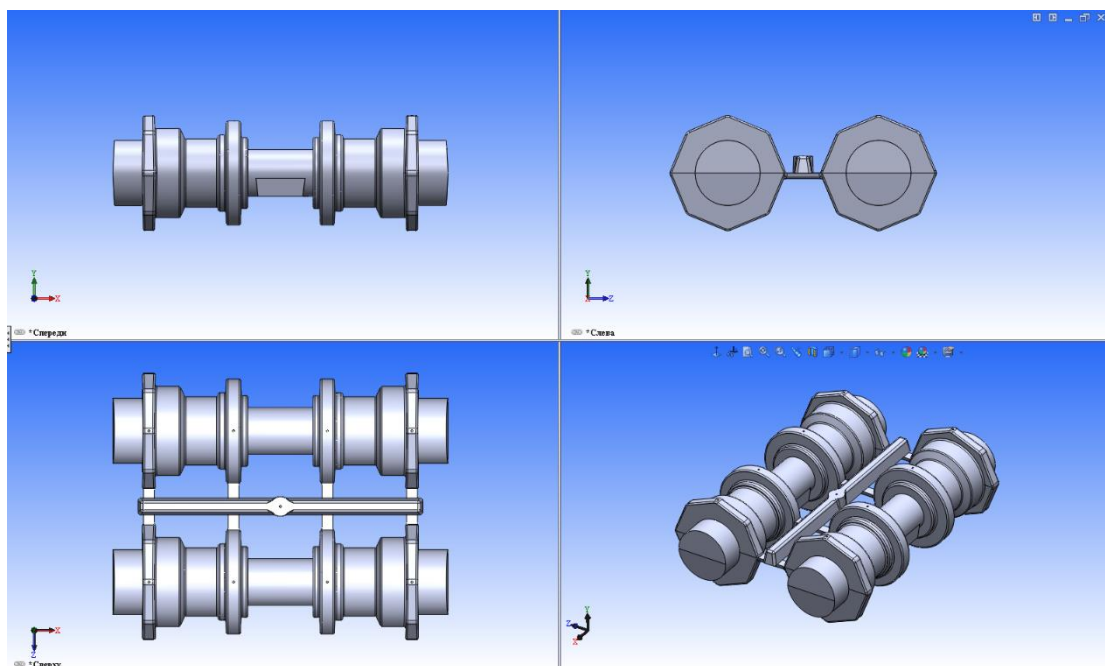


Рисунок 2.9 – Модель в сборе

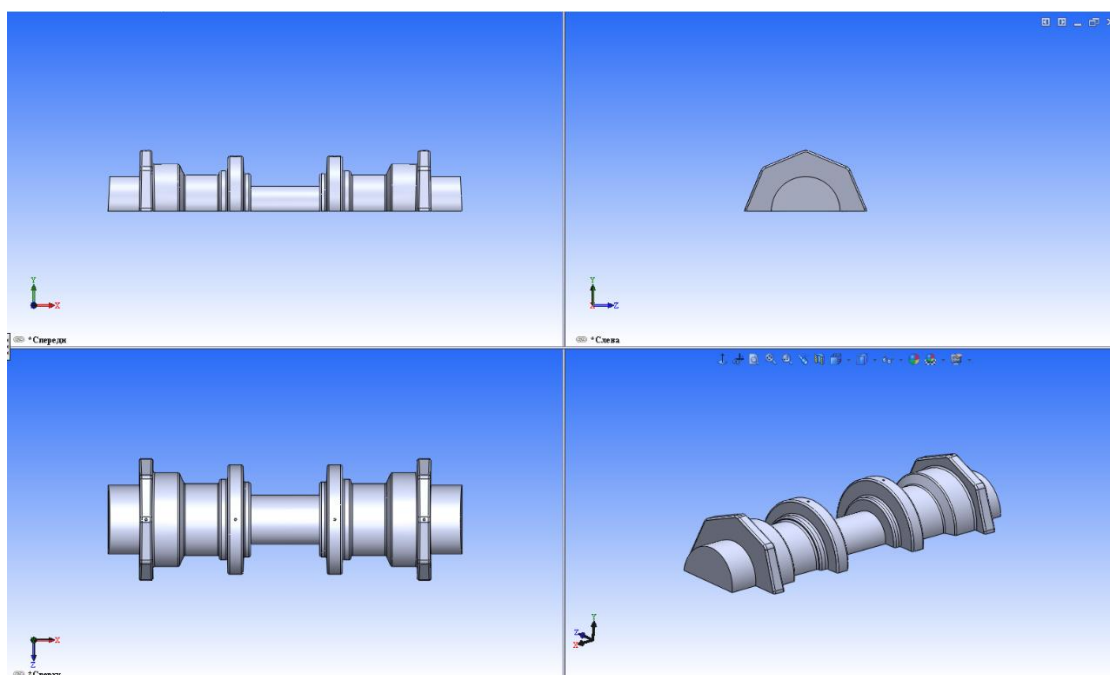


Рисунок 2.10 – Модель верха

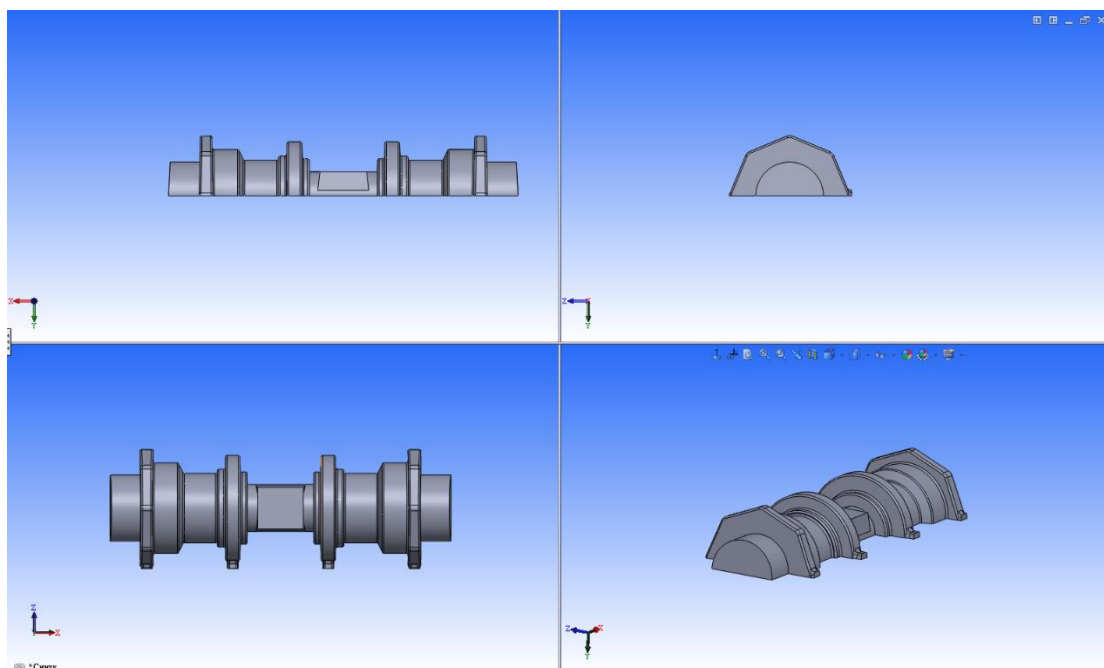


Рисунок 2.11 – Модель низа

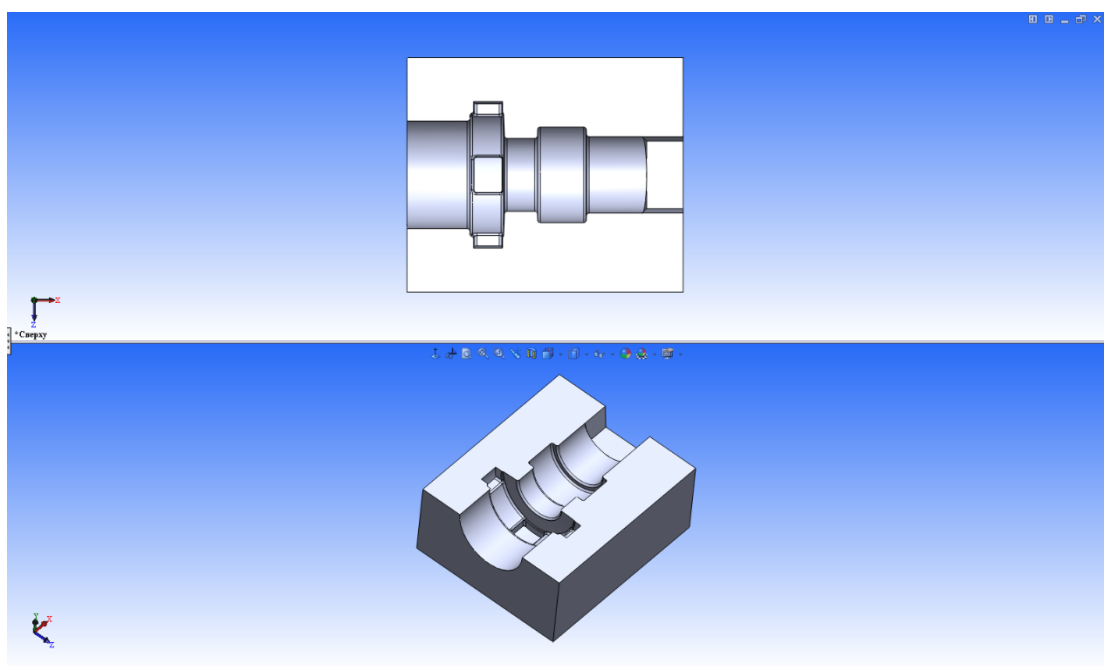


Рисунок 2.12 – Стержневой ящик

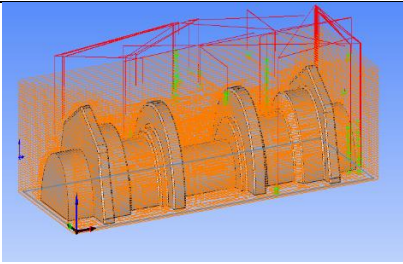
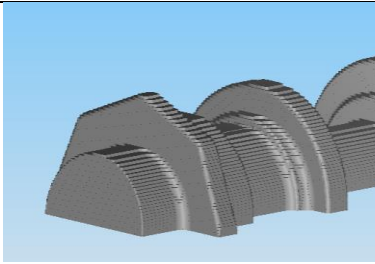
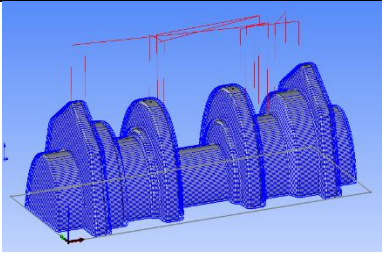
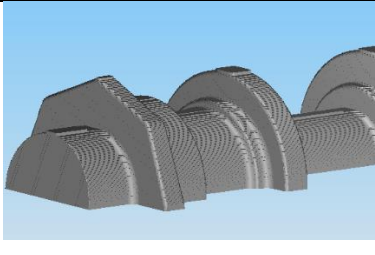
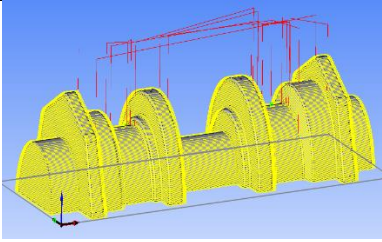
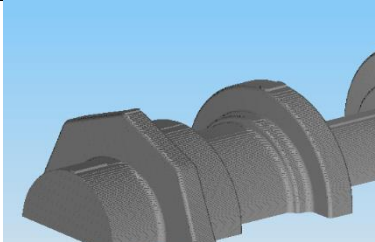
Прежде чем рассчитывать траектории обработки, надо задать заготовку, инструмент, начальную точку, подачи и безопасные высоты. Заготовкой в данном случае будет являться параллелепипед с необходимыми нам размерами (с учётом припуска 5 мм на боковые стороны на погрешность привязки детали). Материал для формирования модельного комплекта выберем модельный пластик Obomodulan фирмы Obo-Werke (Германия) типа 652 хорошо себя зарекомендовавший с позиции живучести при выполнении операции формовки.

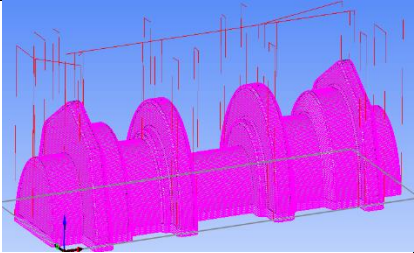
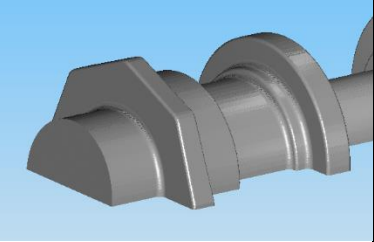
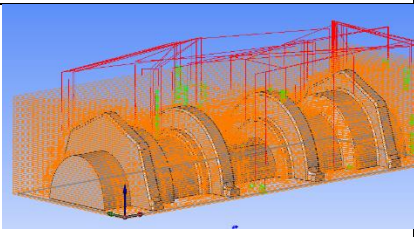
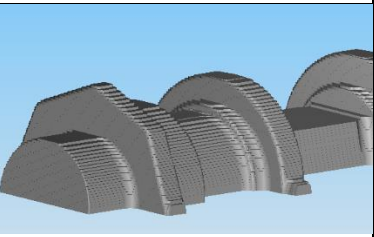
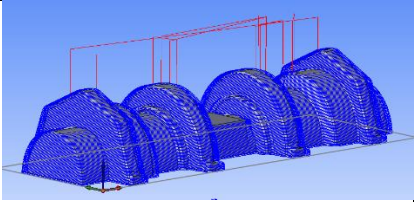
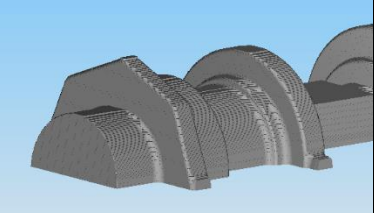
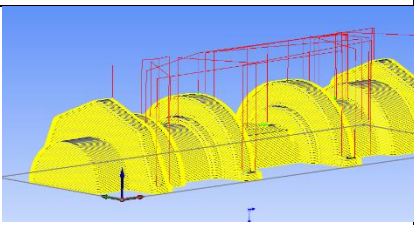
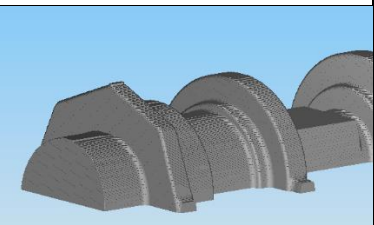
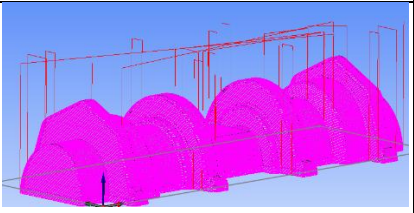
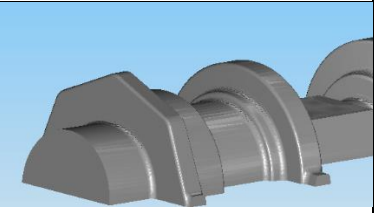
Способ крепления заготовок к столу станка за счет использования вспомогательной опорной плиты из ДСП ГОСТ 10632-2014 толщиной 20 мм. К опорной плите заготовка крепится винтами самонарезающимися с потайной головкой и заостренным концом для металла и пластмассы. ГОСТ 11652-80 с крупным шагом. Места, размер и количество крепления выбираются на месте с учетом отсутствия соударений инструментов и вершин винтов во время фрезерования (винты должны оставаться в теле детали). Опорная плита крепится к столу станка прихватами ГОСТ 4753-69 и на параллельность станочным пазам лазерным уровнем ADA Cube 360 Basic Edition.

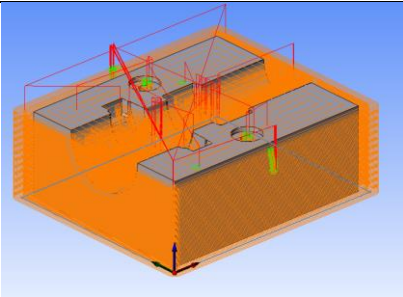
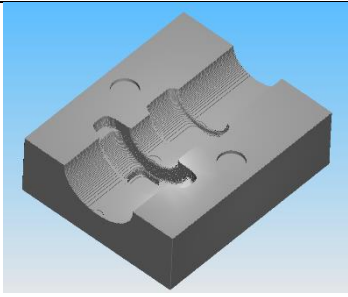
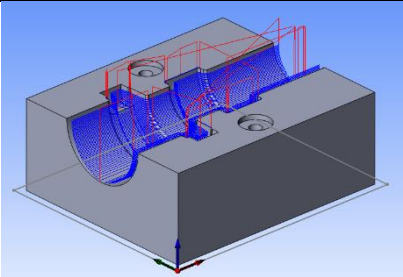
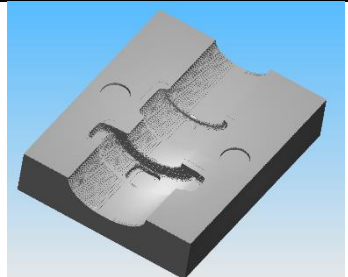
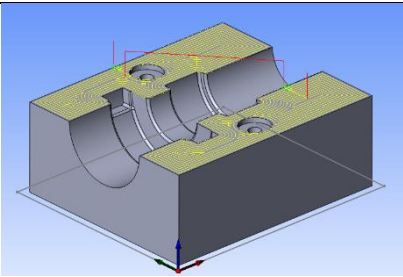
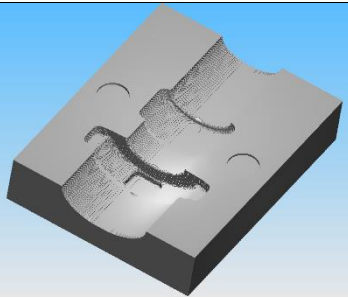
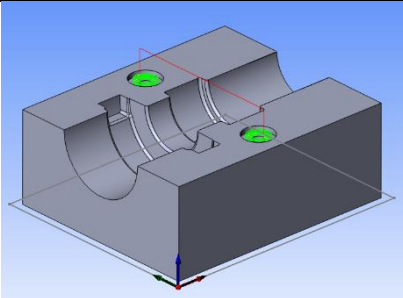
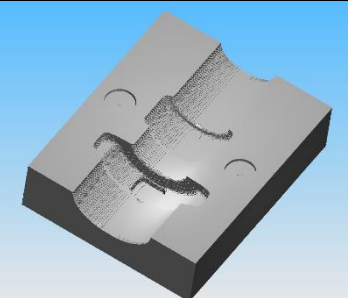
Разбиение обработки на переходы выполняется на основании классических траекторий движения инструмента на используемом ПО SOLIDCAM. Практически вся обработка разбивается на черновые, получистовые, чистовые и доработочные траектории.

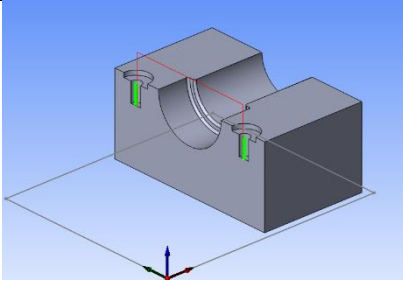
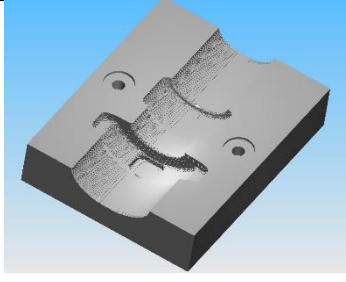
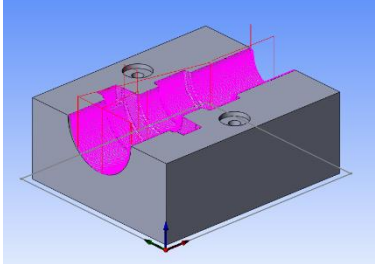
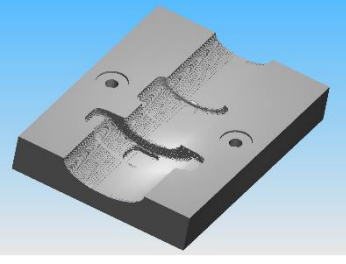
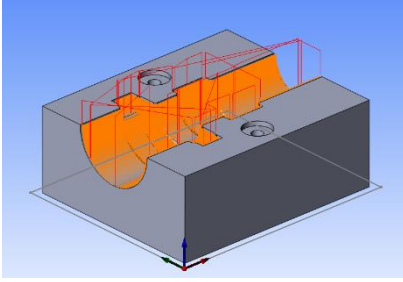
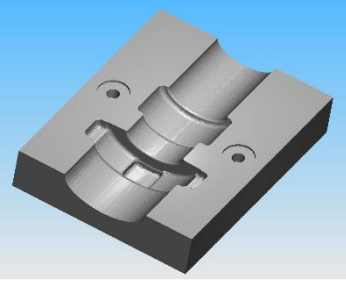
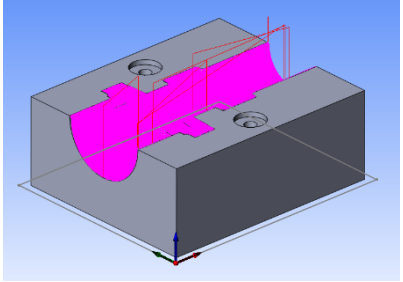
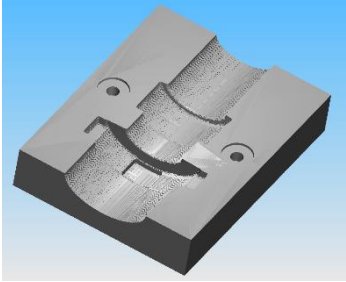
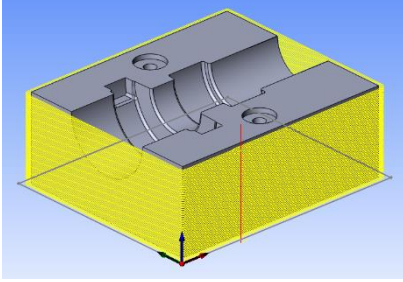
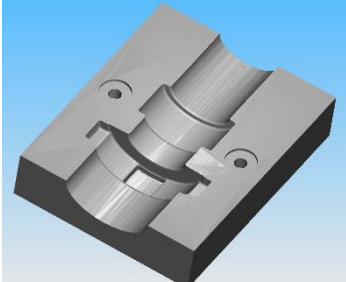
Траектории и визуализация обработки приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Траектории и визуализация обработки

№ инс тру мен та	Наименование обрабатываемой модели, вид обработки	Используемая Траектория	Изображение Траектории	Визуализация обработки
1	Модель верха Черновая	Контурная с объёмным припуском 1мм		
2	Модель верха Получистовая	«По ватерлиния м» с припуском 0.5мм		
3	Модель верха Получистовая	«По ватерлиния м» с припуском 0.25мм		

5	Модель верха Чистовая	«По ватерлиния м», линейная обработка		
1	Модель низа Черновая	Контурная с объёмным припуском 1мм		
2	Модель низа Получист овая	«По ватерлиния м» с припуском 0.5мм		
3	Модель низа Получист овая	«По ватерлиния м» с припуском 0.25мм		
5	Модель низа Чистовая	«По ватерлиния м», линейная обработка		

2	Стержневой ящик Черновая	Контурная с объёмным припуском 1мм		
2	Стержневой ящик Получистовая	«По ватерлинии м» с припуском 0.5мм		
2	Стержневой ящик Чистовая	«По ватерлинии м», планирование горизонтальных спаривающих их поверхностей		
2	Стержневой ящик Чистовая	Контурная обработка посадочного кармана под спаривающий шкант		

2	Стержневой ящик Чистовая	Контурная обработка посадочного кармана под спаривающий шкант		
2	Стержневой ящик Получистовая	«По ватерлинии м» с припуском 0.25мм		
2	Стержневой ящик Получистовая	«По ватерлинии м» с припуском 0.15мм		
2	Стержневой ящик Чистовая	«По ватерлинии м», линейная обработка		
2	Стержневой ящик Чистовая	Контурная обработка внешнего контура ящика		

Перечень инструментов и вспомогательной оснастки, используемой для обработки приведён в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Перечень инструмента

№	Инструмент	Производитель	Обозначение	Оснастка и минимальный вылет при установке	Фото инструмента
1	Фреза концевая диаметром 20	DJT OL	NMDRX20.65	Цанга ER□20 (32) Цанговый патрон C6-391.14-32.060 Хвостовик MM16-20130. 0-1045D	
2	Фреза концевая диаметром 16	DJT OL	NMDRX16.65	Цанга ER□8 (24) Цанговый патрон C6-391.14-25.060	
3	Фреза концевая диаметром 12	DJT OL	NMDRX12.55	Цанговый патрон C6-391.14-25.060	

4	Фреза концевая диаметром 6	DJT OL	NMDRX6.25	Цанговый патрон С6- 391.14-25.060	
5	Фреза шаровая диаметром 12	DJT OL	N2QX1245	Цанговый патрон С6- 391.14-25.060	
6	Фреза шаровая диаметром 6	DJT OL	N2QX6.22	Цанговый патрон С6- 391.14-25.060	

Проработка изготовления модельного комплекта с применением CAD-CAM технологий позволяют организовать сквозное проектирование от заготовки к конечной детали и описанный выше этап показал эффективность сквозного проектирования при разработке технологии проектирования и изготовления заготовки.

Выводы по главе.

1. Рассмотрены принципы и этапы конструкторской и технологической подготовки производства литейных форм.

2. Разработан алгоритм проектирования технологического оснащения, позволяющий добиться наибольшей эффективности.

3. Проектирование модельной технологической оснастки для изделия кронштейн Д49.123

3.1 Программное обеспечение для проектирования геометрии.

Система автоматизированного проектирования SolidWorks (SolidWorks Corp., США) создана для использования на персональном компьютере в операционной среде Microsoft Windows.

В SolidWorks используется принцип трехмерного твердотельного и поверхностного параметрического проектирования, что позволяет конструктору создавать объемные детали и компоновать сборки в виде трехмерных электронных моделей, по которым создаются двухмерные чертежи и спецификации в соответствии с требованиями ЕСКД.

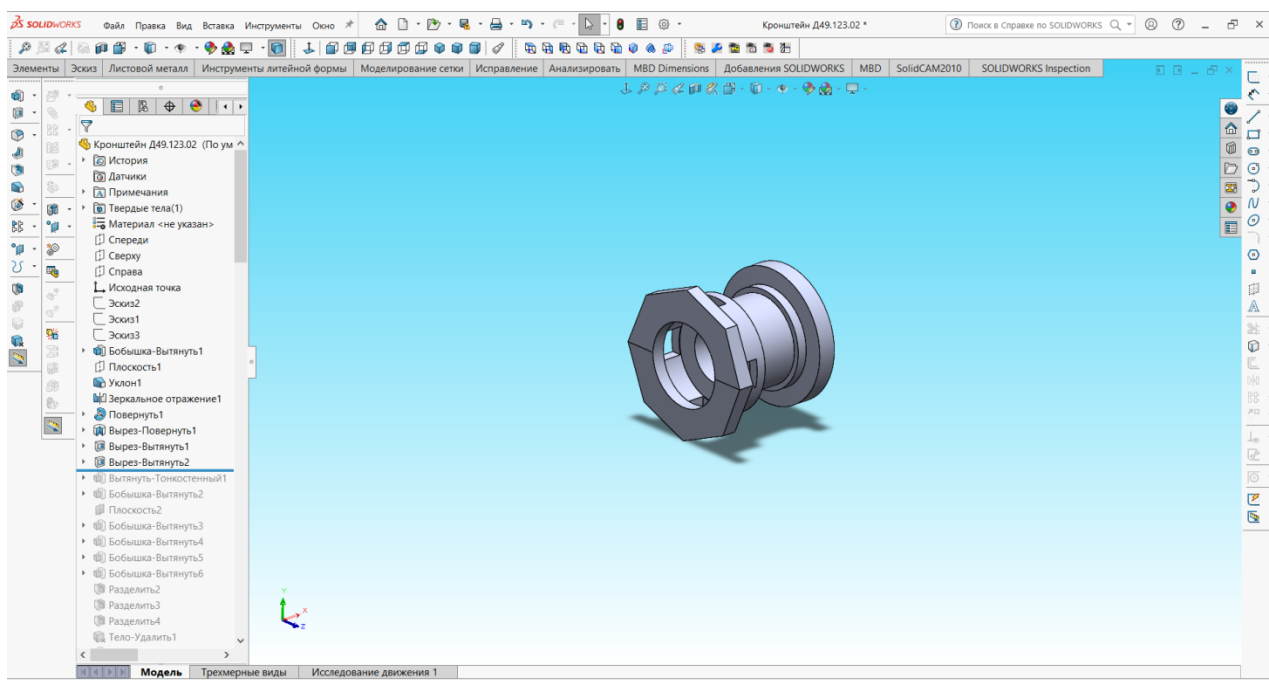


Рисунок 3.1

Трёхмерное моделирование изделий дает массу преимуществ перед традиционным двумерным проектированием, например, исключение ошибок собираемости изделия еще на этапе проектирования, создание по электронной модели детали управляющей программы для обработки на станке с ЧПУ. С помощью программы SolidWorks можно увидеть будущее

изделие со всех сторон в объеме и придать ему реалистичное отображение в соответствии с выбранным материалом для предварительной оценки дизайна.

Трехмерная деталь SolidWorks получается в результате комбинации трехмерных примитивов. Большинство элементов основаны на плоском эскизе, по которому создается базовый трехмерный объект. Последовательное наращивание 3D объектов и позволяет в итоге получить желаемый результат.

Двунаправленные ассоциативные взаимосвязи между деталями, сборками и их чертежами SolidWorks гарантируют соответствие модели и чертежа, так как все изменения сделанные в детали автоматически передаются связанную с ней сборку и чертеж.

Опциональные модули SolidWorks позволяют расширить базовые возможности дополнительными функциями по:

- созданию фотореалистичных изображений (PhotoWorks);
- распознаванию дерева построения и параметризации геометрии импортированной из других CAD систем (FeatureWorks);
- созданию презентационных видеороликов изделий в среде SolidWorks (SolidWorks Animator);
- трехмерной обводке кабелей электрических систем и трубопроводов (SolidWorks Routing);
- созданию автономно просматриваемых чертежей и моделей, для обмена информацией с партнерами не имеющими SolidWorks (eDrawings) и т.д.

Интерфейс программы SolidWorks, документация и функциональные инструкции переведены компанией-разработчиком на русский язык. Учитывая это и интуитивно понятные принципы проектирования в SolidWorks требуется совсем не много времени на освоение программы и получение конечной конструкторской документации.

Правая панель представляет собой графическую область, в которой выполняются различные операции над деталью, сборкой или чертежом.

В левой части окна SolidWorks отражается информация о дереве построения Feature Manager, параметрах функций и конфигурациях модели.

Последовательность построения модели фиксируется в дереве Feature Manager. Дерево проектирования Feature Manager позволяет управлять элементами построения модели вносить изменения в конструкции детали на любом этапе проектирования, не перестраивая деталь заново с нуля.

Менеджер свойств PropertyManager отображает информацию о всех возможных параметрах множества таких функций, как эскизы, скругления, построение твердотельного элемента, поверхности, сопряжения сборок и т.д.

Менеджер конфигурации служит для создания, выбора и просмотра многочисленных конфигураций деталей и сборок в документе. Использование конфигураций дает возможность создавать в одном файле модели несколько исполнений изделия.

Библиотека материалов SolidWorks позволяет определять материал детали для массовых характеристик, спецификаций и расчетов в COSMOSXpress или COSMOSWorks. База данных может быть пополнена пользователем и содержит информацию о физических свойствах материала и свойствах видимости (цвет детали, штриховка, текстура материала).

Для удобства проектирования имеются все необходимые инструменты для просмотра информации в области моделирования выбор стандартных видов, увеличение и вращение модели, создание быстрых аналитических разрезов и т.д.

Имеются возможности получения статистической информации, характерные только для трехмерного твердотельного моделирования, это например, измерение расстояний и углов пространственной модели,

определение массовых характеристик, определение количества компонентов в сборке.

Для удобства выбора элементов в SolidWorks существуют фильтры позволяющие выбирать заранее определенные элементы модели.

Функция Print3D одним щелчком мыши дает пользователям, подключенным к сети Internet, прямой доступ к самым эффективным технологиям быстрого прототипирования в промышленности, включая стереолитографию (SLA), нанесение термопластов (FDM - Fused Deposition Modeling), лазерное спекание порошков (SLS - Selective Laser Sintering) и др.

Инструмент создания макросов позволяет создавать собственные функции. Сохранив определенную последовательность действий, по одной команде можно воспроизвести ее автоматически.

SolidWorks открытая система для написания пользовательских программ на Visual Basic и Visual C++.

Стандартные функции Windows обеспечивают работу с файлами (открытие, сохранение, ...), печать эскизов 3D модели с экрана и чертежей SolidWorks осуществляется на любой плоттер или принтер.

Трехмерный объект основывается на плоском или трехмерном эскизе, для построения эскиза существует большое количество различных инструментов действующих в совокупности с "умными" привязками и позволяющих строить:

- прямые, окружности и сплайны;
- обрезать и удлинять линии;
- зеркально отображать и копировать объекты;
- делать скругления и фаски;
- строить различные массивы объектов и эскизы текста;
- проставлять размеры в автоматическом или ручном режиме;
- наложение геометрических взаимосвязей;

- проецирование на эскиз контуров выбранных элементов и т.д.

Инструмент построения трехмерных твердотельных элементов:

- вытягиванием эскиза или выбранного контура в любом направлении;
- получение тел вращения;
- элемента по заданным сечениям;
- по указанной траектории;
- придание толщины поверхности;
- создание уклонов на грани модели
- вырезы по эскизу, поворотом, по сечениям, по траектории, плоскостью или поверхностью;
- получение скруглений (с постоянным или переменным радиусом) и фасок;
- построение ребер жесткости;
- создание оболочки;
- получение массива элементов различными способами;
- деформирование твердого тела;
- копирование элементов;
- комбинирование твердых тел и объединение в одну деталь;
- вставка детали из файла в активный документ детали и т.д.

Инструмент построения поверхностей:

- вытягиванием или вращением профиля;
- вытягиванием профиля вдоль траектории;
- по сечениям между профилями;
- эквидистанта к поверхности;
- отсечение поверхности плоскостью, эскизом или другой поверхностью;
- сшивка поверхностей;
- разъема между деталями;
- преобразование замкнутого объема поверхностей в твердое тело и т.д.

- Проектирование сварных деталей по трехмерному эскизу с компоновкой профилей из базы. Профиль в базе определяется по стандарту, типу и размеру. Можно создавать собственные профили и добавлять их в библиотеку. При обработке сварных конструкций имеется инструмент:

- отсечения и удлинения, как инструментами обрезки;
- построения торцевых пробок;
- построения сварных швов;
- элементов углового соединения и т.д.

Проектирование деталей из листового металла в SolidWorks возможно, как в прямом "от детали к развертке", так и в обратном порядке "от развертки к детали". Для этого имеются инструменты:

- построения разверток;
- закругление кромки листовой детали в виде каемки;
- добавление сгибов;
- создание зазора между двумя кромками и т.д.

Моделирование трехмерных объектов редко обходится без построения вспомогательной геометрии. В SolidWorks имеется возможность построения справочной плоскости, оси, системы координат и точки, или указать один из объектов справочным.

Проектирование сборок в SolidWorks осуществляется по двум основным методам: "снизу вверх" или "сверху вниз", а также их сочетанием. При проектировании "снизу вверх" сначала создаются детали, затем они вставляются в сборку и сопрягаются согласно требованиям проекта. Метод проектирования "сверху вниз" отличается тем, что работа начинается в сборке. Проектирование "сверху вниз" в контексте сборки позволяет создавать ссылки на геометрию исходной модели, таким образом, что если изменяется размер исходной модели, связанная с ней деталь обновляется автоматически.

Для повышения производительности и удобства работы с большими сборками и их чертежами, содержащими десятки тысяч деталей, в SolidWorks предусмотрен специальный режим, позволяющий сократить время загрузки файла и рационально распределять ресурсы компьютера за счет отображения сокращенной информации о компонентах сборки.

Инструменты для работы со сборками:

- добавление существующего узла или детали в сборку;
- перемещение и вращение компонентов сборки;
- сопряжение компонентов сборки, в том числе по принципу симметричности, кулачка и редуктора;
- создание видов с разнесенными компонентами;
- скрытие и отображение компонентов;
- настройки прозрачности компонентов сборки;
- проверка интерференции и измерение динамического зазора между компонентами и т.д.

При наложении соответствующих взаимосвязей между компонентами сборки возможно моделирование кинематики механизма сборки. Для этого к одному из взаимосвязанных компонентов, имеющему соответствующие степени свободы, прикладываются движители способные имитировать поступательное или вращательное движение, привод от пружины или действие сил гравитации.

3.1.1 Анализ детали

Рассмотрим деталь и ее применение в составе изделия. На рис. 3.2. представлена фотография детали в сборке и эскиз созданный в конструкторском отделе предприятия.

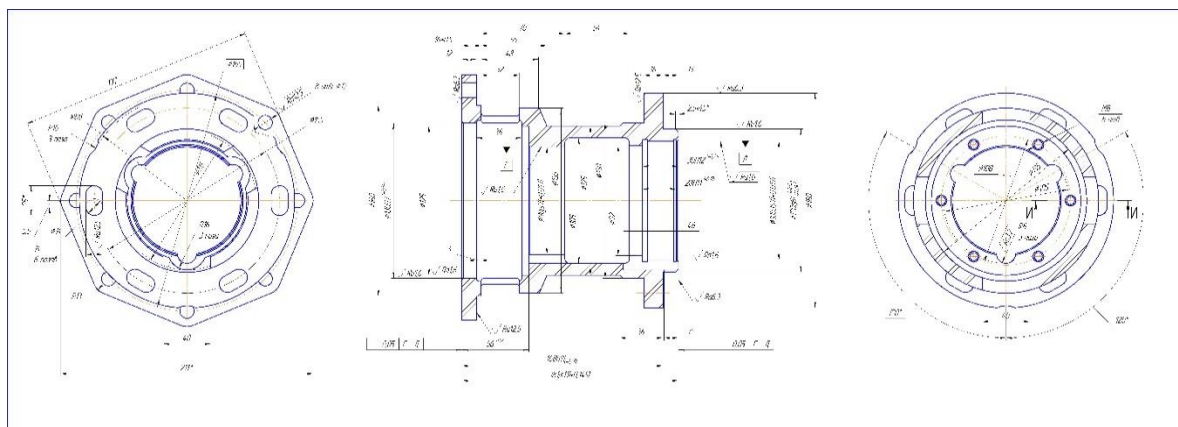


Рисунок – 3.2 Эскиз детали «Кронштейн» крепления водяного насоса.

Кронштейн в сборе.

Кронштейн — консольная опорная деталь или конструкция, служащая для крепления на вертикальной плоскости выступающих или выдвинутых в

горизонтальном направлении частей машин или сооружений. Конструктивно кронштейн может выполняться в виде самостоятельной детали либо многодетальной конструкции с раскосом, а также в виде значительного утолщения в базовой детали. Механический принцип действия — сопротивление материала на скол и сдвиг.

К данному изделию предъявляются следующие технические требования:

- Допускается изготавливать из СЧ15 ГОСТ 1412-85
- Требования к отливке по инструкции 60.005.88И
- Точность отливки 11-0-0-11 ГОСТ 26645-85
- Вид, количество, размеры и расположение дефектов подлежащих исправлению и способ исправления заваркой по инструкции 24.612.25392.50002
- Неуказанные литейные радиусы выполнять 3..5мм
- Литейные уклоны по ГОСТ 3212-92, черт 1°

Технологичность конструкции – это набор свойств конструкции детали, необходимых при оптимизации затрат труда, средств, материалов и времени при технической подготовке производства, изготовления, эксплуатации и ремонта конструкции изделия того же назначения при обеспечении установленных значений показателей качества и принятых условий изготовления, эксплуатации и ремонта.

Произведем анализ технологичности рассматриваемой детали «Кронштейн».

Деталь получается методом литья и представляет собой жесткую конструкцию.

Основными и наиболее ответственными поверхностями детали – отверстия $\varnothing 130H7^{(+0,04)}$, $\varnothing 90JS7(\pm 0,017)$, $\varnothing 100JS7(\pm 0,017)$ и $\varnothing 120g6$. Также важно обеспечить перпендикулярность между базами Г и Д и прилегающими

привалочными поверхностями (восьмиугольная плоскость размером 197мм и фланец Ø160мм). Обеспечение этого допуска перпендикулярности достигается за счет обработки этих поверхностей с одной установки.

Отверстия (4шт.) прямоугольной формы (разрез Б-Б) получают в заготовке литьем. Полость Ø105 также получается на заготовительной операции. Остальные отверстия до Ø40мм нецелесообразно получать в литье.

Закрепление заготовки со стороны восьмиугольной плоскости предполагает использование специальных 4-х кулачковых патронов или специального приспособления для закрепления на токарной операции.

Ко всем поверхностям детали и заготовки имеется свободный доступ режущего и мерительного инструмента. Определенные затруднения может вызывать обработка 3-х пазов R8 – обработка этих поверхностей с вылетом 125мм сопровождается вибрациями и отжимом инструмента от заготовки. Для этого необходимо использовать специальный инструмент с большим вылетом, а фрезерная обработка будет вестись плунжерным методом.

Рассмотрим материал заготовки.

Деталь отливается из материала серый чугун СЧ15 по ГОСТ1412-85.

Из данного материала изготавливаются многие конструктивные элементы двигателя Д49.

Рассмотрим его характеристики и свойства.

Серый чугун в изломе темно-серого цвета, мягок, хорошо обрабатывается инструментами и поэтому широко применяется в машиностроении. Температура плавления серого чугуна 1100— 1250° С. Чем больше в чугуне углерода, тем ниже температура плавления. Основное количество углерода в сером чугуне содержится в виде графита, равномерно распределенного среди зерен основного сплава.

Примерный состав серого чугуна: 3—3,6% углерода; 1,6—2,5% кремния; 0,5—1% марганца; 0,05—0,12% серы; 0,1—0,8% фосфора. Сера является вредной примесью в чугуне, затрудняет его сварку и понижает прочность; она повышает вязкость чугуна в расплавленном состоянии и увеличивает его литейную усадку.

Фосфор делает чугун более жидкоплавким и улучшает его свариваемость, но одновременно повышает хрупкость и твердость. Поэтому содержание серы и фосфора в чугуне не должно превышать указанных пределов.

По ГОСТ 1412—85 марка серого чугуна обозначается буквами СЧ и двумя числами, из которых первое обозначает среднюю величину временного сопротивления в кгс/мм², а второе — то же, при изгибе. Выпускается, например, серый чугун марок СЧ15, СЧ20, СЧ25 и т. д.

Чугун СЧ25 означает, что у данной марки чугуна временное сопротивление при растяжении 15 кгс/мм².

3.1.2 Анализ метода получения заготовки.

Для кронштейна в качестве заготовок используется заготовка-отливка. Необходимо применять наиболее точные отливки, максимально приближенные по форме к форме готовой детали. Точность заготовок должна быть 11-0-0-11. Конфигурации заготовок изменены по сравнению с базовыми, уменьшены напуски. Расчет припусков, проведенный далее, позволит уменьшить массу заготовок и объем механообработки.

Метод литья – гравитационный. Форма изготавливается из холодной твердеющей смеси.

При проектировании литейные радиусы были уменьшены до 3..5 мм. Уклоны, обеспечивающие извлечение заготовки – до 1°.

Основные особенности техпроцесса состоят в применении современных станков с ЧПУ, которые позволят исключить шлифовальные операции и значительно сократить основное и вспомогательное время на переходах за счет более высоких скоростей резания и быстрых перемещений на холостых ходах.

Техпроцесс запишем в табличном виде (см. таблицу 3.1)

Таблица 3.1 –Технология обработки детали «Кронштейн»

№ п/п	Содержание операции (Новая технология)
005	Заготовительная (Получить заготовку (отливка))
010	Термическая (Стабилизирующий отжиг)
015	Контрольная Контроль твердости заготовки или литейных размеров
020	Транспортирование Переместить в цех механообработки (поддон по 20шт. заготовок)
025	Токарная с ЧПУ <i>Токарный станок с ЧПУ <u>1П365Ф3</u></i> 1. Подрезать торец 2 и 6, точить поверхности 5 и 7(предв.) 2. Подрезать торец 3 3. Расточить отверстия 12, 13 (предварительно)

030	Токарная с ЧПУ <i>Токарный станок с ЧПУ <u>1П365Ф3</u></i> 1. Подрезать торец 1 и торец 4 2. Расточить 9, 10, 11 и торец 8 в отверстия (предварительно)
035	Слесарная 1. Зачистить заусенцы, притупить острые кромки
040	Токарная с ЧПУ <i>Токарный станок с ЧПУ <u>NEF400</u></i> 1. Подрезать торец 1 и 4 (оконч.) 2. Подрезать торец 3 (оконч.) 3. Расточить отверстия 9, 10 и торец 8 (окончательно) 4. Расточить отв. 10 (оконч.)
045	Токарная с ЧПУ <i>Токарный станок с ЧПУ <u>NEF400</u></i> 1. Подрезать торец 2 и 6, точить поверхности 5 и 7 2. Расточить отверстия 11, 12, 13 3. Точить поверхность 7 (оконч.) 4. Расточить отверстия 11, 12, 13 (окончательно) 5. Точить канавки 14 и 15
050	Слесарная 1. Зачистить заусенцы, притупить острые кромки
055	Контрольная 1. Контроль размеров заготовки
060	Транспортирование (Переместить в на фрезерный участок)
065	Комплексная с ЧПУ для ОЦ

	<p><i>ОЦ с ЧПУ <u>DMC635V</u></i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Фрезеровать 3 паза 17 (предв.) и 3 паза 18 (оконч.) 2. Фрезеровать 6 пазов 16 и 3 паза 17 (оконч.) 3. Фрезеровать 3 паза 19 (оконч.)
070	<p>Слесарная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зачистить заусенцы, притупить острые кромки
075	<p>Комплексная с ЧПУ для ОЦ</p> <p><i>ОЦ с ЧПУ <u>DMC635V</u></i></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сверлить 8 отв. Ø12 (21) 2. Сверлить 6 отв. Ø6,8 (20) 3. Нарезать резьбу М8 в 6 отв. (20)
080	<p>Слесарная</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Зачистить заусенцы, притупить острые кромки
085	<p>Контрольная</p> <p>Контроль размеров заготовки</p>
090	Промывка (Согласно отдельного техпроцесса)
095	Покрытие
100	Упаковка (Согласно отдельного техпроцесса)

3.1.3 Расчёт размеров заготовки.

Расчетно-аналитический метод определения припусков обычно используется при выполнении ответственных операций. Расчёт припуска произведем на обработку наиболее точной поверхности Ø120g6.

Минимальный припуск на обработку определяем по формуле:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma}^2 + \varepsilon^2} \right], \text{ мкм}$$

Где R_z – высота неровностей профиля на предыдущем переходе;

h – глубина дефектного слоя;

Δ_{Σ} – суммарное отклонение расположения поверхностей;

ε – погрешность установки заготовки на переходе.

Погрешность базирования определяем как:

$\varepsilon^1 = 200 \text{ мкм}$ – погрешность базирования в 3-х кулачковом патроне станка 16K20Ф3 на черновой операции

$\varepsilon^2 = 100 \text{ мкм}$ – погрешность базирования в 3-х кулачковом патроне станка NEF400 на получистовой операции

$\varepsilon^3 = 50 \text{ мкм}$ погрешность индексации револьверной головки станка NEF400 на чистовой операции

Суммарное отклонение расположения поверхности:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{оф}}^2 + \Delta_{\text{см}}^2},$$

где $\Delta_{\text{оф}}$ – величина отклонения формы поверхности отливки; $\Delta_{\text{оф}} = 0,7 \text{ мм}$;

$\Delta_{\text{см}}$ – величина смещения и поворота поверхности отливки; $\Delta_{\text{см}} = 0,9$ мм;

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{0,7^2 + 0,9^2} = 1,2 \text{ мм.}$$

Минимальный расчётный припуск на обработку по переходам:

$$2Z_{1\min} = 2 \cdot \left[(1000 + 1000) + \sqrt{1200^2 + 200^2} \right] = 6433 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot \left[(100 + 100) + \sqrt{100^2 + 100^2} \right] = 683 \text{ мкм.}$$

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot \left[(50 + 50) + \sqrt{60^2 + 50^2} \right] = 356 \text{ мкм.}$$

Записываем для конечного перехода наименьший предельный размер детали по чертежу. $D_3 = 119,966$ мм.

Для предшествующего перехода определяем расчётный размер путём прибавления к наименьшему предельному размеру расчётного припуска.

Расчетные размеры:

$$D_{Pi-1} = D_P + 2Z_{\min}, \text{ мм}$$

$$D_{P2} = D_{P3} + 2Z_{\min3} = 119,966 + 0,356 = 120,322 \text{ мм}$$

$$D_{P1} = D_{P2} + 2Z_{\min2} = 120,322 + 0,683 = 121,005 \text{ мм}$$

$$D_{\text{Заг}} = D_{P1} + 2Z_{\min1} = 121,005 + 6,433 = 127,438 \text{ мм}$$

Записываем наименьшие предельные размеры по всем технологическим переходам, округляя их увеличением.

Определяем наибольшие предельные размеры путём прибавления допуска к округлённому наименьшему предельному размеру.

Предельные наименьшие размеры:

$$D_{\max i} = D_{\min i} + TD_{i-1},$$

$$D_{\max 3} = D_{\min 3} + TD_3 = 119,966 + 0,022 = 119,988 \text{ мм}$$

$$D_{\max 2} = D_{\min 2} + TD_2 = 120,33 + 0,14 = 120,47 \text{ мм}$$

$$D_{\max 1} = D_{\max 1} + TD_1 = 121,0 + 1,0 = 122,0 \text{ мм}$$

$$D_{\max \text{ заг}} = D_{\min \text{ заг}} + TD_{\text{заг}} = 128,0 + 2,5 = 130,5 \text{ мм}$$

Записываем предельные значения припусков $2Z_{\max}$ как разность наименьших предельных размеров и $2Z_{\min}$ как разность наибольших предельных размеров выполняемого и предшествующего переходов.

$$2Z_{\max i} = D_{\max i} - D_{\max i-1}, \text{ мм.}$$

$$2Z_{\min i} = D_{\min i} - D_{\min i-1}, \text{ мм.}$$

$$2Z_{\max 3} = D_{\max 3} - D_{\max 2} = 120,470 - 119,988 = 0,482 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\min 3} = D_{\min 3} - D_{\min 2} = 120,330 - 119,966 = 0,364 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\max 2} = D_{\max 2} - D_{\max 1} = 122,000 - 120,470 = 1,530 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\min 2} = D_{\min 2} - D_{\min 1} = 121,000 - 120,330 = 0,670 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\max 1} = D_{\max 1} - D_{\max \text{ заг}} = 128,000 - 130,500 = -2,500 \text{ мм.}$$

$$2Z_{\min 1} = D_{\min 1} - D_{\min \text{ заг}} = 128,000 - 121,000 = 7,000 \text{ мм.}$$

Правильность расчётов определяем по формуле:

$$\sum 2Z_{max} - \sum 2Z_{min} = T_{Дз} - T_{Дд},$$

$$\begin{aligned} \sum 2Z_{max} - \sum 2Z_{min} &= (8500 + 1530 + 482) - (7000 + 670 + 364) \\ &= 10512 - 8034 = 2478 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

$$T_{Дз} - T_{Дд} = 2500 - 22 = 2478 \text{ мкм.}$$

Вывод: Условие правильности расчетов выполняется.

Результаты расчетов сводим в таблицу.

Таблица 3.2 - Расчет припусков на обработку поверхности $\phi 120g6$

Технологический маршрут обработки	Элементы припусков (мкм)				Мин. припуск (мкм)	Расч. размер (мм)	Допуск (мкм)	Предельные размеры, мм		Полученные предельные размеры мкм	
	R_{zi}	T_i	Δ	ε_y	$2Z_{min}$	D_p	T_d	d_{min}	d_{max}	$2z_{min}^{np}$	$2z_{max}^{np}$
Заготовка	1000	1000	1200	-	-	27,438	2500	28,000	30,500	-	-
Черновое	100	100	100	200	6433	21,005	1000	121,0	122,0	7000	8500
Получистовое точение	50	50	60	100	683	20,322	140	112,33	120,47	670	1530
Чистовое точение	20	20	20	50	356	19,966	22	19,966	19,988	364	482

3.2 Анализ геометрии модельного комплекта на работоспособность в технологической системе автоматизированного проектирования.

Необходимо проверить качество работы литейной системы при изготовлении отливки кронштейна водяного насоса из СЧ15. Внешний вид отливки показан на рисунке 3.5. Отливка имеет зоны(фланцы, отверстие), к которым предъявляются повышенные требования по качеству. В ней не должно быть никаких дефектов. Способ литья – в песчаноглинистую форму.

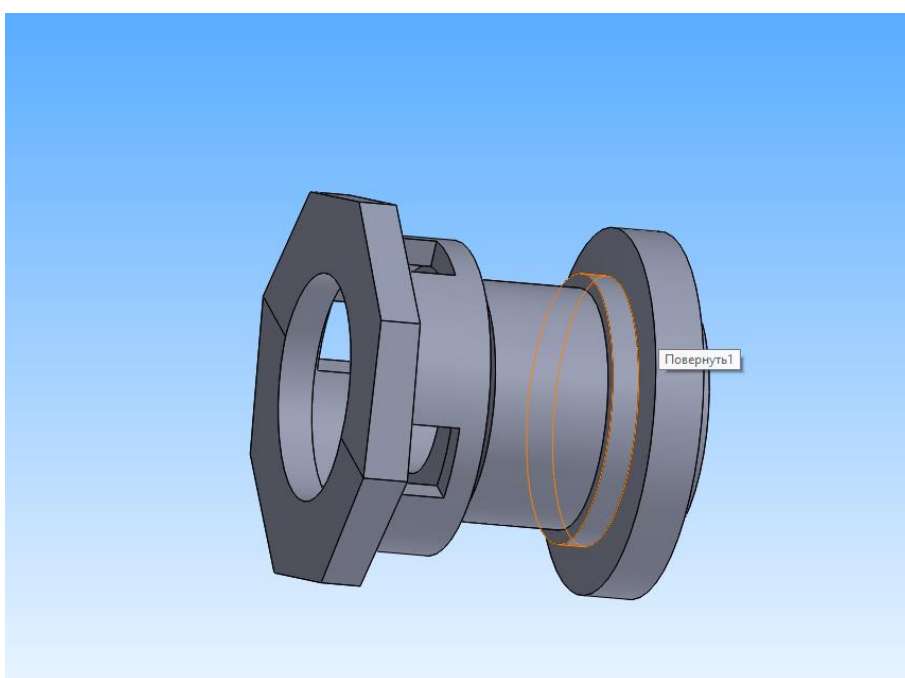


Рисунок 3.5 - Отливка

Форма изготовлена таким образом, что производится отливка сразу четырёх деталей. Для получения плотного металла в зоне фланцев разработана технология с использованием четырех прибылей для каждой отливки. В центре формы располагается стояк с воронкой для принятия металла. По системе каналов металл подается в питатели и непосредственно в полость отливки.

Проверим с помощью системы моделирования «NovaFlow&Solid», обеспечивает ли эта технология поставленную задачу.

Предварительно необходимо построить исходную геометрическую модель отливки и формы в CAD системе SolidWorks рисунок 3.6 и затем получить конечно-элементные сетки отливки и формы, что и было сделано на предварительных этапах.

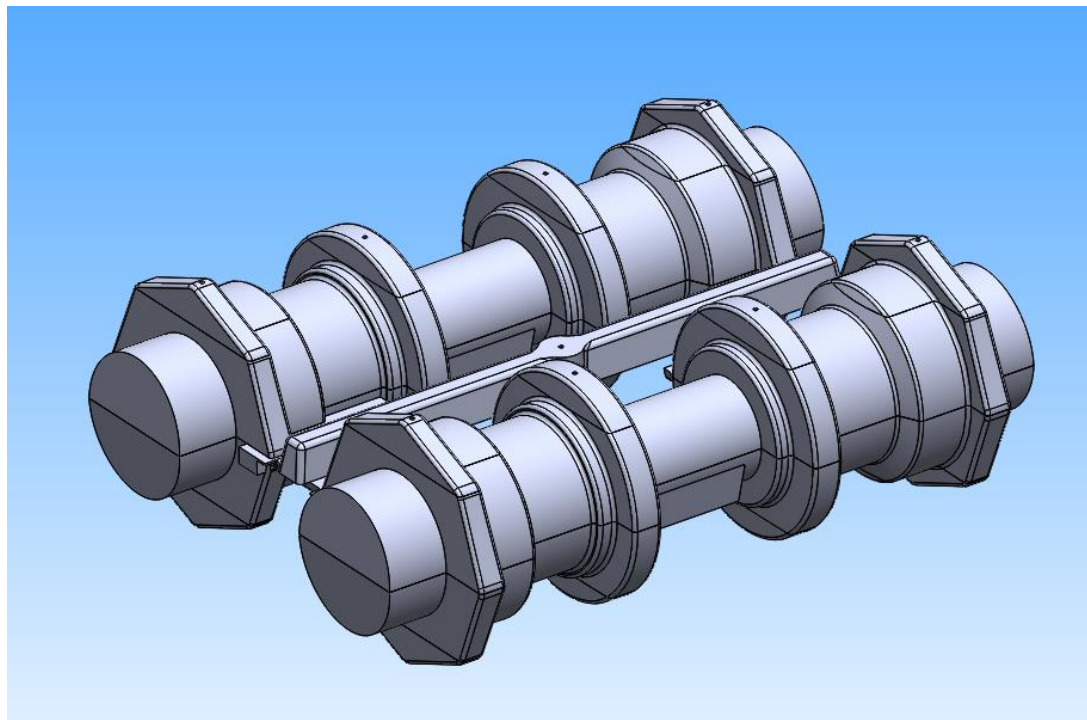


Рисунок 3.6 – Куст отливки

Работа в системе проектирования литейных процессов «NOVAFLOW&SOLID» с новым проектом начинается с работы в модуле «3D-Импорт». Главная задача этого модуля – импортировать конечно-элементную модель, созданную с помощью внешнего генератора сеток, проверить и поправить ее, назначить типы объемов и проиндексировать конечные элементы и границы объемов и сохранить модель в формате системы «NOVAFLOW&SOLID».

Во-первых, назначается какая часть геометрии представляет собой затвердевающий металл – отливку, а какая часть относится к форме со всеми объектами, составляющими ее: основной формообразующей частью, стержнями и т.п. То есть геометрическую модель разделяется по типу принадлежности – «отливка или форма».

Во-вторых, производится индексация элементов и их граней. Под индексацией понимается возможность присвоить каждому конечному элементу сетки и его граням определенный индекс, в соответствии с которыми в дальнейшем и будут назначаться свойства материалов, граничные условия и т.п. Например, элементы, образующие песчаный стержень, обладают одними свойствами, а элементы, образующие наружную поверхность формы – другими. Соответственно они должны иметь разные индексы. Характеристики поверхностей элементов принадлежат к нескольким различным видам: поверхность раздела между отливкой и формой, и поверхность раздела между формой и внешней средой.

В соответствии с этим в модуле «3D-Импорт» выполняются следующие операции:

1. Загрузка (импорт) конечно-элементной сетки модели корпуса;
2. Назначение отливки и формы;
3. Назначение индексов элементов и их граней;
4. Сохранение в формате системы «NOVAFLOW&SOLID».

Назначение отливки и формы

Необходимо обратить внимание на то, что после загрузки, отливка первоначально окрашена в синий цвет, а форма – в красный цвет, что не соответствует истинному разделению типа «отливка-форма». Это произошло потому, что при импорте конечно-элементной сетки, «3D-Импорт», первому найденному объему всегда присваивает тип «отливка», а остальным объемам – тип «форма». При этом, естественно, могут возникать несоответствия назначения. Естественно, это надо изменить.

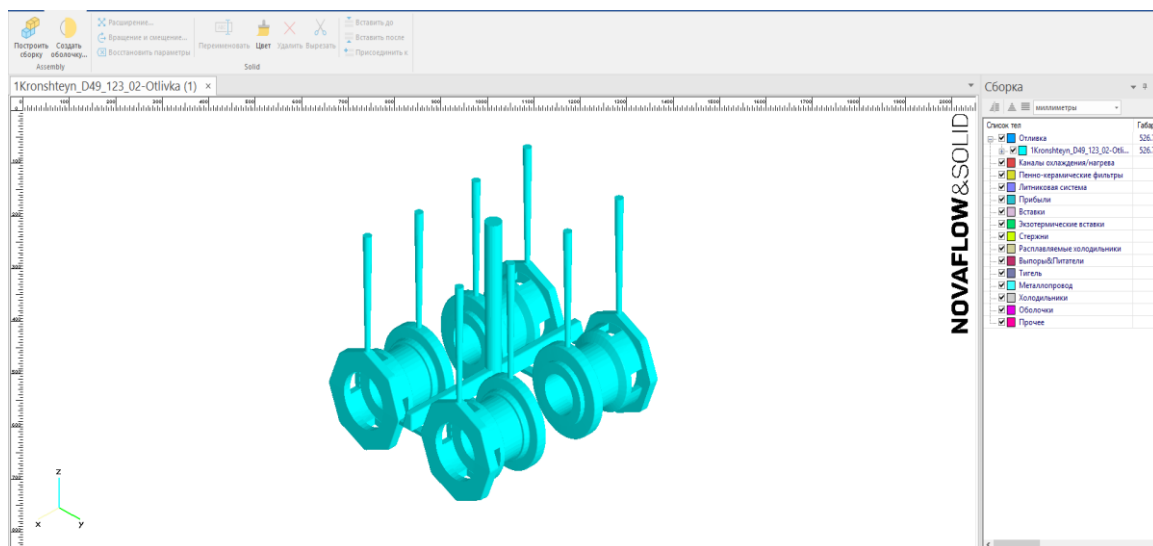


Рисунок 3.7 – Модель после загрузки

Закончив поочередное редактирование параметров объемов, результаты редактирования применяются к модели нажатием на кнопку «Ввод» в окне «Назначение параметров». В итоге картинка в рабочем поле приобретет следующий вид рисунок 3.8.

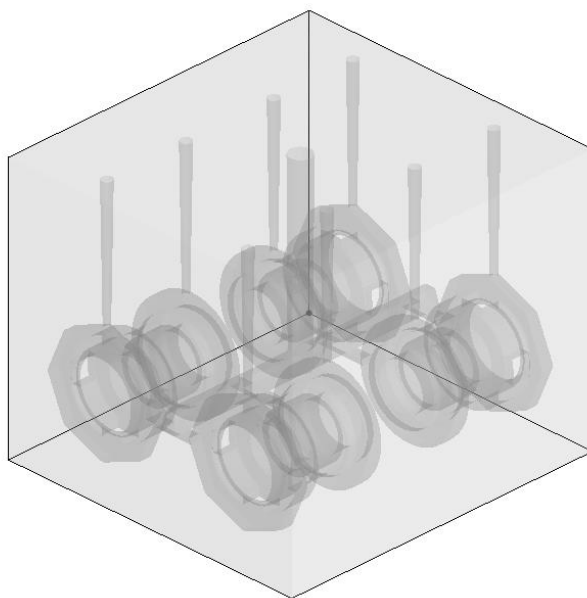


Рисунок 3.8 – Модель после редактирования

Теперь необходимо физически верно сориентировать модель. Это следует сделать потому, что вектор силы тяжести в расчетах системы

«NOVAFLOW&SOLID» всегда направлен противоположно оси Y. Очевидно, что в случае неверной ориентации модели получаются неверные результаты. Воспользуемся кнопками на Панели Поворотов.

Поворот выполняется в два этапа.

На первом этапе необходимо визуально повернуть модель.

Это удобно сделать, нажав последовательно кнопки «Углы по X и Y = 0» и «Угол по X +90°». После этих манипуляций картинка в рабочем поле примет следующий вид рисунок 3.9.

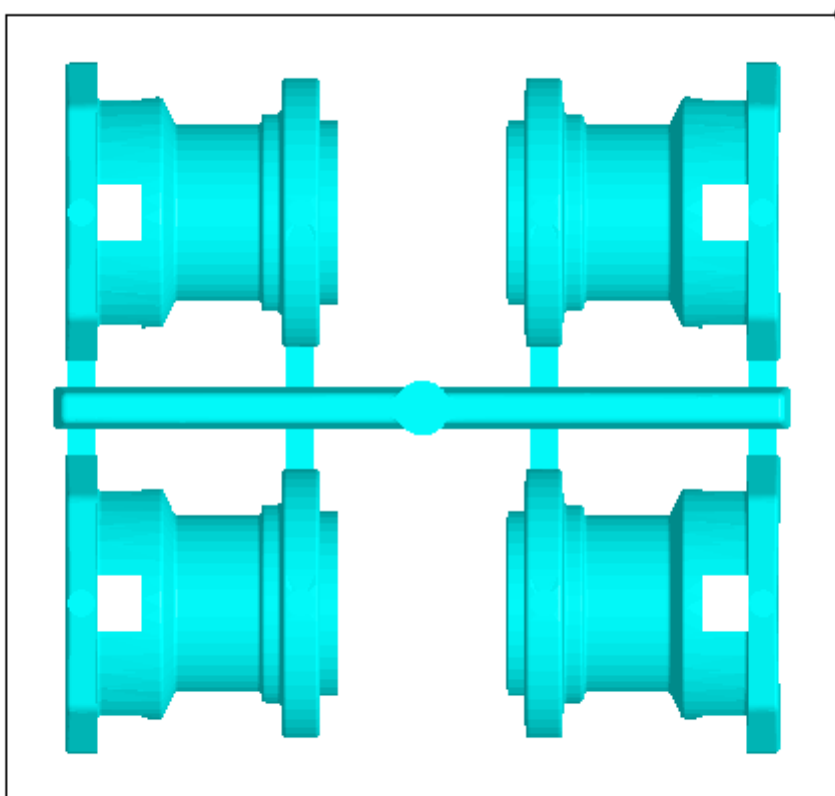


Рисунок 3.9 – Ориентация формы

На втором этапе поворот модели фиксируется нажатием на кнопку «Зафиксировать угол» на Панели Редактирования, а затем, в страховочном диалоге нажатием на кнопку «Загрузить угол».

Для большей наглядности картинки необходимо воспользоваться кнопкой «Стандартные Углы, Сдвиги и Масштаб». Нажатие на нее чисто визуально ориентирует модель в рабочем поле рисунок 3.10.

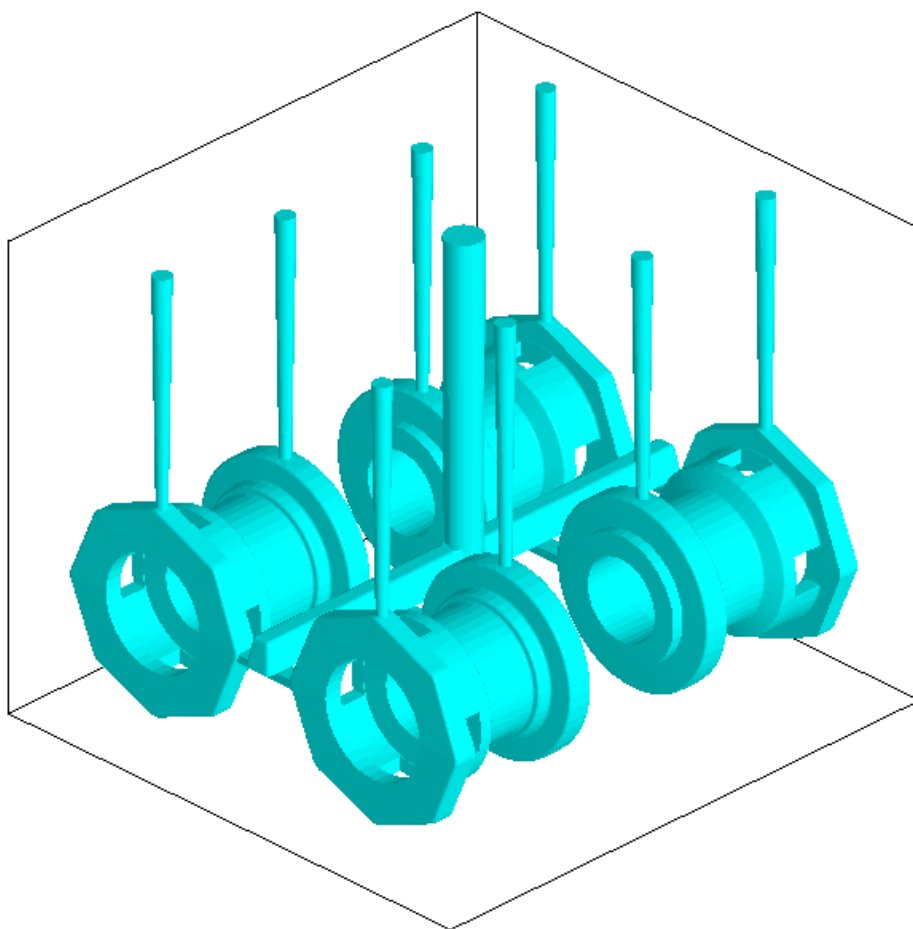


Рисунок 3.10 – Вид формы

Выше было показано, как присвоить конечным элементам, из которых состоят объемы типы и индексы. (Мы изменили типы, а индексы объемов не меняли, оставив те, которые были присвоены по умолчанию.)

Назначение индексов элементов и их граней

На данном этапе необходимо присвоить индексы граням конечных элементов. Под одним индексом объединяются грани, образующие границы (поверхности), разделяющие объемы конечных элементов с одинаковыми свойствами. Всего индексов граням конечных элементов может быть назначено 10, и они нумеруются цифрами от 0 до 9. При этом считается, что границы с индексом 0 – это границы внутри тела (или границы симметрии), границы от 1 до 7 – границы между отливкой и формой, а границы 8 и 9 – границы со средой.

При загрузке конечно-элементной сетки, подготовленной в программе - разборщике, «3D-Импорт» группирует конечные элементы в объемы и определяет границы их раздела. Граням конечных элементов, образующим внешние границы отливки и формы, присваиваются некоторые индексы отличные от нуля, а всем остальным – внутренним граням – нулевой индекс.

Для того чтобы наглядно увидеть сформированную систему граничных индексов следует воспользоваться кнопкой «Показать Индексы Границ» на Панели Режимов.

В рабочем поле находятся три границы раздела:

- красного цвета – границу раздела между конечными элементами, образующими форму, и окружающей средой;
- лилового цвета – границу раздела между конечными элементами, образующими отливку и конечными элементами, образующими форму;
- синего цвета – границу раздела между конечными элементами, образующими отливку, и окружающей средой;

В системе «NOVAFLOW&SOLID» граница раздела между двумя объемами представляется двумя слоями. Граница между отливкой и формой состоит, с одной стороны, из граней конечных элементов отливки, соприкасающихся с формой, а с другой стороны, из граней конечных элементов формы, соприкасающихся с отливкой. Эта последняя граница – поверхность той полости, которую оставила бы отливка после ее удаления в форме.

При первоначальной разбивке на граничные поверхности грани конечных элементов сгруппированы неверно. Это происходит из-за того, что при загрузке неизвестно что на самом деле является отливкой, а что формой и присвоение типов «отливка-форма» и соответственно индексов границ проходит произвольно. Самый простой способ назначить границы – воспользоваться автоматической установкой индексов границ. Это надо делать после установки типов «отливка-форма». В этом случае программа исходит из установленных типов элементов модели и самостоятельно назначает индексы границ:

- отливка - среда – индекс 8, красный цвет;
- форма - среда – индекс 9, синий цвет;
- отливка - форма, со стороны отливки – индекс 1, светло-лиловый цвет;
- отливка - форма, со стороны формы – индекс 2, темно-лиловый цвет;
- внутренние границы – индекс 0, серый цвет.

Далее необходимо выполнить операцию автоматического присвоения индексов границ.

Назначение стандартных индексов граней осуществляется нажатием на кнопку «Задать Стандартные Границы» на Панели Редактирования.

Сохранение в формате системы «NOVAFLOW&SOLID»

Для сохранения результатов на Панели Рабочих кнопок имеются кнопка «Записать файл Геометрии».

Нажатие на нее сохранит геометрическую модель со всеми назначенными индексами во внутреннем формате системы «NOVAFLOW&SOLID» - G3D, в котором она готова к расчету в модуле «Полная задача 3D». Назовем файл геометрической модели korpus.G3D.

Следующим этапом моделирования является собственно выполнение расчетов в модуле «Полная задача». Первоначально производится назначение исходных данных.

После подготовки геометрической модели в модуле «Мастер» работа должна быть продолжена в модуле «Полная задача». Главная задача этого модуля – выполнение численного расчета температурных полей отливки и формы, фазовых полей отливки, пористости и раковин в отливке.

Работа в «Полная задача» осуществляется в несколько последовательных этапов:

- Загрузка всех необходимых исходных параметров;

- Расчет и визуализация его результатов;

- Сохранение результатов расчетов.

Модуль «Полная задача» запускается нажатием на соответствующую кнопку в окне оболочки системы. После загрузки модуля окно приобретает следующий вид рисунок 3.11.

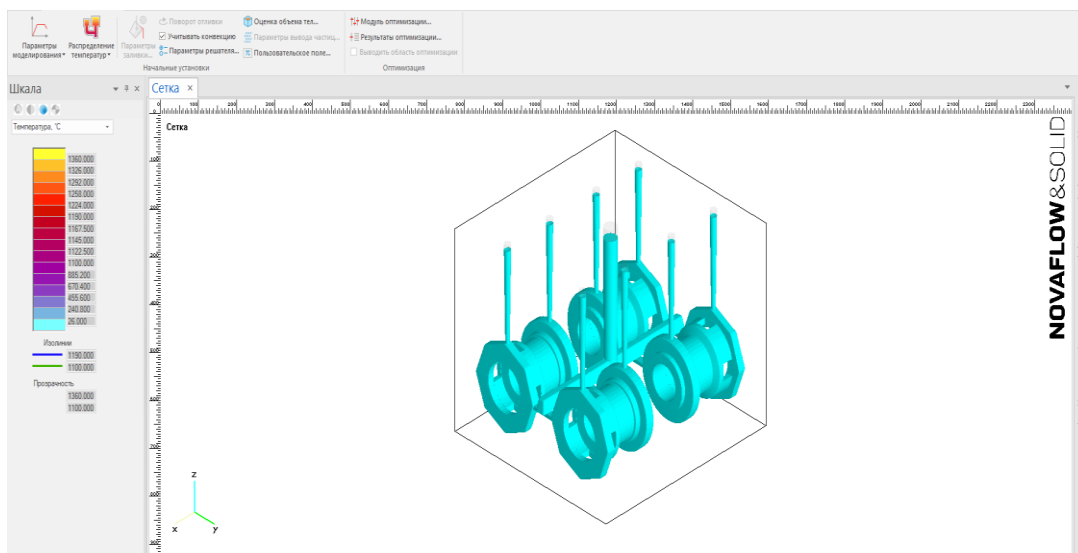


Рисунок 3.11 – Вид окна модуля «Полная задача»

Загрузка необходимых исходных параметров

Для того чтобы загрузить исходные данные, следует нажать на кнопку «Загрузка Исходных Данных» на «Панели Рабочих кнопок».

При этом откроется диалоговое окно «Исходные Данные для расчета» рисунок 3.12.

Материалы формы

Класс материала

Gray cast irons

Тип материала

Сплав

Материал

EN-GJL-150 (S)

Температура ликвидуса, °C

1155.050

Температура солидуса, °C

1150.750

Начальная температура, °C

1250.000

Порог текучести, %

70.000

Порог протекания, %

30.000

Порог Нияма, %

3.000

Да

Отменить

Рисунок 3.12 – Исходные данные для расчета

Окно разделено на две области «Обязательные исходные данные» и «Факультативные исходные данные».

Работа в области обязательных исходных данных начинается с однотипных разделов «отливка» и «форма». В каждом из них расположены три поля ввода:

- Нач. Т верх, °C – начальная температура в верхней точке, в градусах Цельсия;
- Нач.Т низ, °C – начальная температура в нижней точке, в градусах Цельсия;
- Т среды, °C – температура среды, в градусах Цельсия.

Под начальной температурой понимается температура в момент окончания заполнения полости формы жидким металлом. При задании температурного распределения по двум точкам – верхней и нижней – предполагается, что температура по высоте отливки меняется линейно. Задаются начальные температуры в верхней и нижней точках отливки одинаковыми и равными 1550°C, а температура формы принимается равной температуре окружающей среды: 20°C.

В разделах «отливка» и «форма» устанавливаются флажки «Запись файла», означающие, что результаты расчетов соответствующих температурных полей будут сохранены в виде отдельных файлов.

Справа от описанных разделов размещается раздел «шаг-конец расчета».

Под шагом расчета понимается интервал времени (в секундах), через который в расчете фиксируются значения доли жидкой фазы, температуры отливки и формы. Минимальный шаг расчета, допустимый в программе, составляет 0,01 с. Задается шаг равный 30 с, чтобы излишне не затягивать

процедуру расчета. В общем случае шаг расчета рекомендуется подбирать таким образом, чтобы полное время расчета разбивалось на 120-150 шагов.

Конец расчета может быть задан тремя путями: либо прямым назначением времени окончания расчета, либо указанием, что расчет заканчивается при температуре солидуса, либо назначением конечной температуры. Окончание расчета задается по «Конец: по T_{сол}». Это означает, что расчет будет вестись до тех пор, пока максимальная температура отливки (температура в самой горячей точке) не станет ниже температуры солидуса, т.е. до момента полного затвердевания.

Далее необходимо определить ряд файлов, в которых программа найдет необходимые для расчета данные или сохранит его результаты. Для этого служат кнопки, расположенные в нижней части раздела «ОБЯЗАТЕЛЬНЫЕ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ».

Кнопка «Файл результатов» предназначена для указания имени файла, в котором будут сохранены результаты расчетов. Нажатие на нее откроет стандартное для Windows-приложений окно сохранения файла. При этом температурные поля формы автоматически будут записаны в файл с расширением MLD, а температурно-фазовые поля отливки - в файл с расширением CST. После сохранения файла результатов его имя и полный путь будут индизированы справа от кнопки «Файл результатов».

Кнопка «Файл геометрии» открывает стандартное для Windows-приложений окно загрузки. Как вы помните, в программе «Мастер» мы создали файл геометрии korpus.G3D. Выполним его загрузку.

Аналогичным образом выполняется загрузка файлов свойств сплава и формы. Это файлы с расширениями BD - для отливки и BDF – для формы. Эти файлы присутствуют в стандартной базе данных системы «NOVAFLOW&SOLID».

Точно так же осуществляется загрузка файла теплопередачи Standart.af0. В этом файле содержится информация о теплопередаче на границах раздела, имеющихся в модели.

На этом подготовка обязательных исходных данных завершена, и следует ввести их нажатием на кнопку «Ввод» в нижнем правом углу окна.

Цветовое решение картинки отличается от картинки в модуле «3D-Импорт». Это связано с тем, что в модуле «Полная задача» раскраска отражает не типы или индексы объемов и граней, а температурно-фазовые поля или поля пористости. Используемые при этом цветовая шкала и палитра размещаются по умолчанию в правой части окна.

На рассматриваемом рисунке 5.21 изображена шкала и палитра температурно-фазовых полей. За ее включение отвечает кнопка «Показать поля Температур» на Панели Режимов.

Ориентируясь на шкалу и палитру, можно сказать, как «Полная задача» воспринимает исходные условия для расчета: форма – темно синяя окраска – находится в самом «холодном состоянии» (ниже 200°C – так настроена шкала), а отливка – белая окраска – заполнена абсолютно жидким металлом.

Поскольку нас интересует не только тепловая, но и усадочная задача, нам следует ввести ряд дополнительных параметров, необходимых для расчета макро- и микро пористости. Принципиально важно понимать, что расчеты пористости и усадки не могут быть выполнены без базовых температурно-фазовых расчетов, и поэтому ввод исходных данных по основным теплофизическим характеристикам модели является обязательным. Данные же по пористости необходимы только в тех случаях, когда будет выполняться именно расчет усадочной задачи

В верхней части открывшегося окна «Данные для расчета Пористости» слева расположены флажки «Расчет МАКРО пористости» и «Расчет МИКРО пористости». Устанавливая или снимая флажки, вы

определяете виды расчетов, которые будут выполнены. Нас интересуют оба расчета, поэтому устанавливаются оба флажка.

Правее расположены флажки «Запись файла Пористости» и «Запись Давления (для МИКРО)», которые позволяют вам задать или отказаться от записи результатов расчета в виде отдельных файлов.

Ниже расположено поле ввода, в котором вы должны указать величину внешнего давления при формировании отливки в МПа. В данном примере рассматривается литье при атмосферном давлении, поэтому в поле ввода заносится значение 0,1.

Основное поле окна занимают флажки давления и подпитки по границам. Для удобства слева от каждого флажка расположен цветовой индикатор, соответствующий цвету индекса граней, заложенному при индексации границ в модуле «3D-Импорт».

В данном случае при выбранном способе литья можно считать, что атмосферное давление прикладывается по границе 8 «отливка – внешняя среда», обозначенной красным цветом и по границе 9 «форма – внешняя среда», обозначенной синим цветом. Потому устанавливаются флажки в полях 8 и 9.

С помощью кнопки «Файл свойств сплава» через стандартное окно загружается файл с усадочно-фильтрационными свойствами сплава, имеющий расширение FIL. После выбора загружаемого файла его имя и полный путь будут написаны справа от кнопки. Файлы с усадочными свойствами создаются и редактируются в модуле «Сплав». Для данной отливки воспользуйтесь заранее подготовленным файлом в базе данных системы «NOVAFLOW&SOLID»: 20-L.FIL.

В заключение работы с окном «Данные для расчета Пористости» необходимо подтвердить ввод исходных данных нажатием на кнопку «Ввод».

Для просмотра результатов усадочного расчета в «Полная задача» существует своя шкала и палитра, которые вызываются кнопкой «Показать поля Пористости» Панели Режимов.

При использовании этих шкалы и палитры картинка модели перед началом расчета целиком окрашена в белый цвет – пористость отсутствует рисунок 3.13.

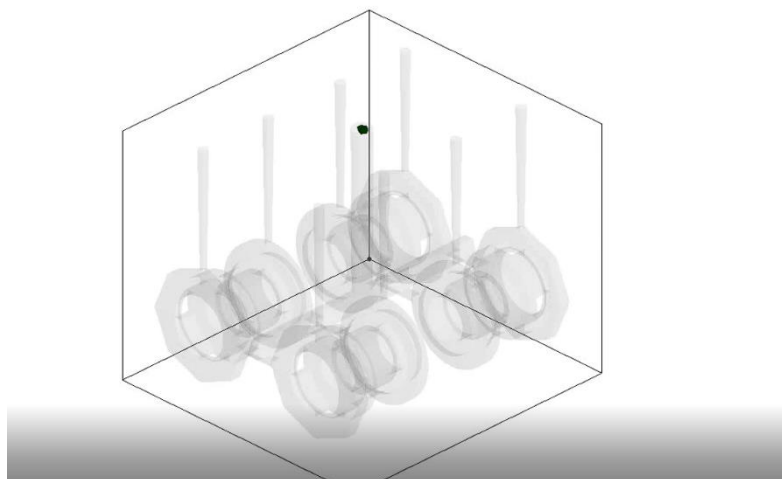


Рисунок 3.13 – Полость перед началом расчета

Когда все приготовления завершены можно переходить к собственно процедуре расчета.

Расчет и визуализация его результатов

Для запуска расчета следует воспользоваться выпадающим списком пункта меню «Расчет» рисунок 3.14.

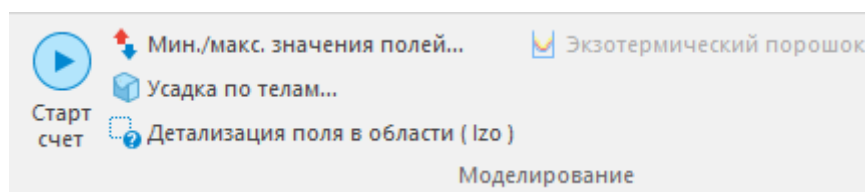


Рисунок 3.14 – Меню расчета

Для запуска расчета следует воспользоваться строкой «Старт счёт» из пункта меню «Моделирование».

При этом программа загружает необходимую информацию и начинает производить вычисления. О том, что расчет выполняется, свидетельствует «Индикатор Расчета» – особая кнопка-индикатор на Панели Рабочих кнопок.

В процессе расчета в рабочем поле происходит последовательная визуализация каждого его шага. При этом отображающиеся на картинке параметры определяются тем, какая из кнопок управления показом на Панели Режимов нажата. Чтобы наблюдать за изменением тепловых и фазовых полей в процессе затвердевания, следует предварительно нажать на кнопку «Показать поля Температур», а для визуализации пористости – кнопку «Показать поля Пористости».

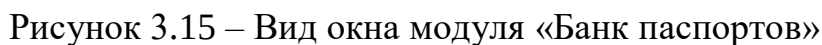
Однако наиболее полно возможности визуализации результатов расчета реализованы в специализированном модуле системы «NOVAFLOW&SOLID» «Банк паспортов».

Визуализация результатов расчета и работа в модуле «Банк паспортов» выполняется следующим образом.

После выполнения расчетов в модуле «Полная задача» работа должна быть продолжена в модуле «Банк паспортов». Главная задача этого модуля – визуализация результатов расчетов. Принципиально важно понимать, что файлы с результатами расчетов содержат поля значений тех или иных параметров во всех точках объекта моделирования в моменты процесса затвердевания, определяемые заданным шагом расчета. Процесс визуализации по сути сводится к последовательной пошаговой демонстрации этих полей в наглядной и выразительной форме. Интерфейс модуля «Банк паспортов» позволяет наблюдать результаты визуально в виде последовательно изменяющихся температурных и фазовых полей, а также полей с различной пористостью в каждый расчетный момент времени. Наглядность и выразительность представления достигаются за счет имеющегося в программе мощного аппарата работы с трехмерными геометрическими объектами, настраиваемой цветовой палитры и шкалы

Работа в модуле «Банк паспортов» осуществляется в несколько последовательных этапов:

- Модуль «Банк паспортов» запускается нажатием на соответствующую кнопку в окне оболочки системы рисунок 3.15.



- кнопка «Загрузить файл Температур»;
- кнопка «Загрузить файл Пористости»;

После нажатия на любую из них на экране появится стандартное для Windows-приложений окно загрузки файла, в котором необходимо открыть

файлы результатов расчетов, созданные в модуле «Полная задача»:

korpus.CST – для теплового расчета и korpus.P3D – для расчета пористости.

Для работы с результатами теплового расчета загружается файл– kronshteyn.CST. В рабочем поле появится изображение температурно-фазовых полей модели в начальный момент времени рисунок 3.16 .

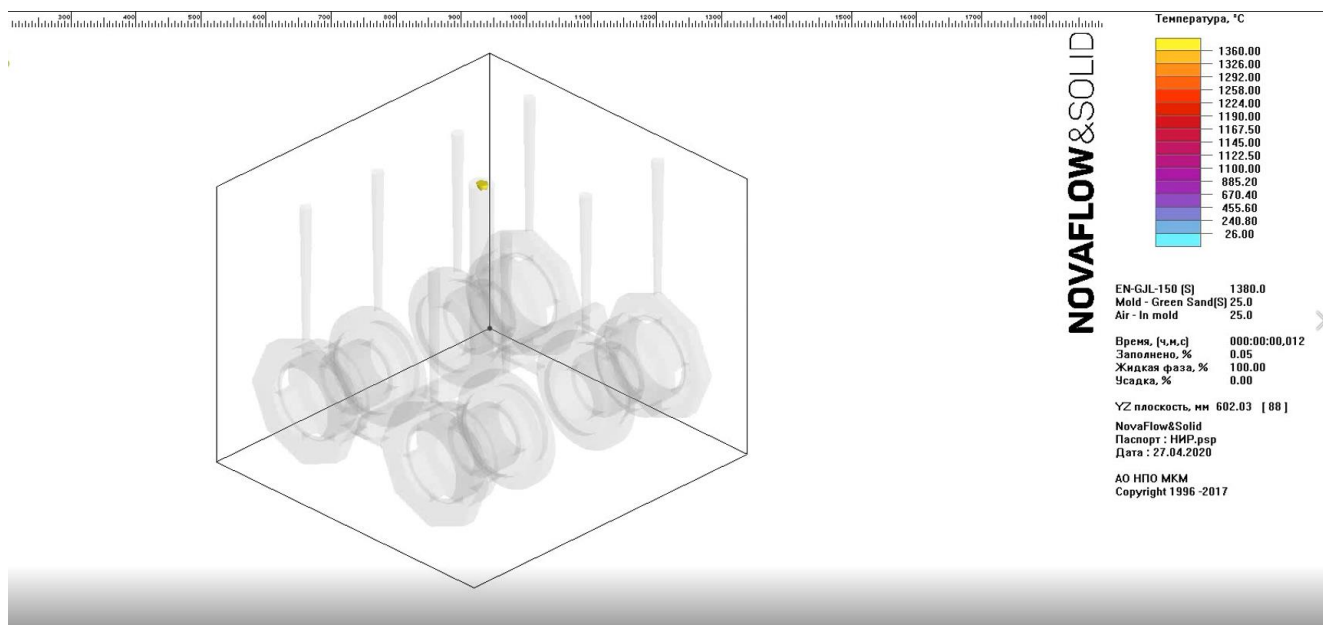


Рисунок 3.16 – Модель в модуле «Банк паспортов»

При этом Панель Палитры и Шкалы автоматически настроится на демонстрацию температурно-фазовых полей.

Панель контроля Времени предназначена для задания тем или иным способом момента времени расчета, визуализируемого в рабочем поле.

При нажатии на кнопку «Шкала Времени» осуществляется переход к любому шагу расчета и фиксация его на экране, минуя демонстрацию промежуточных состояний. Нажатие на нее вызывает окно «Выбор времени» рисунок 3.17.

Записи

Количество записей : 294

	Время, (ч,м,с)	Заполнено, %	Масса, кг
1	☐ 000:00:00,006	0.023	0.015
2	☐ 000:00:00,012	0.047	0.030
3	☐ 000:00:00,137	0.513	0.328
4	☐ 000:00:00,271	1.012	0.650
5	☐ 000:00:00,404	1.513	0.969
6	☐ 000:00:00,539	2.006	1.290
7	☐ 000:00:00,673	2.510	1.610
8	☐ 000:00:00,805	3.003	1.927
9	☐ 000:00:00,941	3.507	2.251
10	☐ 000:00:01,076	4.009	2.575
11	☐ 000:00:01,211	4.509	2.898
12	☐ 000:00:01,344	5.009	3.216
13	☐ 000:00:01,477	5.503	3.534

Рисунок 3.17 – Панель времени

Центральную часть окна занимает шкала времени с движком-регулятором, оцифрованная в соответствии с заложенными в расчет временными параметрами. При открытии окна движок находится в положении, отвечающем текущему моменту расчета. Для выбора необходимого момента времени следует установить движок в соответствующее положение. При этом в расположенном ниже окошечке «Время, с» будет индцировано точное значение установленного времени в секундах. С помощью этого окошечка также можно задать необходимый момент времени непосредственно в числовом виде. При этом движок-регулятор мгновенно отработает новое время расчета и займет соответствующее положение.

Нажатие на кнопку «Ввод» подтверждает принятие заданного момента времени и приводит к появлению соответствующей картинки в рабочем поле.

Кроме того, в модуле «Банк паспортов» имеется возможность динамического представления процесса с помощью кнопки «Авто просмотр Временных Шагов Вкл/Выкл».

Нажатие на нее запускает механизм последовательной смены изображений модели в рабочем поле. Стартовым моментом пошаговой

визуализации является текущий момент времени в рабочем поле независимо от того, каким образом он был назначен.

Рассмотрим изменение температурно-фазовых полей в моделируемой нами отливке. Предварительно, для того, чтобы увидеть процесс затвердевания внутри отливки, отбросим ее «выступающую» из формы часть с помощью кнопки «Сечение Отливки Вкл/Выкл» на Панели Режимов.

В итоге картинка примет следующий вид рисунок 3.18.

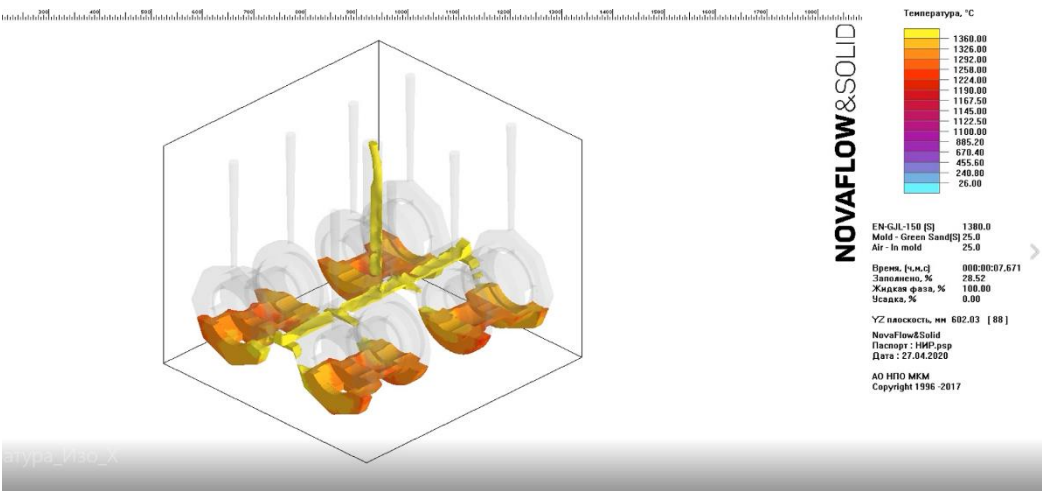


Рисунок 3.18 – Сечение отливки

Далее переместимся на 1 шаг расчета, нажав на кнопку «Следующий шаг» на Панели контроля Времени.

Картинка в рабочем поле претерпит некоторые изменения рисунок 3.19.

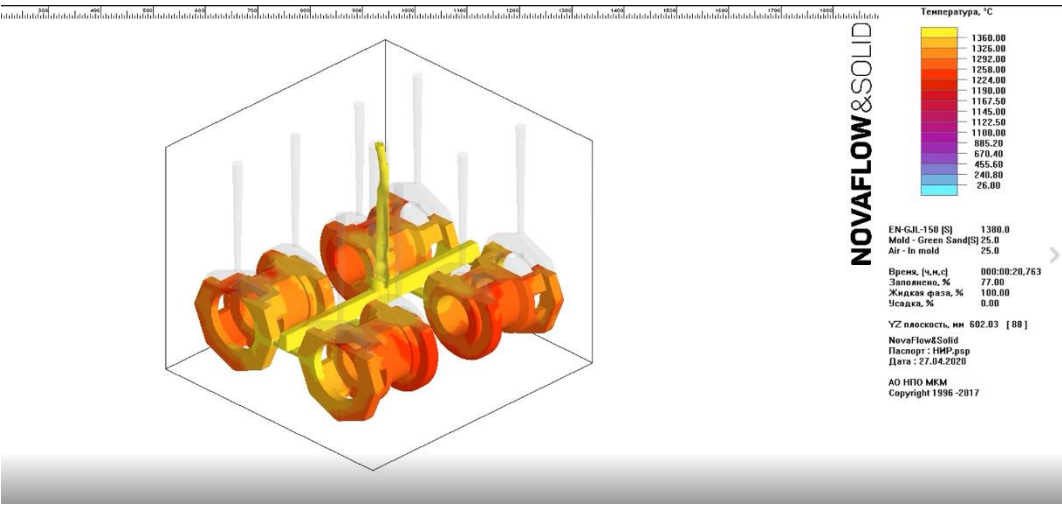


Рисунок 3.19 – Следующий шаг визуализации

По периметру сечения отливки наметилась зона первичной кристаллизации: красная окантовка отвечает 30% жидкого металла. Одновременно наметился прогрев слоя формы, прилежащей к отливке: лиловый ореол имеет температуру, близкую к температуре солидуса.

Для продвижения сразу на 5 шагов расчета необходимо воспользоваться кнопкой «5 Шагов Вперед».

Нажмем ее 10 раз, т.е. переместимся сразу на 50 шагов расчета. В верхней части Панели Палитры и Шкалы можно увидеть, какому моменту времени соответствует текущее состояние картинки. В нашем случае от начала затвердевания прошло 1530 секунд рисунок 3.20.

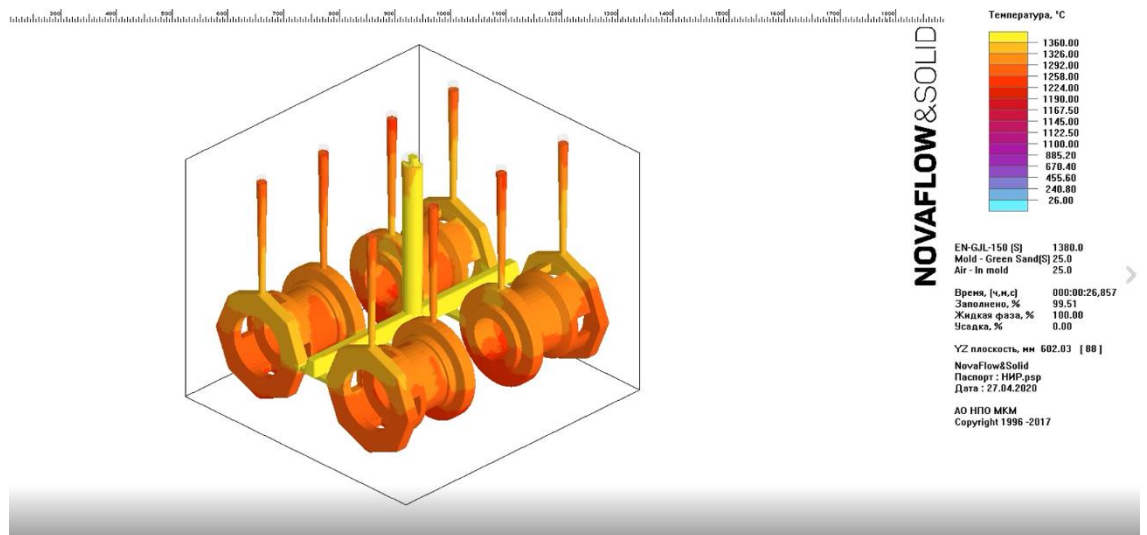


Рисунок 3.20 – Затвердевание отливки

Отчетливо виден в рабочей зоне будущего изделия «кронштейн водяного насоса» крупный тепловой узел – на картинке он окрашен в ярко-желтый цвет, отвечающий доле жидкой фазы 70-85%. В то же время вокруг него располагается зона красно-малинового цвета, отвечающая доле жидкой фазы 15-30%.

Продвинемся еще на 20 шагов расчета рисунок 3.21.

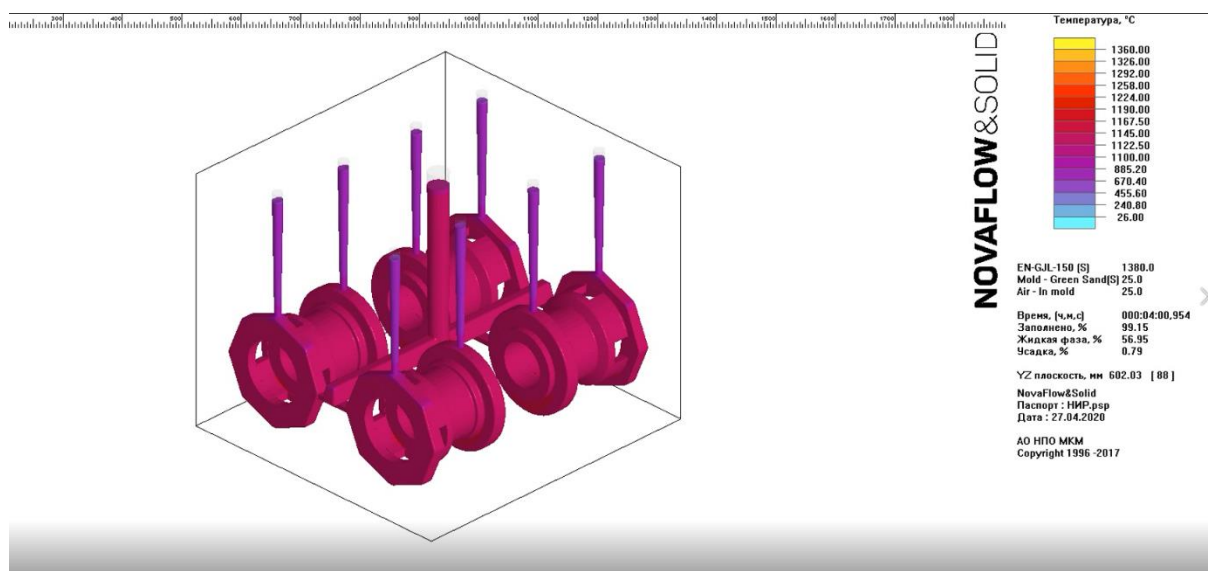


Рисунок 3.21 – Конечная фаза затвердевания

На фоне общего остывания отливки наметившийся тепловой узел локализовался и сместился к внешней рабочей поверхности изделия. Судя по малиновому окрашиванию, доля жидкой фазы в этой зоне составляет около 15%. Можно предположить, что в этом месте отливки должен образоваться серьезный усадочный дефект.

Это предположение возможно проверить, визуализировав результаты усадочного расчета. Для этого загружается «Банк паспортов» файл kronshteyn.P3D и уже известным способом наносится на модель сечение, открывающее внутренний объем отливки рисунок 3.22.

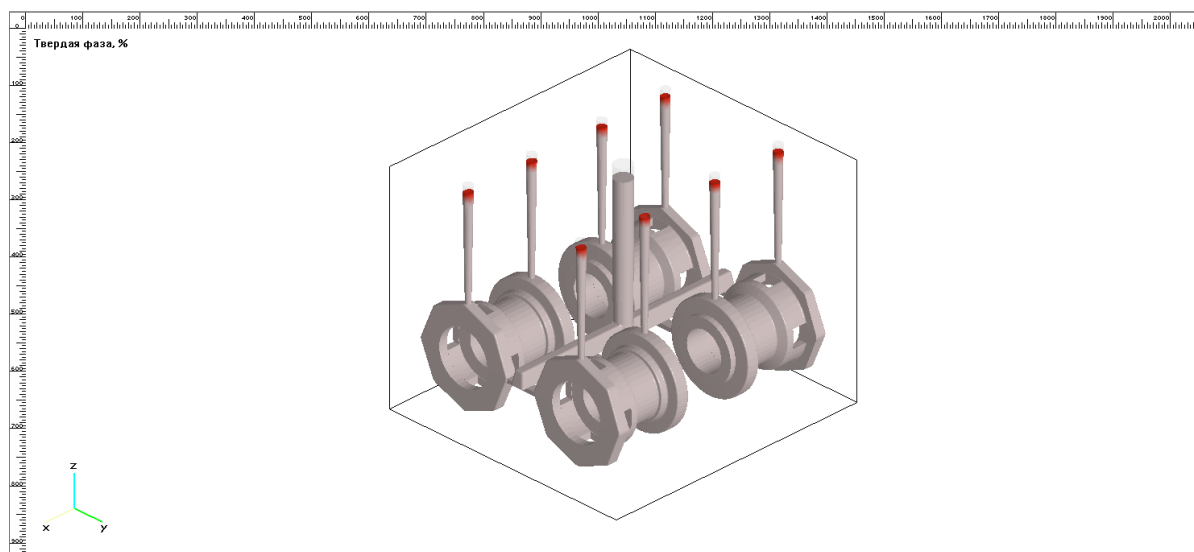


Рисунок 3.22 – Сечение отливки

В случае анализа пористости важен итоговый результат, поэтому необходимо перейти непосредственно к последнему шагу расчет, когда отливка уже полностью затвердела, воспользовавшись кнопкой «Конечный шаг» на Панели контроля Времени рисунок 3.23.

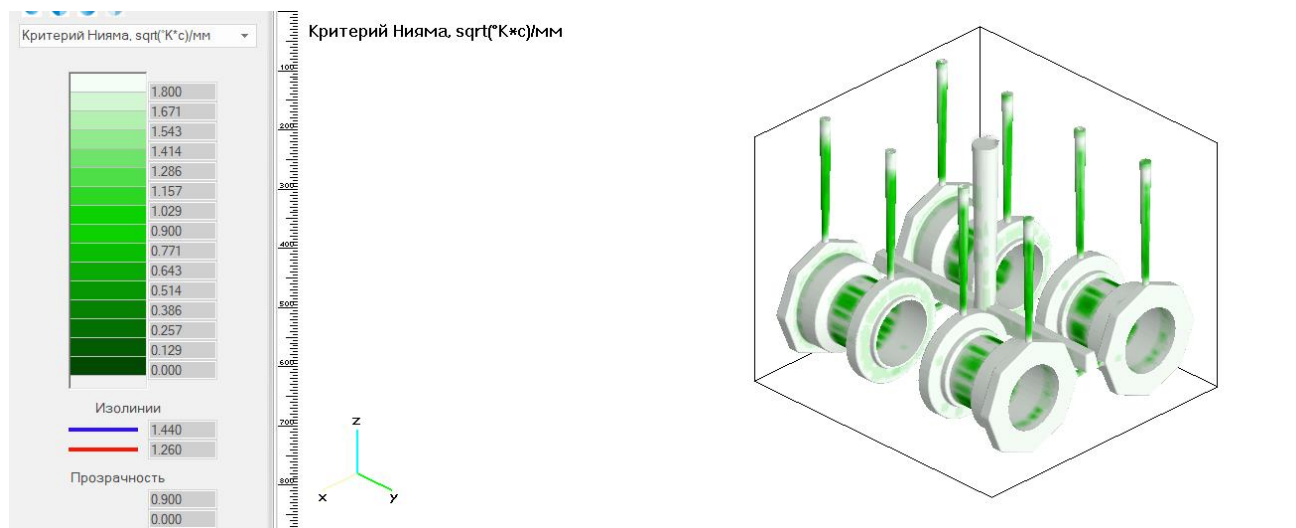


Рисунок 3.23 – Результаты расчета пористости

В результате получается картинка, на которой отчетливо будет видна форма образовавшейся при затвердевании раковин рисунок 3.24.

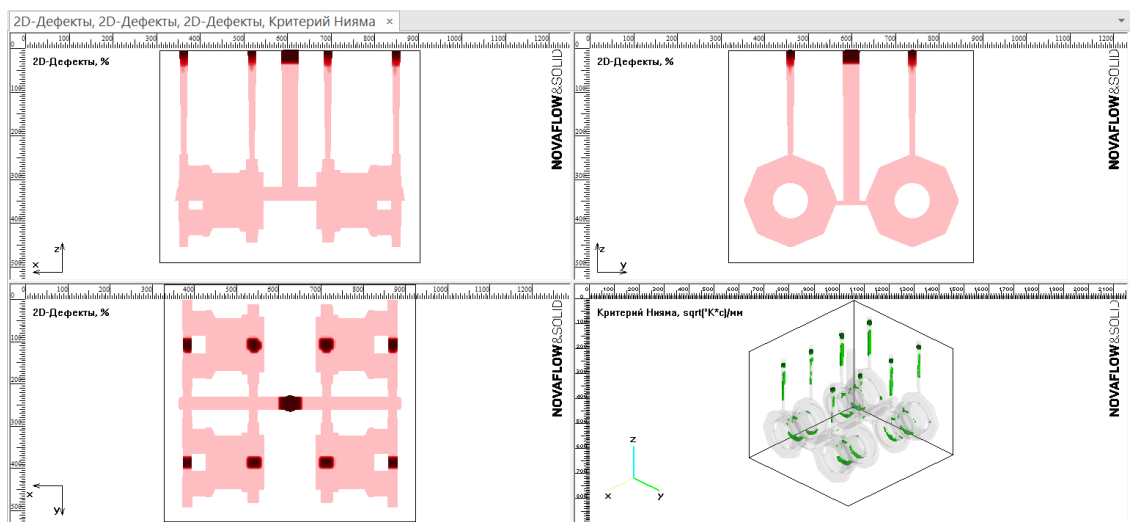


Рисунок 3.24 – Образовавшиеся усадочные раковины

Как видно, усадочные раковины в рабочих зонах отливки отсутствуют, но пористость в этой зоне превышает 15%, что не допустимо. Основываясь на данном исследовании можно сделать вывод о неработоспособности данного комплекта модельного оснащения и от требуемой доработке.

Для исключения описанных недостатков необходимо выполнить корректировку конструкции модельного оснащения, либо режимов технологии литья. Т.к. процесс анализа мы проводим виртуально, то имеем возможность без затрат материалов проанализировать множество различных вариантов конструкции. Для лучшего поиска корректного решения можно применить одну из методик поиска оптимума, например, методом симплекс поиска. Но допустим и поиск рационального решения перебором нескольких вариантов решения данной проблемы. Первоначально проведём поиск рационального решения, при отсутствии результата – прибегнем к методу оптимизации.

Скорректируем конструкцию исходного варианта технологического оснащения. При детальном рассмотрении результатов проведённого анализа становится видно, что расплав слишком медленно попадает в тело детали из-за малого сечения питающей сети. В результате чего, расплав застывает неравномерно слоями. Также из-за слишком малого размера выпоров – газ из формы выходит довольно медленно, что способствует возникновению больших зон газоусадочных полей. Принимаем решение и увеличении сечения питающих элементов и выпоров. При этом, благодаря этой модификации можно уменьшить центральный литник, что даст нам выигрыш в конечной массе изделия на 0,7 кг при массе литейного куста в 43кг.

После проведения необходимых доработок модельного технологического оснащения – качество получаемого изделия выросло. Так, объёмная усадка более не превышает установленных 2%, а пористость установилась в размере 0,5-0,7%. Принимая во внимание данные проведённого анализа можно сделать выводы о достаточной работоспособности модельного комплекта. Результаты исследований представлены на рисунке 3.25.

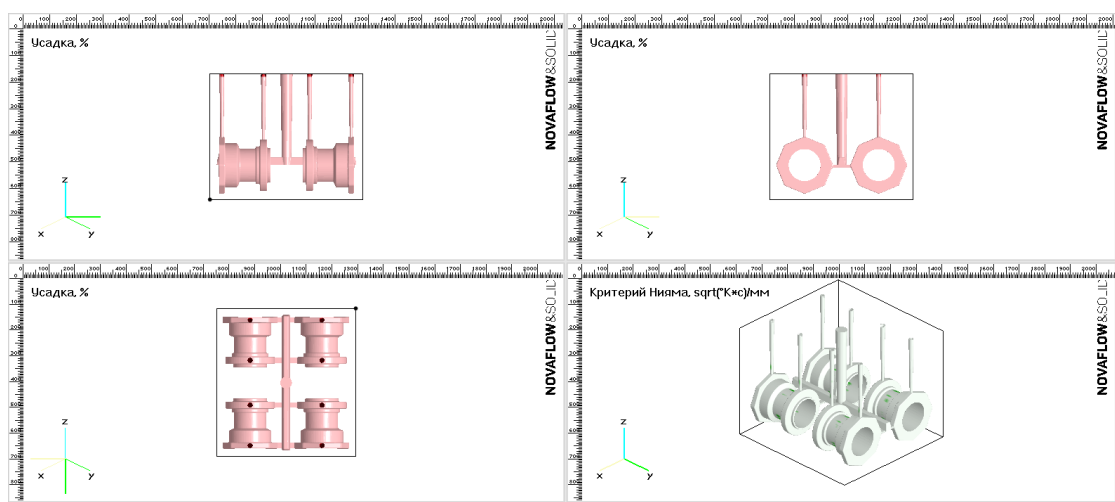


Рисунок 3.25 – Результаты исследования после проведения улучшения модельного оснащения

3.3 Модификация технологического комплекта на основе возможностей оборудования.

В зависимости от формы требуемого изделия – модельный комплект может иметь сложную формообразующую. Так на одном элементе модели или стержневого ящика могут быть элементы со сложно доступными поверхностями. Для избегания дополнительных переустановок и потери точности обработки предлагается разделять модельный комплект на участки так, чтобы можно было беспрепятственно обработать сложные участки формообразования.

Под сложными поверхностями могут пониматься:

1. Поднутрения – это места, где поверхность уходит в меньшую от прямого угла сторону. Для их обработки можно использовать 5-координатную обработку на фрезерном станке с ЧПУ, но зачастую в данном режиме работы инструмент при перемещении может создавать биения, которые пагубно скажутся на результате обработки.
2. Участки с тонким фрезерованием – это места, где необходимо использовать более тонкий инструмент. К данным местам можно отнести мелкие элементы с минимальными радиусами, при обработке которых

используются фрезы $\varnothing 4$ и меньше. Т.к. на данных элементах велик риск испортить заготовку большим инструментом, то их обрабатывают инструментом меньшего диаметра и на большой площади заготовки это заняло бы много времени. Поэтому данный участок выделяется из тела проектируемой оснастки и обрабатывается отдельно. После чего клеивается в основное тело модели при помощи спекания клеевых компонентов.

Деление модельной оснастки является неотъемлемым этапом в проектировании. В сравнении с другими.

При обработке поднутрений – сложный участок также выделяется из тела модели и устанавливается на стол станка так, чтобы можно было уверенно обработать его без применения дополнительных функций станка, например обработка в 5-координатах, которые снижают точность обработки.

Обработка тонких мест может выполняться из материала отличного от всего материала модели. Чаще всего в роли этого материала выступает модельный пластик, который по жёсткости сравним с лёгкими металлами. Чаще всего его заготавливают в виде листов толщиной 50, 75, 100 и 150мм. Поэтому на выбор высоты слоя также влияет толщина листа имеющегося пластика. Также, при выборе высоты слоя разделяемой модели имеет место высота портала обрабатывающего станка. При этом необходимо учитывать высоты безопасного перемещения инструмента для избегания столкновения с телом детали и порчи её. Обычно величину безопасной высоты назначают в 5-10мм от тела детали.

После обработки разобщённых компонентов модельного комплекта их необходимо собрать. Для этого используют клеевые компоненты, если оснастка выполнена из дерева и пластика, или крепёжные метизы, если оснастка выполнена из лёгкого металла, например, из алюминия. При использовании клеевых средств для надёжного сцепления отдельных элементов оснащения между собой, используется термический пресс,

который заставляет жидкие клеевые компоненты глубже диффузировать в тело детали, а после спекает их, придавая долговечность этим соединениям.

3.4 Выводы по главе.

1. Выполнено геометрическое проектирование с использованием современных автоматизированных систем. Оно позволило исключить ошибки в разработке конструкции детали на основе виртуальных 3D-сборок.
2. На основе анализа геометрии выполнено улучшение модельного комплекта. Прогнозируемая пористость по критерию Ниями установилась в пределах 1-3%. Масса литейной системы при этом уменьшена на 0,7 кг.
3. Разработана эффективная система деления модельного комплекта на составные части с учётом геометрических особенностей требуемого изделия.

4. Экономическое обоснование.

Произвести организационно-экономическое обоснование целесообразности внедрения метода сквозного проектирования литейной оснастки в сравнении с традиционным методом проектирования.

Таблица 4.1 - Содержание процесса проектирования и изготовления

Этап	Содержание работы	Шифр работы	Трудоёмкость				Численность Р. чел.	Дни
			t _{min}	t _{max}	t _{от}	T ₂		
1. Разработка технического задания	1.Определение в потребности в новом методе проектирования оснастки	0-1	3	5	3,8	1,9	1	4
		1-2	6	12	8,4	8,4	1	9
		1-3	5	10	7	7	1	7
		3-4	15	24	18,6	18,6	1	19
	2. Оценка прогноза и технологии							
	3. Оценка современного уровня организации и технологии при использовании метода сквозного проектирования.	4-5	12	14	12,8	6,4	2	7
2.Разработка технического проекта	4. Составление технического задания на Д.П.							
	5. Утверждение технического задания							
	6. Оцифровка чертежа.	5-6	3	4	3,4	3,4	1	4
	7. Разработка карты эскизов.	6-7	9	11	9,8	9,8	1	10

3.Разработка рабочего проекта	8. Разработка технологической оснастки.	7-8	4	7	5,2	5,2	1	6
		7-9	4	7	5,2	5,2	1	6
	9. Создание мат. модели оснастки.	7-10	3	5	3,8	3,8	1	4
		10-11	4	6	4,8	4,8	1	5
	10. Анализ в системе	11-12	2	3	2,4	2,4	1	3
	11. Разработка технологии изготовления оснастки.	12-13	40	45	42	10,5	4	11
		13-14	2	3	2,4	2,4	1	3
		14-15	1	2	1,4	0,35	4	1
	12. Разработка управляющих программ для	15-16	1	2	1,4	0,7	2	1
		16-17	1	1	1	0,5	2	1

	станков с ЧПУ с помощью пакета SolidCAM.							
	13. Изготовление опытного образца.							
	14. Контроль технологической оснастки на всех этапах её изготовления с помощью пакета PowerINSPECT и мобильного контрольно-измерительного комплекса фирмы Romer.							
	15. Передача оснастки в литейное производство.	17-18	1	1	1	1	1	1
	16. Наладка производства.							
	17. Отливка детали.							
	18. Контроль изготовленной детали с помощью пакета PowerINSPECT и мобильного контрольно-измерительного комплекса фирмы Romer.							

4.Наладочная работа	19. Доработка технической документации.	18-19	4	8	5,6	5,6	1	6
	20. Составление технико-экономических показателей внедрения нового метода проектирования	19-20	4	6	4,8	4,8	1	5

Ожидаемая трудоёмкость выполнения каждой работы и каждого этапа

$t_{от} = \text{Error!}$, дн.

t_{min} – оптимистическая оценка трудоёмкости выполнения работы.

t_{max} – пессимистическая оценка трудоёмкости выполнения работы.

Длительность работы или этапа

$T_i = \text{Error!}$, дн/чел; P_i – численность исполнителей.

$t_{0-1} = \text{Error!} = 3.80$

$T_{0-1} = \text{Error!} = 1.9$

$t_{1-2} = \text{Error!} = 8.4$

$T_{1-2} = \text{Error!} = 4.2$

$t_{2-3} = \text{Error!} = 7$

$T_{2-3} = \text{Error!} = 3.5$

Дальнейшие расчёты аналогичны выше приведённым и сведены в таблицу 4.2.

Сетевой график

Оптимизация сетевого графика

Событие 4		Событие 9	
-9	30	+1	60
+9	13	-1	57

Табель на выполнение проектных работ

Таблица 4.2

Шифр	Старший	Программист	
------	---------	-------------	--

	инженер		
0-1		4	По графику – 82 дня
1-2		18	
1-3		7	
3-4		10	
4-5	7	7	
5-6		4	
6-7		10	
7-8		7	
7-9		6	
7-10		4	
10-11		4	
11-12		3	
12-13		11	
13-14		3	
14-15		1	
15-16		1	
16-17		1	
17-18		1	
18-19		6	
19-20		5	
Итого	7	113	
Месячный оклад, р.	38000	34000	
Средняя дневная ставка, р.	465	420 630	
Время занятости	7	82 31	- переработка
Сумма зарплаты, дн.	3225	53970	Итого: 57195

Общая сумма затрат на проектирование $Z_{пр}$:

$$Z_{пр} = Z_{пр} \cdot 100 / 43 = 57195 \cdot 100 / 43 = 113000 \text{ р.}$$

Длительность работ, получаемая после оптимизации сетевого графика равна 82 дням. Из табеля на выполнение работ видно, что у программиста

работа длится 113 дней, отсюда следует, что программист работает 31 день сверх нормы. Поэтому для программиста считаем переработку, при этом дневная ставка умножается на 1,5.

Из приведённых расчётов видно, что на сквозное проектирование для выдачи заработной платы научному и производственному персоналу необходимо 113000р.

Таблица 4.3 – Оценка экономических затрат при соотнесении принципов проектирования.

Проектирование литейной оснастки без использования сквозного проектирования			Проектирование литейной оснастки с использованием сквозного проектирования		
н/ч	Часовая ставка	Сумма	н/ч	Часовая ставка	Сумма
Разработка карты эскизов			Разработка карты эскизов		
100	58	5800	80	50	4000
			Разработка математической модели вытяжного перехода		
			50	50	2500
			Проведение анализа проливаемости		
			32	50	1600
Разработка проекта литейного комплекта			Разработка проекта литейного комплекта		
100	58	5800	90	50	4500
Разработка технологии изготовления оснастки			Разработка технологии изготовления оснастки		
60	58	3480	50	50	2500
			Разработка математических моделей рабочих частей оснастки		
			50	50	2500
			Инженерный расчёт моделей на САЕ		
			32	50	1600
			Разработка УП на станки с ЧПУ для обработки формообразующих поверхностей на рабочие части оснастки		
			24	50	1200

Изготовление формообразующих поверхностей оснастки			Изготовление формообразующих поверхностей оснастки на ЧПУ		
80	58	4640	80	50	4000
			Контроль формообразующих поверхностей оснастки		
			24	50	1200
Изготовление оснастки (+1 наладочный)			Изготовление оснастки		
Материалы на 1н/ч, руб			Материалы на 1н/ч, руб.		
539	100	53900	539	100	53900
Транспортно-заготовительные расходы			Транспортно-заготовительные расходы		
= М·3,5%		1887	= М·3,5%		1887
Основная зарплата рабочих			Основная зарплата рабочих		
539	58	31262	539	50	26950
Единый социальный налог			Единый социальный налог		
= Зпл·36.5%		11409	= Зпл·36.5%		9837
Расходы на содержание оборудования			Расходы на содержание оборудования		
= Зпл·209,5%		57929	= Зпл·209,5%		56450
Цеховые расходы			Цеховые расходы		
= Зпл·211,83%		65495	= Зпл·211,83%		57088
Итого сумма затрат на изготовление оснастки			Итого сумма затрат на изготовление оснастки		
210034x2=		483204			229825
Итого сумма затрат на проектирование и изготовление			Итого сумма затрат на проектирование и изготовление		
		433272			229825

А общая сумма затрат на проектирование составляет 47184р.

Длительность проектирования – 82 дня (рабочих)

Расчёт трудоемкости изготовления штамповой оснастки

$$\Theta = 433272 - 229825 = 203447 \text{ р.}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{113000}{203447} = 0,55 = 1 \text{ год}$$

Вывод:

Несмотря на увеличение трудоёмкости на проектирование литейной оснастки с 314н/ч до 512н/ч ($\Delta=172$ н/ч), затраты на изготовление технологической оснастки уменьшаются с 433272р. до 229825р., вследствие чего освобождаются производственные мощности инструментальных цехов и мы получаем экономический эффект от внедрения метода сквозного проектирования в размере 203447р. при сроке окупаемости затрат 1 год.

Выводы по работе.

1. Выбрана наиболее удобная и функциональная система анализа литейного технологического оснащения. В качестве основных программных продуктов были выбраны: SolidWorks как программа CAD класса, SolidCAM – CAM класса и NovaFlow&Solid в качестве программного обеспечения CAE класса, где и проводились все представленные исследования.
2. Рассмотрены принципы и этапы конструкторской и технологической подготовки производства литейных форм. Разработан алгоритм проектирования технологического оснащения, позволяющий добиться наибольшей эффективности.
3. Представлены результаты анализа исследования модельного оснащения на работоспособность с применением программ CAE класса. Удалось уменьшить массу готового изделия на 0,7 кг, а также добиться уменьшения прогнозируемой усадки до 1-3% и сведения пористости изделия к нулю.
4. Обоснована экономическая эффективность применения нового алгоритма.